

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COECI – COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JEFFERSON DA COSTA

**ESTUDOS EXPERIMENTAIS DA REDUÇÃO E RETARDO DO  
ESCOAMENTO SUPERFICIAL DAS ÁGUAS PLUVIAIS EM  
TELHADO VERDE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO

2016

JEFFERSON DA COSTA

**ESTUDOS EXPERIMENTAIS DA REDUÇÃO E RETARDO DO  
ESCOAMENTO SUPERFICIAL DAS ÁGUAS PLUVIAIS EM  
TELHADO VERDE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Ms. Silvana Da Silva Ramme  
Coorientador: Prof. Dr. Cristiano Poletto

TOLEDO

2016



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de Nº 025

### **ESTUDOS EXPERIMENTAIS DA REDUÇÃO E RETARDO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DAS ÁGUAS PLUVIAIS EM TELHADO VERDE**

por

**Jefferson da Costa**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 8:20 h do dia **08 de junho de 2016** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

---

Prof. Dr. Fulvio Natercio Feiber  
(UTFPR – TD)

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Silmara Dias Feiber  
(UTFPR – TD)

---

Prof<sup>a</sup>. Ms. Silvana Da Silva Ramme  
(UTFPR – TD)  
Orientadora

---

Visto da Coordenação  
Prof. Dr. Lucas Boabaid Ibrahim  
Coordenador da COECI

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

*Dedico este trabalho, primeiramente à minha família, minha mãe Alda Moura de Lima, meu irmão Anderson Costa e à minha noiva Kátia Cristina Bulhões, que tanto ajudaram para que este fosse realizado com sucesso.*

*Dedico também, ao meu país, à UTFPR, à Engenharia Civil, meus amigos e professores, que foram essenciais na minha vida acadêmica e formação profissional.*

## AGRADECIMENTOS

*Primeiramente, agradeço à minha família, minha mãe Alda Moura de Lima e meu irmão Anderson Costa, os demais familiares, minha noiva Kátia Cristina Bulhões e seus pais, Cleon Carlos Bulhões e Marli Regina da Silva, que foram o alicerce da minha formação moral e acadêmica, bem como, pelo suporte, companheirismo, orientações e um ambiente familiar maravilhoso que proporcionou todas as minhas conquistas.*

*Gostaria de agradecer à Universidade Tecnológica Federal do Paraná e aos professores e laboratoristas da Engenharia Civil desta instituição, que sempre estiveram dispostos a esclarecer minhas dúvidas e passar suas vivências práticas em nossa profissão.*

*Agradeço aos meus colegas que convivi durante o tempo que estive na instituição e que se tornaram grandes amigos e colegas de profissão.*

*Destaco um agradecimento especial ao prof. Dr. Cristiano Poletto, que me deu a oportunidade de participar de seu grupo de pesquisa, de onde originou-se essa pesquisa, bem como, agradeço suas orientações acadêmicas que foram de grande valia no decorrer de minha vida acadêmica.*

*Agradeço à minha orientadora, prof<sup>a</sup>. Ms. Silvana Da Silva Ramme, por aceitar o desafio desse trabalho e confiar em mim, para executá-lo.*

*Ressalto aqui, os laboratoristas Marcos Vinicius Schlichting e Wilson Leobet, Amarildo Larges Ribeiro, Bruno Begotto e seu pai, todos estes, foram fundamentais para o sucesso deste trabalho, e pela confiança depositada.*

*Por fim, mas não menos importante, ao meu país e a todos amigos que fazem ou fizeram parte da minha vida de forma positiva e valorosa.*

## RESUMO

DA COSTA, Jefferson. **Estudos experimentais da redução e retardo do escoamento superficial das águas pluviais em telhado verde**. 2016. 76 f. Monografia, Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2016.

Após a década de 1970, houve no Brasil uma grande migração da população do campo para a cidade, resultando em um crescimento exponencial dos centros urbanos. Este processo acelerado e não planejado de urbanização resultou em mudanças nas condições naturais das bacias hidrográficas, diminuindo a permeabilidade dessas áreas, havendo assim, uma redução na infiltração da água precipitada. Assim, acarretando em um aumento acentuado no escoamento superficial de águas pluviais que resultou em inúmeros problemas ambientais como inundações e erosões. No intuito de minimizar os picos de vazão das águas pluviais e melhorar a distribuição destas ao longo do tempo, este estudo utilizou-se de um protótipo de telhado para realização de simulações de chuva e captação de dados em duas diferentes superfícies: lisa (telhado comum) e vegetada (telhado verde). Os resultados demonstraram que o telhado verde apresenta uma significativa redução e retardo do escoamento superficial, assim, melhor distribuindo as águas pluviais ao longo do tempo, reduzindo os picos de vazões. Com isso, este tipo de telhado, torna-se importante para regiões que sofrem com inundações, ajudando a reduzir a demanda dos sistemas convencionais de drenagem urbana.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas sustentáveis; Hidrologia urbana; Águas pluviais.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas;
- IGRA** – International Green Roof Association;
- ONGs** – Organizações Não Governamentais;
- SUDERHSA** – Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental;
- SUDS** – Sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana;
- USGS** – United States Geological Survey;
- UTFPR** – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Vazões em Bacias Hidrográficas com características fisiográficas similares, mas com diferentes usos do solo (urbana e rural). .....	16
Figura 2: Hidrograma de bacia rural e depois de urbanizada. ....	20
Figura 3: Características das alterações de uma área rural para urbana. ....	21
Figura 4: Camadas de um telhado verde básico. ....	28
Figura 5: Ilustração esquemática dos diferentes tipos de telhados verde. ....	32
Figura 6: Corte esquemático de telhado verde extensivo. ....	33
Figura 7: Comparação de escoam. de um telhado verde com um telhado comum. ....	37
Figura 8: Sensação térmica. ....	41
Figura 9: Desenho conceitual do protótipo. ....	47
Figura 10: Parafuso alto brocante. ....	48
Figura 11: Conclusão da montagem do protótipo, em Cascavel - PR. ....	48
Figura 12: Aplicação do silicone nas fendas entre as chapas. ....	49
Figura 13: Resultado do acabamento final da aplicação do silicone. ....	49
Figura 14: Aplicação da emulsão asfáltica nas chapas de aço. ....	50
Figura 15: Protótipo após a conclusão da pintura com emulsão asfáltica. ....	50
Figura 16: Instalação da calha junto às braçadeiras. ....	51
Figura 17: Verificação do nivelamento do protótipo. ....	51
Figura 18: Nivelamento do balde graduado de leitura de vazão. ....	52
Figura 19: Colocação da manta de drenagem na saída do telhado. ....	53
Figura 20: Verificação da espessura da camada da argila expandida. ....	53
Figura 21: Argila expandida sobre o telhado. ....	54
Figura 22: Manta de drenagem sobre a argila expandida. ....	54
Figura 23: Colocação da vegetação. ....	55
Figura 24: Esguicho tipo pistola 1/2". ....	56
Figura 25: Proveta do teste de vazão. ....	56
Figura 26: Simulação da chuva durante os ensaios. ....	58
Figura 27: Registro dos ensaios de vazão. ....	59
Figura 28: Média dos volumes dos ensaios com Telhado Comum. ....	62
Figura 29: Média dos volumes dos ensaios com Telhado Verde. ....	63
Figura 30: Sobreposição dos gráficos das médias dos volumes dos ensaios de ambos os telhados. ....	64



Figura 31: Média das vazões dos ensaios com Telhado Comum. ....	65
Figura 32: Média das vazões dos ensaios com Telhado Verde. ....	66
Figura 33: Sobreposição dos gráficos das médias das vazões dos ensaios de ambos os telhados. ....	67

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1. JUSTIFICATIVA.....	12
1.2. PROBLEMA.....	12
1.3. OBJETIVOS.....	13
1.3.1. Objetivo Geral .....	13
1.3.2. Objetivos Específicos.....	13
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>14</b>
2.1. SUSTENTABILIDADE.....	14
2.2. DRENAGEM URBANA .....	15
2.2.1. Inundações Urbanas .....	18
2.2.2. Impactos Ambientais.....	21
2.3. MEDIDAS DE CONTROLE DE INUNDAÇÕES.....	23
2.3.1. Infiltração e percolação .....	24
2.3.2. Armazenamento.....	25
2.4. TELHADO VERDE.....	25
2.4.1. Estrutura de Composição do Telhado Verde.....	28
2.4.2. Tipos de Telhado Verde .....	31
2.4.3. Etapas Construtivas .....	34
2.4.4. Retardo da Água da Chuva.....	35
2.4.5. Redução do Escoamento Superficial .....	36
2.4.6. Qualidade da Água da Chuva Potencialmente Armazenável .....	38
2.4.7. Melhoramento Térmico e Acústico .....	39
2.4.8. Vantagens e Desvantagens .....	40
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>43</b>
3.1. CÁLCULOS DAS VAZÕES DOS ENSAIOS.....	43
3.2. FUNDAMENTAÇÃO E MONTAGEM DO PROTÓTIPO .....	46
3.3. ENSAIO DE SIMULAÇÃO DA CHUVA .....	55
3.4. ANÁLISE DOS DADOS DOS ENSAIOS .....	59
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>62</b>
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	<b>68</b>
<b>6. SUJESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>70</b>
<b>7. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>71</b>
<b>APÊNDICE A – Peças do protótipo do telhado</b> .....	<b>74</b>

<b>APÊNDICE B – Planilha de cálculo dos dados coletados para os ensaios do telhado comum.....</b>	<b>75</b>
<b>APÊNDICE C – planilha de cálculo dos dados coletados para os ensaios do Telhado Verde.....</b>	<b>76</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil, assim como muitos países em desenvolvimento, já teve a concentração populacional rural maior do que a urbana. No entanto, Segundo Tucci (2005a), após a década de 1970, houve um crescimento urbano significativo, consequente da migração da população do campo para a cidade. Fato que pode ser atribuído devido ao modelo mecanizado de produção agrícola. Esse episódio resultou em um crescimento exponencial dos centros urbanos. Este processo acelerado e não planejado de urbanização resultou em mudanças nas condições naturais das bacias hidrográficas (DA COSTA, COSTA & POLETO, 2012).

De acordo com Silveira (2002, *apud* Poletto, 2011), como consequência da urbanização, a remoção da cobertura vegetal original do ambiente, a pavimentação e as edificações acabam gerando a impermeabilização do solo. Assim, reduzindo ou impedindo a infiltração das águas precipitadas e acarretando em um aumento acentuado no escoamento superficial de águas pluviais e gerando um maior volume de águas para drenagem.

Neste contexto, de acordo com Poletto (2011), observa-se que o sistema convencional de drenagem de águas pluviais teve como princípio a rápida expulsão destas das cidades, um conceito sanitário-higienista, cujo objetivo era preservar a saúde da população e acabar com qualquer transtorno que essas águas poderiam causar. No entanto, esse conceito age apenas localmente transferindo o problema para outras regiões. Este fato somado ao rápido crescimento populacional, impermeabilização do solo e a retirada da cobertura vegetal, se tornam responsáveis pelas constantes inundações, pelos deslizamentos de terra e pelos problemas ocasionados sobre a recarga dos lençóis d'água subterrâneos.

Com esses problemas, foi sendo adicionada ao sistema de drenagem uma visão ambientalista, buscando-se minimizar os impactos antropogênicos gerados buscando-se manter as características naturais da bacia (escoamento, vazão, permeabilidade, evapotranspiração, bloqueios naturais, entre outros) (DA COSTA, COSTA & POLETO, 2012).

Segundo Poletto (2011), com esta nova proposta de sustentabilidade ambiental em áreas urbanas, surgiram os Sistemas Urbano de Drenagem Sustentável (SUDS), que propõe controlar o escoamento superficial, aumentar a infiltração do solo,

busca melhorar o equilíbrio do ciclo hidrológico e incentivar o uso sustentável da água. De acordo com Souza (2005), ganhos paisagísticos, ambientais e econômicos reforçam as vantagens apresentadas por este conceito do tratamento da drenagem urbana, controlando não somente o pico, mas também o volume, frequência e duração, além da qualidade do escoamento.

A proposta de alternativas sustentáveis para amenizar esses impactos, beneficia diretamente o usuário que implementar essas ações e, também, toda a população que interage ou está conectada indiretamente com a bacia. Há tanto um benefício econômico (aproveitamento do volume de chuvas e redução da temperatura local), social (redução de áreas alagadas) e do ambiental com a redução dos processos erosivos e, conseqüentemente, dos processos de assoreamento e de degradação dos corpos d'água (DA COSTA, COSTA & POLETO, 2012).

### 1.1. JUSTIFICATIVA

Visto que as enchentes causam diversos prejuízos, tanto ambientais como sociais, esse trabalho busca contribuir, por meio de recursos da engenharia civil e dando ênfase na ciência hidrológica, para a redução e sensibilização acerca de impactos ambientais causados pela impermeabilização do solo devido ao processo acelerado e não planejado de urbanização. Propondo, assim, a implantação de alternativas sustentáveis como o retardo e redução do escoamento superficial e, conseqüentemente, colaborando com a redução dos problemas de enchentes, dos processos erosivos em centros urbanos, das alterações na morfologia das calhas fluviais e, por conseguinte, minimizando os problemas de degradação dos corpos d'água superficiais e subsuperficiais.

### 1.2. PROBLEMA

Diante do exposto, tem-se como questão:

- A utilização do Telhado Verde auxilia na diminuição e retardo do escoamento superficial em residências unifamiliares comuns?

### 1.3. OBJETIVOS

Tem-se, portanto, os objetivos gerais e específicos deste trabalho abaixo.

#### 1.3.1. Objetivo Geral

Comparar os resultados dos ensaios entre o telhado comum e telhado verde, e demonstrar se este último apresenta eficácia na redução e no retardo do escoamento superficiais em telhados, assim, podendo contribuir para a redução de enchentes.

#### 1.3.2. Objetivos Específicos

Para cumprir o objetivo geral proposto foram previstos os seguintes objetivos específicos:

- Elaborar um protótipo que simule um telhado comum em residências unifamiliar (inclinação e permeabilidade);
- Produzir um sistema de simulação de chuvas, transporte, coleta e medição destas;
- Elaborar um sistema de Telhado Verde sobre o protótipo do telhado comum;
- Realizar as medições das vazões dos ensaios, compará-los e apresentar seus resultados.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será apresentado a fundamentação sobre o tema que engloba este trabalho.

Este trabalho buscou o uso do telhado verde como uma aplicação de uma técnica de sustentabilidade. Este conceito, será definido a seguir.

### 2.1. SUSTENTABILIDADE

O Desenvolvimento Sustentável surgiu nas últimas décadas do século XX, para traduzir várias ideias e preocupações devido à gravidade dos problemas que causam riscos às condições de vida no planeta (MENDES, 2009).

O conceito de sustentabilidade tem sido utilizado, cada vez mais, para dar suporte a processos econômicos. Constata-se que as instituições, por vários motivos, que vão desde interesses de mercado até a sobrevivência do planeta, de forma geral e em particular da espécie humana, estão cada vez mais empregando o termo sustentabilidade na designação de suas ações. Portanto, pode-se afirmar que a sustentabilidade busca conciliar a questão ambiental com a questão econômica incorporando o princípio básico da continuidade, nada pode ser sustentável se não for contínuo (DE LIMA, 2006).

Desta forma, o significado de desenvolvimento sustentável é de um desenvolvimento viável no tempo, cuja condição essencial é a capacidade do sistema socioeconômico não perder a energia, e ainda, poder estar à disposição das gerações futuras. Neste sentido, as capacidades estão limitadas tanto pelo desenvolvimento tecnológico e institucional como pelos ecossistemas (DE LIMA, 2006).

Com a percepção dos abusos cometidos em nome do crescimento econômico, amplia-se a noção de desenvolvimento, indo além da acumulação de recursos materiais. Conduz-se à noção de manutenção dos ecossistemas da Terra e ao conceito de desenvolvimento sustentável, com sua multiplicidade de interpretações. Para tanto, faz-se necessário que o homem se reconheça como produto do meio, como parte integrante do mundo e do ambiente, dotado de

capacidade transformadora, mas que é afetado e depende do meio que o cerca (MENDES, 2009).

Governos, universidades, agências multilaterais e empresas de consultoria técnica introduziram considerações e propostas, em escala e extensão crescentes, que refletem a preocupação com o "esverdeamento" de projetos de desenvolvimento e a "democratização" dos processos de tomada de decisão. Algumas Organizações Não Governamentais (ONGs), de forma crítica à definição oficial, entendem sustentabilidade como o princípio estruturador de um processo de desenvolvimento centrado nas pessoas e que poderia se tornar o fator mobilizador e motivador nos esforços da sociedade para transformar as instituições sociais, os padrões de comportamento e os valores dominantes (RATTNER, 1999).

Neste contexto, o uso racional de recursos escassos vai exigir produtos e processos que estejam baseados na inovação, conservação e invenção de todos os tipos de produtos recicláveis e biodegradáveis. Novas indústrias já estão crescendo e se expandindo, seja pelo reflorestamento de grandes áreas degradadas, administração racional dos recursos hídricos ou restauração de prédios e distritos nas cidades (RATTNER, 1999).

Portanto, uma forma de sustentabilidade para a drenagem urbana é buscar aproximar as condições naturais da bacia.

## 2.2. DRENAGEM URBANA

Historicamente, a civilização possui uma profunda interação com os cursos d'água. Desde as primeiras aglomerações urbanas constata-se sua localização preferencialmente junto a estes mananciais, tendo em vista que a disponibilidade de água favorecia o seu suprimento para consumo e higiene das populações, efetuando ainda a evacuação dos dejetos (BAPTISTA & NASCIMENTO, 2001 *apud* MOURA, 2004).

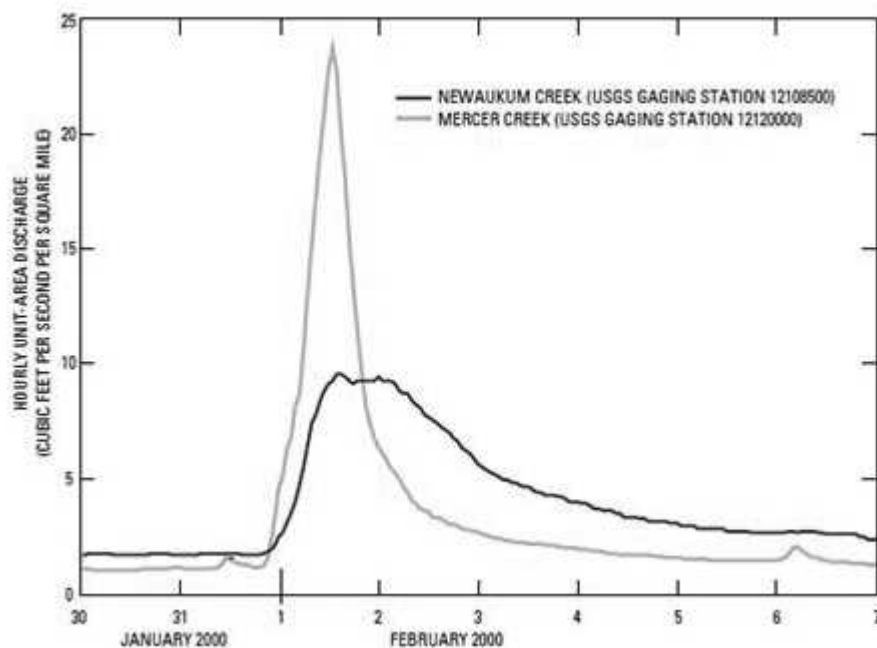
As cidades são normalmente instaladas próximas a cursos d'água, porém, as áreas mais próximas destes apresentam maiores riscos de inundação. Em face destes riscos o homem age sobre os cursos d'água de várias formas, desde modificando seus traçados até os canalizando ou cobrindo (MOURA, 2004).



De acordo com Almeida e Da Costa (2014), no Brasil, muitas cidades sofrem com problemas de alagamentos, inundação, cheia, consequentes de vários fatores. Destacam-se destes, a ocupação desordenada de áreas de escoamento natural das águas pluviais e a falta de um sistema de drenagem urbano que possa evitar que esses alagamentos ocorram. Tais fatores, estão diretamente ligados a ação do poder público na área de habitação e no saneamento básico.

Conforme Montes e Leite (2014), a falta de planejamento urbanos referentes principalmente à drenagem e o uso inadequado do solo, geram problemas de difícil solução e estruturas onerosas. Tais ocupações inadequadas do solo, aumentam a impermeabilização do mesmo, o que altera o ciclo hidrológico natural da bacia, diminuindo a infiltração da água no solo, a recarga do lençol freático e gera um aumento expressivo do escoamento superficial das águas pluviais nos sistemas de drenagem até os corpos hídricos.

As alterações ambientais causadas pela urbanização podem ser observadas na mudança da curva do hidrograma original do ciclo hidrológico para uma bacia natural. A United States Geological Survey (2003) comparou duas bacias similares próximas os efeitos no ciclo hidrológico de uma tempestade em um riacho, conforme a Figura 1.



