



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL**  
**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: AMBIENTE CONSTRUÍDO**

**SILVIA MARIA NOGUEIRA BALDESSAR**

A detailed architectural line drawing of a classical building facade, featuring a prominent portico with several columns and a triangular pediment. The drawing is rendered in a light, sketchy style, showing the intricate details of the architecture.

**TELHADO VERDE E SUA CONTRIBUIÇÃO NA REDUÇÃO DA  
VAZÃO DA ÁGUA PLUVIAL ESCOADA**

Curitiba

2012



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL**  
**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: AMBIENTE CONSTRUÍDO**

**SILVIA MARIA NOGUEIRA BALDESSAR**

**TELHADO VERDE E SUA CONTRIBUIÇÃO NA REDUÇÃO DA  
VAZÃO DA ÁGUA PLUVIAL ESCOADA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil, Área de Concentração em Ambiente Construído, Departamento de Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Fernando Tavares

Curitiba

2012

Baldessar, Silvia Maria Nogueira

Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada / Silvia Maria Nogueira Baldessar – Curitiba, 2012.  
125 f. : il., tab, graf.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil.

Orientador: Sérgio Fernando Tavares

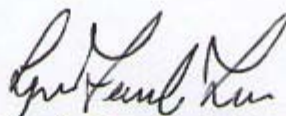
1. Águas pluviais. 2. Telhados. 3. escoamento urbano. I. Tavares, Sérgio Fernando. II. Título.

CDD 690.15

**TERMO DE APROVAÇÃO****SILVIA MARIA NOGUEIRA BALDESSAR****TELHADO VERDE E SUA CONTRIBUIÇÃO NA REDUÇÃO DA VAZÃO DA ÁGUA  
PLUVIAL ESCOADA**

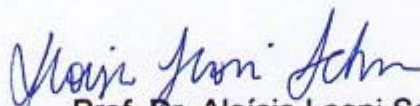
Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Área de Concentração em Ambiente Construído e Gestão, Departamento de Construção Civil, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador:



Prof. Dr. Sergio Fernando Tavares  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil  
Universidade Federal do Paraná

Examinadores:



Prof. Dr. Aloísio Leoni Schmid  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil  
Universidade Federal do Paraná



Prof. Dr. Márcio Rosa D'Avila  
Departamento de Projeto  
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

Curitiba, 11 de abril de 2012.

Em memória dos meus queridos avós  
Moacyr Gonsalves Nogueira e Diva Rocha Nogueira  
grandes responsáveis pela minha formação.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil, pela oportunidade de cursar este programa de mestrado.

À CAPES, pela concessão de uma bolsa de pesquisa.

Ao meu orientador Prof. Dr. Sergio Fernando Tavares por acreditar em mim e por ajudar-me a concretizar este trabalho.

Ao Prof. Dr. Aloísio Leoni Schmid e ao Prof. Dr. Márcio Rosa D'Avila participantes da minha banca examinadora que através de suas observações contribuíram para complementar esta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Antonio Manoel Nunes Castelnou, neto que com total desprendimento compartilhou os seus conhecimentos.

A todos os professores do PPGECC que ao ministrarem suas aulas transmitiram seus ensinamentos.

Aos meus colegas de mestrado que muito contribuíram pelas horas agradáveis que passamos juntos, consolidando boas amizades.

À minha companheira de mestrado Susan Pessini Sato que com toda a sua paciência me fez compreender um pouco mais a língua inglesa.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marianne R. M. M. Costa, Coordenadora do PPGECC.

À querida Ziza Regina Nichele por nos atender com carinho.

Aos meus professores Paulo Cesar Braga Pacheco e Reginaldo Luiz Reinert por me recomendarem a este programa de mestrado.

Ao amigo Fernando Thá Filho e seu pai, pela confiança em fornecer preciosos arquivos do seu avô Eduardo Thá e pela sua disponibilidade de estar com sua casa sempre aberta.

Ao Engenheiro Agrônomo José Fernando Rios do Museu Botânico de Curitiba por contribuir com seus conhecimentos.

Ao Museu Botânico de Curitiba por fornecer as matrizes de plantas e substratos.

Ao meu marido Pedro Sergio Baldessar, possuidor de grande conhecimento, um agradecimento especial pelo seu apoio incondicional. Com certeza foi uma figura fundamental nesta minha empreitada estando sempre disposto em me ajudar.

Ao meu filho Pedro Baldessar Netto, grande companheiro de todas as horas.

À minha mãe Regina Helena, meus irmãos e toda a minha família,

E a Deus que me conduz nesta minha caminhada.

“O que eu faço é uma gota no meio do oceano.  
Mas sem ela, o oceano seria menor.”

Madre Teresa de Calcutá

## RESUMO

A ocupação urbana cresce e junto crescem os problemas gerados por ela. Problemas como enchentes, cada vez mais afligem as cidades frente ao sistema de gestão de águas pluviais. Com o objetivo de demonstrar experimentalmente o comportamento de um telhado verde em relação a este processo e por meio de simulação eletrônica avaliou-se a possibilidade do uso na cidade de Curitiba, Paraná (Brasil).

Os telhados verdes, por longo período da história da arquitetura, vêm sendo utilizados, porém com conotações diferentes. Suas motivações foram estéticas, vernaculares, lazer, ecológicas e por fim sustentáveis. Por este último motivo é que hoje procura-se implantar maiores quantidades de telhados verdes nas cidades utilizando-os como um mecanismo de eficiência energética, de conforto térmico e acústico e um potencial redutor da vazão de água pluvial escoada.

Um protótipo de um telhado verde, um protótipo de telhado convencional com telhas de barro e um protótipo de uma laje impermeável foram projetados e construídos em Curitiba de modo a terem seus dados, de águas escoadas, coletados no período de novembro de 2011 à fevereiro de 2012, para serem confrontados verificando o desempenho de cada um. Junto ao experimento foi aplicado também o *software GreenRoof*, como uma ferramenta auxiliar na comprovação da contribuição do telhado verde na redução do escoamento de água de chuva.

Os resultados de medição diária, quanto os resultados de simulação no *software* utilizado, apontaram os benefícios do uso do telhado verde no processo de gestão de águas pluviais, que foi capaz de escoar 30,7% de toda a água precipitada enquanto o telhado de barro escoou 77,3%.

**Palavras chave:** telhado verde, sustentabilidade, água pluvial, evapotranspiração.



## **ABSTRACT**

*The urban occupation grows and so grows the issues generated by it. Issues such as accumulation of the volume of floods increasingly affecting the cities, in relation to the existing rainwater systems. In order to demonstrate the behavior of a green roof in the city of Curitiba, Paraná (Brazil), an experiment was developed, and electronic simulation was used to confirm observations.*

*Green roofs, for a long period of architectural history, have been used with different connotations. The motivation was aesthetic, vernacular, recreational, ecological and sustainable. For this last reason, it is currently common to develop larger quantities of green roofs in cities using them as mechanisms for energy efficiency, thermal and acoustic comfort and as a potential of draining rainwater.*

*A prototype of a green roof, a prototype of a conventional roof with clay tiles and a prototype of an impermeable slab were designed and built in Curitiba to have your data, the rainwater runoff, collected from November 2011 to February 2012, to be confronted by checking the performance of each. Along the experiment was also applied the GreenRoof software as an auxiliary tool in proving the contribution of green roof to reduce runoff of rainwater.*

*The results of daily measurements, as the results of the simulation software used, pointed out the benefits of using green roof in the process of rainwater management, which was able to drain 30.7% of all water precipitated while the clay roof drained 77.3%.*

**Keywords:** *green roofs, sustainability, rainwater, evapotranspiration.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Enchentes em centros urbanos.....	21
Figura 2: Abrigo primitivo.....	30
Figura 3: Telhado verde da Escandinávia.....	31
Figura 4: Terraço jardim Savoye.....	33
Figura 5: Casa da Cascata.....	33
Figura 6: Teto verde de Stuttgart na Alemanha.....	36
Figura 7: Composição de telhado verde.....	38
Figura 8: Execução da impermeabilização.....	43
Figura 9: Telhado verde e suas propriedades.....	46
Figura 10: Evapotranspiração, Departamento de Recursos Hídricos da Califórnia.....	48
Figura 11: Dados de evapotranspiração do Paraná.....	49
Figura 12: Interface de resultados do software GreenRoof para a simulação proposta.....	53
Figura 13: Interface do gráfico gerado pelo programa GreenRoof.....	54
Figura 14: <i>Portulaca grandiflora</i> , Onze horas.....	56
Figura 15: Impermeabilidade e poluição.....	60
Figura 16: As plantas e a restauração dos ecossistemas naturais.....	63
Figura 17: Telhado verde no bairro de Vila Isabel em Curitiba.....	65
Figura 18: Fachada da edificação com telhado verde.....	66
Figura 19: Representação das camadas do telhado verde do projeto de Eduardo Thá.....	68
Figura 20: Substrato existente na edificação de telhado verde.....	69
Figura 21: Projeto do protótipo para experimento.....	76
Figura 22: Conjunto dos três telhados.....	77
Figura 23: Estrutura em madeira em fase de montagem e pronta.....	78
Figura 24: Estrutura em madeira protegida com emulsão asfáltica.....	78
Figura 25: Aplicação de vedante para calhas.....	79
Figura 26: Detalhe da válvula de escoamento.....	79
Figura 27: Caixa impermeável com fundo de 1m <sup>2</sup> .....	80
Figura 28: Colocação do tecido geotêxtil sobre a válvula.....	81
Figura 29: Montagem da camada de argila expandida.....	81
Figura 30: Aplicação do tecido geotêxtil.....	82
Figura 31: Colocação do substrato.....	82
Figura 32: Substrato sendo irrigado.....	83
Figura 33: Execução do plantio.....	83
Figura 34: Detalhe da proteção da válvula do espaço 2 que simula uma laje.....	84
Figura 35: Detalhe do espaço 3, telhado convencional.....	85
Figura 36: Detalhe do registro e recipiente graduado.....	86
Figura 37: Gráfico da comparação das medições de precipitação – novembro de 2011.....	93
Figura 38: Gráfico da comparação das medições de precipitação – dezembro de 2011.....	94
Figura 39: Gráfico da comparação das medições de precipitação – janeiro de 2012.....	94
Figura 40: Gráfico da comparação das medições de precipitação – fevereiro de 2012.....	95
Figura 41: Mapa do IAPAR modificado – Evapotranspiração - Novembro.....	96
Figura 42: Mapa do IAPAR modificado – Evapotranspiração - Dezembro.....	97
Figura 43: Mapa do IAPAR modificado – Evapotranspiração - Janeiro.....	97
Figura 44: Mapa do IAPAR modificado – Evapotranspiração - Fevereiro.....	98
Figura 45: Interface dos dados do experimento.....	99
Figura 46: Interface de resultados do <i>software</i> aplicado no experimento.....	100
Figura 47: Interface de características dos telhados do experimento.....	101
Figura 48: Interface do gráfico do experimento produzido pelo <i>software</i> .....	102
Figura 49: Interface dos dados do telhado verde existente.....	103
Figura 50: Interface de resultados do <i>software</i> aplicado no telhado verde existente.....	104
Figura 51: Interface de características do telhado verde existente.....	105
Figura 52: Interface do gráfico do telhado verde existente produzido pelo <i>software</i> .....	106

Figura 53: Gráfico da água escoada – novembro 2011. ....	107
Figura 54: Gráfico da água escoada – dezembro 2011. ....	108
Figura 55: Gráfico da água escoada – janeiro 2012.....	109
Figura 56: Gráfico da água escoada – fevereiro 2012. ....	110

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados meteorológicos da estação automática de Curitiba. ....	50
Tabela 2: Planilha de Coleta de Dados do Protótipo de Telhado Verde. ....	74
Tabela 3: Coleta de dados do experimento – novembro 2011.....	88
Tabela 4: Coleta de dados do experimento – dezembro 2011.....	89
Tabela 5: Coleta de dados do experimento – janeiro 2012. ....	90
Tabela 6: Coleta de dados do experimento – fevereiro 2012.....	91
Tabela 7: Dados de precipitação diária retirados do INMET. ....	92
Tabela 8: Dados interpolados das normais de evapotranspiração – IAPAR.....	98
Tabela 9: Totalização da água escoada medida no experimento. ....	111
Tabela 10: Totalização da água escoada do telhado verde existente.....	112

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BEN	Balanço Energético Nacional
CVL	Cobertura Verde Leve
<i>EAD</i>	<i>Environmental Affairs Department</i>
<i>EBN</i>	<i>Environmental Building News</i>
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
ETo	evapotranspiração
EUA	Estados Unidos da América
IAPAR	Instituto Agrônômico do Paraná
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
<i>IPCC</i>	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
<i>IUPWARE</i>	<i>InterUniversitare Programme in WAter Resources Enginnering</i>
NBR	Norma Técnica Brasileira
<i>NRCA</i>	<i>National Roofing Contractors Association</i>
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONG	Organização Não Governamental
ONU	Organização das Nações Unidas
PPGCC	Programa de Pós-Graduação em Construção Civil
PURAE	Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações
<i>SPRING</i>	<i>Software de Sistema de Informação Geográfica</i>
UFPR	Universidade Federal do Paraná
<i>UNFCCC</i>	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
<i>USD</i>	<i>United States dollar</i>

USP	Universidade de São Paulo
UTC	<i>Universal Time Coordinated</i>
WWF	<i>World Wild Fund for Nature</i>
ZRs	Zonas Residenciais

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA.....	18
1.2. HIPÓTESE .....	19
1.3. OBJETIVOS .....	19
1.4. CONTEXTUALIZAÇÃO NO PROGRAMA .....	19
1.5. JUSTIFICATIVAS .....	20
1.5.1. <i>Justificativa social</i> .....	20
1.5.2. <i>Justificativa econômica</i> .....	21
1.5.3. <i>Justificativa ambiental</i> .....	22
1.5.4. <i>Justificativa tecnológica</i> .....	24
1.6. ESTRUTURAÇÃO .....	25
<b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>27</b>
2.1. SUSTENTABILIDADE .....	27
2.2. TELHADO E SUA CONDIÇÃO DE ABRIGO .....	29
2.2.1. <i>Despertar ecológico</i> .....	34
2.2.2. <i>Ambientalismo contemporâneo</i> .....	35
2.3. COMPOSIÇÃO DO TELHADO VERDE - ASPECTOS TÉCNICOS.....	37
2.3.1. <i>Vegetação</i> .....	39
2.3.2. <i>Substrato</i> .....	39
2.3.3. <i>Filtro</i> .....	41
2.3.4. <i>Drenagem</i> .....	41
2.3.5. <i>Camadas de retenção de água</i> .....	42
2.3.6. <i>Camada anti-raiz</i> .....	42
2.3.7. <i>Impermeabilização</i> .....	42
2.3.8. <i>Isolamentos</i> .....	43
2.3.9. <i>Pavimentos</i> .....	44
2.4. VEGETAÇÃO DO TELHADO VERDE.....	45
2.4.1. <i>Vegetação e meio ambiente</i> .....	45
2.4.2. <i>Vegetação e os ciclos ecológicos</i> .....	45
2.4.3. <i>Vegetação e os ciclos hidrológicos</i> .....	46
2.4.4. <i>Apresentação do Software GreenRoof</i> .....	51
2.4.5. <i>Tipos de vegetação para telhados verdes extensivos</i> .....	55
2.5. USO DO TELHADO VERDE – BENEFÍCIOS .....	57
2.5.1. <i>Retenção de água de chuva</i> .....	58
2.5.2. <i>Melhoria da qualidade da água - filtro</i> .....	59
2.5.3. <i>Redução da Ilha-de-calor urbano</i> .....	60
2.5.4. <i>Qualidade do ar e fluxos de ar</i> .....	61
2.5.5. <i>Conservação de energia</i> .....	61
2.5.6. <i>Habitat</i> .....	62
2.5.7. <i>Estética e recuperação do espaço de zoneamento</i> .....	63
2.5.8. <i>Custos</i> .....	64
2.5.9. <i>Benefícios econômicos</i> .....	64

2.5.10. <i>Durabilidade</i> .....	64
2.6. TELHADO VERDE EXISTENTE.....	65
2.6.1. <i>Localização da edificação</i> .....	65
2.6.2. <i>Descrição do empreendimento</i> .....	66
2.6.3. <i>Dados do construtor</i> .....	66
2.6.4. <i>Arquivos pessoais de Eduardo Thá</i> .....	67
<b>CAPÍTULO 3 - MÉTODO DE PESQUISA.....</b>	<b>71</b>
3.1. DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA.....	71
3.1.1. <i>Unidade de análise</i> .....	71
3.1.2. <i>Delimitação do trabalho</i> .....	71
3.1.3. <i>Justificativa</i> .....	71
3.1.4. <i>Testes de validade</i> .....	72
3.2. PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS .....	72
3.3. MÉTODO DE ANÁLISE DE DADOS.....	73
<b>CAPÍTULO 4 - EXPERIMENTO DE CAMPO.....</b>	<b>75</b>
4.1. PROTÓTIPO DO TELHADO VERDE, LAJE LISA E TELHA DE BARRO .....	75
4.1.2. <i>Localização</i> .....	75
4.1.1. <i>Projeto</i> .....	75
4.1.3. <i>Montagem</i> .....	77
<b>CAPÍTULO 5 – COLETA DE DADOS E RESULTADOS .....</b>	<b>87</b>
5.1. COLETA DE DADOS E RESULTADOS DO EXPERIMENTO .....	87
5.2. COLETA DE DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA - INMET .....	92
5.3. COLETA DE DADOS DA ESTAÇÃO AGROMETEOROLÓGICA - IAPAR .....	95
5.4. SIMULAÇÃO DO SOFTWARE GREENROOF .....	99
5.4.1. <i>Simulação para o experimento</i> .....	99
5.4.2. <i>Simulação para o telhado verde existente</i> .....	102
<b>CAPÍTULO 6 – ANÁLISE .....</b>	<b>107</b>
CONCLUSÕES .....	113
TRABALHOS FUTUROS .....	115
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>116</b>
<b>BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR.....</b>	<b>121</b>
<b>FONTES DE FIGURAS.....</b>	<b>123</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>124</b>



## **CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO**

A presente pesquisa contribui para o conhecimento e incentivo do uso de telhados verdes em grandes centros urbanos no processo de urbanização. O costume generalizado de usar pavimentos impermeáveis faz aumentar desnecessariamente a água que escorre superficialmente nas cidades (MASCARÓ, 2010).