**Figura 1: Vazões em Bacias Hidrográficas com características fisiográficas similares, mas com diferentes usos do solo (urbana e rural).**  
 Fonte: USGS (2003).

Mercer Creek (zona urbana) tem seu pico de vazão mais intenso e antecipado, quando comparado com Newaukum Creek (zona rural), que se assemelha ao ciclo natural. Assim, observa-se nas zonas urbanas o aumento da vazão máxima, a antecipação do tempo do pico do escoamento superficial, bem como do seu volume (DA COSTA, COSTA & POLETO, 2012).

Conforme a USGS (2003), tais picos de vazão resultam em um aumento de frequência e gravidade de inundações, além da intensificação dos processos erosivos com aumento da produção, transporte e deposição de sedimentos. Impactos como estes afetam diretamente a qualidade dos corpos d'água destas bacias hidrográficas.

De acordo com Montes e Leite (2014), todo este processo, quando não implantado e gerenciado de forma planejada e sustentável, acaba gerando problemas de enchentes, inundações, enxurradas e conseqüente contaminação dos rios, resultando em diversos impactos socioambientais como a alteração da qualidade das águas dos córregos provenientes da carga de poluentes, lançamento de resíduos sólidos juntamente com as águas pluviais, surgimento de erosões e escorregamento de encostas.

Assim, um adequado sistema de drenagem urbana proporcionará uma série de benefícios às cidades como: desenvolvimento do sistema viário, redução de gastos com manutenção das vias públicas, redução no gasto com doenças de vinculação hídrica, escoamento rápido das águas superficiais, reduzindo os problemas do trânsito e da mobilidade urbana por ocasião das precipitações, eliminação da presença de águas estagnadas e lamaçais, recuperação de áreas alagadas ou alagáveis, proporcionando sensação de segurança e conforto para a população (DE ALMEIDA & DA COSTA, 2014).

Portanto, faz-se necessário que a administração pública municipal adote medidas corretivas e preventivas para a minimização e controle dos impactos, de forma que venham a atender um novo conceito sobre projetos de drenagem urbana, que visam imitar o ciclo hidrológico natural, permitindo amortecer as vazões de cheias e uma maior infiltração de água no solo (MONTES & LEITE, 2014).

De acordo com Tucci & Genz (1995 *apud* Montes & Leite, 2014), o controle de enchentes urbanas é um processo permanente, que deve ser mantido pelas comunidades, visando à redução do custo social e econômico dos impactos. O controle não deve ser visto como uma ação isolada, seja no tempo ou no espaço, mas

como uma atividade em que a sociedade, como um todo, deve participar de forma contínua.

Na literatura, são descritos dispositivos alternativos para o controle de cheias urbanas, tais como o uso de pavimentos porosos, o armazenamento de água em telhados, a construção de pequenos tanques residenciais e poços subterrâneos, que produzem a redução distribuída do efeito da urbanização (TUCCI, 1995 *apud* MONTES & LEITE, 2014).

A concepção dos sistemas de drenagem provém então, da escolha, dentre os sistemas possíveis de serem implantados, do melhor sistema de drenagem para uma determinada área. A escolha do sistema a ser implantado deve ser realizada considerando-se os diversos aspectos intervenientes no meio, desde os aspectos técnicos até os ambientais, sanitários, sociais, econômicos, políticos, paisagísticos, bem como quaisquer outros que se mostrarem relevantes (MOURA, 2004).

Portanto, vê-se a importância da boa gerência do sistema de drenagem, adotando os conceitos sustentáveis de drenagem, pois a má gerência do sistema gera inúmeros danos ambientais e à população.

### 2.2.1. Inundações Urbanas

O ciclo hidrológico vem sendo prejudicado devido ao desenvolvimento urbano desordenado, que resultam no aumento do escoamento superficial de águas pluviais, impactos ao meio ambiente e na população em geral, principalmente nas áreas mais carentes por não possuírem infraestrutura suficiente de planejamento de suas residências, bem como de seus acessos e conseqüentemente as linhas naturais de drenagem (TUCCI, 2003 *apud* ARAÚJO, 2007).

Com a impermeabilização do solo através de telhados, ruas, calçadas e pátios, a água que infiltrava passa a escoar pelos condutos, aumentando o escoamento superficial. O volume que escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido pelas plantas com a urbanização e passa a escoar através de superfícies impermeáveis, condutos e canais, exigindo maior capacidade de escoamento e aumento das seções e declividade do conduto ou canal. O volume que deixa de infiltrar fica na superfície, aumentando o escoamento superficial. Com os condutos pluviais

aumenta a velocidade do escoamento superficial, reduzindo o tempo de deslocamento. As vazões máximas também aumentam, antecipando seus picos no tempo (TUCCI, 2005b).

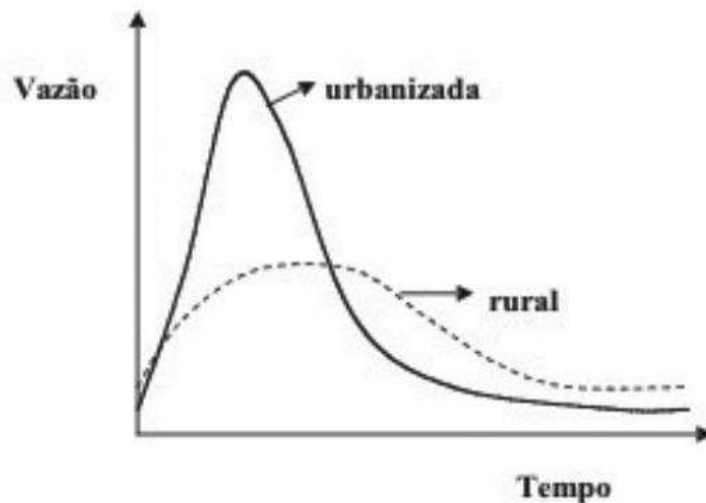
O escoamento superficial é intensificado, aumentando em velocidade e, a frequência e magnitude dos picos de cheia, levando ocasionalmente às enchentes. O aumento da população contribui para o crescimento da demanda dos recursos hídricos e ao mesmo tempo aumentam os volumes de efluentes e de resíduos sólidos (ARAÚJO, 2007).

Portanto, as enchentes aumentam a sua frequência e magnitude devido à impermeabilização do solo e à construção da rede de condutos pluviais. O desenvolvimento urbano pode também produzir obstruções ao escoamento, como aterros, pontes, drenagens inadequadas, obstruções ao escoamento junto a condutos e assoreamento (TUCCI, 2005b).

Conforme Tucci (2008), o escoamento pluvial pode produzir inundações e impactos nas áreas urbanas em razão de dois processos, que ocorrem isoladamente ou combinados:

- Inundações de áreas ribeirinhas: são inundações naturais que ocorrem no leito maior dos rios por causa da variabilidade temporal e espacial da precipitação e do escoamento na bacia hidrográfica;
- Inundações em razão da urbanização: são as inundações que ocorrem na drenagem urbana por causa do efeito da impermeabilização do solo, canalização do escoamento ou obstruções ao escoamento.

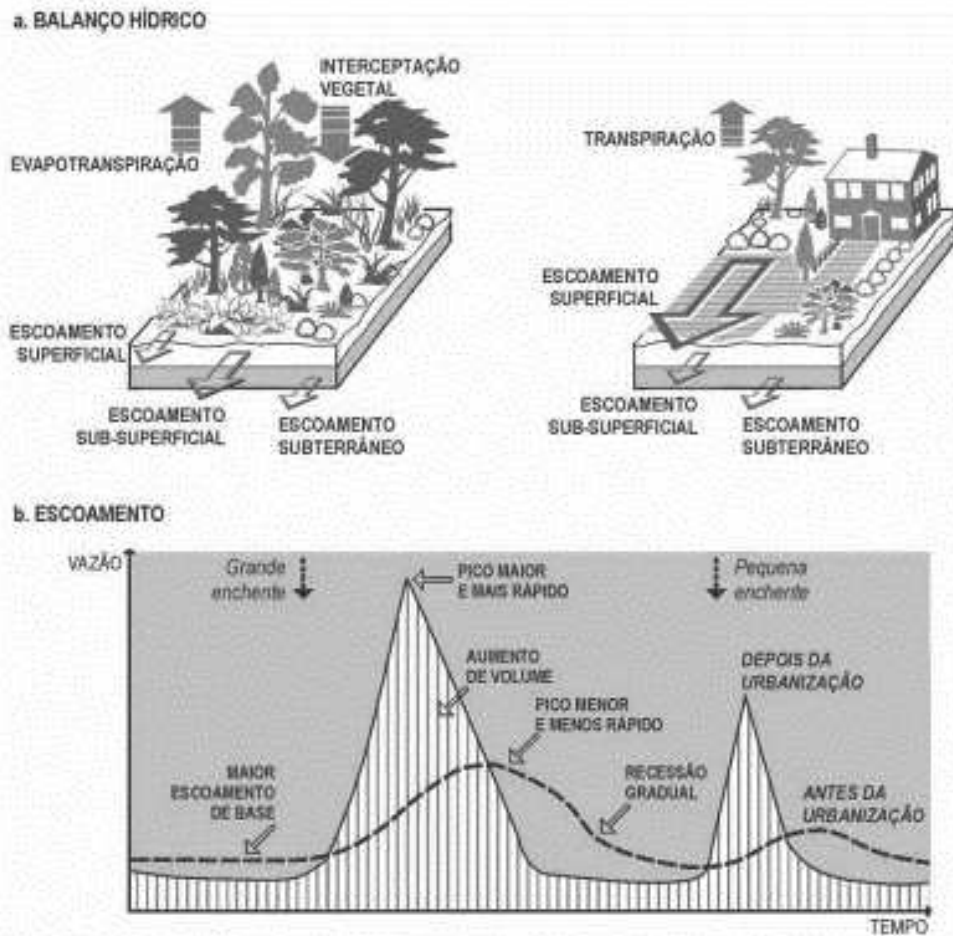
Segundo Tucci (2008), à medida que a cidade se urbaniza, em geral, ocorre o aumento das vazões máximas (Fig. 2) em várias vezes e da sua frequência em virtude do aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais e impermeabilização das superfícies.



**Figura 2: Hidrograma de bacia rural e depois de urbanizada.**  
 Fonte: Tucci (2008).

Conforme a Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (2002), SUDERHSA, o desenvolvimento urbano altera a cobertura vegetal provocando vários efeitos que alteram os componentes do ciclo hidrológico natural. Com a urbanização, a cobertura da bacia é alterada para pavimentos impermeáveis e são introduzidos condutos para escoamento pluvial, gerando as seguintes alterações no referido ciclo:

- Redução da infiltração no solo.
- O volume que deixa de infiltrar fica na superfície, aumentando o escoamento superficial. Além disso, como foram construídos condutos pluviais para o escoamento superficial, tornando-o mais rápido, ocorre redução do tempo de deslocamento. Desta forma as vazões máximas também aumentam, antecipando seus picos no tempo (Fig. 3).
- Com a redução da infiltração, o aquífero tende a rebaixar o nível do lençol freático por falta de alimentação (principalmente quando a área urbana é muito extensa), reduzindo o escoamento subterrâneo. As redes de abastecimento e de esgoto sanitário possuem vazamentos que podem alimentar o aquífero, tendo efeito inverso do mencionado.
- Devido à substituição da cobertura natural ocorre uma redução da evapotranspiração, já que a superfície urbana não retém água como a cobertura vegetal e não permite a evapotranspiração das folhagens e do solo.



**Figura 3: Características das alterações de uma área rural para urbana.**  
 Fonte: Adaptado de Schueler (1987 *apud* SUDERHSA, 2002).

Tais problemas de drenagem, como o rápido escoamento das águas pluviais mostradas na Fig. 3, também geram impactos ambientais, como o transporte de sedimentos ao longo da bacia.

### 2.2.2. Impactos Ambientais

Durante o desenvolvimento urbano, o aumento dos sedimentos produzidos pela bacia hidrográfica é significativo, devido às construções, limpezas de terreno para novos loteamentos, construção de ruas, rodovias e avenidas, entre outras causas. Essa produção de sedimentos tem consequências ambientais importantes para as áreas urbanas. Algumas delas são as seguintes: assoreamento da drenagem, com redução da capacidade de escoamento de condutos, rios e lagos urbanos; e

transporte de substância poluente agregada ao sedimento. Durante as enchentes, as substâncias existentes na água da lavagem das ruas podem agregar-se aos sedimentos (MONTES & LEITE, 2014).

Com esse desenvolvimento, portanto, vários elementos antrópicos são introduzidos na bacia hidrográfica que atuam sobre o ambiente, sendo algum destes (TUCCI, 2005b):

- Aumento da Temperatura: As superfícies impermeáveis absorvem parte da energia solar aumentando a temperatura ambiente, produzindo ilhas de calor na parte central dos centros urbanos, onde predomina o concreto e o asfalto. O asfalto, devido a sua cor, absorve mais energia do que as superfícies naturais e o concreto. À medida que a sua superfície envelhece e escurece, aumenta a absorção de radiação solar. O aumento da absorção de radiação solar por parte da superfície aumenta a emissão de radiação térmica de volta para o ambiente, gerando, calor;
- Aumento de Sedimentos e Material Sólido: Durante o desenvolvimento urbano, o aumento dos sedimentos produzidos pela bacia hidrográfica é significativo, devido às construções, limpeza de terrenos para novos loteamentos, construção de ruas, avenidas e rodovias entre outras causas. Isto tem como consequência a erosão das superfícies gerando fortes áreas de degradação; assoreamento das seções de drenagem, com redução da capacidade de escoamento dos condutos, rios e lagos; e o transporte de poluentes agregados ao sedimento, que contaminam as águas pluviais;
- Obstruções ao escoamento: obstruções ao escoamento como aterros e pontes, drenagens inadequadas e obstruções ao escoamento junto a condutos e assoreamento, obstruindo as detenções urbanas para o controle local do escoamento.

Logo, observa-se que o desenvolvimento urbano, quando alterada a permeabilidade da bacia, gera danos à mesma, alterando a temperatura e a sedimentação da bacia.

### 2.3. MEDIDAS DE CONTROLE DE INUNDAÇÕES

Conforme Tucci (2005b), as medidas de controle do escoamento podem ser classificadas de acordo com sua ação na bacia hidrográfica, em:

- Distribuída ou na fonte: é o tipo de controle que atua sobre o lote, praças e passeios;
- Na microdrenagem: é o controle que age sobre o hidrograma resultante de um ou mais loteamentos;
- Na macrodrenagem: é o controle sobre os principais riachos urbanos.

Tucci (2005b) cita também, que as medidas de controle podem ser organizadas, de acordo com a sua ação sobre o hidrograma em cada uma das partes das bacias mencionadas acima, em:

- Infiltração e percolação: este tipo de solução encaminha o escoamento para áreas de infiltração e percolação no solo, utilizando o armazenamento e o fluxo subterrâneo para retardar o escoamento superficial. Este tipo de solução busca recuperar as funções hidrológicas naturais da área. A infiltração não deve ser utilizada em áreas onde a contaminação da água pluvial é alta ou o lençol freático é muito alto;
- Armazenamento: através de reservatórios que podem ocupar espaços abertos ou fechados. O efeito do reservatório é o de reter parte do volume do escoamento superficial, reduzindo o seu pico e distribuindo a vazão no tempo;
- Aumento da eficiência do escoamento: através de condutos e canais, drenando áreas inundadas. Esse tipo de solução tende a transferir enchentes de uma área para outra, mas pode ser benéfico quando utilizado em conjunto com reservatórios de detenção;
- Diques e estações de bombeamento: solução tradicional de controle localizado de enchentes em áreas urbanas que não possuam espaço para amortecimento da inundação.



De acordo com Montes e Leite (2014), as principais medidas de controle são o aumento de áreas de infiltração e percolação; e armazenamento temporário em reservatórios residenciais. Nas microdrenagem são utilizados como medidas de controle os reservatórios de retenção, que tem a função de controlar a vazão máxima e volume de água, além de controlar os materiais sólidos. Já na macrodrenagem, são medidas de controle estruturais, a canalização, reservatórios de amortecimento e diques. Além das medidas não estruturais, como zoneamento de áreas de inundações (regulamentação de uso do solo), ocupação com áreas de lazer, educação ambiental dentre outras.

### 2.3.1. Infiltração e percolação

Conforme Tucci (2005b), os dispositivos hidráulicos, como o sistema de drenagem, apresentam custos diretamente relacionados com as vazões máximas, aumentadas pela impermeabilização. Para reduzir esses custos e minimizar os impactos a jusante, uma das ações é a de permitir maior infiltração da precipitação, criando condição, a mais próxima possível, às condições naturais.

Segundo Urbonas & Stahre (1993 *apud* Tucci, 2005b) os dispositivos que apresentam maior infiltração e percolação, apresentam como vantagens e desvantagens:

- Vantagens: aumento da recarga; redução de ocupação em áreas com lençol freático baixo; preservação da vegetação natural; redução da poluição transportada para os rios; redução das vazões máximas à jusante; redução do tamanho dos condutos;
- Desvantagens: os solos de algumas áreas podem ficar impermeáveis com o tempo; falta de manutenção; aumento do nível do lençol freático, atingindo construções em subsolo.

Portanto, é importante para a redução dos custos dos sistemas de drenagem e manutenção do lençol freático, a boa drenagem das águas pluviais, buscando se aproximar das condições naturais da bacia.

### 2.3.2. Armazenamento

O armazenamento pode ser efetuado em telhados, em pequenos reservatórios residenciais, em estacionamentos em áreas esportivas, entre outros (TUCCI, 2005b):

- Telhados: o armazenamento em telhados apresenta algumas dificuldades, que são a manutenção e o reforço das estruturas. Devido às características de clima brasileiro e do tipo de material usualmente utilizado nas coberturas, esse tipo de controle dificilmente seria aplicável à nossa realidade.
- Lotes urbanos: o armazenamento no lote pode ser utilizado para amortecer o escoamento, em conjunto com outros usos, como abastecimento de água, irrigação de grama e lavagem de superfícies ou de automóveis.

Existem, portanto, inúmeras formas de armazenar os grandes volumes de águas de drenagem, podendo, assim melhor distribuindo estas ao sistema conforme as necessidades deste.

### 2.4. TELHADO VERDE

Os registros históricos mostram que o telhado verde é uma técnica construtiva antiga primeiramente usada pelos zigurates da antiga Mesopotâmia, atual sul do Iraque e na Babilônia, devido ao desempenho térmico proporcionado (SILVA, 2011).

Os Jardins Suspensos da Babilônia estavam localizados no lado leste do Eufrates, num antigo bairro da cidade, entre as margens do rio e os palácios reais. São uma das sete maravilhas do mundo e a menos conhecida já que não foi encontrado algum vestígio do monumento nos sítios arqueológicos, tendo como única “suspeita” um poço fora dos 15 padrões que se imagina ter sido usado para bombear água (DISCOVERY CHANNEL, 2009 *apud* SILVA, 2011). Posteriormente, os telhados verdes foram amplamente difundidos, no Império Romano onde árvores eram cultivadas na cobertura de edifícios (SILVA, 2011).

Nos anos 1950, a Alemanha foi pioneira em pesquisas científicas sobre o tema que tinha como objetivo a conservação das águas e energia através desse sistema construtivo. Nos anos 80, houve aumento nas construções de 15 a 20% a.a., totalizando dez milhões de metros quadrados de telhados verdes na Alemanha em 1996; crescimento possível por leis de subsídio municipais, estaduais e federais (FERREIRA & MORUZZI, 2014).

Conforme Silva (2011), com o crescimento da construção civil e a diminuição das áreas verdes nas grandes cidades, tem como consequência o aumento da impermeabilização na superfície do solo. Como forma de suavizar as paisagens dos grandes centros urbanos, o telhado verde se torna uma solução eficiente para o aumento das áreas verdes em locais que anteriormente não seria possível. Assim, o telhado verde traz contribuições significativas às edificações e à sociedade.

Os benefícios decorrentes da adoção de telhados verdes em áreas urbanas vão dos aspectos de conforto térmico e microclima ao controle do escoamento de águas superficiais. A tabela 1 apresenta comparação entre telhado verde e telhados convencionais relacionando diferentes parâmetros climáticos, hidrológicos, financeiros, entre outros, a partir da experiência da cidade de Portland - EUA (FERREIRA & MORUZZI, 2014).