O desenvolvimento da infraestrutura urbana tem sido realizada de forma inadequada, o que tem provocado impactos significativos na qualidade de vida da população. A drenagem urbana tem sido um dos principais veículos de deterioração deste ambiente, devido à própria concepção do sistema de drenagem pluvial e a ações externas, como a produção de resíduos sólidos e os padrões de ocupação urbana. Além disso, as soluções adotadas, no âmbito de engenharia, para a drenagem urbana às vezes têm produzido mais danos do que benefícios ao ambiente (VILLANUEVA e TUCCI, 2001).

A gestão de águas pluviais tornou-se uma questão de urgência para muitos centros urbanos. Cada vez mais, a cidade é coberta por superfícies impermeáveis: ruas e edificações, que não retêm a precipitação e, assim, produzem mais e mais volume no escoamento de água. As consequências negativas são as águas pluviais contaminadas por óleo, lixo e outras toxinas que acabam sendo direcionadas aos córregos e rios.

A Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997, institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, criando o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. O capítulo III, artigo 3º, consiste em diretrizes gerais de ação para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, onde se prevê a articulação da gestão de recursos hídricos de forma integrada com a gestão do uso e ocupação do solo.

Assim, esta pesquisa amplia os conhecimentos sobre o uso do telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada. Este trabalho compartilha esta experiência com os profissionais da área e destaca a importância do uso do telhado verde em lugares de alta impermeabilidade. Desta

forma, coopera com a causa da arquitetura mais sustentável, não só em novas construções como também em espaços comprometidos, já existentes, e passíveis de mudanças.

## 1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

As cidades que se encontram em constante crescimento, deparam-se com as consequências do seu desenvolvimento descomedido e dos problemas ambientais gerados por este. Toda a construção inserida em um meio afeta este, seja em questões perceptíveis ou não, de modo imediato ou não.

A ocupação urbana através de áreas impermeáveis como telhados, passeios, ruas, estacionamentos e outros alteram as características de volume e qualidade do ciclo hidrológico. O resultado destas superfícies tem sido o aumento das enchentes urbanas e a degradação da qualidade das águas pluviais. A drenagem urbana tem sido desenvolvida com o princípio de drenar a água das precipitações o mais rápido possível para jusante. Desta forma, as enchentes aumentam fazendo crescer a frequência e magnitude delas. Este aumento traz consigo o acréscimo da produção de lixo e a deteriorização da qualidade da água (TUCCI *et al.*, 2000).

É a partir deste quadro que surge o principal questionamento desta pesquisa: para compensar a redução da permeabilidade do solo, frente à ocupação urbana, os telhados verdes apresentarão significativos resultados para minimizar este problema? E ainda podem ser usados, como uma ferramenta de projeto de telhado verde, os *softwares* específicos para calcular a evapotranspiração e para quantificar o volume de água pluvial a ser lançado na rede pública de escoamento de água?

## 1.2. HIPÓTESE

Nesta pesquisa, parte-se do princípio de que o ambiente afetado com as enchentes passaria a ser mais permeável e economicamente viável quando da utilização de telhados verdes nas edificações. Formula-se a hipótese que dentro do ambiente urbano, a utilização deste tipo de cobertura contribuiria para a absorção das águas pluviais, pois, utilizadas em larga escala, aumentariam a eficácia e transformariam ambientes, liberando-os para a utilização urbana sem trazer consequências aos poderes público e privado quanto a infraestrutura de galerias de águas pluviais e as consequências geradas pelas enchentes.

## 1.3. OBJETIVOS

De modo geral, pretende-se demonstrar experimentalmente o comportamento de um telhado verde em relação ao processo de gestão de águas pluviais.

De modo específico busca-se aplicar o *software GreenRoof* no protótipo de telhado verde e comparar com os dados recolhidos no experimento. Através do *software*, traçar a contribuição da edificação em estudo, a fim de verificar a contribuição deste telhado quanto à evapotranspiração e à quantidade de água destinada à rede pública de águas pluviais.

## 1.4. CONTEXTUALIZAÇÃO NO PROGRAMA

Em análise retrospectiva observa-se que os conteúdos abordados nesta pesquisa estão ligados a Universidade Federal do Paraná (UFPR), ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil (PPGCC), Área de Concentração em Ambiente Construído, a Dissertação apresentada por Nascimento (2008). Em seu conteúdo, a autora descreve sobre coberturas verdes no contexto da região metropolitana de Curitiba, suas barreiras e potencialidades.

Nascimento apresenta uma linha do tempo, um histórico aprofundado sobre as coberturas verdes desde a antiguidade até os dias atuais e através de uma *e-Survey* identifica as dificuldades enfrentadas por profissionais do ramo da construção civil em implementar as coberturas verdes, dentre elas: a insuficiência de conhecimento, incertezas e questões técnicas.

A presente pesquisa vem complementar e inserir novas abordagens ao contexto, como por exemplo: fundamentar a pesquisa na busca de um novo modelo de desenvolvimento citando os movimentos ecológicos, fatores desencadeantes da busca por sustentabilidade. A inclusão de um experimento de campo amplia conhecimento e delega aos novos pesquisadores outras produções, referentes aos benefícios do uso de telhado verde contribuindo para novas constatações e análises.

## **1.5. JUSTIFICATIVAS**

### **1.5.1. Justificativa social**

Tem-se conhecimento de que o problema gerado pelas enchentes tem muitas implicações nas questões sociais. Para o controle das enchentes, é necessário ter o gerenciamento do excesso de água, que pode estar ligado às áreas de enchente e na gestão das águas pluviais urbanas. A reorganização dos espaços urbanos é, em princípio, um dos fatores que surge para restabelecer as áreas naturais necessárias à inundação dos rios; fenômeno por qual todos os rios passam. Já os sistemas preventivos de inundações, como a drenagem urbana, são muito prejudicados por precisarem atender além dos seus limites de capacidade, pois, quando uma área se urbaniza, o solo é progressivamente impermeabilizado, as águas não infiltram e o excesso delas causa muito transtorno à população.

O Brasil passou - e ainda vem passando - por problemas deste teor em diversas regiões do país. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), o Brasil enfrentou 37 enchentes desastrosas desde 2000, sendo quatro delas ocorridas em 2008 e sete em 2009. Estudos recentes afirmam que as enchentes do

ano de 2011 no Brasil foram as mais fatais da história do país, deixando mais de 900 mortos (Figura 1).



**Figura 1: Enchentes em centros urbanos.**

Fonte: ecobusiness (2012).

Desastres ligados a chuvas intensas afetaram perto de cinco milhões de pessoas nas décadas de 1990 e 2000. Propondo ações para contribuir com a gestão de águas pluviais, o uso do telhado verde, viria prevenir a redução do seu escoamento pela rede pública, córregos e rios no ambiente urbano e, com isto, reduziria a ocorrência de enchentes atenuando suas consequências.

### **1.5.2. Justificativa econômica**

O consumo brasileiro de energia vem crescendo ano a ano (BEN, 2009). Há uma década atrás, o Brasil tinha um consumo final energético de 315.753 GWh e uma produção de 334.716 GWh. No balanço energético do país em 2009, com referências de ano base 2008, o consumo passou a ser de 428.250 GWh, ou seja, um aumento de 35,6%; e a produção de 463.120 GWh, com um aumento de 38,4%; um dado relevante em face da diferença entre a crescente produção e o consumo de energia. De toda esta energia consumida no Brasil, 44,98% vão para as edificações residenciais, comerciais e públicas; sendo 22,32% desta energia correspondente ao setor residencial, isto é, praticamente a metade. Diante deste

contexto, o desempenho dos telhados verdes é significativo em relação à economia de energia, pela sua capacidade de melhorar o isolamento térmico dos edifícios.

De acordo com Thompson e Sorvig (2008), os telhados verdes apresentam fatores econômicos: protegem telhados convencionais da radiação ultravioleta (UV) e das temperaturas extremas, as duas principais fontes de degradação dos telhados comuns. Materiais de cobertura, como os derivados do petróleo, são vulneráveis à degradação pela radiação ultravioleta; e um telhado verde formaria um verdadeiro escudo impermeabilizante à radiação, muitas vezes, duplicando (ou mais) a sua vida útil. Em Chicago (EUA) em um telhado coberto de asfalto convencional, a temperatura pode variar por 94° C ao longo de um ano. Os telhados verdes podem diminuir drasticamente isto. O Departamento de Meio Ambiente de Chicago descobriu que em um dia a 37° C, a temperatura na superfície de um telhado com asfalto chegou a 74° C, enquanto um telhado verde foi de apenas 29° C. O isolamento por um telhado verde pode cortar custos de resfriamento do ambiente, no verão, pela metade; e do aquecimento, no inverno, em 25%. Tanto a poupança de energia como o ciclo de vida da cobertura apresentam benefícios ambientais e econômicos.

Outro fator que contribui para a consolidação da economia seria o efetivo uso de telhados verdes nos centros urbanos. Desta forma, as obras públicas de infraestrutura, para minimizar os efeitos de enchentes, seriam de pequeno porte e portando de custo reduzido ao contribuinte.

### **1.5.3. Justificativa ambiental**

Ambientalmente, as principais contribuições do uso do telhado verde são: colaborar para a melhoria da qualidade do ar; reduzir os efeitos ilha-de-calor nos centros urbanos; e minimizar as vazões dos rios que recebem as águas das redes de coleta pluvial das cidades por ocasião dos picos de chuva.

Juntamente com o crescimento da cidade de Los Angeles, as temperaturas altas da cidade também aumentaram, constatando a diferença de 4°C entre os 36°C em 1937 aos 40°C na década de 1990 (HIG, 2000 apud *EAD*). Esta

tendência de aumento das temperaturas com a urbanização crescente é comumente referido como efeito ilha-de-calor urbano. Os cientistas acreditam que a causa deste efeito é a substituição de áreas cobertas por vegetação por materiais de construção de cor escura, tais como aqueles comumente usados nas estradas e em telhados. Estes materiais de construção absorvem grande parte da energia do sol e tornam-se muito quentes, portanto, contribuindo para o efeito ilha-de-calor. A substituição de superfícies de telhado escuro por telhados verdes poderia ajudar a inverter esta tendência.

Mas, em se tratando do efeito ilha-de-calor urbana, vários são os fatores que contribuem para o seu desenvolvimento, como por exemplo: a concentração de edificações, as áreas de asfalto, pavimentos impermeáveis, automóveis, indústrias e muitos elementos presentes no espaço densamente ocupado. Segundo Katzschner (2011) como precaução, o planejamento urbano deve desenvolver soluções para o problema, de maneira que no futuro, o que seria um aumento drástico do estresse térmico para pessoas nos ambientes exteriores e interiores, seja reduzido a um nível tolerável. Através do Projeto Klimes, Katzschner e um grupo de pesquisadores desenvolvem estratégias de planejamento para garantir o conforto térmico, tendo em conta as atuais estruturas urbanas. A pesquisa abrange vários métodos que são realizados por diferentes grupos de trabalho.

De acordo com Freitas (2000), as propriedades térmicas dos materiais das construções urbanas também facilitam a condução de calor mais rapidamente que o solo e vegetação das áreas rurais, contribuindo para o aumento no contraste de temperatura entre essas regiões. A perda de calor durante a noite por radiação infravermelha para a atmosfera e para o espaço é parcialmente compensada nas cidades pela liberação de calor das construções e ruas. Durante o dia, os altos edifícios entre as ruas relativamente estreitas aprisionam energia solar por meio de múltiplas reflexões dos raios solares. Na cidade, a taxa de evapotranspiração tipicamente mais baixa acentua ainda mais o contraste de temperatura com suas redondezas.

A cidade de Los Angeles (EUA) possui um Departamento de Assuntos Ambientais, o *Environmental Affairs Department (EAD)*, que procura educar e desenvolver maneiras de melhorar o ambiente da cidade. As informações

pesquisadas pelo *EAD* em telhados verdes existentes na América do Norte, Europa e Japão contribuíram para a criação de um programa de incentivo para incorporar na cidade o uso deste tipo de cobertura como um mecanismo de eficiência energética.

#### **1.5.4. Justificativa tecnológica**

Ainda que o uso de telhado verde seja remoto, ao mesmo tempo em que as técnicas utilizadas tenham se originado na arquitetura vernacular que reflete o lugar e o ambiente onde foi formada, a evolução deste sistema deu-se contemporaneamente pelos anseios da atual sociedade em preservar os recursos naturais dentro dos conceitos de sustentabilidade urbana bem como a inserção de mais áreas verdes na paisagem urbana. Através dos recursos tecnológicos de hoje, pode-se prever o uso da tecnologia de telhado verde em diversas situações e localizações, por estarem disponíveis os conhecimentos das propriedades dos materiais, dos estudos dos ecossistemas, dos dados climáticos e de processamento eletrônico.

A constatação do desempenho dos telhados verdes, em relação à retenção de água de chuva, está diretamente ligada ao estado da arte sobre os mecanismos de medição e cálculo da evapotranspiração. De acordo com Camargo (2000), no início da década de 1940, cientistas como Thomthwaite e Holsman atestaram que não existiam técnicas satisfatórias para medir a perda de umidade de superfícies naturais, como de campos e bacias hidrográficas. Assim, a falta destes dados de evaporação e transpiração atrasava a análise e a solução de problemas climáticos e hidrológicos. Com o desenvolvimento e a introdução do conceito de evapotranspiração potencial e os métodos para quantificá-la, em 1944, Thornthwaite e Wilm, apresentaram este trabalho durante o *Committee on Evapotranspiration and Transpiration 1943-1944*. Este fato produziu uma revolução na agrometeorologia. A possibilidade de se usar uma só unidade de medida - o milímetro pluviométrico - permitiu contabilizar a disponibilidade de água no solo, através de um simples balanço hídrico climático.

Ao introduzirem a tecnologia de evapotranspiração potencial, Thornthwaite e Wilm (1944) tencionavam chegar a um elemento meteorológico que



representasse a necessidade de água da vegetação, em condições similares à da água fornecida pela precipitação pluvial e quantificar racionalmente o fator umidade no clima (CAMARGO, 2000). Em relação aos telhados verdes, a contribuição desta tecnologia está na capacidade da vegetação em reter a água da chuva e devido à sua ação fisiológica permitir a ocorrência da transpiração e evaporação. Quantificar a evapotranspiração de um telhado verde torna-se um fator importante para medir a real contribuição deste telhado ao minimizar o escoamento das águas pluviais.

Na sucessão de estudos, apareceram diversos modelos matemáticos para cálculo das taxas de evapotranspiração. Modelos de equações que funcionam em clima úmido independente de latitude e longitude, clima frio, clima temperado, clima tropical e clima equatorial. Em função dos diversos climas existentes, as pesquisas mostram que alguns modelos adaptam-se melhor, pelos seus resultados satisfatórios, do que outros (CAMARGO, 2000).

## **1.6. ESTRUTURAÇÃO**

A presente dissertação é composta de seis capítulos, sendo o primeiro apresentado nesta introdução. Esta teve a finalidade de demonstrar a relevância da pesquisa, transcorrendo sobre o problema, a hipótese, o objetivo e as justificativas; como também a sua estrutura. Os demais capítulos serão sumariamente descritos a seguir.

O segundo capítulo é composto pela revisão bibliográfica, que é desenvolvida através de duas partes distintas. Uma referente às definições, aos conceitos e aos aspectos históricos e a outra está, diretamente, ligada aos aspectos técnicos, sua composição, a vegetação, seus benefícios e a descrição do *software* utilizado e apresenta um telhado verde existente na cidade de Curitiba.

No terceiro capítulo definiu-se a metodologia: a estratégia utilizada, a coleta de dados e o procedimento de análise.

O quarto capítulo descreve o protótipo do experimento de campo utilizado para a coleta de dados. Apresenta a localização, o projeto e a montagem.

O quinto capítulo apresenta os dados coletados e os resultados obtidos no experimento, os dados das estações meteorológica e agrometeorológica e aplica o *software GreenRoof* no experimento e no telhado verde existente.

O sexto e último capítulo apresenta a análise, as conclusões e as sugestões de trabalhos futuros.