**Tabela 1: Comparação entre características ambientais do telhado verde e convencional baseadas na experiência de Portland - EUA. Extraído de Liptan e Strecker (SD).**

<b>Assunto</b>	<b>Telhado Verde</b>	<b>Telhado Convencional</b>
Água de Chuva		
Retenção de Volume	10-35% durante a época chuvosa, 65-100% durante a época seca	Nenhuma
Mitigação da Vazão de Pico	Redução dos picos de escoamento de chuvas intensas	Nenhuma
Mitigação da Temperatura	Todas as Chuvas	Nenhuma
Melhoria da Qualidade da Água	Retém a deposição atmosférica e retarda a degradação dos materiais que compõem o telhado, menores volumes menor carreamento de poluentes	Não
Qualidade do Ar	Filtra o ar, previne o aumento da temperatura, armazena carbono	Nenhuma
Conservação de Energia	Isolamento das construções, redução dos impactos das Ilhas de Calor Urbanas	Nenhuma
Vegetação	Permite evapotranspiração sazonal, promove a fotossíntese, o oxigênio, o balanço carbono hídrico	Nenhuma
Espaço Verde	Realoca espaços verdes perdidos com as edificações, no entanto não equivalente a uma floresta	Nenhuma
Bônus no Zoneamento de Área de Piso	3 ft <sup>2</sup> (0,3 m <sup>2</sup> ) de coeficiente de área de pavimento adicional para cada ft <sup>2</sup> (0,09 m <sup>2</sup> ) de Telhado Ecológico quando a construção cobrir mais de 60%	Nenhuma
Redução das Taxas de Drenagem Urbanas	Pode chegar a 45%	Nenhuma
Aprovado como medida de Gestão de Água de Chuva	Para todas as necessidades atuais das cidades	Não
Habitat	Para insetos e pássaros	Nenhuma
Habitabilidade	Amortece ruídos, elimina luzes ofuscantes, alternativa estética, oferece recreação passiva	Nenhuma
Custos	Altamente variável entre 54-130 US\$/m <sup>2</sup> para novas construções, e 75-215 US\$/m <sup>2</sup> para reforma	Altamente variável entre 22-107 US\$/m <sup>2</sup> para novas construções, e 43-161 US\$/m <sup>2</sup> para reforma
Custos Compensáveis	Redução dos equipamentos de água de chuva, economia de energia, aumento do valor do aluguel e da propriedade, redução da necessidade do uso de materiais isolantes, redução do volume de esgoto, criação de indústrias e empregos	Nenhum
Durabilidade	Membrana impermeável protegida da ação da temperatura e da exposição solar dura mais de 36 anos	Pouca proteção, exposição aos elementos, dura menos de 20 anos

Fonte: Ferreira & Moruzzi (2014).

Através da Tabela 1 é notório as inúmeras vantagens do telhado verde com relação ao telhado convencional, tanto nos fatores ambientais (escoamento, temperatura e qualidade do ar) como no custo a longo prazo (economia de energia e durabilidade).

### 2.4.1. Estrutura de Composição do Telhado Verde

Para amenizar os efeitos que a drenagem convencional traz para o meio ambiente, o telhado verde pode ser uma solução eficiente, já que pode ser aplicada em telhados e lajes tendo como pré-requisitos a impermeabilização da superfície, drenagem dimensionada, inclinação mínima de 2% e máxima de 35% (até 75% com travamento e barreiras) e estrutura que suporte a sobrecarga (CATÁLOGO REVESTIMENTOS VIVOS, 2011 *apud* SILVA, 2011).

Tomaz (2008, *apud* Silva, 2011) acrescenta:

“Geralmente são aplicados em telhados praticamente planos com inclinação aproximadamente de 5° para permitir o escoamento não muito rápido da água. Para telhados acima de 20° deverão ser tomadas outras providências para deter o fluxo de água como barreiras ou outras estruturas”.

O telhado é composto por 5 camadas, conforme a mostra a figura 4 (JOBIM, 2013):

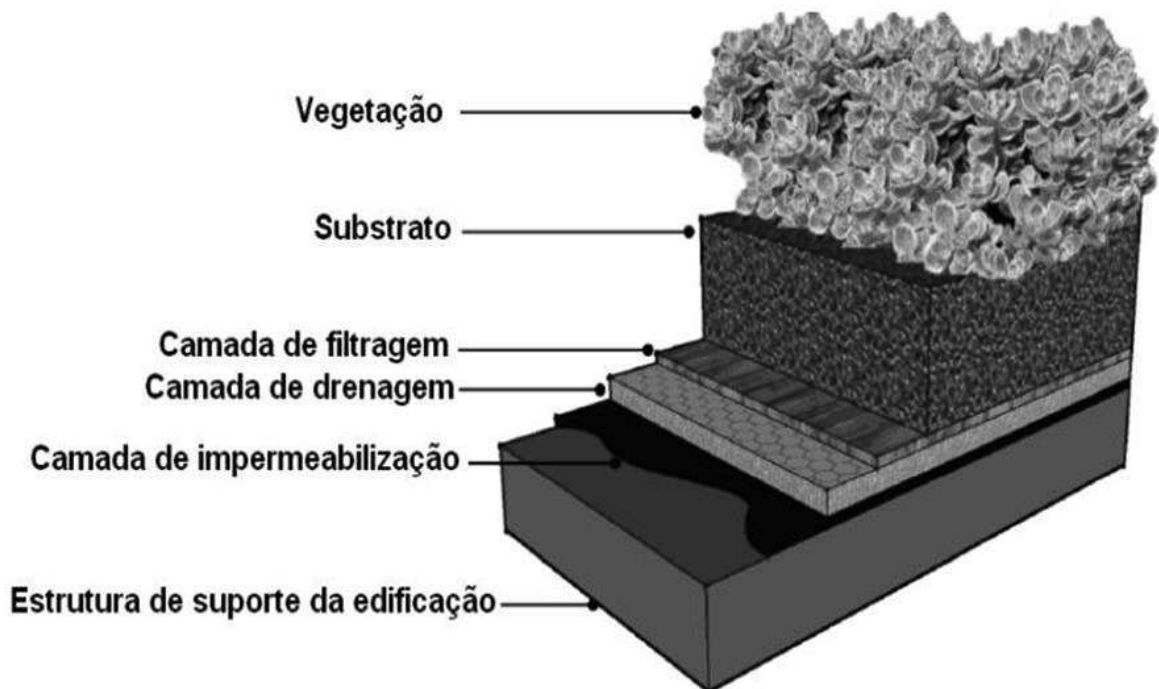


Figura 4: Camadas de um telhado verde básico.  
Fonte: Adaptado de Martin (2008 *apud* JOBIM, 2013).

### Vegetação:

De acordo com Jobim (2013), a vegetação é a camada superficial do telhado verde, por ser a camada mais visível, está ligada à estética do telhado.

No entanto, a escolha da vegetação depende de fatores como incidência de radiação solar, índices pluviométricos, temperatura do local, ventos dominantes, inclinação do telhado (PEREIRA, 2007 *apud* JOBIM, 2013), substrato e previsão de manutenção que serão realizadas (ARAÚJO, 2007; IDHEA, 2010 *apud* JOBIM, 2013).

Existe uma grande diversidade de plantas de pequeno porte que podem ser aplicadas em telhados verdes do tipo extensivo. Para a região sul do Brasil as espécies mais indicadas são: Rosinha do Jardim (*Aptenia cordifolia*), Grama-amedoim (*Arachis repens*), Rabo de Gato (*Acalypha reptans*), Kalanchôe (*Kalanchöe blossfeldiana*), Echeveria (*Echeveria pulvinata*), Gravatinha (*Chlorophytum comosum*), Cebolinha-de-jardim (*Bulbine frutescens*), Capim-chorão (*Eragrotis curvula*), Falso-íris (*Neomarica caerulea*), Gramabatatais (*Paspalum notatum*), Boldo (*Plectranthus barbatus*), Ruélia-azul (*Ruellia coerulea*), Vedélia (*Sphagneti colatrilobata*), Bálsamo (*Sedum dendroideum*), Sedum-dourado (*Sedum Acre L.*) e Estrela-gorda (*Sedum multiceps*) (ECOTELHADO, 2010 *apud* JOBIM, 2013).

### Substrato:

A função do substrato é propiciar um meio de fixação e desenvolvimento das plantas, fornecendo água e os nutrientes necessários ao seu crescimento e desenvolvimento. Deve possuir boa capacidade no controle quantitativo da água pluvial, capacidade de drenagem eficiente, boa composição mineral de nutrientes, não sendo recomendado o uso de solo argiloso, pois absorve muita água (Araújo 2007 *apud* Jobim, 2013), o que pode dificultar a drenagem no sistema (JOBIM, 2013).

Se permanecer úmido por muito tempo pode prejudicar o crescimento das plantas e o seu enraizamento, deixando-as em condições anaeróbias (Lohmann 2008 *apud* Jobim, 2013). A espessura e composição do substrato dependerão do tipo de telhado verde adotado, bem como dos tipos de vegetação, podendo ser utilizado areia, cascalho, terra e mesmo materiais na sua composição (perlita, vermiculita e argila expandida). O substrato, por ser um composto orgânico, deverá ter uma alta

durabilidade e fertilidade, proporcionando o enraizamento e o desenvolvimento da vegetação (JOBIM, 2013).

#### Filtragem:

A camada de filtragem é responsável por filtrar a água, e ao mesmo tempo separar a camada de drenagem do substrato, evitando que ele migre para o sistema de drenagem juntamente com os nutrientes, causando a obstrução do sistema. O material mais comumente utilizado por especialistas da área é uma manta fina e leve, 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 (MACCAFERRI, 2010 *apud* JOBIM, 2013).

#### Drenagem:

A camada de drenagem tem como função propiciar a drenagem da água, evitando seu excesso no sistema e, conseqüentemente, armazenar uma determinada quantidade que poderá ser utilizada pela vegetação durante o período de estiagem. Pode ser composta de materiais granulares (argila expandida ou vermiculita), tecidos porosos, módulos de plástico ou poliestireno como bandejas ou caixas vazadas que permitam a circulação da água até seu destino final, os drenos (JOBIM, 2013).

#### Impermeabilização:

A camada de impermeabilização é responsável pela efetividade e durabilidade do telhado verde (Lohmann, 2008 *apud* Jobim, 2013), sendo necessária a análise da estrutura que ela irá sobrepor para que a escolha do tipo de material seja adequada a tal estrutura (Morgado, 2010 *apud* Jobim, 2013). Existe uma grande variedade quanto aos materiais potencialmente aplicáveis como alguns tipos de mantas ou membranas (asfálticas, termoplásticas, elastoméricas, betume polímeros) ou até mesmo resinas ou bases, todos responsáveis por evitar o contato da água e da umidade com a estrutura base do telhado verde, conseqüentemente evitando infiltrações (JOBIM, 2013).

Ainda que existam particularidades que variam de cobertura para cobertura, se a impermeabilização foi mal executada podem-se gerar patologias na edificação. Como explica a Ecologic construções (PINTO *et al*, 2014):

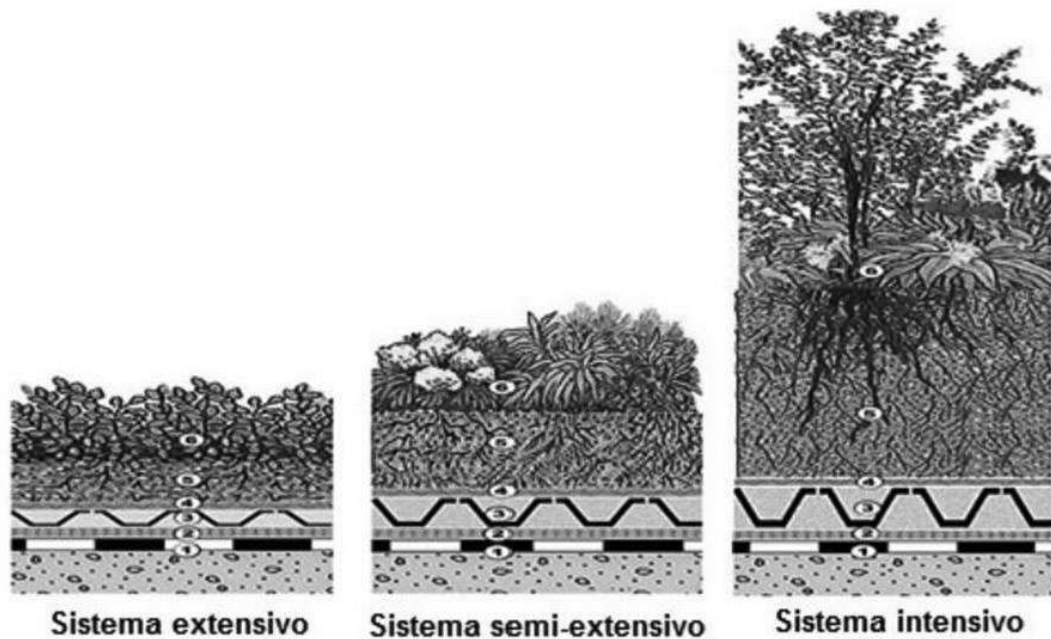
“Um dos maiores problemas com esse tipo de sistema é a questão da impermeabilização, que caso seja mal executada acarretará em futuras patologias na edificação. Essas patologias podem ser ocasionadas tanto por defeitos no momento da execução como pelo crescimento das raízes utilizadas nas plantas da cobertura. Porém o risco pode ser evitado utilizando camadas impermeabilizantes anti-raízes e contratando profissionais capacitados”. (ECOLOGIC CONSTRUÇÕES, 2013, p. 63).

Exposto os componentes do telhado verde e sua funcionalidade, faz-se necessário, para a sua execução, a escolha do sistema que será adotado, apresentados a seguir.

#### 2.4.2. Tipos de Telhado Verde

Essa tipologia depende do tipo de laje onde deverá ser instalado o sistema construtivo e o objetivo que quer ser alcançado. Dessa forma, após avaliação estrutural, o telhado poderá ser extensivos, intensivos ou semi-intensivos (Fig. 5) (SILVA, 2011).





**Figura 5: Ilustração esquemática dos diferentes tipos de telhados verde.**  
**Fonte: Green Roof Service LLC (2010 apud Silva, 2011).**

Para a International Green Roof Association - IGRA (2011 apud Silva, 2011), os critérios descritos na tabela 2, podem ser utilizados para caracterizar três formas diferentes de Telhados Verdes.

**Tabela 2: Características dos tipos de telhado verde.**

<b>Itens</b>	<b>Telhado Verde extensivo</b>	<b>Telhado Verde semi-intensivo</b>	<b>Telhado Verde intensivo</b>
Manutenção	Baixo	Periodicamente	Alto
Irrigação	Não	Periodicamente	Regularmente
Plantas	Sedum, ervas e gramíneas	Gramas, ervas e arbustos	Gramado, arbustos e árvores
Altura do sistema	60 - 200 mm	120 - 250 mm	150-400 mm
Peso	60-150 kg / m <sup>2</sup>	120-200 kg / m <sup>2</sup>	180-500 kg / m <sup>2</sup>
Custos	Baixo	Meio	Alto
Uso	Camada de proteção ecológica	Projetado para ser um telhado verde	Parque igual a um jardim

**Fonte: site traduzido [www.igra-world.com](http://www.igra-world.com) (2011 apud SILVA, 2011).**

### Extensivo:

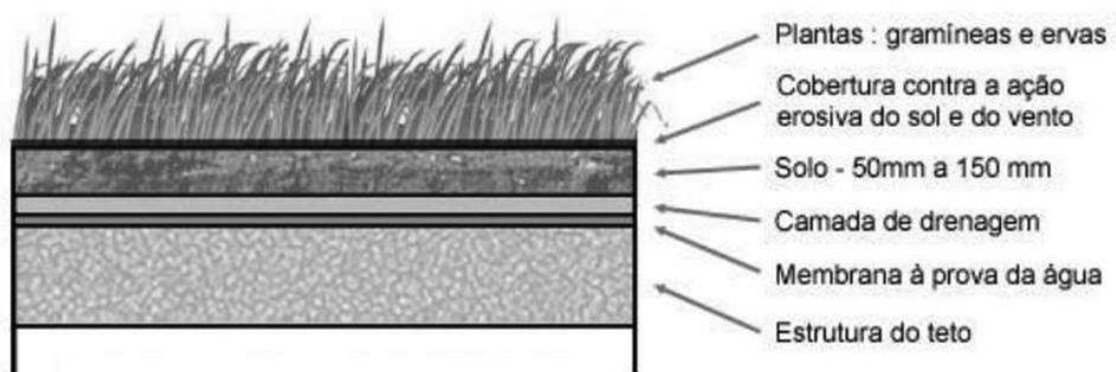
De acordo com Jobim (2013), o sistema extensivo pode ser construído em praticamente todos os tipos de coberturas (telhas, cerâmicas, fibrocimento, coberturas de aço e lajes), sendo um sistema mais leve e mais adequado para grandes áreas e telhados com declive de até 20°.

Coberturas acima de 20° é necessário à utilização de barreiras ou outras estruturas que permitam dar capacidade de suporte para que o substrato e a vegetação não deslizem ou excedam (TOMAZ, 2005 *apud* JOBIM, 2013).

É um sistema relativamente mais barato, constitui-se um bom isolante térmico, porém apresentam algumas desvantagens, pois possuem baixo apelo estético devido haver limitação na escolha das plantas e ao baixo crescimento das espécies vegetais, não podendo ser utilizados para fins recreativos e de lazer (JOBIM, 2013).

Caracteriza-se por ter vegetação de solo médio com filtro geotêxtil sintético de drenagem e retenção de umidade, sistema de isolamento, barreira de proteção da camada de superfície com membrana impermeável. Por esses motivos tem um impacto menor de sobrecarga sobre os elementos da cobertura, dos pilares e da fundação (VECCHIA, 2005 *apud* SILVA, 2011).

A Figura 6 a seguir demonstra o telhado verde extensivo (SILVA, 2011).



**Figura 6: Corte esquemático de telhado verde extensivo.**  
 Fonte: Auckland (1998 *apud* TOMAZ, 2005 *apud* SILVA, 2011).

### Intensivo:

O sistema intensivo necessita de um estudo prévio devido suas características físicas (JOBIM, 2013). Conforme a Associação Internacional Telhado Verde (2011), os telhados verdes intensivos por comportarem plantas de nível médio a grande, precisam de uma estrutura que comportem maior capacidade de carga, pois precisam de uma camada de solo que varia entre 15 a 40 cm e a carga prevista varia entre 180 Kg/m<sup>2</sup> a 500 Kg/m<sup>2</sup> (SILVA, 2011).

Os telhados com sistemas intensivos possuem um custo mais elevado, e necessitam de cuidados maiores no dia-dia, inclusive com a manutenção e irrigação, além da necessidade de maiores cuidados no processo de instalação dos sistemas de drenagem e de impermeabilização. Não são limitados em termos de variedades de plantas, e requerem os mesmos tratamentos paisagísticos que os jardins convencionais. Essas coberturas podem oferecer espaços verdes acessíveis ao usuário, como se fossem parques, e costumam incluir plantas maiores e árvores, são mais atrativos pela altura da vegetação e por possuírem uma maior diversidade de plantas (JOBIM, 2013).

Neste tipo de vegetação, o telhado verde também protege a cobertura da radiação ultravioleta aumentando sua vida útil (SILVA, 2011).

### Semi-intensivo:

Este tipo de telhado reúne as características dos telhados verdes intensivos e extensivos (SILVA, 2011). Caracterizados por altura de substrato de 12 a 25 cm, peso de 120 a 200 kg por m<sup>2</sup> podendo abrigar uma maior diversidade de plantas (se comparado aos extensivos), como alguns tipos de arbustos, plantas lenhosas e ervas, demandando de manutenções periódicas (IGRA, 2010 *apud* JOBIM, 2013), além de possibilitar área de lazer (JOBIM, 2013).

#### 2.4.3. Etapas Construtivas

As etapas construtivas são divididas conforme Araújo (2007) em:

- Primeira etapa: São construídas as muretas de contenção, acima da laje paredes de alvenarias rebocadas com argamassa e com os drenos já instalados.
- Segunda etapa: Após a construção das muretas é aplicado na laje e nas muretas o material impermeabilizante, sendo o número de vezes especificado pelo fabricante.
- Terceira etapa: É colocado o material que irá compor a camada drenante, sendo a espessura dependendo do porte das plantas.
- Quarta etapa: É colocado o material da camada filtrante, no caso mais indicado é uma manta geotêxtil.
- Quinta etapa: É introduzida a camada de solo com a espessura relativa ao porte das plantas, com os nutrientes necessários para o estabelecimento das plantas no telhado.
- Sexta etapa: Enfim são introduzidas as mudas ou plantas que irão compor o futuro telhado verde.

#### 2.4.4. Retardo da Água da Chuva

Durante e após fortes chuvas, os materiais de planta, substrato e a camada de drenagem projetada em um telhado verde podem absorver quantidades significativas de precipitação e escoamento de águas pluviais (CANTOR, 2008 *apud* BALDESSAR, 2012).

Köhler, Schimidt e Sickermann (2001 *apud* Ferreira & Moruzzi, 2014) afirmam que cerca de 75% da precipitação anual pode ser armazenada no telhado verde e o volume não consumido pelo substrato e pela vegetação pode ser utilizado como alternativa para substituir a água na descarga de vasos sanitários, em máquinas de lavar roupa ou na rega de jardins.

Com relação aos volumes pelos telhados verdes, vale lembrar que os volumes de água de chuva necessário à manutenção do telhado verde não podem ser comparados àqueles descartados pelos extravasores de sistema que empregam telhados convencionais. Neste último caso, a água descartada foi efetivamente

perdida, pois foram lançadas no sistema de drenagem urbana (FERREIRA & MORUZZI, 2014).

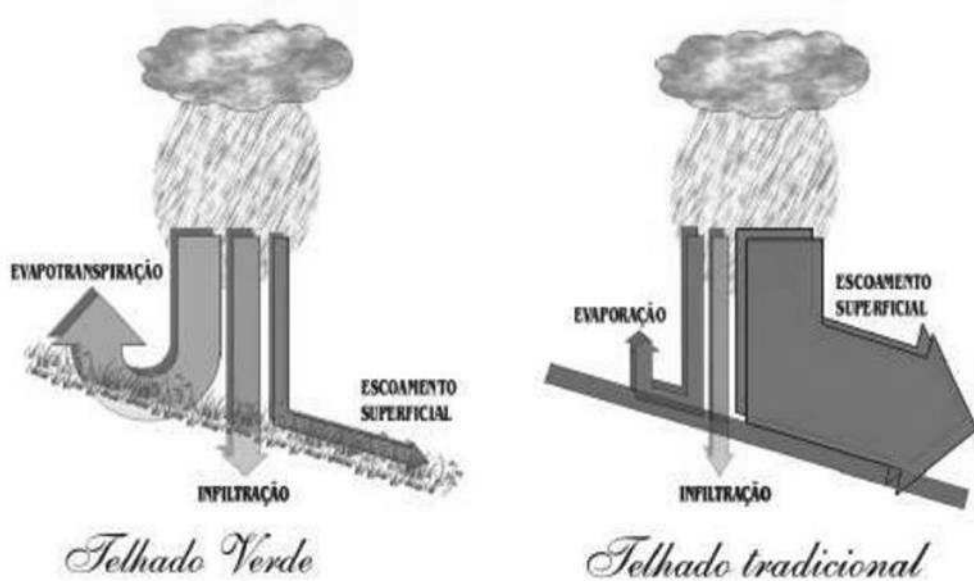
A capacidade de retenção de água do telhado verde através do balanço hídrico composto pela evapotranspiração, precipitação atmosférica, escoamento superficial, infiltração e escoamento subterrâneo pelo leito drenante e delimitado pela superfície da laje. O autor mostrou que, considerando o substrato insaturado, em uma simulação de precipitação de 35,41 mm a cobertura verde pode retardar o escoamento em até 13,91 mm, mostrando-se eficaz para a diminuição do escoamento superficial do pico de vazão (CUNHA 2004 *apud* FERREIRA & MORUZZI, 2014).

Moran, Hunt e Jennings (2004 *apud* Ferreira & Moruzzi, 2014) concluíram que o telhado verde é capaz de exercer as funções de retenção de água da chuva e redução do pico de vazão. No período analisado, o telhado verde reteve os primeiros 15 mm de precipitação e em média, foi capaz de reter 63% da precipitação. A redução do pico de vazão variou entre 78% e 87%.

#### 2.4.5. Redução do Escoamento Superficial

Conforme demonstrado, a mudança do tipo de superfície e da sua infiltração altera-se o volume escoado.

A Figura 7 demonstra claramente a diferença que causa o escoamento superficial (ARAÚJO, 2007).



**Figura 7: Comparação de escoamento de um telhado verde com um telhado comum.**  
 Fonte: Laar (2002 *apud* ARAÚJO, 2007).

Robertson *et al.* (2005 *apud* Ferreira & Moruzzi, 2014) estimou que a redução do escoamento superficial varia entre 40% e 80%, em situações extremas de chuva e em condições normais, respectivamente. Teemusk e Mander (2007 *apud* Ferreira & Moruzzi, 2014) investigaram valores que variam entre 70-90% de retenção de águas pluviais no verão, e entre 25-40% no inverno, fatores relacionados diretamente com a taxa de evapotranspiração.

Acrescenta-se a esses dados os obtidos por Köhler *et al.* (2001 *apud* Ferreira & Moruzzi, 2014) no qual é mostrada a diferença do volume retido nos telhados verdes de climas temperados (Berlim, Alemanha) e de climas tropicais (Rio de Janeiro, Brasil). Enquanto que em Berlim a porcentagem de água retida varia de 50-70% da precipitação anual total, no Rio de Janeiro essa porcentagem é de 65% devido principalmente à alta taxa de evapotranspiração (FERREIRA & MORUZZI, 2014).

Mentes (2005 *apud* Ferreira & Moruzzi, 2014) citou a profundidade do substrato como outro fator determinante da capacidade de retenção de águas pluviais pelo telhado verde. O autor explicou que em períodos quentes, 1 cm de substrato confere 2,5 mm a menos de escoamento fluente. Em estudos comparativos, o autor demonstrou que o escoamento é inversamente proporcional à espessura do substrato. Espessuras menores que 50 mm, entre 50 mm e 150mm, e maiores que 150mm apresentam escoamento superficial de 38%, 30% e 20%, respectivamente (FERREIRA & MORUZZI, 2014).

MacMillan (2004 *apud* Ferreira & Moruzzi, 2014) acrescenta concluindo que a capacidade de retenção de água da chuva pelo telhado verde é diretamente afetada pela saturação do substrato, que varia de acordo com o tipo de composto e com as condições climáticas do local.

Cantor (2008 *apud* Baldessar 2012) afirma que mesmo que a quantidade de água retida por um telhado verde seja mensurável, o impacto na bacia de um sistema de drenagem de águas pluviais seria o combinado de uma série de telhados verdes para conseguir um efeito significativo. Este impacto cumulativo está sendo modelado em uma série de cidades, incluindo Winnipeg (Canadá), Toronto (Canadá) e Washington DC (EUA).

Além disso, a retenção de água no telhado verde deve ser considerada como um volume necessário à manutenção do telhado verde e não como perda de água, uma vez que esta água não é lançada no sistema de drenagem urbana (FERREIRA & MORUZZI, 2014).

Potencialmente, os sistemas de captação de água de chuva podem ser dimensionados de tamanho menor, eliminando em muitas cidades a necessidade da construção de grandes reservatórios, subterrâneos ou não, para armazenar os excessos de água que ocorrem em dias de grande pluviosidade (BALDESSAR 2012).

#### 2.4.6. Qualidade da Água da Chuva Potencialmente Armazenável

Dois aspectos merecem ser citados: o primeiro é que a água da chuva pode ser recolhida em cisternas a partir de telhados e, especificamente em telhados verdes, a água em excesso apresenta redução de agentes poluidores pela ação das vegetações e substratos que funcionam como filtros. O segundo aspecto a ser observado é que, se a água for despejada no sistema de captação de águas pluviais e direcionada aos córregos e rios, estes podem manter-se protegidos pela qualidade da água que recebem, sendo seu volume pouco, não agredindo as margens e nem transportando materiais indesejáveis (BALDESSAR 2012).

Apesar de o telhado verde poder atuar como biofiltro da água de chuva (TOMAZ, 2005 *Apud*. FERREIRA & MORUZZI, 2014), Köhler & Schimidt (2003 *apud* Ferreira & Moruzzi, 2014) alertam que o fato de que a camada verde pode filtrar

poluentes e partículas suspensas no ar ou dissolvidas na água de chuva, ou mesmo carrear os poluentes presentes no substrato, comprometendo a qualidade da água armazenada.

Teemusk e Mander (2007 *apud* Ferreira & Moruzzi, 2014) explicaram que os poluentes presentes na água de chuva são acumulados na camada de substrato e liberados quando há a ocorrência de uma chuva intensa. Enquanto as amostras da água de chuva escoaram pelo telhado verde apresentaram substâncias tais como: sulfatos, cálcio, magnésios e sais, com concentrações elevadas, devido à presença dessas substâncias no substrato. Ainda segundo os autores, a concentração de algumas substâncias químicas depende da taxa de escoamento de água no substrato ( $\text{mm}/\text{m}^2$ ).

Portanto, o telhado verde a pesar de agir como um biofiltro, este pode comprometer a qualidade da água, caso busque-se utilizá-la para fins potáveis, é importante averiguar a sua qualidade.

#### 2.4.7. Melhoramento Térmico e Acústico

Os telhados verdes favorecem o desempenho térmico dos edifícios, interno e externo, proporcionando um maior conforto ao usuário, e também ao entorno dos telhados verdes, pois essas áreas tendem a ficarem mais úmidas devido à presença de plantas no local, proporcionando uma maior área com cobertura vegetal, melhorando assim o clima local e a qualidade do ar (ARAÚJO, 2007).

As plantas, juntamente com toda a estrutura do telhado verde, têm a capacidade de reduzir as variações térmicas de edificações, possibilitando a redução dos custos de energia elétrica com condicionadores de ar, evitar que a ação dos agentes climáticos danifique a estrutura da cobertura, filtrar o ar, regular o escoamento da água e a umidade relativa do ar, reduzir a propagação de ruídos além de proporcionar espaços verdes em centros urbanos (JOBIM, 2013).

O impacto da radiação solar em dias de verão, as perdas de calor durante a noite e as chuvas afetam as coberturas mais do que qualquer outra parte da edificação, por isso sofrem grandes impactos de variações de temperaturas (ARAÚJO, 2007). Segundo Velazquez (2002 *apud* Araújo, 2007), o desempenho



térmico de uma cobertura com telhado verde e uma tradicional pode ser comparado com as medições do fluxo de energia nos dois sistemas de cobertura, considerando a temperatura do ar, temperatura de superfície do telhado, velocidade e sentido do vento e a umidade relativa do ar.

É notório, portanto, as vantagens do telhado verde no aspecto térmico e acústico dos ambientes que estão sob este sistema.

#### 2.4.8. Vantagens e Desvantagens

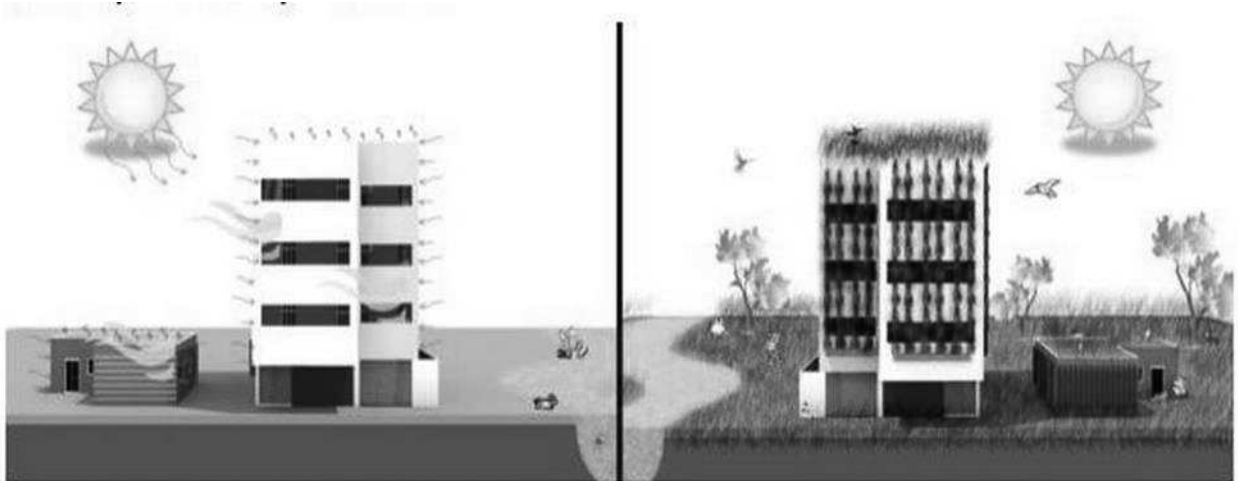
O telhado verde, apresenta suas vantagens e desvantagens, e estas serão apresentadas a seguir.

##### Vantagens:

Nos ambientes urbanos, promove o reequilíbrio ambiental, trazendo os benefícios da vegetação para a saúde pública e a biodiversidade, quando com plantas nativas do local. Destaca-se a seguir, algumas vantagens (PINTO *et al.*, 2014):

- A poluição diminui muito, ajudando a melhorar a qualidade do ar;
- Pela vegetação é absorvido as substâncias tóxicas e com isso se libera oxigênio;
- Nas grandes cidades se combate as ilhas de calor; (Figura 8);
- Serve como isolante térmico. Protege o ambiente nas temperaturas elevadas e mantém a temperatura interior no inverno;
- Ótimo isolante acústico, absorvendo e isolando ruídos;
- Retém água da chuva e sua vegetação drena toda a água não necessitando o escoamento e sistemas de esgotos;
- Inibe as enchentes pois os excessos de água não vão para a rua;
- Grande redução de consumo de energia, pois devido a redução da temperatura diminui-se a necessidade de refrigeração;
- Atrai pássaros, borboletas entre outros insetos, criando uma biodiversidade;

- Grande redução do impacto de dióxido de carbono e poluição de nitrogênio, neutralizando o efeito da chuva ácida;
- O impacto sobre cursos d'água são reduzidos devido à redução pluvial;
- Torna o local mais elegante e requintado.



**Figura 8: Sensação térmica.**  
 Fonte: Portfólio do site ecotelhado.com.

#### Desvantagens:

São desvantagens (PINTO *et al.*, 2014):

- Alto investimento: O projeto do telhado verde e sua execução têm um custo maior do que o normal feito de telhas, por necessitar de várias camadas, cada qual com uma função específica. Sendo elas: resistência da estrutura; impermeabilização; camada de drenagem da água; manta permeável protetora para que as raízes das plantas não danifiquem a estrutura; camada de substrato de acordo com a vegetação desejada e vegetação de acordo com a luz recebida e o uso do ambiente, são os aspectos mais importantes a serem levados em conta na construção dos telhados verdes, acarretando assim em um aumento de capital a ser investido;
- Características ambientais: Estas podem inviabilizar o projeto em decorrência das temperaturas, clima, bem como a própria região. Sendo assim, é importante analisar com cuidado a vegetação que será utilizada, pois cada espécie se adapta a um determinado local;

- Pragas: A vegetação deve receber um olhar atento e cuidados excessivos, caso contrário, as pragas podem tomar conta e dessa forma seus benefícios se tornam quase inválidos;
- Peso: O Telhado verde aumenta significativamente o peso da laje, isso significa que é necessário avaliar se a estrutura do projeto suporta, antes de iniciar a execução.
- Manutenção: são necessárias para que a estrutura do estabelecimento permaneça intacta, manutenção mensal no método intensivo e frequência anual no método extensivo.

Como visto, as vantagens ambientais, conforto e econômicas a longo prazo, mostram vantajosa a utilização do telhado verde e seu custo de implantação pode ser absorvido ao longo do tempo.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo será exposto a metodologia e materiais adotados para a elaboração do estudo fonte deste trabalho, realizado no laboratório de estruturas da UTFPR, campus Toledo. Este laboratório é coberto e protegido das intempéries, o que exclui esse fator dos ensaios, assim, evitando erros das leituras ou a comparação entre estas, devido a possibilidade de ocorrência de variação de umidade, por exemplo.

Este capítulo será dividido na metodologia de cálculo adotada, elaboração do protótipo de telhado verde, ensaios do estudo da vazão resultante dos modelos adotados e a análise das leituras obtidas.

#### 3.1. CÁLCULOS DAS VAZÕES DOS ENSAIOS

Para que os ensaios se aproximem da realidade de uma chuva e possível comparação com a simulação adotada, assumiu-se como local de adoção do valor de intensidade pluviométrica máxima a região do município de Toledo – PR, por ser a cidade de aplicação do estudo.

Para início dos cálculos, utilizou-se a equação Equação (1), proposta pela NBR 10.844 (ABNT,1989), para a determinação da vazão de projeto ( $Q$ ), sendo esta a vazão para o ensaio.

$$Q = \frac{I \cdot A}{60}$$

Eq. (1)

Onde:

$Q$  = vazão de projeto, em L/min;

$I$  = intensidade pluviométrica, em mm/h;

$A$  = área de contribuição, em m<sup>2</sup>.

Conforme as dimensões do protótipo projetado para os ensaios (que será apresentado mais à frente), a área de contribuição ( $A$ ) deste é de 1 m<sup>2</sup>.

Devido ao fato de não haver encontrado uma fonte segura para o valor de intensidade pluviométrica ( $I$ ) específica do município de estudo, adotou-se o valor de intensidade pluviométrica adotada para o município de Cascavel – PR, pois está distante aproximadamente 40 km do local de estudo e é a cidade mais próxima que possui com confiabilidade a equação para determinação da intensidade pluviométrica na região.

Portanto, adotou-se o valor máximo local, pois nesse estudo busca-se sempre enquadrar-se nos piores casos, ou seja, nos casos mais extremos. Assim, com os valores característicos de uma chuva intensa possível para a região, o experimento exprimirá com maior potencial a discrepância entre os dois casos (tipos de telhado), potencializando e justificando seus resultados.

Desta forma, o valor adotado para a determinação da intensidade pluviométrica máxima ( $I_{max}$ ) na região foi obtida através da equação abaixo elaborada por Frenndrich (1987 *apud* FESTI, 2009).

$$I_{max} = \frac{1.062,92 \cdot T_R^{0,141}}{(t + 5)^{0,776}}$$

Eq. (2)

Onde:

$I_{max}$  = intensidade pluviométrica máxima, em mm/h;

$T_R$  = tempo de retorno, em anos;

$t$  = tempo de duração da chuva, em min.

Conforme a NBR 10.844 (ABNT,1989), o tempo de retorno ( $T_R$ ) depende do tipo de área a ser drenada. O experimento se enquadra na categoria coberturas e/ou terraços, logo, o seu valor é de 5 anos.

O tempo de duração da chuva ( $t$ ), também de acordo com a Norma, a duração da precipitação, ou seja, tempo de duração da chuva, foi fixada em 5 min.

Logo, através dos valores predeterminados e indicados acima, obteve-se uma intensidade pluviométrica máxima de 223,4 mm/h na Equação 2.

A partir do resultado da Equação 2, obteve-se na Equação 1, uma vazão de projeto de 3,72 L/min. Portanto, como os ensaios tem o tempo de duração da simulação de chuva igual a 5 min, resulta-se em um volume de água para tal, para cada ensaio, igual à 18,6 L.

Para que não somente a vazão esteja adequada à norma técnica, dimensionou-se, também, a calha de escoamento hidráulico do telhado. Para tanto, utilizou-se a equação abaixo (Fórmula de Manning-Strickler), também descrita na NBR 10.844 (1989), que determina a vazão na qual a calha é dimensionada a suportar. Assim, a partir desta, pode-se determinar a largura de sua base ( $l_b$ ) mínima da calha, fixando a sua altura ( $h$ ) em 10 cm e trabalhando a meia seção (5 cm). Essas variáveis são dependentes diretas da área de seção molhada ( $S$ ) e do raio hidráulico ( $R_H$ ).

$$Q = K \cdot \frac{S}{n} \cdot R_H^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

Eq. (3)

Onde:

$Q$  = vazão de projeto, em L/min;

$S$  = área de seção molhada, em m<sup>2</sup>;

$n$  = coeficiente de rugosidade (0,011 plástico – PVC);

$R_H$  = perímetro molhado, em m;

$i$  = declividade da calha, em m/m;

$K$  = 60.000.

O valor da seção molhada da calha, no formato retangular, corresponde a Equação 4.

$$S = l_b \cdot h$$

Eq. (4)

Onde:

$S$  = área de seção molhada, em  $m^2$ ;

$l_b$  = largura da base da calha, em m;

$h$  = altura da calha, em m (prefixada em 5 cm).

O cálculo do raio hidráulico para uma seção retangular é determinado pela Equação 5.

$$R_H = \frac{l_b \cdot h}{l_b + 2 \cdot h}$$

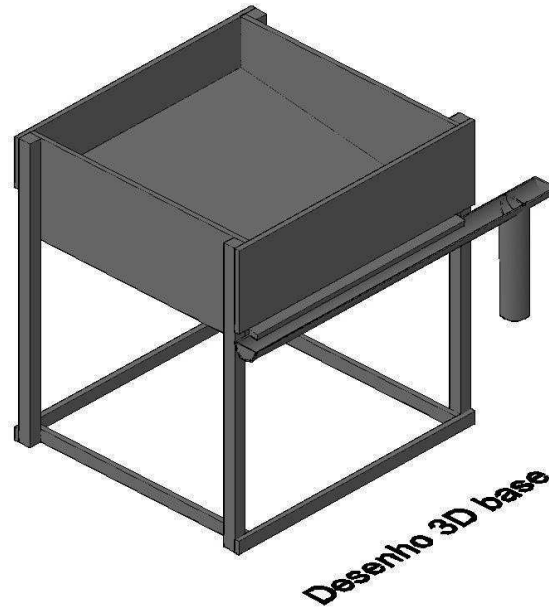
Eq. (5)

Adotando a inclinação de calha igual a 0,5% (valor este mínimo autorizado pela referida norma e comumente adotado na prática) e utilizando-se da vazão de projeto obtida anteriormente (3,72 L/min), obteve-se, inserindo-se as Equações 4 e 5 na equação 3, a largura da base mínima da calha de 8 mm. Logo, por ser um valor muito pequeno, devido à baixa vazão, adotou-se um valor de base da calha superior, correspondente de mercado que facilitasse na montagem do experimento e que houvesse a capacidade de coletar toda a água, além de dever adaptar-se ao protótipo (buscando evitar vazamentos). Assim, utilizou-se uma calha de 10 cm de altura por 12 cm de base (superior ao necessário, mas que não interfere nos resultados).