## **CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. SUSTENTABILIDADE**

Define-se por desenvolvimento sustentável aquele que responda às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de responder às suas próprias necessidades (ONU, Comissão Brundtland, 1987). Este foi o conceito oficial cunhado pela equipe liderada por Gro Harlem Brundtland, secretária geral da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, da Organização das Nações Unidas (ONU) e que foi publicado em 1987.

A partir de então, este conceito vem sendo reformulado e ainda muito discutido ao descrever as noções de sustentabilidade. Quanto mais a preocupação em relação ao meio ambiente se intensifica, a busca pelo desenvolvimento sustentável procurará estabelecer o equilíbrio na composição de um modelo, não só econômico, social e ambiental, como também político e cultural.

A determinação em buscar tal equilíbrio veio da constatação de que o modelo de desenvolvimento empregado é ecologicamente predatório na utilização dos recursos naturais, socialmente perverso com geração de pobreza e extrema desigualdade social, politicamente injusto com concentração e abuso de poder, culturalmente alienado em relação aos seus próprios valores e eticamente censurável no respeito aos direitos humanos e aos das demais espécies (CATALISA - Rede de Cooperação para Sustentabilidade, 2011).

A divulgação ao mundo dos princípios do desenvolvimento sustentável recebeu importante auxílio da Conferência das Nações Unidas no Rio de Janeiro, em 1992, onde, através dos representantes das nações, foram assinados três importantes documentos: a Declaração do Rio, a Declaração de Princípios para a Administração Sustentável das Florestas e a Agenda 21. A Agenda 21 consistiu em um plano de ação mundial para orientar a transformação desenvolvimentista, apresentando como um dos principais fundamentos da sustentabilidade o fortalecimento da democracia e da cidadania, através da participação dos indivíduos

no processo de desenvolvimento, combinando ideais de ética, justiça, participação, democracia e satisfação de necessidades.

Em 1997, na cidade de Kyoto (Japão), foi firmado o Protocolo de Kyoto, que é um acordo internacional ligado à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima que determina metas de redução de emissões de gases que contribuem para o efeito estufa. O Protocolo entrou em vigor em 16 de fevereiro de 2005 e, segundo a UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*), até o ano de 2009, 192 países já haviam ratificado o acordo, ainda excluídos os EUA, o maior poluidor do planeta.

Posteriormente, na II Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, a Rio +10, realizada em Johannesburg (África do Sul) em 2002, foram avaliados os progressos alcançados pela Agenda 21 e foram renovados os compromissos políticos estabelecidos em 1992 em favor do desenvolvimento sustentável. Até o final do primeiro período de compromisso do Protocolo de Kyoto, em 2012, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) indicou que seriam necessárias novas estruturas internacionais que negociem e ratifiquem maior rigor nas emissões de gases. Marcada para junho de 2012, na cidade do Rio de Janeiro a Rio + 20, vem para renovar o compromisso político com o desenvolvimento sustentável.

Em decorrência destas ações em favor da sustentabilidade, a arquitetura sustentável vem tendo, desde o processo de projeto até o sistema de avaliação ambiental de edificações, um longo processo a ser trabalhado, como por exemplo as preocupações sobre o impacto ecológico de novas edificações. Os critérios de sustentabilidade na arquitetura envolvem o entorno, os recursos naturais, a qualidade ambiental interna, a manutenção e os aspectos socioeconômicos. Os benefícios precisam estar concentrados em como minimizar gastos energéticos e aproveitar os recursos naturais, de modo a criar edificações mais sustentáveis.

Atualmente, é comum verificar no mercado imobiliário a oferta de edificações ditas sustentáveis. White (2008) afirma que definir o que é sustentável é fácil, mas definir o que realmente deva ser implica em rever todo o processo histórico e cultural de produção do espaço edificado, além do econômico e do social.

O princípio comum é a ética. A busca pela manutenção e/ou melhoria da qualidade de vida vem acompanhada de soluções de maior eficiência no uso de recursos naturais, de menor impacto ambiental e de justiça social, com critérios responsáveis (WHITE, 2008; MOTTA e AGUILAR, 2009).

A sociedade busca um novo modelo de desenvolvimento que responda a estas questões, ou seja, um novo paradigma definido como desenvolvimento sustentável. A sustentabilidade é uma mudança cultural em que o novo paradigma é um novo modelo de desenvolvimento (MOTTA e AGUILAR, 2009).

Atualmente, há à disposição muitos elementos para serem trabalhados na área de sustentabilidade. É extremamente importante que o profissional tenha em mente que todas as soluções encontradas não são perfeitas, sendo apenas uma tentativa de busca em direção a uma arquitetura mais sustentável (YEANG, 1999). Com o avanço tecnológico sempre surgirão novas soluções mais eficientes.

O despertar para o desenvolvimento sustentável chegou ao mercado brasileiro da construção civil com certo atraso em relação aos países desenvolvidos. Datam do início dos anos 2000 as primeiras iniciativas de discussão e realização de edificações com melhor qualidade ambiental, tentando-se chegar ao horizonte mais amplo das edificações sustentáveis. Identificam-se algumas - ainda poucas - iniciativas na procura por certificações internacionais, de modo a atestar a qualidade dos edifícios (ZAMBRANO, 2008).

## **2.2. TELHADO E SUA CONDIÇÃO DE ABRIGO**

O habitat humano encontra-se em constante modificação ao longo dos séculos. Estas mudanças fizeram com que surgissem diferentes conceitos sobre o que seria o ambiente adequado e quais as premissas para definir o espaço como tal. Instintivamente, o homem sempre procurou segurança, proteção e abrigo. Neste aspecto, a sociedade moderna não difere da primitiva.

Em seu livro, Miguel (2003) comenta que a arquitetura originou-se do esforço primitivo da humanidade para alcançar uma proteção contra a inclemência do tempo, os ataques de animais selvagens e os inimigos humanos. Esta sociedade primitiva aliava ao ambiente da caverna à proteção como nos dias de hoje o homem procura na casa um refúgio da agitação urbana.

A partir da necessidade do primeiro abrigo, veio em conjunto a necessidade da organização dos espaços e as adequações das relações entre o homem e a casa. As inovações e concepções do ambiente construído procuram a funcionalidade, a harmonia e a integração com o meio no qual se encontra inserido. O arquiteto paulista Rino Levi, expoente da arquitetura moderna, complementa dizendo que na concepção arquitetônica existem fatores de ordem espiritual e problemas propriamente plásticos: volume, proporção, ritmo, cor e textura. Quando este lado não existe não há arquitetura, mas puramente construção (MIGUEL, 2003).

Os abrigos primitivos eram simples e adequados ao sistema de vida. Sua cobertura em madeira recoberta de palha satisfazia a função a que se destinava. Porém, o homem, ao longo de suas necessidades, desenvolveu suas habilidades construtivas e logo estava construindo, também com estrutura de madeira, vários tipos de abrigos, com diferentes formas e recortes (Figura 2).



**Figura 2: Abrigo primitivo.**  
Fonte: picasaweb (2011).

Em toda esta evolução, foram inseridos dentro do ambiente construído diversos materiais. Em princípio, materiais locais, retirados do entorno dando início à arquitetura vernacular quando o homem descobriu o potencial de recursos que a natureza ao seu redor poderia oferecer e, em um processo de tentativa-e-erro, foi elaborando seus abrigos de forma mais conveniente às necessidades do grupo, às condições do local e também às condições climáticas, criando um modelo de construção transmitindo de geração em geração. Pode-se entender neste tipo de arquitetura os princípios da sustentabilidade, em que, ao se utilizar os recursos locais, como fonte de energia e materiais, proporciona-se o reuso destes e, em até alguns casos, o uso de energias renováveis.

Um exemplo de abrigos provenientes da arquitetura vernacular é observado nos telhados antigos da Escandinávia com suas técnicas em utilizar vegetação na cobertura, substituindo as telhas. Este se torna um abrigo ecologicamente correto, pois, além de promover o isolamento térmico, contribui para a não-degradação ambiental (Figura 3).



**Figura 3: Telhado verde da Escandinávia.**  
Fonte: obviousmag (2011).

Em seu livro, Blume (1985) já destacava o fato do homem estar se dando conta de que os recursos naturais estão se esgotando. Segundo ele, os

materiais estariam escassos e os combustíveis não cobririam a demanda, os preços disparariam e estariam fadados a sobreviver os ricos e os que disporiam do recurso da criação e da capacidade inventiva. Salaria ainda que, quanto maior for a nossa capacidade de fazer por nós mesmos, maior será a nossa independência e liberdade individual. Nos próximos tempos, para se manter, o homem precisa alcançar o equilíbrio entre o uso dos conhecimentos passados e os produtos e invenções do presente.

A preocupação continua. Adam (2001) escreve que a sociedade, durante muito tempo, utilizou o modelo de desenvolvimento consumidor e degradador de energias e recursos que se instalou nos edifícios e cidades. Em seu livro, ele denomina isto de Paradigma Mecanicista. Apesar de todo o progresso, a degradação do sistema de vida expandiu amplamente. O autor defende que os arquitetos, planejadores e engenheiros nem sempre fazem parte deste mecanicismo, mas encontramos em nosso meio: muralhas, mega-construções, espaços com micro climas específicos (sem condições de ventos, sol ou chuvas), poluição (sonora, visual, ambiental), contaminação e enfermidades, sombreamento de áreas de encontro e convívio, revestimento e impermeabilização do solo, comprometendo a qualidade de vida urbana. Esta maneira de viver leva as cidades ou partes dela a uma dimensão desumana. A presença do verde foi praticamente excluída do meio urbano, reduzindo-se espaços para a incidência de sol e para o próprio homem.

A arquitetura do século XX foi influenciada por vários profissionais que, ao desenvolverem seus projetos, mostravam uma arquitetura moderna e seus novos conceitos e paradigmas. Um destes profissionais foi Le Corbusier, arquiteto franco-suíço, que afirmava: *le bâtiment est une machine à habiter* (“o edifício é uma máquina de viver”); uma visão simplista, longe da verdade, para Roaf *et al.* (2003), uma máquina é um objeto inanimado, operado pelo capricho de seu controlador. Já no edifício é diferente, embora possa ser controlada pelos seus ocupantes: a força que atua sobre o edifício para criar abrigo é o clima com suas variabilidades que não podem ser controladas.

A base do Movimento Moderno tinha como essência uma característica funcionalista. Contudo, Le Corbusier em um dos seus cinco pontos da nova arquitetura (1925) propôs o *toit-jardin* (terraço-jardim), em que recuperava o



solo ocupado pela edificação, transferindo-o para a cobertura e transformando-a em jardim. Isto se dava graças ao avanço técnico do concreto armado e os telhados do passado ganhariam uma nova função: um jardim de lazer (Figura 4).



**Figura 4: Terraço jardim Savoye.**  
Fonte: archive.cherz (2011).

Por sua vez, o arquiteto norte-americano Frank Lloyd Wright incorporou a natureza nos seus projetos, reintegrando o homem com o meio ambiente (Figura 5). Apesar de, em plena fase de expansão do industrialismo, a proposta wrightiana de inserir ao contexto das edificações a presença do verde não foi vista pelos modernistas como pensamento ambientalista. Isto somente se desenvolveria a partir da Segunda Guerra Mundial (1939/45). O despertar ecológico apareceu no Movimento Pós-Moderno, quando ocorreu um incentivo maior ao uso de materiais naturais e inspiração no vernáculo.



**Figura 5: Casa da Cascata.**  
Fonte: vidaeobraarquitetura (2011).

Segundo Montaner (2001) a arquitetura buscou integrar-se à natureza durante a maior parte da sua evolução histórica. Aceitar o valor dos variados elementos existentes na cidade e enfatizar a criação do lugar e os aspectos topográficos do ambiente construído são paradigmas da arquitetura adaptada ao lugar. As figurações locais e as texturas vernaculares são tentativas de valorizar tradições culturais. Conotações regionalistas, como a de Luis Barragán, arquiteto mexicano, que desenvolveu uma busca do espaço aprazível que recordava de sua infância nas fazendas de Guadalajara (México) e também do arquiteto egípcio Hassan Fathy que lamentava a perda dos métodos tradicionais de construção e da competência cultural causada pela imensa onda de tecnologia estrangeira, possuem significado cultural e bom senso ecológico. Hassan Fathy foi um dos primeiros a argumentar que tecnologia e materiais estrangeiros não só custam muito mais e se degradam mais rapidamente que os materiais e técnicas de construção locais como também deixam de oferecer aos moradores comunidades que respondam a suas tradições culturais (GHIRARDO, 2009).

### **2.2.1. Despertar ecológico**

Em relação aos movimentos a favor da ecologia, várias correntes foram surgindo, cada uma com suas características e conceitos. Surgindo na década de 1960, o Ecologismo ou *Deep Ecology*, por exemplo, possuía um caráter conservacionista e sua ideia era preservar o existente. Frutos da conscientização ambiental, apareceram ONG's como o WWF (*World Wild Fund for Nature*) criado na Suíça em 1961 e o *Greenpeace* em 1971, no Canadá. Estes grupos ecologistas acabaram adquirindo um caráter radical e atuam até hoje em todo mundo.

Contrapondo-se ao Ecologismo, surgiu o Ambientalismo, nas décadas de 1980 e 1990, o qual propõe o desenvolvimento sustentável, no qual se tem, no sistema, a capacidade de se sustentar mantendo-se por si mesmo. Este já possui caráter desenvolvimentista, igualando o meio ambiente, composto pela natureza mais o homem.

No último quartel do século passado, as Nações Unidas realizaram Conferências sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. A Rio-92 tornou-se um

marco em busca da sustentabilidade mundial, que, na década de 2000, incorporou o socioambientalismo, no qual procura-se por um desenvolvimento ambientalmente sustentável.

Com o início de um novo milênio, crescem juntamente grandes preocupações sobre o que está ocorrendo no planeta. O efeito estufa, a crise energética, a emissão de CO<sub>2</sub>, a escassez dos combustíveis fósseis e a racionalização da água traduzem bem o que preocupa o mundo contemporâneo.

Um novo paradigma surge, este denominado de eco-arquitetura ou *green architecture* que procura introduzir no ambiente construído materiais ecologicamente corretos, produzidos com baixa energia embutida e remetendo também ao uso de materiais da própria região onde a edificação está sendo construída. Seu objetivo seria se adaptar às condições climáticas e à vegetação, aproveitando os recursos energéticos naturais do local. Uma verdadeira arquitetura ecológica teria o máximo de sustentabilidade e o mínimo de impacto ambiental (CASTELNOU *et al.*, 2001).

### **2.2.2. Ambientalismo contemporâneo**

No conceito da *green architecture*, retornam os telhados verdes agregando um conceito atual de cidades verdes. Contudo, trata-se de um conceito diferente daqueles já descritos e usados nos antigos telhados verdes que se realizaram em todo o período evolucionário do ambiente construído.

Para Neiva e Pozo (2005), as coberturas representam opções similares quanto à correspondência entre as estratégias passivas de captação energética e às diversas disposições construtivas admitidas pela prática habitual. Os sistemas construtivos devem se acomodar ao clima predominante, recusando um plano de construção global válido para qualquer região e situação.

Em se tratando do uso de cobertura verde nas cidades é, sem dúvida alguma, um possível potencial a ser explorado. Nota-se a crescente utilização de telhados verdes, a qual pode vir a ser uma tendência mundial no controle ao

efeito estufa (Figura 6). Estas coberturas reduzem: o efeito ilha-de-calor, a poluição do ar e as enchentes, como já dito anteriormente.



**Figura 6: Teto verde de Stuttgart na Alemanha.**  
Fonte: petcivilufff.wordpress (2011).

Ainda segundo Neiva e Pozo (2005), esse tipo de cobertura é recomendado para diversos climas e lugares onde o regime de precipitação seja deficiente. Apresenta grandes vantagens, tanto do ponto de vista do conforto devido à umidade do ar e de sua temperatura, bem como a consideração do efeito ambiental que é capaz de produzir no seu entorno. Destacando algumas destas vantagens, tem-se a retenção do pó e de substâncias contaminantes na capa vegetal; uma proteção eficaz contra a radiação solar e o aumento da capacidade de esfriamento por evaporação, acabando por melhorar a umidade ambiental, o aumento do espaço útil, a considerável melhora do isolamento e da estabilidade térmica interior e ainda os efeitos derivados da absorção de ruído. O maior custo do sistema pode ser minimizado pelas vantagens que proporciona ao ambiente interior e exterior.

Analisando a evolução dos conceitos ambientais, pode-se dizer que, desde as primeiras preocupações do homem com o meio ambiente, aprendeu-se às custas de muito sacrifício que a natureza é um bem precioso e comum à

humanidade sem distinção de nações, pois o planeta é um todo regido e usufruído por todos. Com isto, os conceitos da *green architecture* devem ser amplamente discutidos e difundidos pelos profissionais da construção e seus usuários.

### **2.3. COMPOSIÇÃO DO TELHADO VERDE - ASPECTOS TÉCNICOS**

O telhado verde tem por objeto a aplicação de vegetação sobre a cobertura de edificações que recebam tratamento adequado em relação à impermeabilização, barreira anti-raízes e drenagem, favorecendo a eficácia do mesmo. A *National Roofing Contractors Association* (EUA) lançou o *NRCA Green Roof Systems Manual* (2007). O manual fornece informações técnicas relativas ao projeto e instalação de sistemas de qualidade para telhados verdes. O foco do manual são os aspectos de sistemas de impermeabilização e as informações sobre os componentes do sistema, que não estão relacionadas com a impermeabilização, tais como o meio de crescimento, o filtro de tecido e uma camada de reservatórios são limitadas. A NRCA define como um sistema de telhado verde, a vegetação aplicada em um substrato colocado em qualquer nível impermeabilizado da estrutura fabricada. Suas camadas são constituídas de impermeabilização e seus componentes associados, tais como, a barreira de proteção das raízes, uma camada de drenagem, uma camada de isolamento térmico, substrato e plantações.