### 3.2. FUNDAMENTAÇÃO E MONTAGEM DO PROTÓTIPO

Na elaboração do protótipo do telhado verde (sistema extensivo) optou-se por montá-lo a partir de uma estrutura de chapas e cantoneiras de aço, devido suas características de impermeabilidade (pois não se desejava que houvessem perda de água), resistência e facilidade de montagem.

Inicialmente, elaborou-se o projeto das peças da estrutura do protótipo para serem cortadas, dobradas e posteriormente parafusada, com base no desenho conceitual elaborado em *Software* CAD, ilustrado abaixo na figura 9.



**Figura 9: Croqui conceitual do protótipo.**  
**Fonte: Autor (2016).**

A dimensão do telhado em projeção é de 1,0 x 1,0 m<sup>2</sup>, ou seja, uma medida unitária, dimensão esta que busca representar em menor escala, para fins de estudo, um telhado comum de uma residência unifamiliar. As dimensões das peças do protótipo do telhado constam no Apêndice A.

Adotou-se como inclinação do telhado de 15%, pois o telhado verde deve apresentar uma baixa inclinação (entre 5° e 20° - de 8,7 a 36,4%) para evitar que haja deslizamento dos componentes do telhado verde e necessidade de travamento destes. Esta inclinação é também usualmente adotada para telhados mais simples, como os de cimento amianto e de zinco, oferecendo assim, uma comparação justa entre os sistemas tradicionais e de telhado verde.

Após a confecção das peças, deu-se início à montagem das mesmas para a formação do protótipo. Essa montagem consistiu na furação dos pontos de inserção dos parafusos (a partir de uma broca com auxílio de uma furadeira), para conectar os elementos, e em seguida, utilizou-se nesses furos, parafusos alto brocantes (ilustrado abaixo), a fim de agilizar o processo.





**Figura 10: Parafuso alto brocante.**  
Fonte: Portfólio do site [expressaeletrica.com.br](http://expressaeletrica.com.br).

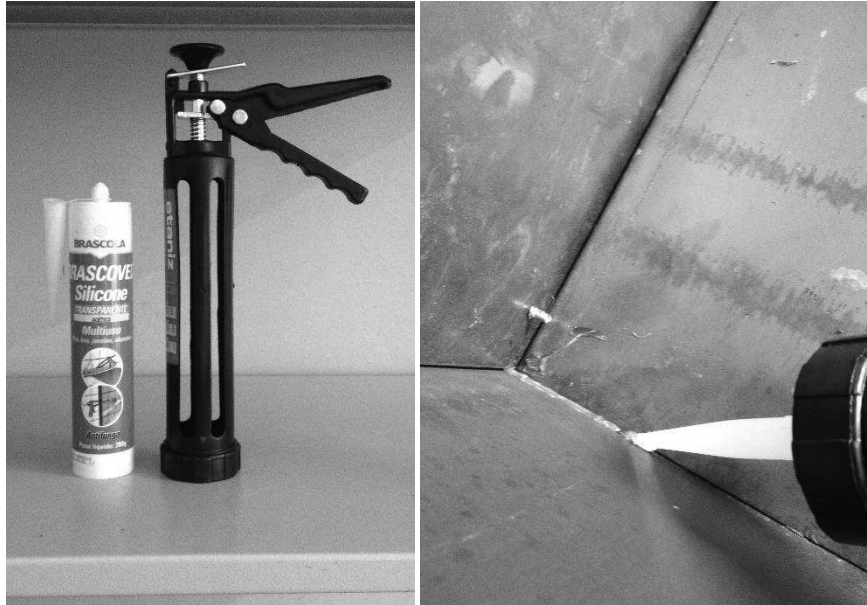
Concluída a montagem de acordo com o projeto, instalaram-se as braçadeiras junto aos apoios, respeitando-se a inclinação descrita de 0,5%.

A figura 11 abaixo, ilustra o protótipo anterior a instalação das braçadeiras.



**Figura 11: Conclusão da montagem do protótipo.**  
Fonte: Autor (2016).

Na sequência, deu-se início à vedação da estrutura, cujo objetivo era que não houvesse nenhum vazamento pelas frestas entre as chapas. Para isso, utilizou-se silicone comum com auxílio da pistola de aplicação, conforme exibido na figura 12 abaixo.



**Figura 12: Aplicação do silicone nas fendas entre as chapas.**  
**Fonte: Autor (2016).**

Com o auxílio de uma luva descartável de látex deu-se acabamento e auxiliou o bom preenchimento do silicone nas referidas frestas, resultando no aspecto demonstrado na figura 13.



**Figura 13: Resultado do acabamento final da aplicação do silicone.**  
**Fonte: Autor (2016).**

Após a secagem do silicone, aplicou-se uma emulsão asfáltica conhecida como Neutrol por toda a superfície das chapas. Esta ação foi executada com o auxílio de uma brocha, cujo objetivo era formar uma película impermeável de grande

aderência. A função desta camada foi proteger a estrutura de aço e auxiliar na impermeabilidade desta.



**Figura 14: Aplicação da emulsão asfáltica nas chapas de aço.**  
Fonte: Autor (2016).

A figura 15 ilustra o resultado final à conclusão da pintura descrita.



**Figura 15: Protótipo após a conclusão da pintura com emulsão asfáltica.**  
Fonte: Autor (2016).

Após a conclusão deste, fez-se a instalação da calha de alumínio, de 1,40 m de comprimento, nas braçadeiras, ficando o protótipo conforme ilustrado na figura 16.



**Figura 16: Instalação da calha junto às braçadeiras.**  
Fonte: Autor (2016).

Em seguida, com o auxílio de um nível de bolha (figura 17), iniciou-se a checagem do nivelamento da estrutura, para que não houvesse interferência no escoamento.



**Figura 17: Verificação do nivelamento do protótipo.**  
Fonte: Autor (2016).

Posteriormente, fez-se a colocação de lastro de areia e a base de apoio para ajustes de nivelamento. Em seguida, posicionou-se o balde graduado junto a saída da descida da calha sobre o apoio e ajustou-se o nivelamento do balde, nas duas direções do plano da base, a fim de evitar erros nas leituras de vazão.

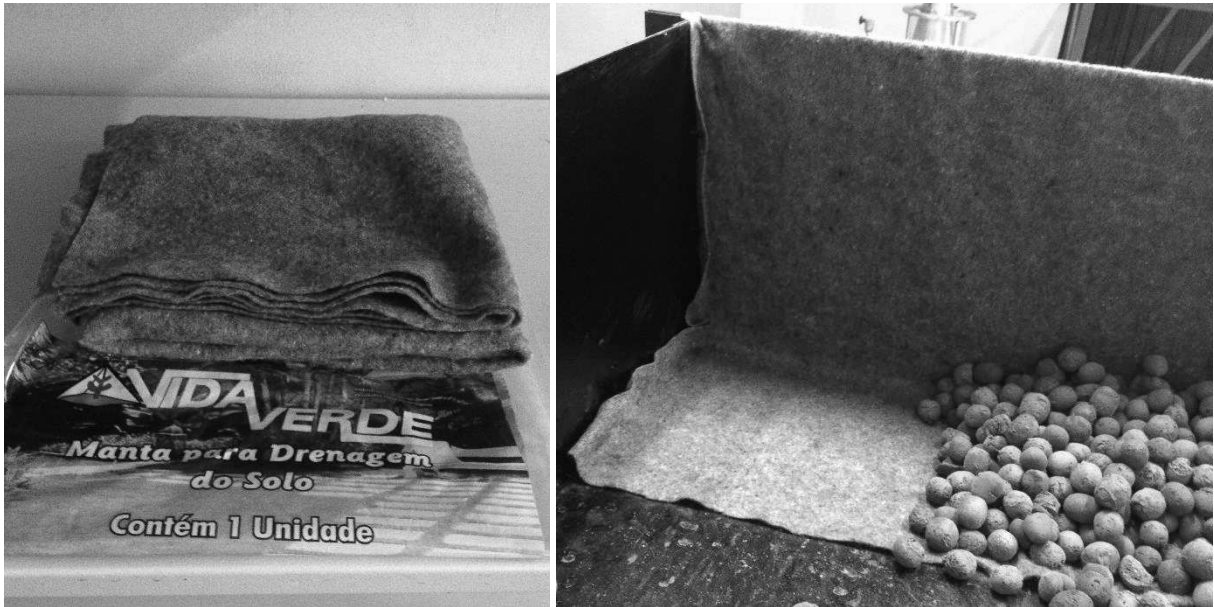


**Figura 18: Nivelamento do balde graduado para leitura de vazão.  
Fonte: Autor (2016).**

Assim, deu-se início aos ensaios de vazão do telhado comum, registrando a vazão da água coletada no final do sistema ao longo do tempo, conforme descrito posteriormente.

Finalizado os ensaios citados, iniciou-se a preparação para o protótipo receber o telhado verde.

Inicialmente, colocou-se parte da manta de drenagem (cerca de 25 cm) sobre a superfície do telhado, junto à saída de água para a calha, cujo objetivo era de evitar que a argila expandida fosse carregada ou rolasse para fora do telhado. Posteriormente, colocou-se a argila sobre a manta para mantê-la presa e que não se movimentasse, como vê-se abaixo na figura 19.

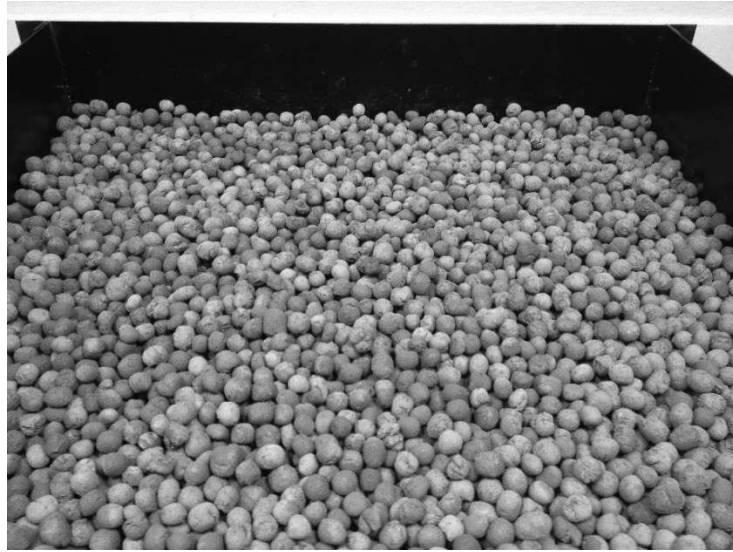


**Figura 19: Colocação da manta de drenagem na saída do telhado.**  
**Fonte: Autor (2016).**

Em sequência, fez-se a colocação da argila expandida sobre o telhado (que serve para a drenagem da água excedente da vegetação e solo do telhado), com aproximadamente 10 cm de espessura (conforme as recomendações práticas para montagem do telhado verde), utilizando-se 2 sacos de 50 L por toda a superfície do telhado, seguindo a inclinação desta (figuras 20 e 21).

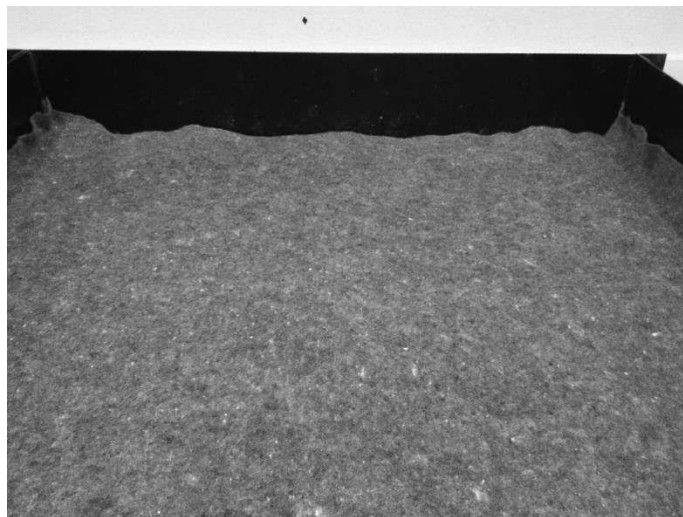


**Figura 20: Verificação da espessura da camada da argila expandida.**  
**Fonte: Autor (2016).**



**Figura 21: Argila expandida sobre o telhado.**  
**Fonte: Autor (2016).**

Sobre a camada de argila expandida, colocou-se a manta de drenagem, que tem a função de filtragem da água, não permitindo que as partículas do solo sejam levadas com a mesma (figura 22).



**Figura 22: Manta de drenagem sobre a argila expandida.**  
**Fonte: Autor (2016).**

Em seguida, foi depositada a vegetação, a qual continha uma camada de solo (figura 23). A vegetação escolhida para a elaboração do protótipo foi a grama tipo esmeralda (*Zoysia japonica*), devido à sua rusticidade, porte baixo (sistema extensivo) e custo baixo, além do fácil acesso à essa espécie na região.



**Figura 23: Colocação da vegetação.**  
Fonte: Autor (2016).

Por fim, após a colocação da vegetação, deu-se início aos ensaios com esta para as futuras comparações entre os tipos de telhado.

### 3.3. ENSAIO DE SIMULAÇÃO DA CHUVA

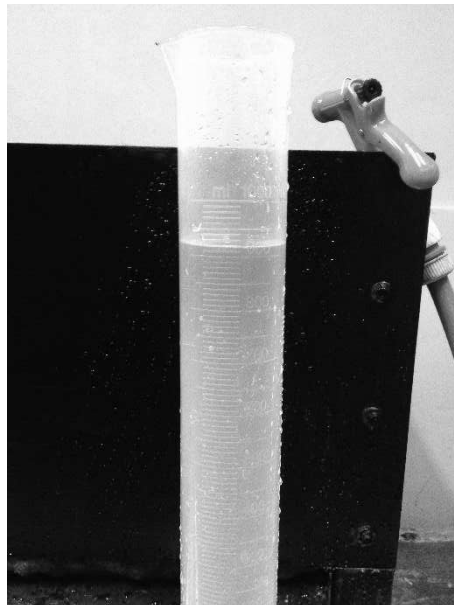
Para os ensaios de vazão para ambos os telhados, fez-se necessário elaborar um método para conseguir uma vazão constante, com poucas variações para que não comprometesse os resultados finais. Para isso, utilizou-se um esguicho tipo pistola 1/2" conectado ao sistema de abastecimento de água junto à um registro de vazão (figura 24).





**Figura 24: Esguicho tipo pistola 1/2".**  
**Fonte: Autor (2016).**

Para controlar a vazão, esta era medida com uma proveta de 1000 mL. Para tal medição, realizava-se um teste de vazão. Portanto, cronometrava-se 15 s com o esguicho aberto em seu máximo, buscando atingir 930 mL, que corresponde à vazão de projeto (3,72 L/min) para esse tempo.



**Figura 25: Proveta do teste de vazão.**  
**Fonte: Autor (2016).**

Este teste de vazão era realizado na mesma altura da simulação das chuvas dos ensaios, assim, mantendo a mesma pressão entre o teste de vazão e os ensaios de simulação da chuva.

Anterior a realização de cada ensaio, realizava-se tais testes, assim, confirmando a vazão anterior ao seu início, sendo esta ajustada através do registro, que era conectado a mangueira junto a este, portanto, ajustando a vazão até atingir o valor desejado.

Fazia-se esse procedimento até encontrar a mesma vazão por duas vezes consecutivas ou com uma variação máxima entre os testes de 10 mL (cerca de 1% de variação, sendo esta a precisão da proveta), desta forma, confirmando a vazão encontrada, para o ensaio posterior.

Normalmente, a variação de vazão obtida nos testes, entre cada ensaio, era pequena (no máximo 20 mL) ou nula. Portanto, demonstrando que a variação da vazão entre os testes era pequena ou não ocorria, assim, podendo considerar que a variação de vazão durante os ensaios também era pequena ou nula. De qualquer forma, vale ressaltar que, através do método utilizado para a determinação da vazão, poderia haver tal variação, mas esta não comprometeu os resultados ou inviabilizou a realização dos ensaios, pois os volumes finais dos ensaios eram muito próximos para cada tipo de telhado. Cabe ainda, lembrar que parte da água que é utilizada no ensaio, fica retida nas superfícies do experimento (além da própria vegetação, solo e argila expandida) ou são respingadas para fora do protótipo, fato que também ocorre em uma situação de chuva real em telhado. Desta forma, dificilmente o volume total de água utilizado nos ensaios será o mesmo do volume final captado no balde graduado.

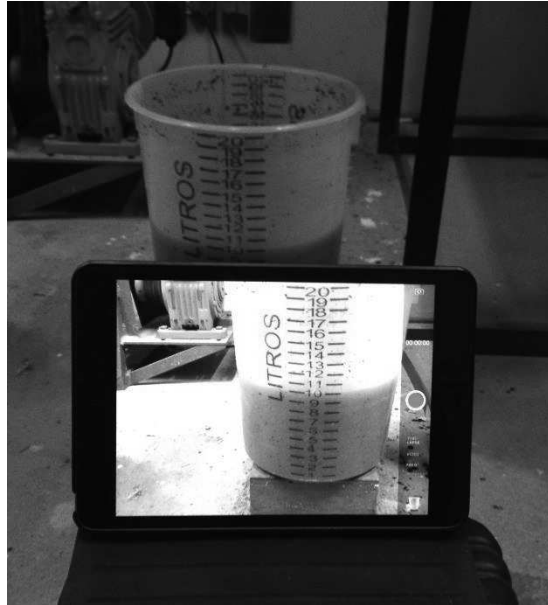
Após a confirmação da vazão pelo teste, deu-se início aos ensaios. Estes se basearam na aplicação de água através do esguicho de forma a preencher toda a superfície do telhado, em movimentos de zig-zague ao longo desta. Tais ensaios apresentavam o tempo de simulação de chuva de 5 min, conforme justificado anteriormente.



**Figura 26: Simulação da chuva durante os ensaios.**  
**Fonte: Autor (2016).**

Anterior aos primeiros ensaios válidos para cada tipo de telhado era feito o mesmo ensaio correspondente, cujo objetivo era deixar a superfície e demais componentes já submetidos à simulação de uma chuva com a intensidade pluviométrica máxima calculada. Desta forma, já submetia a superfície a uma situação máxima de intensidade pluviométrica possível para a região com a vazão máxima possível prática, pois, conforme a referida norma, essa intensidade máxima de chuva corresponde a um intervalo de 5 anos, assim, em uma situação prática, não ocorreria duas chuvas consecutivas com pluviosidade máxima, tornando assim, o ensaio em condições mais críticas de saturação do solo do que ocorreria em uma situação real.

Todo o processo do ensaio era gravado para a realização das análises dos dados. Tal registro se dava com a filmagem do balde graduado de leitura de vazão, com captura de áudio, pois facilitava a identificação do início do teste com os auxílios das informações por voz durante a gravação.



**Figura 27: Registro dos ensaios de vazão.**  
**Fonte: Autor (2016).**

Estas gravações foram realizadas até aproximar-se da vazão nula. Mas, nos casos que ainda houvesse uma pequena vazão em tempo superior à 12 min (somente ocorrido no protótipo com o telhado verde), continuava-se o acompanhamento com cronômetro até próximo da extinção da vazão (ou 24 min de ensaio), pois era de interesse saber a distribuição do volume d'água ao longo do tempo.

Após a realização de 5 ensaios para cada tipo de telhado, observou-se uma regularidade e um padrão nas vazões para cada sistema (telhado comum e telhado verde). Assim sendo, considerou-se suficiente o número de 5 repetições.

### 3.4. ANÁLISE DOS DADOS DOS ENSAIOS

Após a coleta dos dados iniciou-se as análises desses. A partir dos vídeos gravados, pode-se verificar a vazão ( $V$ ) indicada no balde graduado ao longo do tempo. Estas gravações foram feitas até próximo de 12 min, pois esse tempo era suficiente para que a vazão fosse considerada muito baixa e não houvesse variação significativa entre as leituras, conforme explanado anteriormente. Para os ensaios com o telhado verde, após passado o tempo de 12 min, também se verificava uma vazão muito baixa, portanto, interrompia-se a gravação, contudo continuava-se a

medição do tempo até próximo de 24 min, tempo este suficiente para a interrupção do gotejamento da calha sobre o balde.

Então, através desse sistema de controle de dados, elaborou-se uma planilha do volume permeado ao longo do tempo para cada ensaio (de acordo com os cálculos apresentados anteriormente), estando estes, no Apêndice B e C. Então, determinou-se o intervalo entre as leituras dos dados ( $i_d$ ) a cada 15 s.

Assim, pode-se calcular a vazão ( $Q$ ) ao longo do tempo, a partir da equação abaixo.

$$Q_n = \frac{V_n - V_{n-1}}{\frac{i_d}{60}}$$

Eq. (6)

Onde:

$Q$  = vazão da leitura do dado  $n$ , em L/min;

$V$  = volume da leitura do dado  $n$ , em L;

$i_d$  = intervalo entre as leituras dos dados, em s.