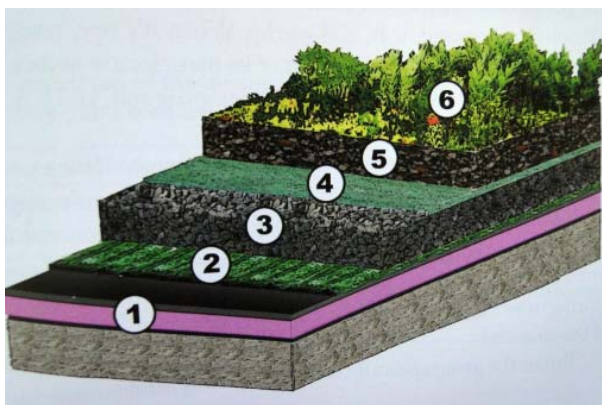
Não necessariamente pode-se relacionar esta tecnologia apenas às novas edificações, pois desde que sejam observados alguns aspectos é possível aplicá-la com grande sucesso em edificações existentes. Para tal, é necessário investigar a resistência da estrutura que irá receber o telhado verde, a impermeabilização, a execução de barreiras anti-raízes, a drenagem a ser executada e a inclinação da cobertura existente ou a ser reformada ou construída.

O plantio em telhados é usado principalmente em telhados planos. No entanto, também é possível explorar esta técnica em telhados inclinados, desde que medidas adequadas sejam tomadas para garantir a cobertura do telhado, ou seja, para que a vegetação não escorregue junto com o substrato. As técnicas para a contenção da vegetação e do seu substrato irão variar conforme a inclinação desta cobertura e do local onde ela está inserida em decorrência dos dados climáticos.

Havendo aumento na inclinação do telhado, estes se tornam menos econômicos e a aparência do plantio menos natural (SCHUNCK *et al.*, 2003). Os autores ainda afirmam que não é possível especificar um limite exato, mas telhados com uma inclinação de 15-20° geralmente podem ser ajardinados sem qualquer problema.

Para Minke (2004) é possível classificar os telhados verdes e suas inclinações. Para telhado de até 3° ou 5% de inclinação é considerado telhado plano. O que possui de 3° a 20° ou 5% a 35% de inclinação é chamado de telhado de encosta suave. O que possui de 20° a 40° ou 36% a 84% é chamado de telhado com declive. Acima de 40° ou acima de 84% é chamado de telhado íngreme. Minke complementa que para telhados de encosta suave geralmente se dispensa a colocação de segurança contra deslizamento do substrato e para as demais inclinações ele sugere diferentes dispositivos para diferentes inclinações. Desde 1976, no Laboratório de Investigação de Construção Experimental da Universidade de Kassel, Alemanha, são feitos testes utilizando diferentes métodos para aplicar a vegetação e o substrato em telhados íngremes.

Para definir seus componentes, Cantor (2008) faz uma alusão das camadas do telhado verde às finas camadas de um sanduíche, onde a camada superior seria a da vegetação e a inferior seria a plataforma do telhado. Assim de cima para baixo, estas camadas incluem: a vegetação, substrato, filtro de tecido de drenagem e camadas de retenção de água, camada de proteção da raiz, isolamentos, impermeabilização e um terraço ou pavimento (Figura 7).



1 - pavimento do telhado, isolamento e impermeabilização.

2 - proteção e camada de armazenamento.

3 - camada de drenagem.

4 - camada anti-raiz e filtro permeável.

5 - camada de substrato.

6 - vegetação.

**Figura 7: Composição de telhado verde.**  
Fonte: Snodgrass e McIntyre (2010).

### **2.3.1. Vegetação**

De acordo com Kibert (2008), os telhados verdes são geralmente classificados como extensivos e intensivos. Os sistemas extensivos são definidos por possuir baixa manutenção, são tolerantes à seca e possuem características de auto-semeadura, ou seja, exigem pouca ou nenhuma irrigação, adubação e manutenção. Os tipos de plantas adequadas para este sistema são as nativas, principalmente em locais com condições de seca. No entanto, no Brasil alguns estudos com tipos de plantas constataram que as plantas exóticas, que se encontram adaptadas ao meio, também podem ser usadas – desde que estas também possuam características de pouca manutenção e raízes pouco agressivas. Já os sistemas intensivos são definidos por alta manutenção, pois é possível a criação de jardins com terraços e espelhos d'água, além de incluir gramados e vegetações de médio e grande porte, como arbustos e árvores. Os sistemas intensivos são muito mais complexos e pesados do que os extensivos e requerem maior investimento e manutenção.

Nos dois casos, o uso de uma variedade de plantas diversifica o telhado verde e contribui para o sucesso da cultura, já que algumas espécies podem ter dificuldade na adaptação e outras possam se estabelecer facilmente. O desenvolvimento das plantas tem sempre o caráter sazonal, pois os períodos de máximo desenvolvimento alternam-se entre si; tem um bom aspecto estético e o telhado verde não fica comprometido quando uma doença ataca uma determinada espécie: a variedade favorece aspectos fitossanitários do telhado verde.

### **2.3.2. Substrato**

Para esta camada, a variedade de composição é extensa, porém precisam ser suficiente em relação a necessidades das plantas em absorver a umidade e nutrientes necessários. O meio de cultura é para as plantas de um telhado verde o mesmo que o solo é para as plantas de um jardim. Apesar de parte dos profissionais se referirem a este meio de cultura como “solo”, Snodgrass e McIntyre (2010) afirmam que a maioria do meio utilizado em telhados verdes extensivos tem pouca semelhança com o solo do jardim ou campo. A caracterização

do meio de cultura não é de textura fina, macia e de terra, para que quando estiver molhado não ficar lamacento ou pegajoso. A sugestão é utilizar partículas de granulometria maior do que as areias, silte e argila que compõem o solo. Seu aspecto, ao toque, é arenoso.

Fazendo uma comparação entre os substratos de telhado verde e os solos de campo, percebe-se que, em média, os telhados verdes possuem substratos leves e soltos, não se compactam por seu peso próprio, o que é muito bom para a permeabilidade. Os solos de campo são pesados demais e, como na sua composição há partículas finas que facilmente se deslocam, a longo prazo, causam problemas de permeabilidade.

Em geral, os substratos necessitam possuir as seguintes qualidades: boa drenagem; aeração e consistência; estrutura que lhe permite reter a água para a absorção pelas plantas; capacidade de tornar acessível aos nutrientes de plantas e raízes através da capacidade de troca de cátions; resistência à decomposição e compressão; peso leve; e estabilidade física e química (FRIEDRICH *apud* SNODGRASS e McINTYRE, 2010).

Segundo Cantor (2001), em geral, os substratos inorgânicos são os preferidos, com alguns aditivos para se adequar às condições específicas de cada instalação. Substratos que estão disponíveis local ou regionalmente reduzem o custo de transporte, embora tal disponibilidade nem sempre é possível. Quando possível, substratos locais são úteis para o crescimento de plantas nativas, onde as condições são semelhantes às naturais. O substrato escolhido prevê e limita os tipos de materiais vegetais selecionados.

Os materiais comumente utilizados são: os agregados de argila expandida de xisto ou ardósia; e material vulcânico, como pedra-pomes e perlita. Porém, no caso dos agregados expandidos, eles exigem muita energia para serem produzidos, o que seria ruim diante da escolha de materiais mais sustentáveis. Já materiais de origem vulcânica possuem disponibilidade em regiões específicas, mas longe, tornando os custos de transporte altos e, em comparação com os materiais expandidos, podem acabar por aumentar a sua pegada de carbono (SNODGRASS e McINTYRE, 2010). Para Cantor (2001), alguns substratos típicos são: argila



expandida, lava, pedra-pomes, terracota, argila calcinada, ardósia expandida ou tijolo.

Materiais originados das regiões vulcânicas não são produzidos no Brasil, onde se pode optar por compostos alternativos como a vermiculita que é um mineral com a estrutura da mica, expandido em fornos de alta temperatura. Pode ser utilizada devido à sua alta retenção de água, elevada porosidade e baixa densidade e pH em torno de 8,0.

Assim, há necessidade de pesquisar em cada região diferentes compostos e composições para a busca de um substrato ideal, que apresente características recomendadas anteriormente; e possam contribuir quanto à sustentabilidade.

### **2.3.3. Filtro**

Esta camada é um filtro de tecido, geotêxtil, que separa a parte inferior do substrato da camada de drenagem. Embora seja de pouca espessura, é um elemento fundamental para impedir que as partículas finas do substrato obstruam a camada de drenagem, danificando todo o sistema.

### **2.3.4. Drenagem**

Esta camada pode ser de material sintético ou de material mineral granulado com grande permeabilidade. A função desta camada é recolher o excesso de água, que não sendo absorvida pelas plantas e substrato, é recolhida e direcionada para o sistema de águas pluviais. Eventualmente, esta água pode ser direcionada a uma cisterna e ser reaproveitada, tomando o cuidado de observar as épocas de aplicação de adubo químico no telhado verde.

### **2.3.5. Camadas de retenção de água**

Esta também é uma camada alternativa; ela é apresentada como formas de plástico, em formato de copos, com reentrâncias na superfície superior para captar ou reter água. Assim sendo, ela aumenta a capacidade natural de retenção da água do telhado verde. Cantor (2008) afirma que as formas, quando devidamente instaladas, chegam a reter 0,1 a 0,5 litros por metro quadrado. A água armazenada nesta camada é absorvida pelas plantas e ainda ajuda a manter o substrato úmido.

### **2.3.6. Camada anti-raiz**

Para evitar que as raízes penetrem na impermeabilização e causem vazamentos, é conveniente adicionar as barreiras de raiz onde normalmente são utilizadas membranas termoplásticas, embora em algumas montagens utilize-se uma membrana de cobre e produtos químicos retardadores de raiz. Porém, este tipo de procedimento não é aconselhável e é visto negativamente por códigos de construção por se tratar de um procedimento que pode causar danos ambientais, como, por exemplo, a contaminação da água pelo cobre e agentes químicos (CANTOR, 2008).

Neste caso, através de um estudo aprofundado sobre a seleção de plantas e a camada de substrato, tem-se a possibilidade de minimizar a penetração de raízes. A Europa possui um número considerável de informações sobre as suas plantas e comumente se utiliza deste método para aplicar em seus telhados verdes.

### **2.3.7. Impermeabilização**

A camada de impermeabilização é imprescindível, pois, havendo infiltração de água na estrutura da edificação, diminui sua vida útil além de causar transtornos para quem ocupa o local. Os materiais existentes no mercado para executar a impermeabilização do pavimento são variáveis e, para defini-los, é

necessário, também, um projeto especificando o material ideal ao tipo de pavimento que irá receber a camada de impermeabilização (Figura 8).



**Figura 8: Execução da impermeabilização.**  
Fonte: cantinhodasaromaticas (2011).

O material mais utilizado para este fim é a aplicação de manta asfáltica. Segundo Snodgrass e McIntyre (2010), a *National Roofing Contractors Association – NRCA* recomenda, dentre outras, uma membrana isolante para telhado verde, composta por uma camada com 5,4mm de espessura mínima com tecido entelado reforçado, uma camada de asfalto quente e uma camada de manta asfáltica.

### **2.3.8. Isolamentos**

Conforme o local onde será executado o telhado verde, esta camada por ser excluída em decorrência do clima. Ela seria adicional e tem a função de limitar o ganho ou perda de calor (CANTOR, 2008). Sua utilização torna-se apropriada em regiões muito frias, onde é necessário conservar o calor nas edificações. É preciso que este tipo de isolamento tenha a característica de leveza e possua resistência à compressão, de modo que não sofra esmagamento pelo peso dos materiais das camadas posteriores. O material mais utilizado, neste caso, é o poliestireno expandido.

### **2.3.9. Pavimentos**

Os telhados verdes podem ser projetados em diversos tipos de pavimentos, sendo os mais comuns, utilizados nos projetos, os de concreto armado e lajes pré-fabricadas, além de estruturas em aço em composição com o concreto. Entretanto com o desenvolvimento da tecnologia, tem-se ainda a possibilidade de aplicar esta técnica em madeira compensada ou pranchas de madeira com encaixe “macho-e-fêmea”. O tipo de impermeabilização, para cada caso, precisa ser adequado, pois cada material possui características próprias.

Nas edificações novas, os pavimentos precisam ser construídos em conformidade com as especificações de carga planejada do telhado verde. Estas cargas variam de acordo com o tipo de vegetação escolhida e seu substrato. Em construções existentes, é necessário fazer uma profunda investigação da estrutura e planejar o tipo de cobertura verde que a edificação pode receber.

## 2.4. VEGETAÇÃO DO TELHADO VERDE

### 2.4.1. Vegetação e meio ambiente

Ao se excluir as áreas verdes, diminui a possibilidade de melhorar a qualidade do ar, além de aumentar a impermeabilidade do solo e, como sua consequência, o aparecimento de enchentes. Isto sem falar nas condições de saúde da população e o crescimento de doenças respiratórias. Como no ambiente urbano há cada vez mais pessoas utilizando os mesmos espaços, que pouco se ampliam, existe a necessidade de se adaptar as construções aos novos conceitos de *green architecture* que são primordiais para se estabelecer o equilíbrio entre desenvolvimento e meio ambiente. As cidades têm cada vez mais necessidade de ampliar suas áreas verdes em decorrência da urbanização dos espaços.

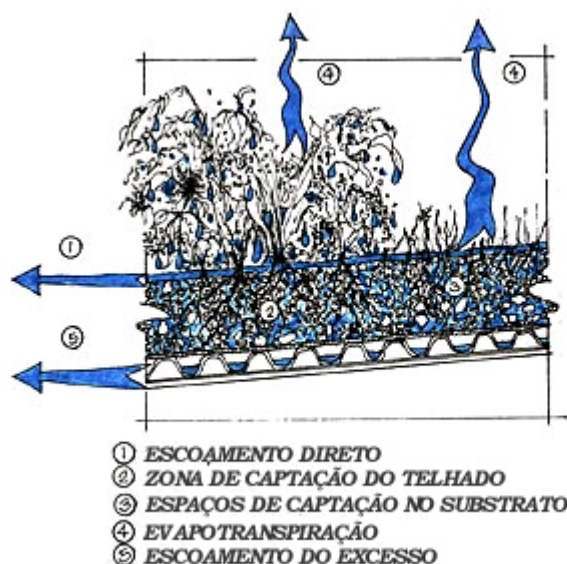
### 2.4.2. Vegetação e os ciclos ecológicos

Capra (2006) afirma que as plantas verdes desempenham um papel vital no fluxo de energia através de todos os ciclos ecológicos. Ele descreve que suas raízes extraem água ( $H_2O$ ) e sais minerais da terra; e os sucos resultantes sobem até as folhas, onde se combinam com o dióxido de carbono ( $CO_2$ ) retirado do ar para formar açúcares e outros compostos orgânicos. Neste processo conhecido como fotossíntese, a energia solar é convertida em energia química e confinada nas substâncias orgânicas, ao passo que parte do oxigênio é liberado no ar para ser novamente assimilado por outras plantas e animais, no processo da respiração.

Complementando todo este processo, o autor explica que misturando água e sais minerais, vindos de baixo por meio de absorção devido às raízes, com luz solar e  $CO_2$ , vindos de cima, as plantas verdes ligam terra e céu. A tendência é acreditar que as plantas crescem do solo, mas, na verdade, a maior parte da sua substância provém do ar. A celulose e outros compostos orgânicos são formados, principalmente, por átomos de carbono, oxigênio e hidrogênio que basicamente vêm do  $CO_2$  do ar e da  $H_2O$  do subsolo. Assim, quando se queima lenha em uma lareira, ocorrem grandes liberações de  $H_2O$  e  $CO_2$ , sendo que na luz e

no calor do fogo é devolvida parte da energia solar que fora utilizada na formação da madeira.

Assim, para contribuir em relação à melhoria ambiental dos grandes centros urbanos, a ampliação das áreas verdes é uma grande alternativa e para espaços já densamente ocupados, a cobertura verde torna-se uma ferramenta a ser amplamente utilizada, trazendo benefícios em conjunto e abrangendo a parcela do solo que já se encontra dentro da taxa de ocupação, o que contribui para o controle de enchentes e drenagens de bacias hidrográficas urbanas. A vegetação é a grande contribuinte para o ciclo hidrológico (Figura 9).



**Figura 9: Telhado verde e suas propriedades.**  
 Fonte: lid-stormwater (2011).

### 2.4.3. Vegetação e os ciclos hidrológicos

O conceito de ciclo hidrológico consiste na troca constante de água entre a superfície terrestre e a atmosfera. A água chega até a superfície através da precipitação. E o componente responsável por abastecer a atmosfera de água é a evaporação da água da superfície. Toda água que retorna à atmosfera passa a ficar indisponível para outros usos, pelo menos temporariamente (seja a água que escoaria superficialmente ou a que abasteceria um aquífero subterrâneo) (KOBAYAMA e CHAFFE, 2009).