Em seguida, fez-se a média aritmética dos volumes e das vazões dos ensaios para cada tipo de telhado. Assim, homogeneizando os dados obtidos nas leituras dos ensaios (para cada tipo de telhado) e diminuindo os erros de leitura.

A partir destas informações, pode-se traçar os gráficos Volume X Tempo de escoamento e Vazão X Tempo para cada tipo de telhado.

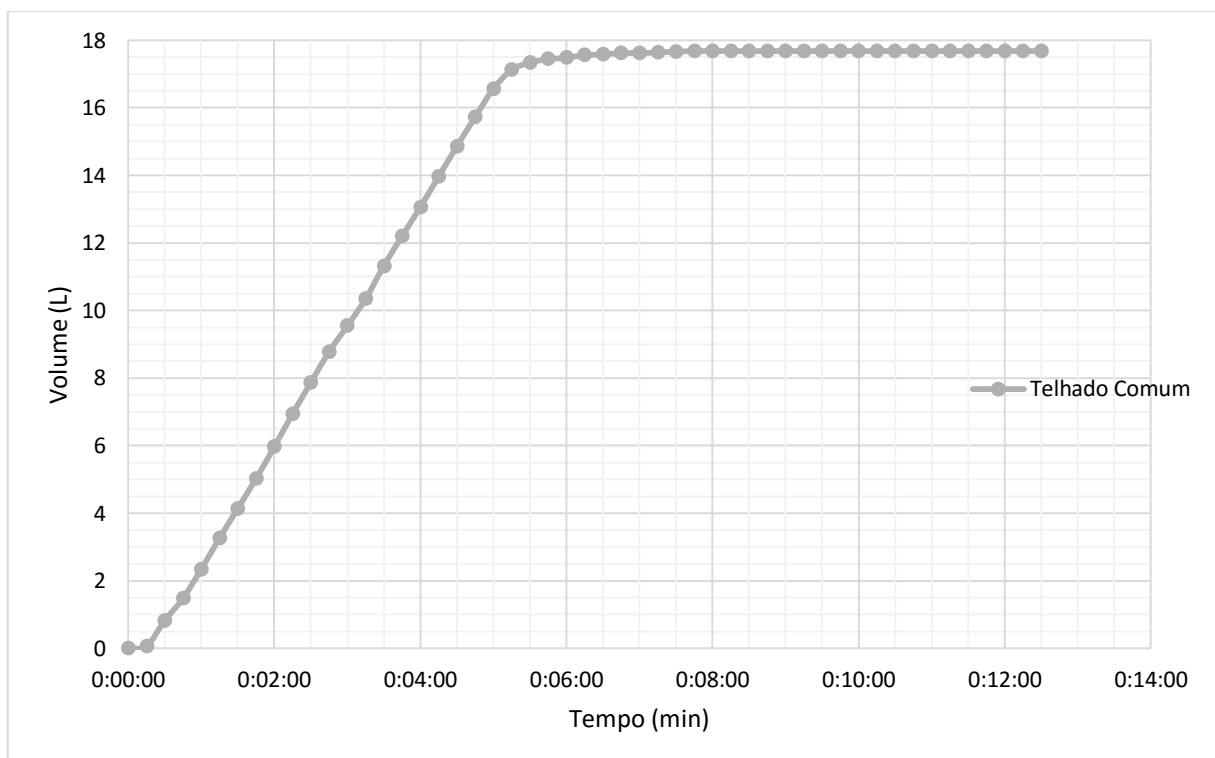
Também, elaborou-se um gráfico que consta ambos os ensaios, podendo assim, fazer uma análise comparativa entre as metodologias construtivas de telhados adotadas nesta pesquisa. Para isso, considerou-se, conforme já comentado e observável na variação dos dados para o telhado comum, que a vazão fosse interrompida antes do final das leituras (12 min), como consta no Apêndice B. Já para o telhado verde, a variação existia, mas era ínfima, assim utilizou-se a leitura de 24 min de ensaio para indicar uma tendência, podendo assim, a partir da inclinação da reta, estimar o tempo necessário para que o volume de água dos ensaios com telhado verde se igualasse ao telhado comum.

Por fim, fez-se o comparativo entre os volumes coletados de cada tipo de telhado, a fim de verificar a diferença máxima retida no telhado verde em relação ao telhado comum.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo será apresentado os resultados obtidos a partir dos ensaios realizados conforme a metodologia descrita no capítulo anterior e suas discussões relevantes a estes.

Abaixo ilustra-se o gráfico da relação média tempo X volume para os ensaios do telhado comum.



**Figura 28: Média dos volumes dos ensaios com telhado comum.**  
**Fonte: Autor (2016).**

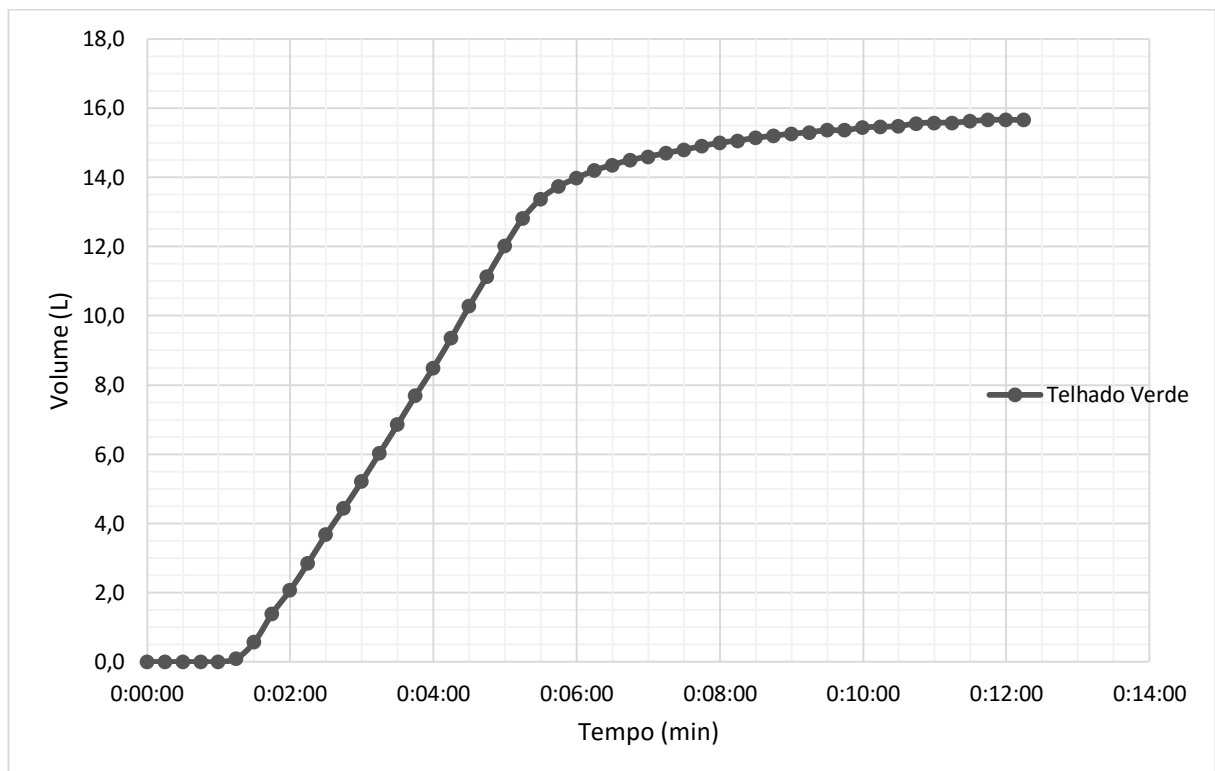
Na Figura 28 observa-se que o início do registro da vazão se dá logo nos primeiros segundos de ensaio, pois nesse tipo de sistema de telhado, não há barreiras que interceptam a água para que possa retardá-la. O tempo entre o início do escoamento no protótipo e a chegada à calha coletora foi somente o tempo necessário para que a água atravessasse o sistema (telhado, calha de captação e balde de coleta), algo em torno de 15s.

Na mesma figura 28, pode-se perceber no gráfico uma reta inclinada que indica estar o sistema com vazão contínua e muito próxima da uniformidade. Após o

término do ensaio, aos 5 min, logo se observa uma diminuição brusca da vazão, sendo que 1 min após o término (aos 6 min), o sistema de coleta já captou cerca de 94,1% da estimativa de volume total de projeto e 98,9% do volume total captado nos ensaios. Nota-se que a partir dos 7 min e 30 s (2 min e 30 s após o fim da simulação da chuva), não há mais variação na vazão.

Neste gráfico, pode-se analisar também, que a vazão média no trecho reto (entre 45 s e 4 min e 45 s) há uma diferença de volume de 14,2 L, o que resulta em uma vazão média de 3,55 L/min, correspondendo esse valor à uma vazão plena sem interferência de obstáculos, que não a calha.

Em seguida, na figura 29, tem-se o gráfico que apresenta a mesma relação, mas para o sistema com o telhado verde.



**Figura 29: Média dos volumes dos ensaios com Telhado Verde.**  
Fonte: Autor (2016).

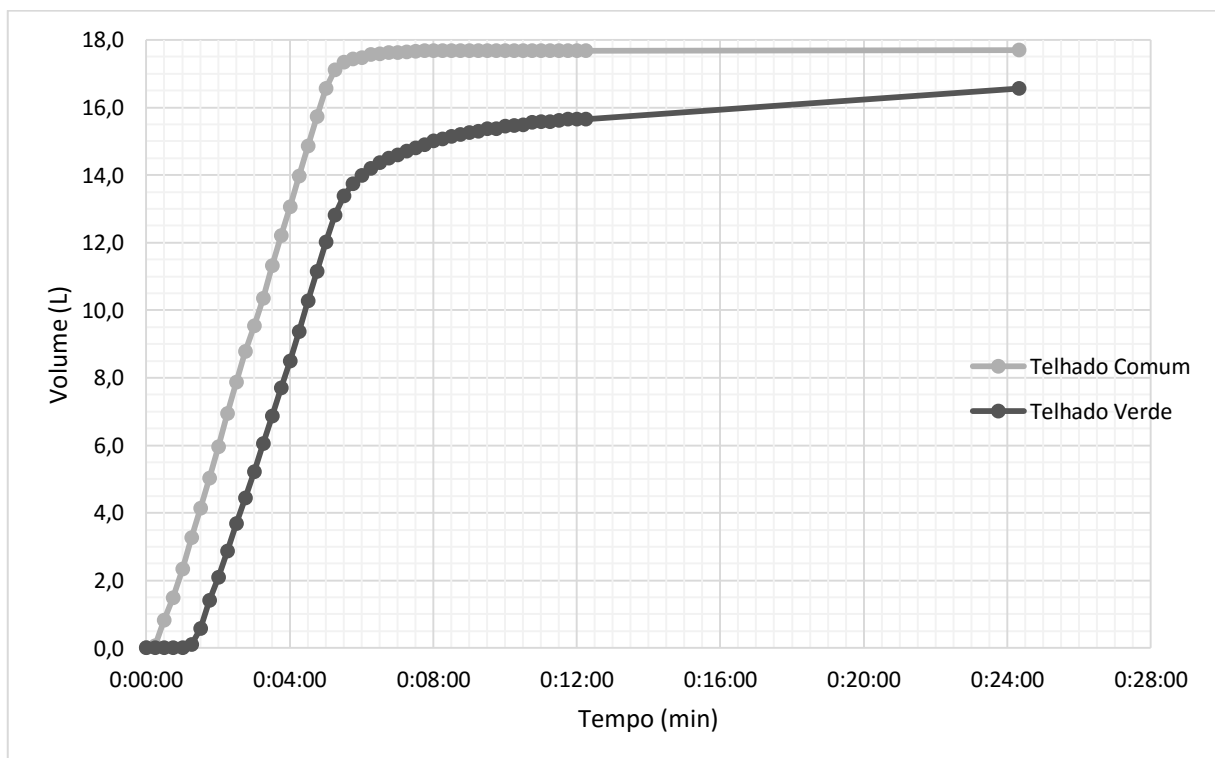
Observa-se na Figura 29, que há um atraso no início do registro de vazão para o sistema de telhado verde, consequência dos obstáculos formados pelos elementos deste. Vê-se também, que a água leva mais de 1 min para chegar ao sistema de registro de vazão, diferente do telhado anterior, que já no primeiro ponto de coleta de dados, apresenta registro de vazão.



Posteriormente ao início de captação de vazão, observa-se um trecho que forma uma reta inclinada, assim como no telhado comum, mas se observada a diferença de vazão, correspondentes ao trecho inclinado (entre 2 min e 5 min), que é igual a 9,9 L, correspondendo a uma vazão média de 3,3 L/min. Percebe-se que mesmo o sistema notavelmente saturado, há uma diminuição da vazão, devido ao fato da cobertura verde e camadas seguintes do sistema dificultarem a passagem da água, assim limitando-a e causando a diminuição da vazão.

Na figura 29, pode-se observar também que, 6 min após o início dos testes, o sistema de coleta captou cerca de 75,3% da estimativa de volume total de projeto e 79,1% do volume total esperado (17,7 L) se não houvesse a interferência do telhado verde, portanto, valor que corresponde ao encontrado no telhado comum. Tal constatação, quando comparada ao resultado obtido para o telhado comum, no mesmo período de tempo, evidencia a eficiência do telhado verde no retardo do escoamento superficial.

Na figura 30 abaixo, são esboçadas as curvas de vazão dos dois sistemas para comparação, acrescentando-as, a leitura realizada a 24 min, com o objetivo de expor a tendência de escoamento do volume ao longo do tempo.

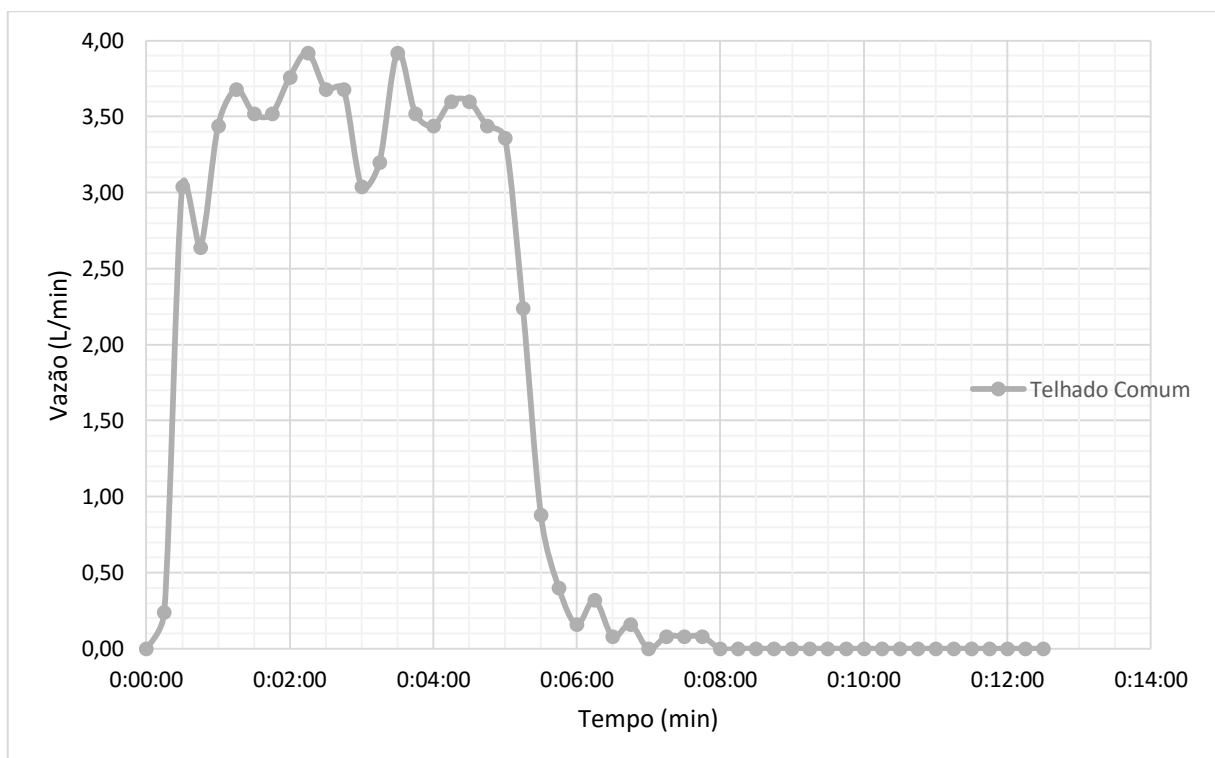


**Figura 30: Volumes dos ensaios de ambos os telhados.**  
**Fonte: Autor (2016).**

A Figura 30, uma sobreposição dos gráficos das Figuras 28 e 29, deixa mais clara a diferença do volume de escoamento ao longo do tempo dos dois sistemas, mostrando que a vazão resultante do Telhado Verde busca se aproximar suavemente a do telhado comum. Se utilizarmos a inclinação da reta formada pelos dois últimos dados da curva do volume para o sistema de telhado verde (0,9 L em 12 min e 4 s, portanto, 0,07 L/min), pode-se determinar o tempo no qual o volume se igualará ao volume total esperado, se considerado linear. Portanto, tal valor corresponde a 40 min e 2 s.

A partir das informações contidas na Figura 30, comparando-se os volumes, obtêm-se uma diferença máxima entre eles de 4,6 L (cerca de 26,0% do volume total esperado). Este valor (presente no intervalo entre 4 min e 4 min e 45 s) corresponde ao máximo retardo, durante uma chuva, que o telhado verde pode reter por metro quadrado, em comparação ao telhado comum.

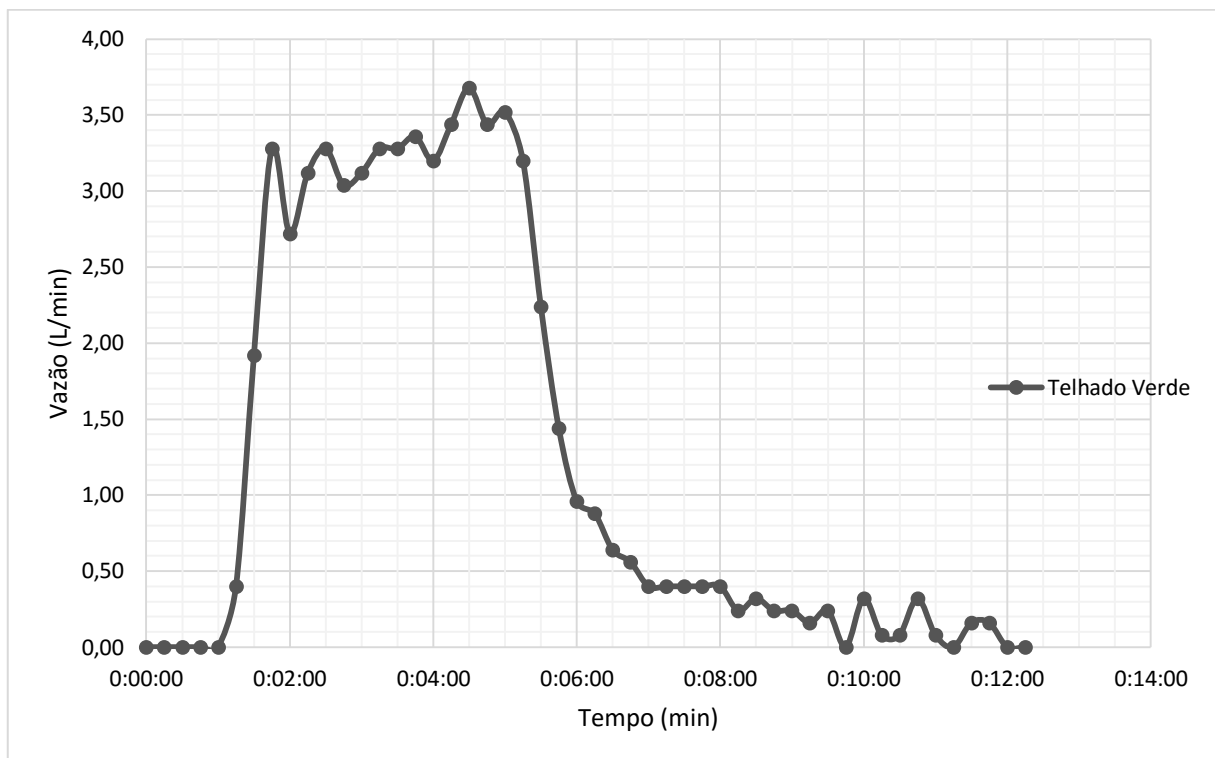
A figura 31, mostra a variação da média das vazões ao longo do tempo dos ensaios do telhado comum.



**Figura 31: Média das vazões dos ensaios com telhado comum.**  
**Fonte: Autor (2016).**

A vazão da água, para os ensaios do telhado comum, tem uma variação brusca no começo dos ensaios (Figura 31), o que explica o início imediato do registro de vazão dos ensaios de telhado comum (Figura 28). Bem como, é abrupta a redução da vazão com o término do ensaio (aos 5 min) e é extinta rapidamente.