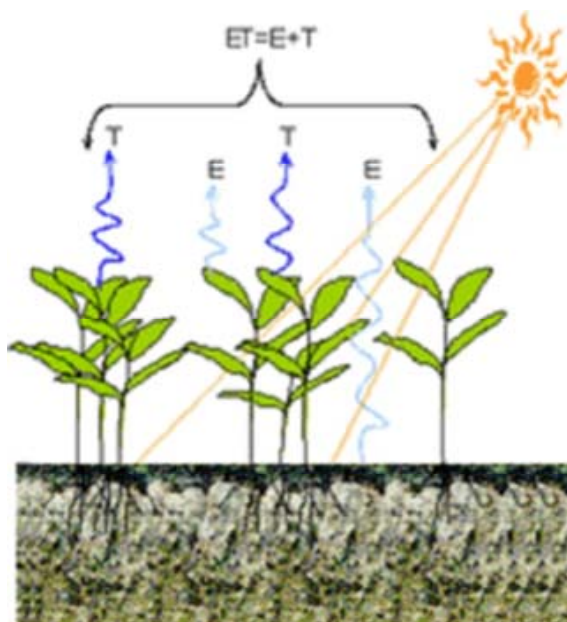
Em relação ao uso de telhados verdes nos centros urbanos, eles funcionam como condicionadores térmicos em potencial, reduzindo as ilhas-de-calor e contribuindo para a absorção do volume de água de uma precipitação. Algumas definições são usadas em hidrologia para os diferentes aspectos da transformação de água para sua forma de vapor: evaporação, transpiração e evapotranspiração. Em relação às coberturas verdes, a evapotranspiração é a grande responsável pelos condicionantes positivos do incentivo à implantação nos grandes centros urbanos (COLLISCHONN, 2008).

Evaporação é o conjunto dos fenômenos físicos que transformam em vapor a água da superfície do solo, interceptada pelas plantas, dos cursos de água, lagos, reservatórios e mares. Os estudos de evaporação são essenciais para o planejamento de atividades agrícolas (por exemplo, lagos para irrigação), o abastecimento de água, a operação de barragens para geração de energia e até mesmo para os usos relacionados à recreação. O processo de evaporação exige um fornecimento de energia, que, na natureza, é provido pela radiação solar.

Transpiração é a evaporação devida à ação fisiológica dos vegetais. As plantas, através de suas raízes, retiram do solo a água para suas atividades vitais. Transportam a água através da planta até as folhas e transpiram pelos estômatos estabelecendo a passagem da água para a atmosfera. A transpiração é influenciada também pela radiação solar, pela temperatura, pela umidade relativa do ar e pela velocidade do vento. Além disso, intervêm outras variáveis, como o tipo de vegetação e o tipo de solo (COLLISCHONN, 2008).

Evapotranspiração é o conjunto dos dois processos descritos anteriormente: evaporação e transpiração. É o conjunto de processos físicos e fisiológicos que provocam a transformação da água precipitada na superfície da Terra em vapor. Esse termo é bastante usado devido à dificuldade de separação da evaporação e da transpiração, tanto nos cálculos como na medição. A evapotranspiração pode ser potencial ou real, sendo a primeira o total de água transferido para a atmosfera por evaporação e transpiração, de uma superfície extensa, coberta por vegetação e não sendo limitado pela disponibilidade de água. A evapotranspiração real é a perda de água para a atmosfera por evaporação e transpiração, nas condições atmosféricas e de umidade do solo existente.

Conceitualmente, a evapotranspiração real não pode exceder a evapotranspiração potencial (KOBIYAMA e CHAFFE, 2009) (Figura10).



**Figura10: Evapotranspiração, Departamento de Recursos Hídricos da Califórnia.**  
 Fonte: greenroofs (2011).

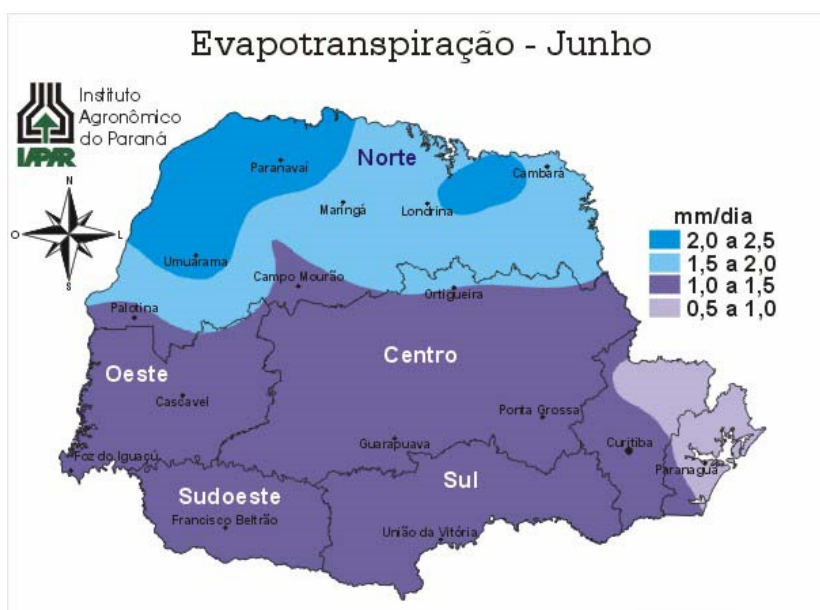
A medição de evapotranspiração por métodos micrometeorológicos envolve a medição das variáveis da velocidade do vento e umidade relativa do ar em alta frequência. De fato, esta correlação entre as variáveis umidade e velocidade vertical ocorre e pode ser medida para estimar a evapotranspiração. Este processo torna-se mais complexo, pois são necessários para isto sensores de resposta muito rápida para medir a velocidade do ar e sua umidade.

O conhecimento da água perdida por evapotranspiração é fundamental para se conhecer o balanço hídrico de certa região. A partir da disponibilidade hídrica, pode-se então determinar se essa região é indicada para o cultivo de determinada espécie vegetal ou se é necessário o uso de irrigação. Com base na quantidade de evapotranspiração pode-se também dimensionar sistemas de irrigação (IAPAR). Assim sendo, em relação aos telhados verdes, a possibilidade de se determinar espécies vegetais que exijam pouca irrigação e que se adaptem



bem ao clima favorece a pouca manutenção que é considerado um benefício para o uso desta técnica.

Para o traçado das cartas o Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR), adota-se os seguintes procedimentos: os valores diários de evapotranspiração são calculados por meio de um programa de computador, utilizando a equação de Penman (1948), para toda a série de dados da rede do IAPAR. A seguir, é calculada a média anual para cada mês do ano da evapotranspiração diária que são exportadas para o Software de Sistema de Informação Geográfica (SPRING), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), gerador dos mapas. São geradas isolinhas com intervalos de 0,5mm/dia de valores médios anuais para cada mês do ano (Figura 11).



**Figura 11: Dados de evapotranspiração do Paraná.**  
Fonte: IAPAR (2011).

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) possui, em todo o Brasil, diversas Estações Automáticas Meteorológicas de Observação de Superfície. Uma estação automática meteorológica de superfície é composta de uma unidade de memória central *data logger*, ligada a vários sensores dos parâmetros meteorológicos: pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar,

precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento, etc., que integra os valores observados minuto a minuto e automaticamente os envia a cada hora. Os dados são transmitidos para a central e ficam disponíveis em tempo real (Tabela 1).



Observação: Estes são dados brutos e sem consistência com o único objetivo de deixá-los disponíveis de forma imediata. Uma nova versão apresentará os dados depois de verificação de consistência.

Data Inicial: **05/12/2011**      Data Final: **05/12/2011**      Nova Pesquisa      Download de Dados

Data	Hora	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Pto. Orvalho (°C)			Pressão (hPa)			Vento (m/s)			Radiação (kJ/m <sup>2</sup> )	Chuva (mm)
		UTC	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Vel.	Dir.		
05/12/2011	00	16.6	16.7	16.4	78	79	78	12.6	12.9	12.6	912.5	912.5	912.0	1.7	104°	5.9	-1.93	0.0
05/12/2011	01	16.4	16.6	16.2	79	80	78	12.8	12.8	12.6	912.8	913.0	912.5	2.1	95°	5.0	-2.06	0.0
05/12/2011	02	16.3	16.4	16.2	79	79	78	12.6	12.8	12.5	912.6	912.9	912.6	2.1	91°	6.6	-2.09	0.0
05/12/2011	03	16.2	16.4	16.2	79	79	78	12.6	12.7	12.5	912.0	912.6	912.0	2.8	93°	6.7	-2.10	0.0
05/12/2011	04	15.8	16.3	15.8	81	81	79	12.5	12.6	12.4	911.5	912.0	911.5	2.0	97°	5.9	-3.31	0.0
05/12/2011	05	15.6	15.9	15.6	86	86	81	13.2	13.3	12.5	911.2	911.6	911.2	1.8	100°	4.2	-3.48	0.0
05/12/2011	06	15.4	15.6	15.3	88	88	86	13.4	13.4	13.2	910.9	911.2	910.9	1.1	103°	3.5	-3.00	0.0
05/12/2011	07	15.5	15.7	15.3	88	88	88	13.6	13.7	13.3	910.8	911.1	910.8	1.6	112°	3.3	-1.85	0.0
05/12/2011	08	15.8	15.8	15.5	89	89	88	13.9	13.9	13.7	911.3	911.3	910.8	1.3	94°	3.4	-1.67	0.2
05/12/2011	09	16.1	16.1	15.8	89	89	89	14.3	14.3	13.9	911.9	911.9	911.1	1.5	79°	3.4	50.85	0.4
05/12/2011	10	17.4	17.4	16.1	86	89	86	15.1	15.2	14.3	912.6	912.6	911.9	2.1	72°	5.2	473.7	0.4
05/12/2011	11	17.9	18.0	17.2	77	86	77	13.8	15.1	13.7	913.2	913.2	912.6	2.7	92°	5.7	849.5	0.0
05/12/2011	12	18.0	18.2	17.5	74	77	73	13.3	13.9	13.0	913.6	913.7	913.2	3.3	66°	6.8	842.9	0.0
05/12/2011	13	19.8	20.3	18.0	64	74	63	12.8	13.7	12.6	913.5	913.8	913.5	4.5	87°	10.4	1831.	0.0
05/12/2011	14	21.1	22.5	19.8	60	64	56	13.0	14.6	12.7	913.3	913.5	913.3	3.0	83°	10.4	3077.	0.0
05/12/2011	15	21.7	22.3	20.6	61	63	59	13.8	14.4	12.6	912.7	913.3	912.7	2.7	82°	8.4	1906.	0.0
05/12/2011	16	22.4	23.1	21.3	61	64	59	14.3	15.3	13.5	912.5	912.7	912.5	3.7	103°	8.8	2645.	0.0
05/12/2011	17	23.3	24.2	22.0	55	63	53	13.7	15.1	13.3	911.9	912.5	911.9	3.2	76°	8.8	3244.	0.0
05/12/2011	18	22.9	23.3	22.2	59	61	55	14.4	14.9	13.6	911.8	912.0	911.8	4.4	74°	8.1	2345.	0.0
05/12/2011	19	22.2	23.0	21.0	62	66	58	14.5	15.0	13.8	911.8	911.8	911.6	3.1	98°	8.7	1551.	0.0
05/12/2011	20	20.0	22.2	19.1	69	72	61	14.0	15.0	13.8	911.6	911.9	911.6	3.9	76°	8.2	772.5	0.0
05/12/2011	21	18.3	20.5	18.3	75	75	67	13.7	14.5	13.5	911.4	911.7	911.4	3.5	65°	8.1	369.9	0.0
05/12/2011	22	17.7	18.3	17.7	75	76	74	13.1	13.8	13.1	912.0	912.0	911.4	3.1	83°	7.1	21.40	0.0
05/12/2011	23	17.4	17.7	17.3	79	79	74	13.8	13.8	12.9	912.8	912.8	912.0	2.6	76°	7.0	-2.28	0.0

**Tabela 1: Dados meteorológicos da estação automática de Curitiba.**  
Fonte: INMET (2011).

Os dados de evapotranspiração fornecidos pelo IAPAR e os dados de precipitação fornecidos pelo INMET são dados que exportados para *softwares* específicos permitem calcular a quantidade de água que não é retida no telhado verde e que não passa pelo processo de evapotranspiração.

O site da *IUPWARE (InterUniversitare Programme in WAter Resources Enginering)* fornece uma ferramenta para calcular os ciclos hidrológicos. O modelo *GreenRoof* é um *software* de domínio público e, portanto, disponível gratuitamente. O *software* é orientado por *menus* e não requer nenhum conhecimento específico de computador. O *software GreenRoof - Water balance model – version 3.1 – august – (2006)*, utilizado nesta pesquisa foi desenvolvido na *Faculty of Bioscience Engineering, Division of Soil and Water Management, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, Belgium*.

A partir do *software*, pode-se desenvolver um estudo para a aplicação do uso de coberturas verdes nas cidades brasileiras, levando ao conhecimento dos profissionais os resultados técnicos dos benefícios do uso de telhados verdes nas grandes cidades. A conscientização destes profissionais é o caminho para a aceitação pública dos telhados verdes.

#### **2.4.4. Apresentação do Software GreenRoof**

Para melhor compreender o uso do *software*, o mesmo é apresentado a seguir através dos procedimentos necessários para o seu funcionamento. O programa permite a comparação do telhado verde existente e a hipótese de um mesmo telhado revestido com uma cobertura impermeável. O programa requer que o usuário dê entrada aos dados de precipitação (*rainfall*), de evapotranspiração (ETo) e da cobertura do telhado (*roof*). Nesta última, com a possibilidade de definir em algumas opções o tipo de cobertura: telhado verde; telhado recoberto com seixos ou argila expandida; telhado recoberto com telhas, placas e materiais similares; e por fim o telhado impermeável ou betuminoso.

Ao escolher a opção telhado verde, o usuário possui alternativas para a escolha da vegetação, como por exemplo gramas e suculentas ou ainda sem a presença de vegetação ou parte dela. Após isto, parte-se para a composição do telhado, sua área (m<sup>2</sup>), a profundidade do substrato (cm), no caso da opção ser telhado verde. Existe a alternativa de inserir a informação se houver a retenção de água na camada do dreno e também se houver uma camada própria para a retenção de água de chuva abaixo do substrato.

Também há a possibilidade de inserir a inclinação do telhado, em graus ou a indicação de telhado plano. Na opção seguinte, o usuário deverá indicar a orientação do telhado, no caso dele ser inclinado. Contudo, como o *software* foi projetado para ser usado em localidades situadas no hemisfério norte devem-se fazer as alterações indicadas a seguir:

- Telhado orientado para o Sul, usar *<orientation North>*
- Telhado orientado para o Norte, usar *<orientation South>*
- As orientações *<East>* e *<West>* não mudam, pois servem para indicar o nascente e o poente, sendo iguais nos dois hemisférios terrestres.

Nesta etapa, pode-se incluir um comentário no arquivo a ser criado e em seguida dar um nome ao arquivo, que terá uma extensão “.top” e ficará armazenado na pasta *<data>* do programa.

No campo denominado *<Simulation>*, permite-se a simulação do comportamento do telhado verde durante o período de um tempo escolhido. Ao marcar *<Compare roofs>*, pode-se escolher dois telhados, já gravados e compará-los. Usar *<calculate>* para gerar a simulação. Os resultados adquiridos são: a quantidade de água que entrou por precipitação, a água devolvida à atmosfera por evapotranspiração, a água retida no telhado, o número de dias que a vegetação ficou encharcada e a água que escoou e que deverá seguir a coleta de águas pluviais.

Para testar o uso do *software GreenRoof* foi feita uma simulação em um edifício existente na cidade de Curitiba, o qual possui uma cobertura verde extensiva plana com área aproximada de 250 m<sup>2</sup>; possuindo um substrato de espessura igual a 15 cm com drenagem.

Os dados de precipitação em mm/dia foram obtidos da Estação do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) para a cidade de Curitiba; sendo os valores diários. Os dados da evapotranspiração em mm/dia foram obtidos no *site* do IAPAR (Instituto Agrônomo do Paraná); e os valores usados correspondem à média diária para o mês de outubro na região de Curitiba.

Na Figura 12, tem-se a interface de resultados do programa, com os valores totais obtidos de retenção (evapotranspiração e armazenamento) e escoamento. O que se vê é a contribuição total de água de chuva acumulada para o mês de outubro, 35.900 l, para os dois tipos de telhado, sendo que o telhado verde já possui uma água armazenada do mês anterior na forma de umidade do solo, igual a 4.687,5 l.