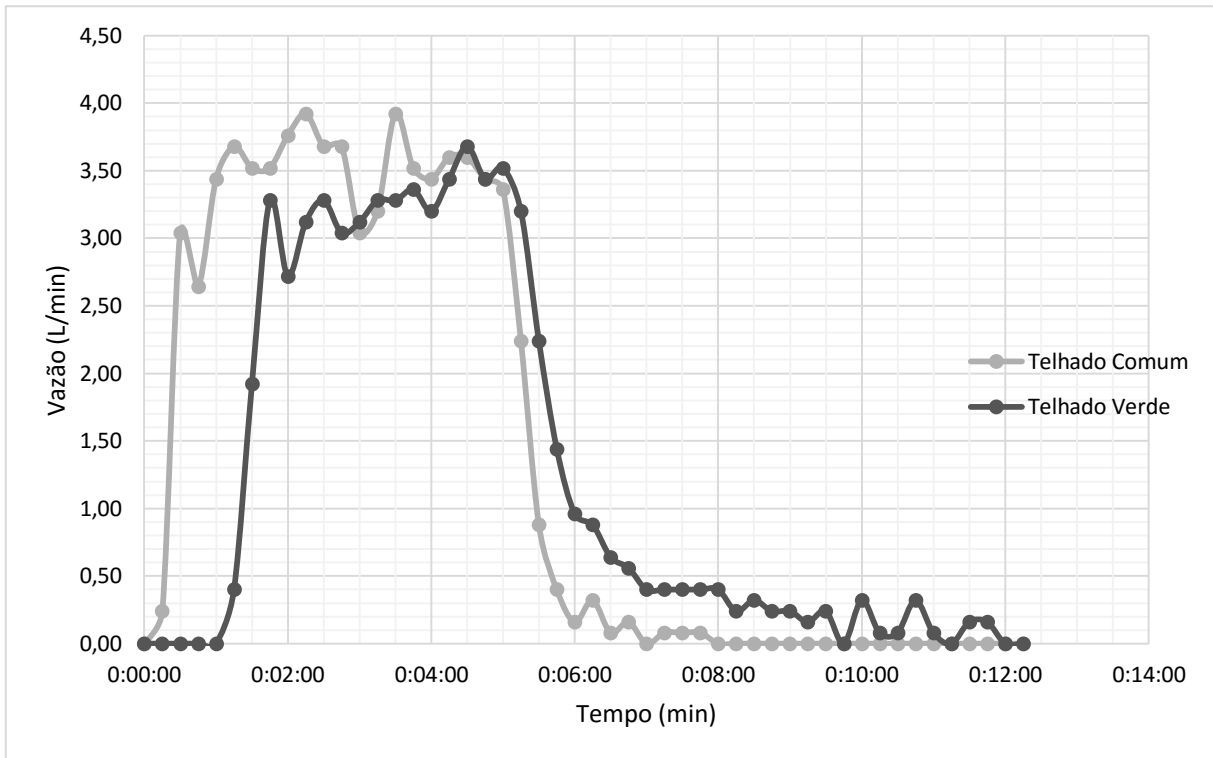
Na figura 32, é apresentada a média das vazões dos ensaios com o telhado verde. Nela é possível notar um atraso no início do pico de vazão, sendo esta melhor distribuída ao longo do tempo.



**Figura 32: Média das vazões dos ensaios com Telhado Verde.**

**Fonte: Autor (2016).**

Por fim, quando comparadas as vazões sobre um mesmo gráfico (figura 32), é possível notar que a amplitude em relação ao tempo, do telhado verde, é menor que o telhado comum, o que demonstra a sua melhor distribuição do volume de água ao longo do tempo e do espaço.



**Figura 33: Médias das vazões dos ensaios de ambos os telhados.**  
**Fonte: Autor (2016).**

Dadas as proporções, vê-se que a Figura 33 apresenta o comportamento similar ao que ocorre na Figura 1 deste trabalho, podendo-se fazer uma analogia entre os resultados, comparando o telhado comum à uma bacia urbana, e o telhado verde à uma bacia rural, demonstrando que a disseminação do uso do telhado verde poderá auxiliar a controlar a vazão de uma bacia hidrográfica urbana e aproximar esta à uma bacia rural (ou natural).

## 5. CONCLUSÕES

Quando observada a metodologia aplicada para a simulação da chuva, vê-se que o sistema é válido para o que foi proposto, pois se comparados os volumes finais obtidos nos ensaios com o telhado comum (máximo de 18,1 L/min) com sua média aritmética (17,7 L/min), obtém-se uma variação máxima de 2,26%, podendo-se considerar baixa. Da mesma forma, notou-se que o uso do esguicho conectado ao sistema de abastecimento de água do laboratório teve uma baixa variação entre os ensaios e, então, não afetou negativamente os resultados obtidos. A reta inclinada formada na Figura 28, também justifica o fato da variação de pressão durante os ensaios ter sido desconsiderada, pois a vazão foi muito próxima da constância durante os ensaios. Tais fatos apresentados, também justificam a metodologia para o teste da verificação da vazão.

No teste de vazão, buscou-se aproximar a vazão dos ensaios ao calculado (3,72 L/min), assim, resultando em uma vazão total de 18,6 L que se pretendia alcançar. Comparado esse valor com o volume médio encontrado nos ensaios do telhado comum (pois neste caso, diferente do telhado verde, não há retenção da água pela vegetação, solo ou argila expandida), percebe-se que cerca de 4,84% do volume d'água dos ensaios ficaram retidos no sistema. Este percentual de perda pode ter sido ocasionado em função de respingos para fora do telhado, vazamento na calha e/ou até devido a possíveis pequenas falhas presentes na montagem do sistema. Tal diferença pode ser considerada baixa e natural, não comprometendo os resultados, visto que os fatos também podem ocorrer em uma situação real de telhado.

A comparação das vazões em relação ao tempo de escoamento de ambos os sistemas evidencia que, mesmo em um caso de total saturação do solo, o sistema de telhado verde ajuda a retardar o volume d'água ejetado no sistema de drenagem, pois este telhado absorve temporalmente a vazão, amenizando sua chegada no sistema de drenagem.

Assim sendo, com base nos resultados obtidos neste trabalho, fica cabível argumentar que o sistema de telhado verde auxilia de forma significativa na redução e no retardo do escoamento superficial. No formato do estudo, pode-se afirmar que esse retardo, em um dado momento, chega até a 26,0% do volume esperado de

ejeção de água ao sistema de coleta e apresenta uma melhor distribuição da vazão ao longo do tempo.

Da mesma forma, ao considerar-se que as ocorrências de inundações urbanas (enchentes) são diretamente ligadas e influenciadas pela ejeção direta das águas das chuvas escoadas pelos telhados e sistemas de condução destas (uma consequência da urbanização e uns dos causadores da não permissividade da infiltração das águas das chuvas no solo), pode-se afirmar que o telhado verde contribui para a redução dos picos de vazões das bacias hidrográficas e suas consequentes enchentes.

Cabe ressaltar, que as conclusões obtidas neste trabalho, quanto a eficiência no retardo do escoamento superficial, valem também para os demais sistemas que substituem as áreas impermeáveis por áreas vegetáveis, demonstrando assim, a importância de haver áreas permeáveis nos centros urbanos para a minimização de enchentes e inundações.

## 6. SUJESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, chega-se a algumas sugestões para trabalhos futuros, que são:

- Estudar se há grande variação conforme o tipo de vegetação adotada para o Telhado Verde de acordo com a região de estudo;
- Realizar os ensaios com um melhor controle de vazão e com equipamentos de melhor precisão;
- Aplicar a metodologia deste estudo em um caso real, para comparar os resultados obtidos com os apresentados neste trabalho;
- Calcular qual a contribuição de água oriundas dos telhados para o sistema de captação de águas pluviais dentro de uma bacia, para estimar a real contribuição do sistema para a redução de enchentes em uma bacia urbana;
- Aplicar a técnica em outros sistemas que auxiliam no retardo do escoamento superficial das águas pluviométricas.

## 7. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, S. R., 2007. **As Funções dos Telhados Verdes no Meio Urbano, na Gestão e no Planejamento de Recursos Hídricos**. Instituto Florestal. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ. Disponível em: <[http://www.if.ufrj.br/inst/monografia/20071/Monografia\\_Sidney\\_Rocha\\_de\\_Araujo.pdf](http://www.if.ufrj.br/inst/monografia/20071/Monografia_Sidney_Rocha_de_Araujo.pdf)>. Acessado em: .05 abr. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.844: Instalações Prediais de Águas Pluviais**.

BALDESSAR, S. M. N., 2012. **Telhado Verde e Sua Contribuição na Redução da Vazão da Água Pluvial Escoda**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR. Disponível em: <<http://www.prppg.ufpr.br/ppgcc/sites/www.prppg.ufpr.br/ppgcc/files/dissertacoes/d0168.pdf>>. Acessado em: .25 mar. 2015.

DA COSTA, J.; COSTA, A.; POLETO, C., 2012. **Telhado Verde: Redução e Retardo do Escoamento Superficial**. Revista de Estudos Ambientais, v. 14, n. 2esp, p. 50-56. Disponível em: <<http://gorila.furb.br/ojs/index.php/rea/article/viewFile/2927/2075>>. Acessado em: 01 mar. 2016.

DE ALMEIDA, D. S.; DA COSTA, I. T., 2014. **A Drenagem Urbana Das Águas Pluvias e Sua Relação com o Meio Ambiente e a Saúde Pública no Município de Santana**. Disponível em: <<http://www2.unifap.br/cambientais/files/2014/08/A-DRENAGEM-URBANA-DAS-%C3%81GUAS-PLUVIAS-E-SUA-RELA%C3%87%C3%83O-COM-O-MEIO-AMBIENTE-E-A-SA%C3%9ADE-P%C3%9ABLICA-NO-MUNIC%C3%8DPIO-DE-SANTANA.pdf>>. Acessado em: 06 de abr. 2015.

DE LIMA, S. F., 2006. **Introdução ao Conceito de Sustentabilidade, Aplicabilidade e Limites**. Caderno de Escola de Negócios. UniBrasil, Curitiba – PR. Disponível em: <<http://apps.unibrasil.com.br/revista/index.php/negociosonline/article/viewFile/37/30>>. Acessado em: 06 abr. 2015.

FERREIRA, C. A.; MORUZZI, R. B., 2014. **Considerações Sobre a Aplicação do Telhado Verde Para Captação de Água de Chuva em Sistemas de Aproveitamento Para Fins Não Potáveis**. Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento. Universidade Estadual de São Paulo, São Carlos – SP. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/planejamento/download/rodrigo/consideracoes.pdf>>. Acessado em: .29 mar. 2015.

FESTI, A. V., 2009. **Coletânea das Equações de Chuvas do Brasil**. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – ABRH, Campo Grande – MS. Disponível em: <[http://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/5f36bd94694ae874fc6bd18a0da88301\\_721561eb3298e404da02b7f6217dd3e0.pdf](http://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/5f36bd94694ae874fc6bd18a0da88301_721561eb3298e404da02b7f6217dd3e0.pdf)>. Acessado em: .10 jan. 2016.

JOBIM, A. L., 2013. **Diferentes Tipos de Telhados Verdes no Controle Quantitativo da Água Pluvial**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-



Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/ppgec/wp-content/uploads/Dissertacao%20Alan%20Lamberti%20Jobim.pdf>>. Acessado em: 07 abr. 2015.

MENDES, J. M. G., 2009. **DIMENSÕES DA SUSTENTABILIDADE**. 59 f. Revistas da Faculdade Santa Cruz, v.7, n.2. Faculdade Santa Cruz Inove, Curitiba – PR. Disponível em: <<http://www.santacruz.br/v4/download/revista-academica/13/cap5.pdf>>. Acessado em: 29 mar. 2015.

MONTES, R. M.; LEITE, J. F., 2014. **A Drenagem Urbana de Águas Pluviais e Seus Impactos Cenário Atual da Bacia do Córrego Vaca-Brava Goiânia – GO**. Departamento de Engenharia – Engenharia Ambiental. Universidade Católica de Goiás, Goiânia – GO. Disponível em: <<http://www.ucg.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/A%20DRENAGEM%20URBANA%20DE%20C3%81GUAS%20PLUVIAIS%20E%20SEUS%20IMPACTOS%20CEN%20C3%81RIO%20ATUAL%20VACA%20BRAVA.pdf>>. Acessado em: 06 abr. 2015.

MOURA, P. M., 2004. **Contribuição Para a Avaliação Global de Sistemas de Drenagem Urbana**. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/110M.PDF>>. Acessado em: 07 abr. 2015.

PINTO, L. P.; MENDES, L. H.; PADILHA, M. E.; NISSOLA, V. C., 2014. **Telhados Verdes – Vantagens e Desvantagens**. Cultura Científica, v.1, n.2. Faculdade América Latina, Ijuí – RS. Disponível em: <<http://ojs.americalatina.edu.br/index.php/cultura-cientifica/article/download/127/96>>. Acessado em: 06 abr. 2015.

POLETO, C., 2011. **SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems): Uma Contextualização Histórica**. Revista Thema. Disponível em: <<http://revistathema.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/38/38>>. Acessado em: 20 mai. 2016.

RATTNER, H., 1999. **Sustentabilidade - uma visão humanista**. Ambiente & Sociedade, Scielo. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1414-753X1999000200020&script=sci\\_arttext&tlng=es](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1414-753X1999000200020&script=sci_arttext&tlng=es)>. Acessado em: 01 abr. 2015.

SILVA, N. C., 2011. **Telhado Verde: Sistema Construtivo de Maior Eficiência e Menor Impacto Ambiental**. Departamento de Engenharia de Materiais e Construção. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG. Disponível em: <<http://www.pos.demc.ufmg.br/2015/trabalhos/pg2/73.pdf>>. Acessado em: .28 mar. 2015.

SOUZA, C. F., 2005. **Mecanismos técnico-institucionais para a sustentabilidade da drenagem urbana**. 174 f. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS. Disponível em:

<<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/6727/000489126.pdf?sequence=1>>. Acessado em: 02 abr. 2015.

SUDERHSA, 2002. **Manual de Drenagem Urbana**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Governo do Estado do Paraná. Disponível em: <[http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/pddrenagem/volume6/mdu\\_versao\\_01.pdf](http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/pddrenagem/volume6/mdu_versao_01.pdf)>. Acessado em: 28 mar. 2015.

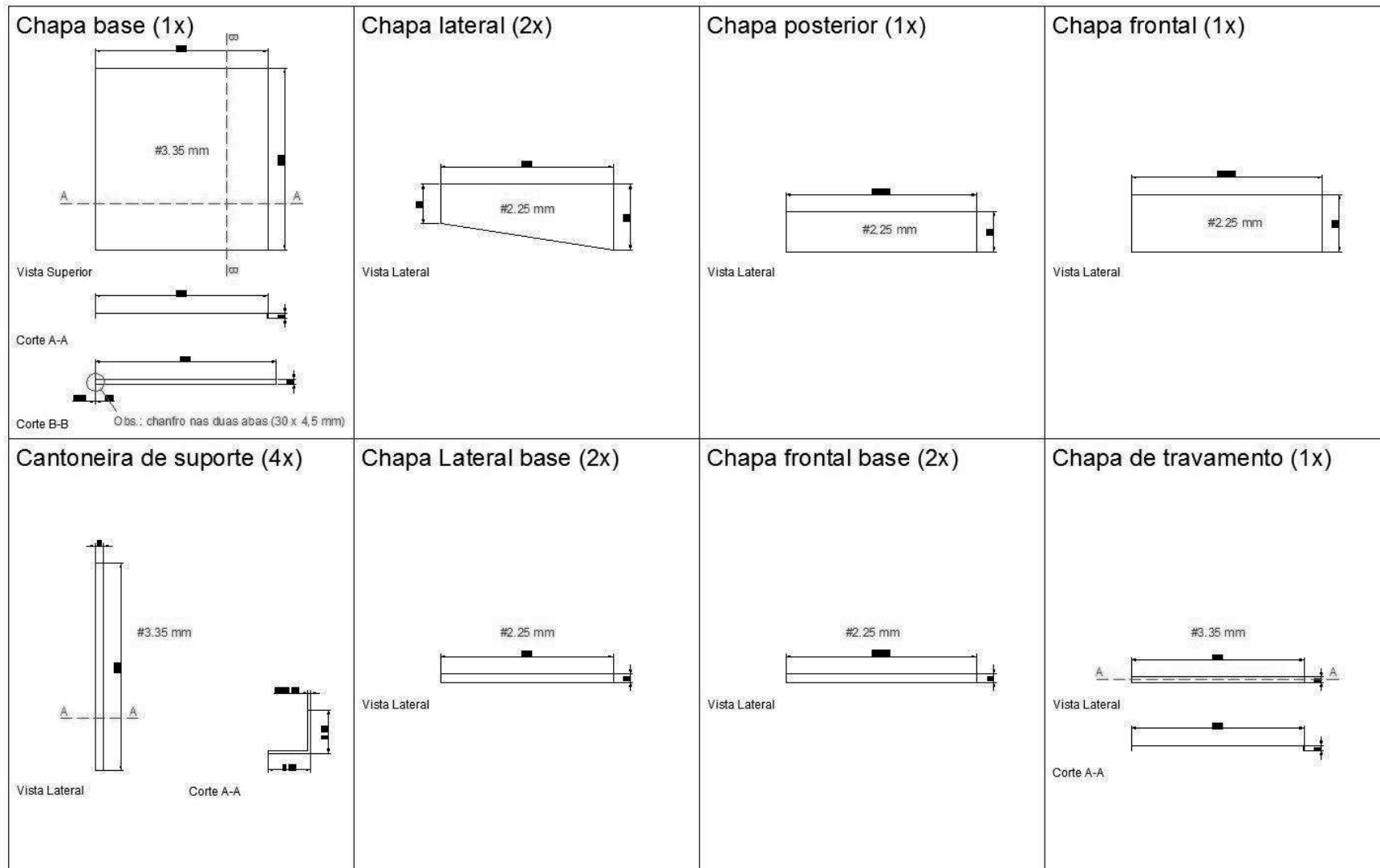
TUCCI, C. E. M., 2005a. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Ministério Público Federal. Disponível em: <[http://4ccr.pgr.mpf.mp.br/institucional/grupos-de-trabalho/encerrados/residuos/documentos-diversos/outros\\_documentos\\_tecnicos/curso-gestao-do-terrimorio-e-manejo-integrado-das-aguas-urbanas/GestaoAguasPluviaisUrbanas.pdf/view](http://4ccr.pgr.mpf.mp.br/institucional/grupos-de-trabalho/encerrados/residuos/documentos-diversos/outros_documentos_tecnicos/curso-gestao-do-terrimorio-e-manejo-integrado-das-aguas-urbanas/GestaoAguasPluviaisUrbanas.pdf/view)>. Acesso em: 19 abr. 2016.

TUCCI, C. E. M., 2005b. **Gestão de Inundações Urbanas**. Ministério das Cidades - Global Water Partnership - Wolrd Bank - Unesco. Ministério Público Federal. Disponível em: <[http://4ccr.pgr.mpf.mp.br/institucional/grupos-de-trabalho/encerrados/residuos/documentos-diversos/outros\\_documentos\\_tecnicos/curso-gestao-do-terrimorio-e-manejo-integrado-das-aguas-urbanas/GestaoAguasPluviaisUrbanas.pdf/view](http://4ccr.pgr.mpf.mp.br/institucional/grupos-de-trabalho/encerrados/residuos/documentos-diversos/outros_documentos_tecnicos/curso-gestao-do-terrimorio-e-manejo-integrado-das-aguas-urbanas/GestaoAguasPluviaisUrbanas.pdf/view)>. Acessado em: .27 mar. 2015.

TUCCI, C. E. M., 2008. **Águas Urbanas**. Estudos Avançados. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v22n63/v22n63a07.pdf>>. Acessado em: 07 abr. 2015.

USGS. 2003. **USGS hydrologic data in and around Mecklenburg County**. Disponível em: <<http://nc.water.usgs.gov/char/>>. Acessado em: 05 abr. 2015.

APÊNDICE A – Peças do protótipo do telhado.



APÊNDICE B – Planilha de cálculo dos dados coletados para os ensaios do telhado comum.

Ensaio TC	TC 1			TC 2			TC 3			TC 4			TC 5			Média		
	Dados	Tempo	Volume	Vazão	Tempo	Volume	Vazão	Tempo	Volume	Vazão	Tempo	Volume	Vazão	Tempo	Volume	Vazão	Tempo	Volume
0	0:00:20	0,0	0,00	0:00:18	0,0	0,00	0:00:09	0,0	0,00	0:00:10	0,0	0,00	0:00:13	0,0	0,00	0:00:00	0,0	0,00
1	0:00:35	0,2	0,80	0:00:33	0,0	0,00	0:00:24	0,1	0,40	0:00:25	0,0	0,00	0:00:28	0,0	0,00	0:00:15	0,1	0,24
2	0:00:50	0,9	2,80	0:00:48	0,8	3,20	0:00:39	0,8	2,80	0:00:40	0,8	3,20	0:00:43	0,8	3,20	0:00:30	0,8	3,04
3	0:01:05	1,6	2,80	0:01:03	1,4	2,40	0:00:54	1,5	2,80	0:00:55	1,4	2,40	0:00:58	1,5	2,80	0:00:45	1,5	2,64
4	0:01:20	2,5	3,60	0:01:18	2,2	3,20	0:01:09	2,3	3,20	0:01:10	2,3	3,60	0:01:13	2,4	3,60	0:01:00	2,3	3,44
5	0:01:35	3,4	3,60	0:01:33	3,1	3,60	0:01:24	3,4	4,40	0:01:25	3,2	3,60	0:01:28	3,2	3,20	0:01:15	3,3	3,68
6	0:01:50	4,3	3,60	0:01:48	4,1	4,00	0:01:39	4,2	3,20	0:01:40	4,0	3,20	0:01:43	4,1	3,60	0:01:30	4,1	3,52
7	0:02:05	5,1	3,20	0:02:03	5,0	3,60	0:01:54	5,0	3,20	0:01:55	5,0	4,00	0:01:58	5,0	3,60	0:01:45	5,0	3,52
8	0:02:20	6,0	3,60	0:02:18	6,0	4,00	0:02:09	6,0	4,00	0:02:10	5,9	3,60	0:02:13	5,9	3,60	0:02:00	6,0	3,76
9	0:02:35	7,0	4,00	0:02:33	6,9	3,60	0:02:24	7,0	4,00	0:02:25	6,9	4,00	0:02:28	6,9	4,00	0:02:15	6,9	3,92
10	0:02:50	7,9	3,60	0:02:48	7,8	3,60	0:02:39	7,9	3,60	0:02:40	7,8	3,60	0:02:43	7,9	4,00	0:02:30	7,9	3,68
11	0:03:05	8,9	4,00	0:03:03	8,8	4,00	0:02:54	8,7	3,20	0:02:55	8,8	4,00	0:02:58	8,7	3,20	0:02:45	8,8	3,68
12	0:03:20	9,8	3,60	0:03:18	9,6	3,20	0:03:09	9,5	3,20	0:03:10	9,4	2,40	0:03:13	9,4	2,80	0:03:00	9,5	3,04
13	0:03:35	10,8	4,00	0:03:33	10,3	2,80	0:03:24	10,4	3,60	0:03:25	10,1	2,80	0:03:28	10,1	2,80	0:03:15	10,3	3,20
14	0:03:50	11,6	3,20	0:03:48	11,4	4,40	0:03:39	11,4	4,00	0:03:40	11,0	3,60	0:03:43	11,2	4,40	0:03:30	11,3	3,92
15	0:04:05	12,5	3,60	0:04:03	12,2	3,20	0:03:54	12,2	3,20	0:03:55	12,0	4,00	0:03:58	12,1	3,60	0:03:45	12,2	3,52
16	0:04:20	13,4	3,60	0:04:18	13,0	3,20	0:04:09	13,1	3,60	0:04:10	12,9	3,60	0:04:13	12,9	3,20	0:04:00	13,1	3,44
17	0:04:35	14,2	3,20	0:04:33	14,0	4,00	0:04:24	13,9	3,20	0:04:25	13,8	3,60	0:04:28	13,9	4,00	0:04:15	14,0	3,60
18	0:04:50	15,1	3,60	0:04:48	14,9	3,60	0:04:39	14,9	4,00	0:04:40	14,6	3,20	0:04:43	14,8	3,60	0:04:30	14,9	3,60
19	0:05:05	16,0	3,60	0:05:03	15,8	3,60	0:04:54	15,8	3,60	0:04:55	15,4	3,20	0:04:58	15,6	3,20	0:04:45	15,7	3,44
20	0:05:20	17,0	4,00	0:05:18	16,7	3,60	0:05:09	16,5	2,80	0:05:10	16,2	3,20	0:05:13	16,4	3,20	0:05:00	16,6	3,36
21	0:05:35	17,5	2,00	0:05:33	17,1	1,60	0:05:24	17,0	2,00	0:05:25	16,9	2,80	0:05:28	17,1	2,80	0:05:15	17,1	2,24
22	0:05:50	17,8	1,20	0:05:48	17,4	1,20	0:05:39	17,2	0,80	0:05:40	17,1	0,80	0:05:43	17,2	0,40	0:05:30	17,3	0,88
23	0:06:05	17,9	0,40	0:06:03	17,5	0,40	0:05:54	17,3	0,40	0:05:55	17,2	0,40	0:05:58	17,3	0,40	0:05:45	17,4	0,40
24	0:06:20	17,9	0,00	0:06:18	17,6	0,40	0:06:09	17,4	0,40	0:06:10	17,2	0,00	0:06:13	17,3	0,00	0:06:00	17,5	0,16
25	0:06:35	18,0	0,40	0:06:33	17,6	0,00	0:06:24	17,5	0,40	0:06:25	17,3	0,40	0:06:28	17,4	0,40	0:06:15	17,6	0,32
26	0:06:50	18,0	0,00	0:06:48	17,7	0,40	0:06:39	17,5	0,00	0:06:40	17,3	0,00	0:06:43	17,4	0,00	0:06:30	17,6	0,08
27	0:07:05	18,0	0,00	0:07:03	17,7	0,00	0:06:54	17,5	0,00	0:06:55	17,4	0,40	0:06:58	17,5	0,40	0:06:45	17,6	0,16
28	0:07:20	18,0	0,00	0:07:18	17,7	0,00	0:07:09	17,5	0,00	0:07:10	17,4	0,00	0:07:13	17,5	0,00	0:07:00	17,6	0,00
29	0:07:35	18,0	0,00	0:07:33	17,7	0,00	0:07:24	17,5	0,00	0:07:25	17,5	0,40	0:07:28	17,5	0,00	0:07:15	17,6	0,08
30	0:07:50	18,1	0,40	0:07:48	17,7	0,00	0:07:39	17,5	0,00	0:07:40	17,5	0,00	0:07:43	17,5	0,00	0:07:30	17,7	0,08
31	0:08:05	18,1	0,00	0:08:03	17,7	0,00	0:07:54	17,6	0,40	0:07:55	17,5	0,00	0:07:58	17,5	0,00	0:07:45	17,7	0,08
32	0:08:20	18,1	0,00	0:08:18	17,7	0,00	0:08:09	17,6	0,00	0:08:10	17,5	0,00	0:08:13	17,5	0,00	0:08:00	17,7	0,00
33	0:08:35	18,1	0,00	0:08:33	17,7	0,00	0:08:24	17,6	0,00	0:08:25	17,5	0,00	0:08:28	17,5	0,00	0:08:15	17,7	0,00
34	0:08:50	18,1	0,00	0:08:48	17,7	0,00	0:08:39	17,6	0,00	0:08:40	17,5	0,00	0:08:43	17,5	0,00	0:08:30	17,7	0,00
35	0:09:05	18,1	0,00	0:09:03	17,7	0,00	0:08:54	17,6	0,00	0:08:55	17,5	0,00	0:08:58	17,5	0,00	0:08:45	17,7	0,00
36	0:09:20	18,1	0,00	0:09:18	17,7	0,00	0:09:09	17,6	0,00	0:09:10	17,5	0,00	0:09:13	17,5	0,00	0:09:00	17,7	0,00
37	0:09:35	18,1	0,00	0:09:33	17,7	0,00	0:09:24	17,6	0,00	0:09:25	17,5	0,00	0:09:28	17,5	0,00	0:09:15	17,7	0,00
38	0:09:50	18,1	0,00	0:09:48	17,7	0,00	0:09:39	17,6	0,00	0:09:40	17,5	0,00	0:09:43	17,5	0,00	0:09:30	17,7	0,00
39	0:10:05	18,1	0,00	0:10:03	17,7	0,00	0:09:54	17,6	0,00	0:09:55	17,5	0,00	0:09:58	17,5	0,00	0:09:45	17,7	0,00
40	0:10:20	18,1	0,00	0:10:18	17,7	0,00	0:10:09	17,6	0,00	0:10:10	17,5	0,00	0:10:13	17,5	0,00	0:10:00	17,7	0,00
41	0:10:35	18,1	0,00	0:10:33	17,7	0,00	0:10:24	17,6	0,00	0:10:25	17,5	0,00	0:10:28	17,5	0,00	0:10:15	17,7	0,00
42	0:10:50	18,1	0,00	0:10:48	17,7	0,00	0:10:39	17,6	0,00	0:10:40	17,5	0,00	0:10:43	17,5	0,00	0:10:30	17,7	0,00
43	0:11:05	18,1	0,00	0:11:03	17,7	0,00	0:10:54	17,6	0,00	0:10:55	17,5	0,00	0:10:58	17,5	0,00	0:10:45	17,7	0,00
44	0:11:20	18,1	0,00	0:11:18	17,7	0,00	0:11:09	17,6	0,00	0:11:10	17,5	0,00	0:11:13	17,5	0,00	0:11:00	17,7	0,00
45	0:11:35	18,1	0,00	0:11:33	17,7	0,00	0:11:24	17,6	0,00	0:11:25	17,5	0,00	0:11:28	17,5	0,00	0:11:15	17,7	0,00
46	0:11:50	18,1	0,00	0:11:48	17,7	0,00	0:11:39	17,6	0,00	0:11:40	17,5	0,00	0:11:43	17,5	0,00	0:11:30	17,7	0,00
47	0:12:05	18,1	0,00	0:12:03	17,7	0,00	0:11:54	17,6	0,00	0:11:55	17,5	0,00	0:11:58	17,5	0,00	0:11:45	17,7	0,00
48	0:12:20	18,1	0,00	0:12:18	17,7	0,00	0:12:09	17,6	0,00	0:12:10	17,5	0,00	0:12:13	17,5	0,00	0:12:00	17,7	0,00
49	0:12:35	18,1	0,00	0:12:33	17,7	0,00	0:12:24	17,6	0,00	0:12:25	17,5	0,00	0:12:28	17,5	0,00	0:12:15	17,7	0,00
50	0:12:50	18,1	0,00	0:12:48	17,7	0,00	0:12:39	17,6	0,00	0:12:40	17,5	0,00	0:12:43	17,5	0,00	0:12:30	17,7	0,00

## APÊNDICE C – planilha de cálculo dos dados coletados para os ensaios do Telhado Verde.

Ensaio TV	TV 1			TV 2			TV 3			TV 4			TV 5			Média		
	Dados	Tempo	Volume	Vazão	Tempo	Volume	Vazão	Tempo	Volume	Vazão	Tempo	Volume	Vazão	Tempo	Volume	Vazão	Tempo	Volume
0	0:00:12	0,0	0,00	0:00:12	0,0	0,00	0:00:20	0,0	0,00	0:00:20	0,0	0,00	0:00:10	0,0	0,00	0:00:00	0,0	0,00
1	0:00:27	0,0	0,00	0:00:27	0,0	0,00	0:00:35	0,0	0,00	0:00:35	0,0	0,00	0:00:25	0,0	0,00	0:00:15	0,0	0,00
2	0:00:42	0,0	0,00	0:00:42	0,0	0,00	0:00:50	0,0	0,00	0:00:50	0,0	0,00	0:00:40	0,0	0,00	0:00:30	0,0	0,00
3	0:00:57	0,0	0,00	0:00:57	0,0	0,00	0:01:05	0,0	0,00	0:01:05	0,0	0,00	0:00:55	0,0	0,00	0:00:45	0,0	0,00
4	0:01:12	0,0	0,00	0:01:12	0,0	0,00	0:01:20	0,0	0,00	0:01:20	0,0	0,00	0:01:10	0,0	0,00	0:01:00	0,0	0,00
5	0:01:27	0,1	0,40	0:01:27	0,1	0,40	0:01:35	0,1	0,40	0:01:35	0,1	0,40	0:01:25	0,1	0,40	0:01:15	0,1	0,40
6	0:01:42	0,2	0,40	0:01:42	0,4	1,20	0:01:50	0,7	2,40	0:01:50	0,6	2,00	0:01:40	1,0	3,60	0:01:30	0,6	1,92
7	0:01:57	1,1	3,60	0:01:57	1,3	3,60	0:02:05	1,6	3,60	0:02:05	1,2	2,40	0:01:55	1,8	3,20	0:01:45	1,4	3,28
8	0:02:12	1,9	3,20	0:02:12	1,9	2,40	0:02:20	2,2	2,40	0:02:20	2,0	3,20	0:02:10	2,4	2,40	0:02:00	2,1	2,72
9	0:02:27	2,8	3,60	0:02:27	2,6	2,80	0:02:35	3,0	3,20	0:02:35	2,8	3,20	0:02:25	3,1	2,80	0:02:15	2,9	3,12
10	0:02:42	3,5	2,80	0:02:42	3,4	3,20	0:02:50	3,9	3,60	0:02:50	3,7	3,60	0:02:40	3,9	3,20	0:02:30	3,7	3,28
11	0:02:57	4,1	2,40	0:02:57	4,2	3,20	0:03:05	4,8	3,60	0:03:05	4,3	2,40	0:02:55	4,8	3,60	0:02:45	4,4	3,04
12	0:03:12	5,0	3,60	0:03:12	4,9	2,80	0:03:20	5,5	2,80	0:03:20	5,2	3,60	0:03:10	5,5	2,80	0:03:00	5,2	3,12
13	0:03:27	5,8	3,20	0:03:27	5,8	3,60	0:03:35	6,3	3,20	0:03:35	5,9	2,80	0:03:25	6,4	3,60	0:03:15	6,0	3,28
14	0:03:42	6,6	3,20	0:03:42	6,6	3,20	0:03:50	7,1	3,20	0:03:50	6,8	3,60	0:03:40	7,2	3,20	0:03:30	6,9	3,28
15	0:03:57	7,4	3,20	0:03:57	7,4	3,20	0:04:05	8,1	4,00	0:04:05	7,5	2,80	0:03:55	8,1	3,60	0:03:45	7,7	3,36
16	0:04:12	8,2	3,20	0:04:12	8,2	3,20	0:04:20	8,9	3,20	0:04:20	8,3	3,20	0:04:10	8,9	3,20	0:04:00	8,5	3,20
17	0:04:27	9,1	3,60	0:04:27	9,0	3,20	0:04:35	9,8	3,60	0:04:35	9,1	3,20	0:04:25	9,8	3,60	0:04:15	9,4	3,44
18	0:04:42	9,9	3,20	0:04:42	10,0	4,00	0:04:50	10,8	4,00	0:04:50	9,9	3,20	0:04:40	10,8	4,00	0:04:30	10,3	3,68
19	0:04:57	10,8	3,60	0:04:57	10,9	3,60	0:05:05	11,6	3,20	0:05:05	10,8	3,60	0:04:55	11,6	3,20	0:04:45	11,1	3,44
20	0:05:12	11,8	4,00	0:05:12	11,8	3,60	0:05:20	12,4	3,20	0:05:20	11,7	3,60	0:05:10	12,4	3,20	0:05:00	12,0	3,52
21	0:05:27	12,5	2,80	0:05:27	12,6	3,20	0:05:35	13,4	4,00	0:05:35	12,4	2,80	0:05:25	13,2	3,20	0:05:15	12,8	3,20
22	0:05:42	13,1	2,40	0:05:42	13,1	2,00	0:05:50	13,9	2,00	0:05:50	13,0	2,40	0:05:40	13,8	2,40	0:05:30	13,4	2,24
23	0:05:57	13,4	1,20	0:05:57	13,6	2,00	0:06:05	14,2	1,20	0:06:05	13,4	1,60	0:05:55	14,1	1,20	0:05:45	13,7	1,44
24	0:06:12	13,6	0,80	0:06:12	13,8	0,80	0:06:20	14,4	0,80	0:06:20	13,7	1,20	0:06:10	14,4	1,20	0:06:00	14,0	0,96
25	0:06:27	13,8	0,80	0:06:27	13,9	0,40	0:06:35	14,8	1,60	0:06:35	13,8	0,40	0:06:25	14,7	1,20	0:06:15	14,2	0,88
26	0:06:42	14,0	0,80	0:06:42	14,1	0,80	0:06:50	14,9	0,40	0:06:50	13,9	0,40	0:06:40	14,9	0,80	0:06:30	14,4	0,64
27	0:06:57	14,1	0,40	0:06:57	14,2	0,40	0:07:05	15,1	0,80	0:07:05	14,1	0,80	0:06:55	15,0	0,40	0:06:45	14,5	0,56
28	0:07:12	14,1	0,00	0:07:12	14,4	0,80	0:07:20	15,2	0,40	0:07:20	14,2	0,40	0:07:10	15,1	0,40	0:07:00	14,6	0,40
29	0:07:27	14,2	0,40	0:07:27	14,5	0,40	0:07:35	15,3	0,40	0:07:35	14,3	0,40	0:07:25	15,2	0,40	0:07:15	14,7	0,40
30	0:07:42	14,3	0,40	0:07:42	14,6	0,40	0:07:50	15,4	0,40	0:07:50	14,4	0,40	0:07:40	15,3	0,40	0:07:30	14,8	0,40
31	0:07:57	14,4	0,40	0:07:57	14,7	0,40	0:08:05	15,5	0,40	0:08:05	14,5	0,40	0:07:55	15,4	0,40	0:07:45	14,9	0,40
32	0:08:12	14,5	0,40	0:08:12	14,8	0,40	0:08:20	15,6	0,40	0:08:20	14,6	0,40	0:08:10	15,5	0,40	0:08:00	15,0	0,40
33	0:08:27	14,5	0,00	0:08:27	14,9	0,40	0:08:35	15,6	0,00	0:08:35	14,7	0,40	0:08:25	15,6	0,40	0:08:15	15,1	0,24
34	0:08:42	14,6	0,40	0:08:42	14,9	0,00	0:08:50	15,7	0,40	0:08:50	14,8	0,40	0:08:40	15,7	0,40	0:08:30	15,1	0,32
35	0:08:57	14,7	0,40	0:08:57	15,0	0,40	0:09:05	15,7	0,00	0:09:05	14,8	0,00	0:08:55	15,8	0,40	0:08:45	15,2	0,24
36	0:09:12	14,8	0,40	0:09:12	15,0	0,00	0:09:20	15,8	0,40	0:09:20	14,9	0,40	0:09:10	15,8	0,00	0:09:00	15,3	0,24
37	0:09:27	14,8	0,00	0:09:27	15,1	0,40	0:09:35	15,8	0,00	0:09:35	14,9	0,00	0:09:25	15,9	0,40	0:09:15	15,3	0,16
38	0:09:42	14,9	0,40	0:09:42	15,1	0,00	0:09:50	15,9	0,40	0:09:50	15,0	0,40	0:09:40	15,9	0,00	0:09:30	15,4	0,24
39	0:09:57	14,9	0,00	0:09:57	15,1	0,00	0:10:05	15,9	0,00	0:10:05	15,0	0,00	0:09:55	15,9	0,00	0:09:45	15,4	0,00
40	0:10:12	14,9	0,00	0:10:12	15,2	0,40	0:10:20	16,0	0,40	0:10:20	15,1	0,40	0:10:10	16,0	0,40	0:10:00	15,4	0,32
41	0:10:27	15,0	0,40	0:10:27	15,2	0,00	0:10:35	16,0	0,00	0:10:35	15,1	0,00	0:10:25	16,0	0,00	0:10:15	15,5	0,08
42	0:10:42	15,0	0,00	0:10:42	15,3	0,40	0:10:50	16,0	0,00	0:10:50	15,1	0,00	0:10:40	16,0	0,00	0:10:30	15,5	0,08
43	0:10:57	15,1	0,40	0:10:57	15,3	0,00	0:11:05	16,1	0,40	0:11:05	15,2	0,40	0:10:55	16,1	0,40	0:10:45	15,6	0,32
44	0:11:12	15,1	0,00	0:11:12	15,4	0,40	0:11:20	16,1	0,00	0:11:20	15,2	0,00	0:11:10	16,1	0,00	0:11:00	15,6	0,08
45	0:11:27	15,1	0,00	0:11:27	15,4	0,00	0:11:35	16,1	0,00	0:11:35	15,2	0,00	0:11:25	16,1	0,00	0:11:15	15,6	0,00
46	0:11:42	15,1	0,00	0:11:42	15,5	0,40	0:11:50	16,1	0,00	0:11:50	15,3	0,40	0:11:40	16,1	0,00	0:11:30	15,6	0,16
47	0:11:57	15,2	0,40	0:11:57	15,5	0,00	0:12:05	16,2	0,40	0:12:05	15,3	0,00	0:11:55	16,1	0,00	0:11:45	15,7	0,16
48	0:12:12	15,2	0,00	0:12:12	15,5	0,00	0:12:20	16,2	0,00	0:12:20	15,3	0,00	0:12:10	16,1	0,00	0:12:00	15,7	0,00
49	0:12:27	15,2	0,00	0:12:27	15,5	0,00	0:12:35	16,2	0,00	0:12:35	15,3	0,00	0:12:25	16,1	0,00	0:12:15	15,7	0,00
50	0:24:10	16,0	3,20	0:25:18	16,5	4,00	0:24:24	17,1	3,60	0:23:45	16,1	3,20	0:24:00	17,1	4,00	0:24:19	16,6	0,07