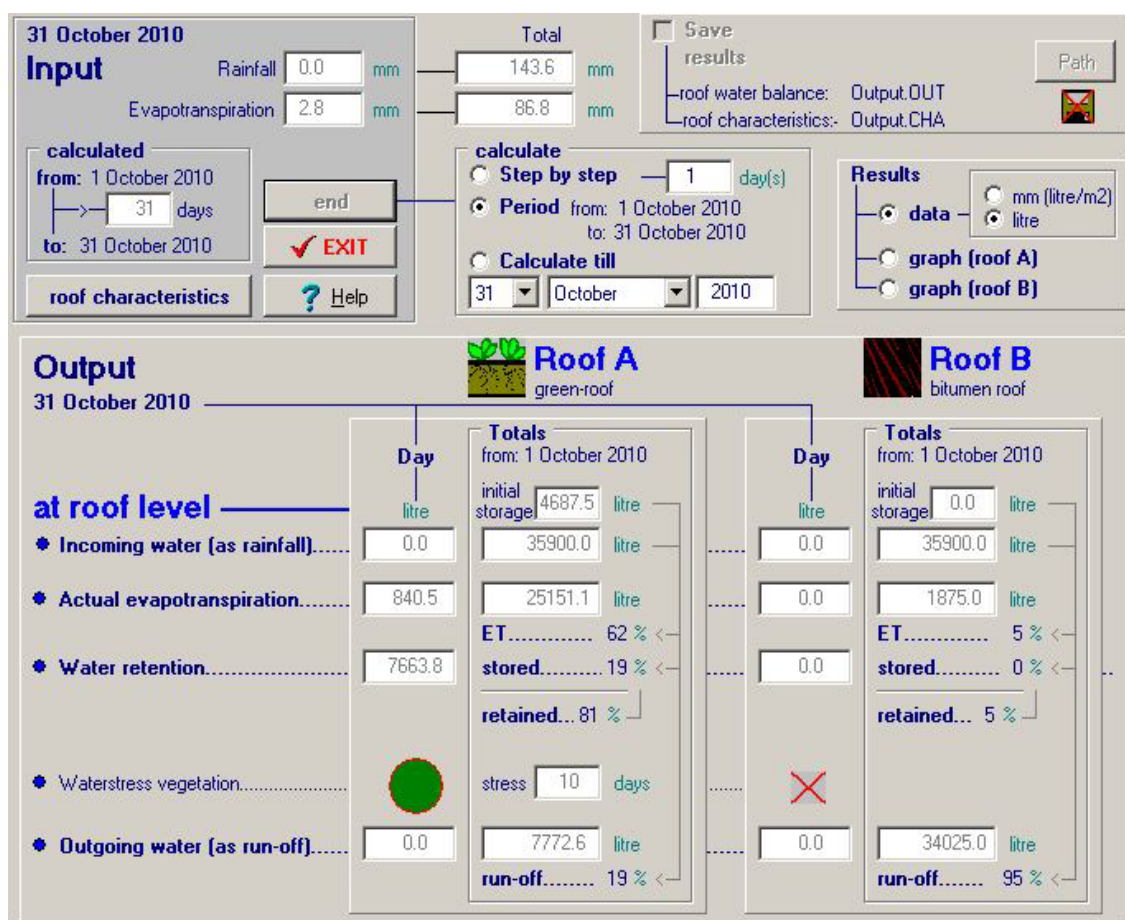
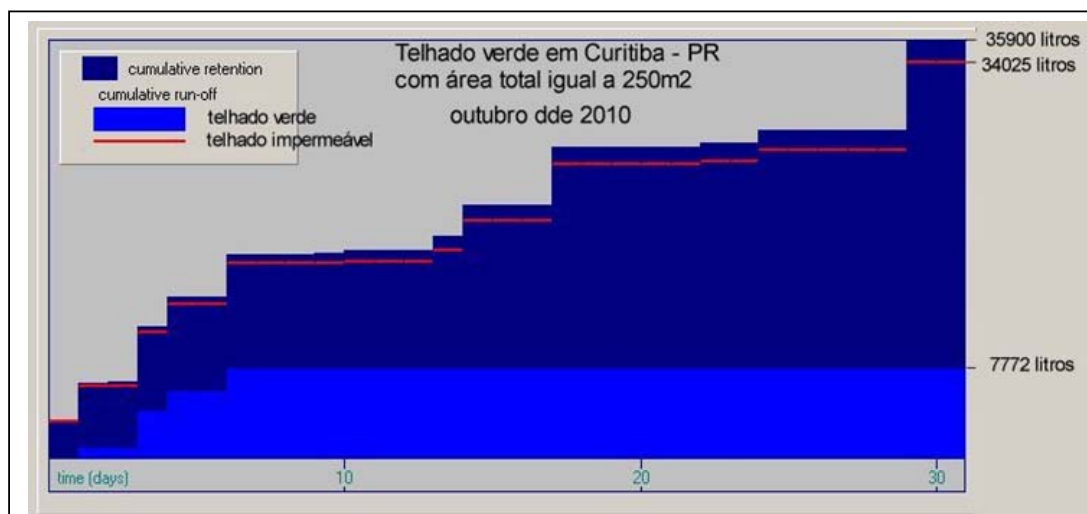


Figura 12: Interface de resultados do software GreenRoof para a simulação proposta.  
Fonte: Software GreenRoof (2010).

A diferença acentuada entre os valores da água escoada pelo telhado verde (7.772,6 l) contrasta com a escoada pelo telhado impermeável (34.025 l) graças ao fenômeno da evapotranspiração que é muito grande no primeiro caso (25.151,1 l contra 1.875 l), sendo neste também notável o fenômeno de armazenar a água (7.663,8 l contra nenhuma água armazenada no outro).



**Figura 13: Interface do gráfico gerado pelo programa GreenRoof .**  
Fonte: *Software GreenRoof* (2010).

A partir dos dados emitidos anteriormente pelo programa é possível a representação de um gráfico que demonstra a quantidade de água acumulada em função dos dias do mês de outubro de 2010. Este gráfico permite verificar, com clareza, a quantidade de água escoada por um telhado verde e um convencional. O telhado convencional escoava quase que toda a água pluvial, enquanto que o telhado verde despreza somente uma parcela desta água (Figura 13).

A grande evapotranspiração causada por absorção da energia oriunda do Sol pela camada vegetal do telhado verde não é usada exclusivamente para aquecimento do telhado e, como consequência, o aquecimento do ambiente interno e externo. Também é notável a grande redução do escoamento da água de chuva, o que faz com que diminua a contribuição de água pluvial no sistema de escoamento da água de chuva das cidades.

Por fim, o *software* será utilizado para calibrar o sistema em parceria com o levantamento dos dados obtidos na leitura diária do protótipo de telhado verde.

#### 2.4.5. Tipos de vegetação para telhados verdes extensivos

São poucas as semelhanças entre um ambiente de telhado e um jardim ao nível do chão. O calor, a luz solar e o vento são mais intensos em um telhado e as qualidades do solo, como os conteúdos orgânicos, que são valiosos em um jardim ao nível do solo, podem ser indesejáveis em um telhado, podendo, em quantidade, levar à degradação e perda do volume de cultura (SNODGRASS e McINTYRE, 2010). Muitas plantas não conseguem prosperar ou até mesmo nem sobreviver em um ambiente assim.

Sobre a questão dos ventos, as plantas escolhidas precisam ter uma boa ligação das raízes com o meio, suportando a ação dos ventos e impedindo deslocamentos. No caso de telhados extensivos, com manutenção baixa, a vegetação escolhida precisa ter a capacidade de sobreviver em períodos de estiagem, além de promover uma boa evapotranspiração. De acordo com Snodgrass e McIntyre (2010), a folhagem das plantas deve possuir superfície suficiente para sombrear o meio, impedindo a germinação de sementes de ervas daninhas. Deve ser de vida longa, eliminando o desperdício de substituições inúteis e dispendiosas. Um bom jardim é aquele que executa o fornecimento de armazenamento de água e movimento, de refrigeração, de alimentos para os polinizadores, de habitat e, por fim, beleza.

Procurando selecionar os tipos de vegetação indicados para o clima subtropical da região de Curitiba, a pesquisa estabeleceu contato com responsáveis pelo projeto Biocidade de Curitiba que procura mostrar a importância das espécies nativas para o ecossistema urbano, levando a sociedade a valorizar o meio ambiente como patrimônio natural.

Através da seleção do Projeto Plantas Nativas Ornamentais, que visa a resgatar a biodiversidade urbana pelo uso da flora nativa regional, foi determinado o tipo de vegetação que comporia o protótipo de telhado verde. Esta iniciativa busca uma melhor adaptação da vegetação escolhida tendo a característica de um ecossistema natural.

Estudos em telhados verdes extensivos identificaram espécies de plantas que resistiram bem em clima tropical, como a *Pilea microphylla*, conhecida

como Brilhantina; a *Portulaca grandiflora*, conhecida como Onze horas; e *Pedilanthus tithymaloides*, conhecida como pedilanto, dois irmãos, sapatinho-de-judeu (LAAR *et al.*, 2001). As três espécies que se mostraram melhores adaptadas são espécies suculentas que possuem como características principais a capacidade de armazenamento de água, a resistência nas épocas de estiagem e a adaptação em ambientes agressivos. Elas também se adaptam em diversos ambientes:

- *Pilea microphylla*: Família Urticaceae - Herbácea perene, ereta, muito ramificada, originária da América Tropical, de 20-30 cm de altura, de folhagem ornamental, ramagem densa e carnosa, com folhas diminutas e suculentas.
- *Portulaca grandiflora*: Família Portulacaceae - Herbácea prostrada, suculenta, anual, nativa do Brasil, de 15-20 cm de altura (Figura 14).
- *Pedilanthus tithymaloides*: Família Euphorbiaceae - Arbusto leitoso, de aspecto suculento, nativo da Amazônia, de 1 a 2 m de altura, com vários ramos carnosos e poucas folhas coriáceas, suculentas.



**Figura 14:** *Portulaca grandiflora*, Onze horas.  
Fonte: floresnaweb (2011).

Com cerca de mais de 30 gêneros e 500 espécies, a família *Portulacaceae* distribuiu-se principalmente pela América do Norte, América do Sul e África. Tendo como gêneros mais representativos a *Portulaca* L. com



aproximadamente 100 espécies, *Calandrinia Kunth* com cerca de 150 espécies e *Talinum Adans* com 50 espécies aproximadamente (CAROLIN, 1993). Entre as mais conhecidas encontra-se *Portulaca oleraceae*, com propriedades medicinais, e *P. grandiflora*, com emprego ornamental (LORENZI e MATOS, 2002). No Brasil os principais gêneros são *Talinum* e *Portulaca*, que concentram aproximadamente 30 espécies (SOUZA e LORENZI, 2005).

O gênero *Portulaca* inclui ervas ou subarbustos anuais ou perenes, prostrados ou eretos, com folhas alternas ou opostas, flores solitárias ou em racemos de cálice com 2 sépalas e corola com 4-6 pétalas livres, ovário súpero ou semi-ífero e fruto com cápsula de deiscência transversal ou longitudinal e sementes pequenas e numerosas (MATTOS, 1984). *Portulaca grandiflora* é uma espécie herbácea anual nativa do Brasil, de 15-20 cm de altura conhecida popularmente como “onze-horas” (LORENZI e SOUZA, 1995), com folhas subuladas com até 2,5 cm de comprimento e flores com pseudossépalas de 6-7 mm de comprimento e tépalas de 1,5-3,0 cm de comprimento de coloração variada (púrpuras, vermelhas, rosadas, amarelas e brancas) que se abrem durante o verão (MATTOS, 1984). Rios (2012)<sup>1</sup> constatou que o comprimento médio das raízes fasciculadas de *Portulaca grandiflora* varia entre 8,5-10 cm comprimento.

É uma espécie indicada para bordaduras e conjuntos em canteiros a pleno sol (LORENZI e SOUZA, 1995) e em cobertura verdes de telhados (OSMUNDSON, 1999).

## **2.5. USO DO TELHADO VERDE – BENEFÍCIOS**

Constatado por vários profissionais do ramo da Construção Civil, o telhado verde possui alguns benefícios consideráveis direcionados à sustentabilidade, os quais são explanados na sequência.

---

<sup>1</sup>RIOS, J.F. Pesquisador, Museu Botânico de Curitiba, PR, 2012.

### 2.5.1. Retenção de água de 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).

Este estudo foi feito na cidade de Portland (EUA), onde houve retenção do volume da água entre 10-35% durante a estação chuvosa e 65-100% durante a estação seca. Há redução do pico de fluxo, ou seja, em todas as tempestades é reduzido os picos de vazão (*Bureau of Environmental Services, Portland, Oregon*, CANTOR, 2008). Constatou-se que lá a redução da taxa de drenagem pode ser a cerca de 35%. Em decorrência destes estudos, a tecnologia de telhado verde está cada vez mais recebendo a aprovação na gestão de águas pluviais.

A pesquisa sobre Coberturas Verdes Leves (CVL's), desenvolvida por Cunha e Mediondo (2004) na Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo (USP), apresentou capacidade de absorção de água pluvial, partindo de um solo seco, de aproximadamente 14 mm e ainda demonstrou ser capaz de absorver a água pluvial no momento de maior intensidade de chuva. Os pesquisadores concluíram que este resultado comprova que a CVL gera o retardamento no escoamento de águas pluviais equivalente a 14 mm de chuva, se comparado com uma cobertura tradicional, onde a maior parte deste montante seria destinada diretamente à rede pública de drenagem urbana, ocasionando um super-fluxo que pode gerar inundações. Assim, a pesquisa demonstrou a eficácia de telhados verdes no que tange ao combate e prevenção de enchentes.

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.

Cantor (2008) 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).

A contribuição da vegetação, neste caso, é que permite a evapotranspiração sazonal, ou seja, diferentes espécies têm seu ciclo biológico variável com a estação do ano.

### **2.5.2. Melhoria da qualidade da água - filtro**

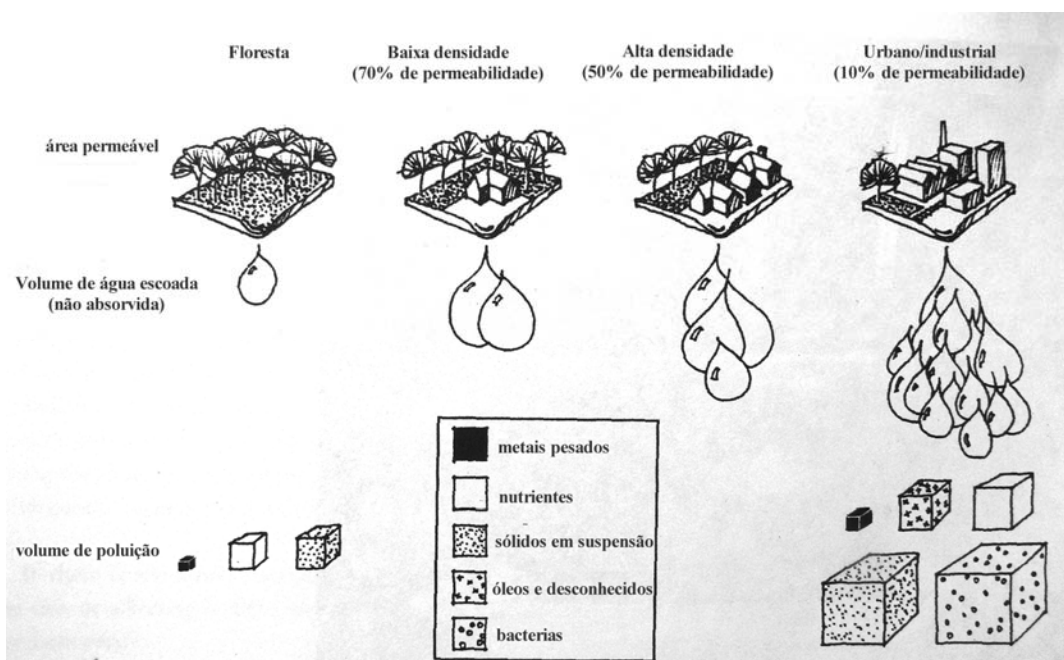
Dois aspectos merecem ser citados: o primeiro é que a água da chuva pode ser recolhida em cisternas a partir de telhados e, especificamente em telhados verdes, a água em excesso apresenta redução de agentes poluidores pela ação das vegetações e substratos que funcionam como filtros. No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2007) regulamenta o uso da água de chuva através da Norma NBR 15527, que fornece requisitos para o aproveitamento das águas de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não-potáveis. Na cidade de Curitiba foi aprovada a Lei nº 10.785/2003, criando no Município o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações (PURA), regulamentado pelo Decreto nº 293/2006. O objetivo é instituir medidas que induzam a conservação, uso racional e utilização de fontes alternativas para captação de água nas novas edificações, bem como a conscientização dos usuários sobre a importância da conservação da água. A racionalização da água potável e a preservação e conservação dos recursos hídricos tornam-se muito importantes em face da escassez de água que pode nos atingir nas próximas décadas.

De acordo com os estudos de Ferreira e Moruzzi (2007), os resultados apresentados permitem avaliar que o telhado verde pode ser conjugado a um sistema de aproveitamento de água de chuva, desde que observados os seguintes aspectos:

- Relativos ao volume passível de ser captado (quantidade): profundidade do substrato, capacidade de evapotranspiração da vegetação, intervalo e quantidade de chuvas e área de captação;

- Relativos à qualidade da água passível de ser captada: composição do substrato, vazão do escoamento, tipos de vegetação e tempo de estabelecimento da vegetação.

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. A Figura 15 demonstra através de uma concepção didática como o volume da poluição estaria relacionado com o volume de água escoada. Quanto menor a permeabilidade, maior o volume de poluição.



**Figura 15: Impermeabilidade e poluição.**  
Fonte: Thompson e Sorvig (2008).

### 2.5.3. Redução da Ilha-de-calor urbano

O ambiente construído dos grandes centros urbanos, com suas variedades de materiais de cor escura, absorve o calor durante o dia em sua massa construída e no solo, em especial o asfalto e libera-o à noite. Nestes centros, a

temperatura é mais quente do que as zonas suburbanas ou rurais. A energia solar converte-se em calor, que paira no ar em torno do edifício, de modo que há a necessidade do uso de ar condicionado, aumentando o gasto em energia (CANTOR, 2008). Em contrapartida, com o emprego de vegetação nestes densos ambientes construídos, pode-se ajudar no conforto térmico utilizando as propriedades térmicas das vegetações, que ao entrarem em processo de evapotranspiração esfriam a temperatura ambiente do edifício. Se telhados verdes fossem instalados em larga escala teriam um potencial para mitigar o efeito ilha-de-calor.

#### **2.5.4. Qualidade do ar e fluxos de ar**

O telhado verde possui a capacidade de filtrar partículas de poeira e fuligem do ar. Mantém deposição atmosférica e retarda a degradação do material do telhado, volume reduzido reduz as cargas poluentes.

A vegetação, pelo mecanismo da fotossíntese, aprisiona o carbono filtrando o ar e liberando o oxigênio. Ela interage com os fluxos de ar, direcionando ventos, sendo que o fluxo dos ventos pode variar conforme a densidade do vegetal e o distanciamento que cumpre em relação às edificações vizinhas (ADAM, 2001).

#### **2.5.5. Conservação de energia**

Em decorrência a todas as camadas que são necessárias para a instalação de um telhado verde, membranas de impermeabilização, suportes de cultura e materiais vegetais; toda esta espessura acaba por agir como isolante, sendo que, no que diz respeito às edificações, as propriedades isolantes dão um grau de resistência em transmissão de energia, reduzem os requisitos de ar condicionado no verão e diminuem a necessidade de aquecimento no inverno.

Procurando proporcionar um menor consumo de energia sem se desligar do conforto ambiental, o projeto tem um papel fundamental nos resultados finais. Na descrição de Gonçalves e Duarte (2006), o projeto de arquitetura pode responder a três diferentes cenários de condições ambientais internas: no primeiro

cenário, tem-se um projeto totalmente passivo (*free running building*), em que o consumo de energia para a climatização é zero. Neste caso, são as características do projeto arquitetônico e os padrões de ocupação que, interagindo com as condições ambientais externas, vão determinar as condições ambientais internas. No segundo cenário, o edifício é dependente por todo o seu tempo de ocupação de um sistema artificial para o controle das condições ambientais internas, o que pode ser uma imposição do clima ou mesmo das especificidades do uso. Sendo assim, a arquitetura deve ser projetada para minimizar os gastos de energia para condicionamento artificial, seja para o arrefecimento, seja para o aquecimento. No terceiro cenário, o uso do sistema artificial de climatização é parcial, ocorrendo apenas nos momentos do ano em que as condições ambientais internas estão fora dos padrões de desempenho estabelecidos, denominado condicionamento ambiental em modo misto (*mixed-mode*).

A aplicação de técnicas como o do telhado verde pode em determinadas regiões, em decorrência do clima, ter uma contribuição além do esperado no terceiro cenário, chegando ao primeiro cenário com o consumo de energia para a climatização nula, porém com condições ambientais favoráveis.

#### **2.5.6. Habitat**

Mesmo que seja para insetos e pássaros, o telhado verde funciona como um reforço do ecossistema. Um resultado desejado de qualquer projeto de construção seria uma paisagem e um ecossistema que são regenerados e aperfeiçoados como uma consequência de projeto (Figura 16).

A *Environmental Building News (EBN)* fornece uma lista de verificações aos profissionais para utilização em ajudar a restaurar a vitalidade dos ecossistemas naturais. Embora o estudo seja amplo, é muito útil para a restauração de ecossistemas em geral (KIBERT, 2008).



**Figura 16: As plantas e a restauração dos ecossistemas naturais.**  
Fonte: Snodgrass e McIntyre ( 2010 ).

Ao utilizar plantas nativas da região, onde o telhado verde está inserido, permite, com mais facilidade, que se restabeleça a presença de vida nativa.

### **2.5.7. Estética e recuperação do espaço de zoneamento**

Uma vantagem óbvia descrita por Cantor (2008) é a adição ao meio ambiente de uma amenidade visual. Um espaço verde visível possui suas vantagens ao invés de uma telha comum ou que chamou de “telhado triste demais”. Há, também, uma recuperação, que seja parcial e não como um espaço natural, de uma área perdida com a locação das edificações. Esta área pode ser revertida às propriedades, públicas ou privadas, oferecendo uma alternativa de recreação passiva.

Em ambientes urbanos muito densos, tal solução acaba por amortecer ruídos e eliminar brilhos provenientes de alguns tipos de telhados convencionais (*Bureau of Environmental Services*, CANTOR, 2008). Da mesma forma, como dito anteriormente, pelo fato das camadas de um telhado agirem como um isolante, elas também funcionam como barreiras acústicas, diminuindo o volume do som de barulhos provenientes do exterior, que acabariam penetrando com mais facilidade na edificação.

### **2.5.8. Custos**

De acordo com o *Bureau of Environmental Services* (2008) o custo do telhado verde é variável entre 54 a 130 USD/m<sup>2</sup> nas obras novas e entre 75 a 215 USD/m<sup>2</sup> nas reformas. Para efeito de comparação, este mesmo estudo compara com o custo de um telhado comum que possui uma variável entre 22 a 108 USD/m<sup>2</sup> nas construções novas e entre 43 a 161 USD/m<sup>2</sup> nas reformas (CANTOR, 2008). Em média, um custo maior para telhados verdes da ordem de 83% a mais em obras novas e 54% a mais em reformas. Tal diferença é compensada pelos benefícios que são propiciados pelo uso de telhados verdes.

### **2.5.9. Benefícios econômicos**

Nos locais onde existem taxas para o uso da galeria de águas pluviais, há uma redução nestas taxas em consequência do volume menor dispensado pelas edificações que possuem telhados verdes.

Há também economia de energia em relação ao uso de equipamentos utilizados para aquecer ou resfriar ambientes. Em regiões onde há necessidade de maior isolamento nas construções, há uma redução nos gastos destes materiais, pois a cobertura de uma edificação é um ponto vulnerável para perda de calor.

### **2.5.10. Durabilidade**

Segundo o *Bureau of Environmental Services* (2008) o telhado verde é tido como uma camada de proteção à prova de água, que protege do sol e das variações de temperatura por mais de 36 anos, enquanto no telhado comum a proteção é pouca e em decorrência da exposição de seus elementos a sua duração é menor do que 20 anos. Embora o custo inicial de um telhado verde seja maior do que um telhado convencional, ao longo do tempo o telhado verde prolonga sua vida útil, protegendo-o da exposição direta aos raios ultravioleta e outras radiações nocivas (CANTOR, 2008).



## 2.6. Telhado verde existente

Fazendo uma leitura dos espaços construídos na cidade de Curitiba, constata-se pouca existência de telhados verdes extensivos dentro da cidade. O resultado desta procura proporcionou o encontro de uma edificação com quatro pavimentos, construída no ano de 1985, onde se apresenta o uso de telhado verde. Em sequência, faz-se uma explanação sobre esta edificação através de documentos pessoais do construtor Eduardo Thá. Todas as informações contidas são estudos por ele executados, baseando-se em suas experiências e o uso da tecnologia da época (Figura 17).



**Figura 17: Telhado verde no bairro de Vila Isabel em Curitiba.**  
Fonte: A autora (2011).

### 2.6.1. Localização da edificação

A edificação proposta para o estudo situa-se na Rua Parintins n.198, Bairro Vila Isabel, em Curitiba, Paraná (Brasil). Está localizada nas coordenadas: latitude 25° 27' 21,25" S e longitude 49° 17' 40,34" W (Figura 18).



**Figura 18: Fachada da edificação com telhado verde.**  
Fonte: A autora (2011).

### **2.6.2. Descrição do empreendimento**

A edificação está inserida em um terreno urbano com 620,00 m<sup>2</sup>. A área de projeção da edificação é de 250,00 m<sup>2</sup>. Possui quatro pavimentos, sendo o térreo destinado às garagens e os três restantes aos apartamentos, sendo duas unidades por andar.

### **2.6.3. Dados do construtor**

O empreendedor Eduardo Thá nasceu em Curitiba em 04 de julho de 1907 e faleceu também na cidade de Curitiba em 01 de junho de 1992, aos 84 anos. Filho de imigrante italiano, o qual o iniciou no ramo da construção executando casas em alvenaria. Não possuía formação acadêmica, mas ao longo de sua vida dedicou-se a ser construtor, empresário e pesquisador de tecnologias alternativas e ecológicas para a construção civil (THÁ, 2010).

Os arquivos relatados, a seguir, são decorrentes de sua experiência de trabalho e dedicação a uma nova maneira de projetar, baseado nos conceitos de Arcologia (arquitetura com ecologia). Estes arquivos foram formalizados ao longo de sua aposentadoria, até completar 83 anos, um ano antes de sua morte.

#### **2.6.4. Arquivos pessoais de Eduardo Thá**

Apesar de seus arquivos serem amplos em relação a todas as partes de uma obra civil, o que é transcrito neste trabalho são os estudos relativos ao telhado verde, que, segundo ele mesmo escreve, foi por ele estudado, idealizado, pesquisado, testado, aprovado e concluído e ainda com um convite para visita ao prédio que na época já contava com seis anos.

Em todos os seus relatos, Eduardo Thá demonstra uma forte preocupação com a água, sua possível falta e o meio ambiente. A necessidade de compensar, pelo menos em parte, a poluição do ar, assim ele idealizava ter mais verde nas cidades, apesar do adensamento urbano crescente. Com isto, procurou pesquisar sobre a técnica do uso de terraços-jardim, para que os mesmos servissem de telhado e jardim ao mesmo tempo.

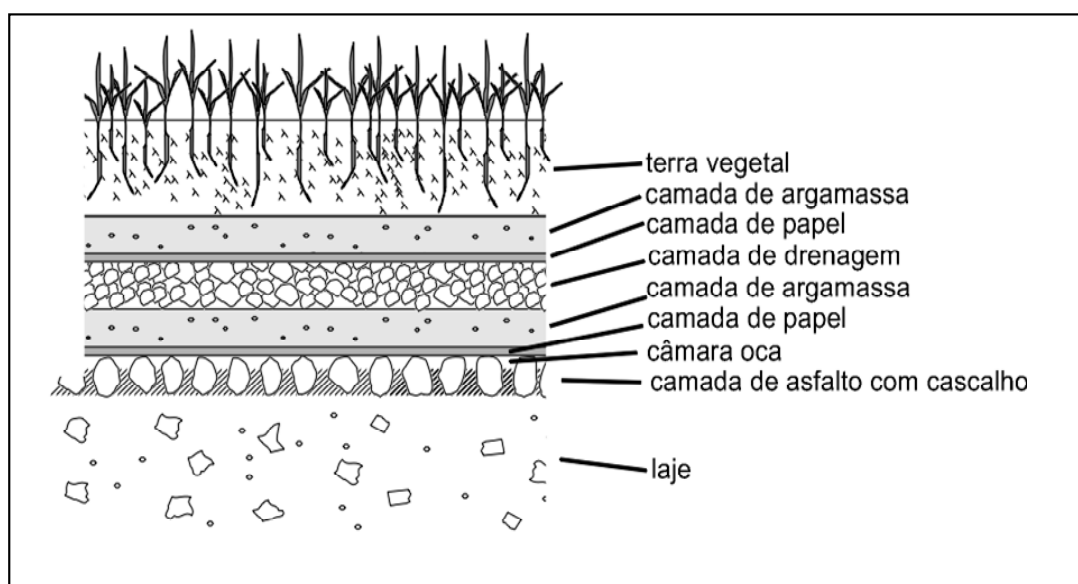
A premissa para o início dos seus estudos era que todos os terraços recebessem água e esta fosse direcionada aos sistemas de coleta da rede pública pluvial e por vezes infiltrada na construção causando danos à estrutura e à salubridade do local.

Ao descrever a função da cobertura da qual idealizou, Thá comenta que a sua função seria absorver todas as águas da chuva até a altura de um lençol de cerca de 0,10 m de precipitação ininterrupta, retendo-a em seu dreno para irrigação por capilaridade permanente. A exemplo da natureza, em seguida toda água é lentamente absorvida pela evaporação, irrigação capilar e verde plantado, com a finalidade de melhorar o clima e a atmosfera das cidades e baratear as construções. Na época, de acordo com suas pesquisas, afirmou que raramente as precipitações pluviométricas excediam a altura prevista (cerca de 0,10 m): uma só ou duas vezes ao ano. Complementou ainda que, nestes casos, as águas em

excesso seriam eliminadas, limpas e cristalinas, em pouco tempo pelos extravasores previstos e testados, ficando assim completamente dispensadas todas as calhas, condutores, canalizações e ralos para eliminar as águas pluviais. As águas passariam a servir de irrigação permanente natural e com mais eficiência.

Neste caso, o construtor estimou em 10 cm a precipitação máxima diária com grande tempo de recorrência. Assim, pode-se perceber que apesar das afirmações por ele citadas hoje, a tecnologia proporciona, aos pesquisadores, ferramentas fundamentais e mais precisas para executar este tipo de experiência.

As camadas propostas pelo construtor para a construção de um telhado verde eram: sobre a laje estende-se uma camada de 4 mm de asfalto tipo 60-70, em seguida “semeia-se” uma camada de cascalho com aproximadamente 8mm de diâmetro, que servirá de apoio, suportando toda a carga das camadas acima e trabalhando à compressão em conjunto. Sendo o cascalho mais pesado, ele afunda até a laje (Figura 19).



**Figura 19: Representação das camadas do telhado verde do projeto de Eduardo Thá.**  
Fonte: Arquivos de Eduardo Thá (2011).

Acima disto, estende-se as folhas de papel que compõem os sacos de cimento. Sobre o papel, estende-se uma camada de argamassa, de  $\frac{1}{2}$  polegada

de espessura, que serve como laje protetora do asfalto, composta por areia e cimento na proporção 1:4.

A explicação desta técnica é que com o tempo, o papel desintegra-se e assim a camada de argamassa fica sendo a cobertura do cascalho e asfalto, deixando uma câmara oca entre elas. Permite-se assim que o asfalto, por ser um material flexível, fique livre entre os vãos do cascalho para obstruir qualquer fresta ou trinca que, eventualmente, possa ocorrer na camada de argamassa imediatamente acima, que se encontra apoiada somente nos cascalhos, sem esmagar o asfalto.

Sobre a argamassa de proteção do asfalto é que se coloca o dreno com espessura de 10 cm de espessura de cascalho poroso, provável argila expandida, leve e absorvente, com a finalidade de reter a água por muito mais tempo, destinada à irrigação das plantas durante a estiagem e substituir o lençol freático.

Acima do dreno, repete-se a proteção com folhas de papel e a mesma composição da camada de argamassa feita anteriormente, tendo a finalidade de impedir que o dreno se misture com a camada de terra vegetal. A última camada, a terra vegetal úmida, possui a espessura de 30 cm pronta para receber a vegetação. A proposta de todas estas camadas é que elas estejam em nível (Figura 20).



**Figura 20: Substrato existente na edificação de telhado verde.**  
Fonte: A autora (2011).

Percebe-se nesta composição dimensões excessivas para compor as camadas, principalmente para o substrato e vegetal, que por estar recebendo vegetação extensiva poderia, pela sua espessura, receber vegetação intensiva. Hoje, as técnicas permitem que se utilize uma camada de 10 cm para telhados extensivos como este apresentado.

A carga correspondente foi calculada em cerca de 750 kgf por m<sup>2</sup>, onde Thá acreditava ser pouco em relação aos benefícios proporcionados pelo projeto. Nos estudos do construtor sobre o telhado verde, demonstrava claramente a preocupação em relação ao meio ambiente como se tem atualmente. A diferença está no avanço da tecnologia e nas inovações do mercado. No entanto, o visionário construtor, executou o telhado verde e segundo os atuais moradores esta cobertura, até os dias de hoje, não apresentou sinais de infiltração e funciona conforme as expectativas de projeto.

## **CAPÍTULO 3 - MÉTODO DE PESQUISA**

### **3.1. DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA**

Esta pesquisa é de caráter experimental e consiste em determinar o telhado verde como objeto de estudo, selecionando as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo. Define as formas de controle e de observação dos efeitos que as variáveis produzem no telhado verde em condições determinadas.

#### **3.1.1. Unidade de análise**

A presente pesquisa destaca os efeitos da absorção e da evapotranspiração do telhado verde e a sua contribuição na gestão pública das águas pluviais.

#### **3.1.2. Delimitação do trabalho**

Os objetos de interesse de estudo são: um protótipo de telhado verde, impermeável e convencional; e um telhado verde existente em um edifício, situado no bairro de Vila Isabel, em Curitiba, estado do Paraná (Brasil).

#### **3.1.3. Justificativa**

A estratégia é de coletar informações para o projeto quantitativo e a sua inserção no *software GreenRoof* para confrontar dados de duas situações diametralmente opostas: a existência de telhados verdes com a de telhados convencionais, verificando a contribuição deles na gestão de águas pluviais.

### 3.1.4. Testes de validade

A validação da pesquisa é obtida com a confrontação de dados processados pelo *software GreenRoof* utilizado junto com os dados obtidos, em leituras diárias (período de 26 de novembro de 2011 a 27 de fevereiro de 2012) com o protótipo de telhado verde construído para a realização do experimento.

## 3.2. PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS

A finalidade do protocolo da coleta de dados é ser um instrumento que sistematize as regras e os procedimentos para o levantamento de dados (YIN, 2003). Os procedimentos foram adotados conforme etapas descritas a seguir.

### - Primeira etapa: Revisão bibliográfica

Inicialmente, a revisão bibliográfica abrange as definições sobre desenvolvimento sustentável e suas reformulações. Faz uma breve relação entre a sustentabilidade e a arquitetura. Relata um pequeno histórico sobre o telhado e sua condição de abrigo decorrente da necessidade do homem em se proteger, compondo com os conceitos ecológicos remotos e contemporâneos. No decorrer descreve a composição dos telhados verdes e seus aspectos técnicos, destacando a vegetação e suas contribuições e tipos, apresentando o *software GreenRoof* e finalizando com os benefícios do uso do telhado verde.

### - Segunda etapa: Extração de dados

A extração de dados referentes a índices pluviométricos e evapotranspiração são adquiridos em fontes que propiciem confiabilidade para o embasamento da pesquisa, assim sendo os dados a serem usados para processamento eletrônico foram obtidos nos institutos de pesquisa relacionados a meteorologia (INMET) e a agrometeorologia (IAPAR).



- Terceira etapa: Experimento de campo

Nesta etapa, duas situações foram trabalhadas: a primeira é a elaboração do projeto e execução do protótipo de um telhado verde, de uma laje e de um convencional, no caso telhas de barro; e a segunda o levantamento dos dados históricos e execução do telhado verde de uma edificação existente escolhida por possuir este tipo de telhado.

- Quarta etapa: Coleta de dados do experimento e resultados

Nesta etapa, foram feitos a observação e o registro dos dados diários, em dias de pluviosidade, da água escoada dos telhados do protótipo para serem inseridos em uma planilha.

Também nesta etapa, os dados recolhidos foram usados para processamento eletrônico no *software GreenRoof* que simula o comportamento de um telhado verde e de um convencional para confrontar os dados. O *software* foi aplicado tanto no protótipo quanto na edificação existente.

- Quinta etapa: Análise de dados

Fez-se uma correlação entre os dados processados e medidos para a vegetação de um protótipo de telhado verde na região de Curitiba. Esta comparação permite avaliar, com mais critério, o uso de processamento eletrônico em simuladores de telhado verde com o objetivo de medir a contribuição da água escoada pelos telhados na rede pública de escoamento de águas pluviais.

### **3.3. MÉTODO DE ANÁLISE DE DADOS**

O método de análise de dados foi estabelecido por um padrão de avaliação dos indicadores recolhidos de evapotranspiração e precipitação e da comparação da água recolhida nas três situações propostas no protótipo: telhado verde, laje lisa e telhado convencional com telhas de barro. Por fim, constatou-se a redução da contribuição do escoamento nas águas pluviais frente a um telhado verde.

A tabela a seguir demonstra como foram anotados, na primeira etapa, os dados recolhidos diariamente. As primeiras coletas foram desprezadas para a pesquisa, pois funcionaram para calibrar todo o sistema. Após ajustar todo o sistema partiu-se-se para as anotações em definitivo (Tabela 2).

<b>JANEIRO 2012</b>	<b>COLETA DE DADOS DO EXPERIMENTO</b>		
<b>Data</b>	<b>Água escoada mm/dia</b>	<b>Água escoada mm/dia</b>	<b>Água escoada mm/dia</b>
	<b>LAJE IMPERMEÁVEL</b>	<b>TELHA DE BARRO</b>	<b>TELHADO VERDE</b>

**Tabela 2: Planilha de Coleta de Dados do Protótipo de Telhado Verde.**  
Fonte: A autora (2011).

No decorrer da pesquisa, fechando os dados mensais, pôde-se iniciar a segunda etapa independente da primeira continuar o seu processo. Nesta segunda etapa, os dados obtidos foram devidamente analisados e confrontados com a aplicação do mesmo período no *software* proposto. Verificando a calibragem dos dois sistemas, pôde-se admitir o uso do *software GreenRoof* para dimensionar a contribuição dos telhados verdes para uma região desde o projeto inicial.

## **CAPÍTULO 4 - EXPERIMENTO DE CAMPO**

### **4.1. Protótipo do telhado verde, laje lisa e telha de barro**

#### **4.1.2. Localização**

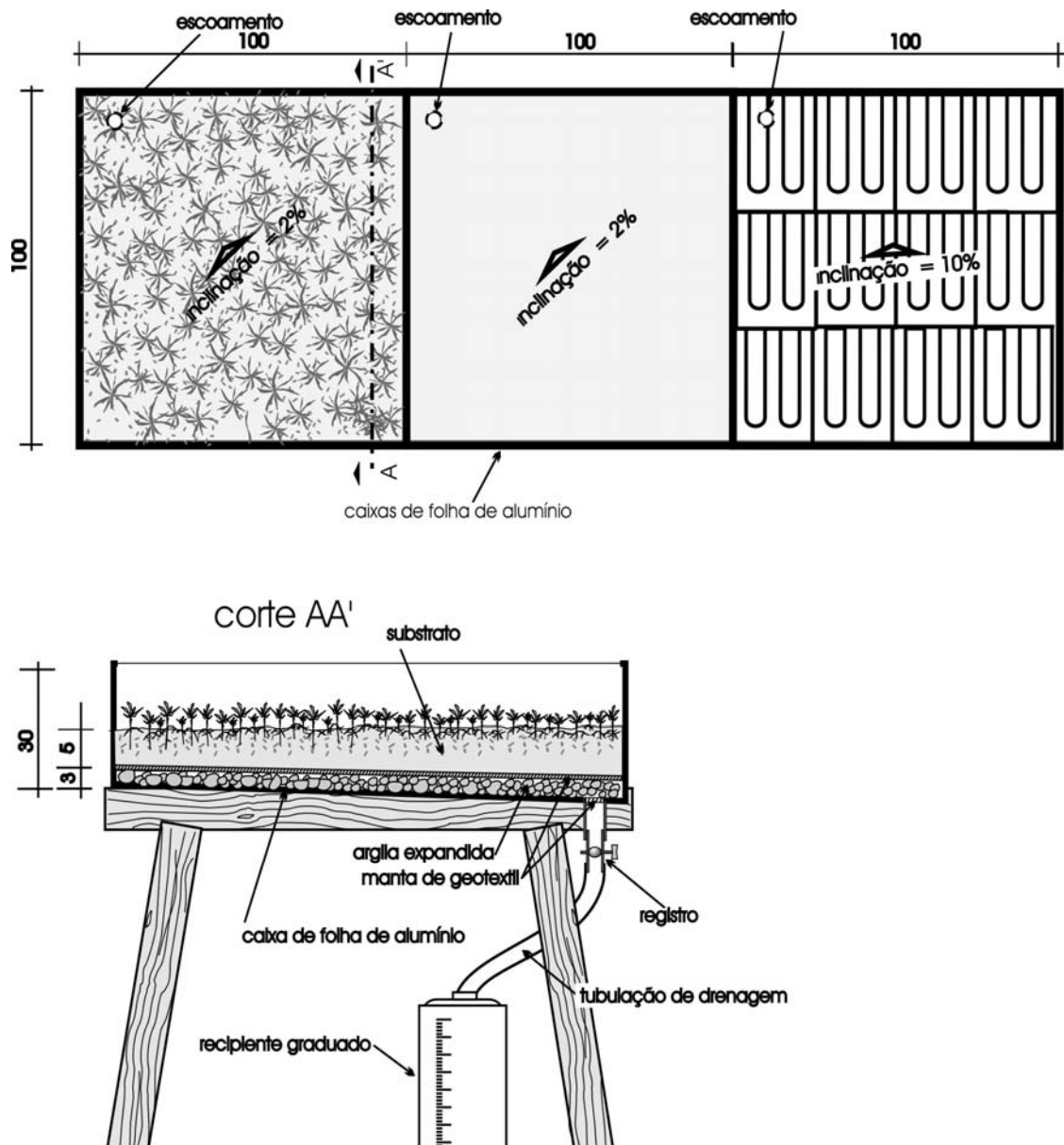
Definido que seria feito um protótipo com telhado verde, laje lisa e telha de barro constatou-se as dificuldades enfrentadas. Por se tratar de um experimento que exigia leituras diárias e constantes observações, optou-se por construí-lo na própria residência da autora, assim facilitaria o trabalho de observação.

O lugar escolhido para a montagem do protótipo é livre de sombreamento, situando-se na região norte de Curitiba, bairro Barreirinha, nas coordenadas: latitude igual a 25° 21' 43,10" S e longitude 49° 15' 1,60" W, altitude 978 m. O entorno é arborizado, possui muitas áreas permeáveis com vegetação natural.

#### **4.1.1. Projeto**

Outra dificuldade estava relacionada aos custos de montagem e o tempo gasto. Para resolver as duas questões optou-se por trabalhar com madeira ao invés de concreto e laje, facilitando a montagem e utilizando materiais básicos, de custo baixo, da construção civil.

Em sequência a representação gráfica do projeto e o conjunto já construído para o início da pesquisa (Figura 21 e Figura 22).



**Figura 21: Projeto do protótipo para experimento.**  
 Fonte: A autora (2011).



**Figura 22: Conjunto dos três telhados.**  
Fonte: A autora (2011).

#### **4.1.3. Montagem**

O protótipo para o experimento de campo foi formado por uma caixa retangular, com medidas próximas de 3m por 1m e 0,3m de altura. Esta caixa é suportada por quatro pés e tem duas divisões internas de modo a formar três espaços de secção quadrada cada qual medindo 1,00m<sup>2</sup> de área de fundo e 30cm de altura. A estrutura foi feita com peças de madeira para suportar três caixas impermeáveis que conteriam o telhado verde, o equivalente a uma laje impermeabilizada e o telhado convencional com telhas de barro. Para este fim foram utilizadas tábuas de pinus, material comum muito usado na construção civil (Figura 23).



**Figura 23: Estrutura em madeira em fase de montagem e pronta.**  
Fonte: A autora (2011).

Visando à preservação da estrutura que ficaria em ambiente externo, ao término da montagem foi aplicada, com uma trincha, emulsão asfáltica para garantir a impermeabilização de modo a aumentar a durabilidade da madeira (Figura 24).



**Figura 24: Estrutura em madeira protegida com emulsão asfáltica.**  
Fonte: A autora (2011).

Com a estrutura pronta, foram montadas as três caixas internas confeccionadas com chapas de alumínio de 0,4 mm de espessura. As chapas foram cortadas para a montagem e para garantir que ficassem bem vedadas foi utilizado material vedante para calhas em todas as emendas (Figura 25).



**Figura 25: Aplicação de vedante para calhas.**  
Fonte: A autora (2011).

O escoamento da água era uma preocupação, pois além de haver a necessidade de recolher a água era preciso tomar cuidado quanto aos vazamentos, pois, tinha-se conhecimento que este era um ponto vulnerável. Sendo assim, para solucionar esta questão, optou-se por utilizar uma válvula comum de plástico, utilizada em lavatórios, que foi fixada na estrutura de madeira antes de receber o fundo com chapa de alumínio (Figura 26).



**Figura 26: Detalhe da válvula de escoamento.**  
Fonte: A autora (2011).

Ao término de todas estas etapas tinha-se as três caixas de alumínio prontas, conforme detalhe demonstrado de uma delas (Figura 27).



**Figura 27: Caixa impermeável com fundo de 1m<sup>2</sup>.**  
Fonte: A autora (2011).

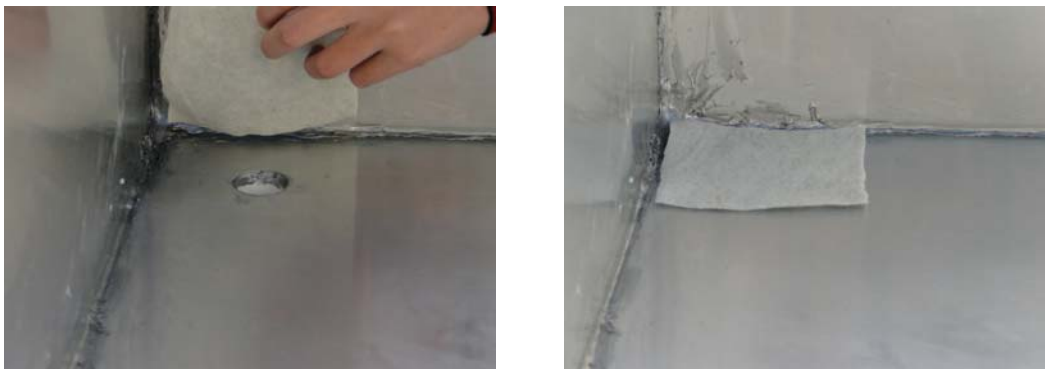
A estrutura toda foi montada de maneira que a inclinação para o escoamento da água fosse de aproximadamente 2% em direção ao furo feito no fundo de cada caixa e que permite o acesso às válvulas de escoamento. Para assegurar que a inclinação era suficiente e de que o protótipo estava livre de vazamentos, foi executado um teste que consistiu em deixar a válvula de escoamento fechada para encher as caixas com água até completar todo o fundo das mesmas. Por um dia inteiro as caixas permaneceram com a água para detectar pontos de vazamentos e que foram eliminados. Com a repetição dos testes de estanqueidade foi dado como concluída esta fase de verificação. As válvulas foram desobstruídas e, para examinar o escoamento da água, ficou demonstrado que a inclinação delas era suficiente e proporcionava o perfeito escoamento.

Com os três espaços de 1m<sup>2</sup> prontos, definiu-se de que o primeiro espaço abrigaria o telhado verde, o segundo espaço ficaria vazio simulando uma laje e o terceiro espaço receberia o telhado convencional, com telhas de barro.



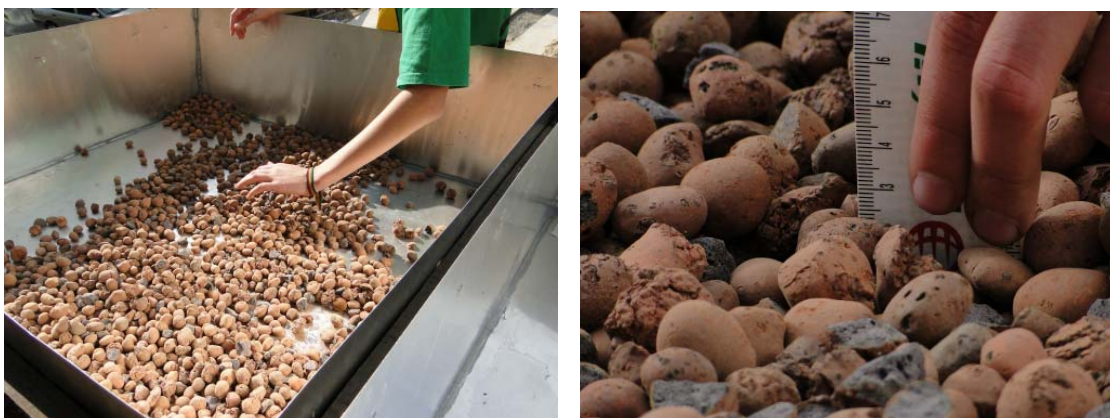
- Primeiro espaço.

Destinado ao telhado verde, apresenta 1m<sup>2</sup> livre onde foi colocado sobre a válvula de escoamento um tecido geotêxtil para impedir a descida de partículas provenientes da camada imediatamente acima, ou seja, a da argila expandida (Figura 28).



**Figura 28: Colocação do tecido geotêxtil sobre a válvula.**  
Fonte: A autora (2011).

A camada de drenagem foi composta com pelotas de argila expandida de tamanhos variados. Esta camada possui espessura variando entre 2,5 cm a 3,0cm (Figura 29).



**Figura 29: Montagem da camada de argila expandida.**  
Fonte: A autora (2011).

A camada de filtro, imediatamente acima da camada de argila expandida foi obtida com uma manta de tecido geotêxtil (Figura 30).



**Figura 30: Aplicação do tecido geotêxtil.**  
Fonte: A autora (2011).

Imediatamente acima da camada de filtro foi colocada a camada de substrato fornecido pelo Museu Botânico de Curitiba. As matérias-primas artificiais para uso como substrato foram: composto comercial formado por turfa de sphagno, vermiculita expandida, calcário dolomítico, gesso agrícola e fertilizante NPK; e serragem fina na proporção 2:1, com valores aproximados de: pH (5,5), d (105,5 kg.m<sup>-3</sup>), retenção de água (55%) e condutividade elétrica (0,5 mS.cm<sup>-1</sup>) Rios (2011)<sup>2</sup>.



**Figura 31: Colocação do substrato.**  
Fonte: A autora (2011).

<sup>2</sup>RIOS, J.F. Pesquisador, Museu Botânico de Curitiba, PR, 2011.

A espessura da camada de substrato foi montada de modo a ficar com uma espessura próxima a 5 cm (Figura 31). Esta camada recebeu, em seguida, água até a sua saturação detectada pelo escoamento do excesso (Figura 32).



**Figura 32: Substrato sendo irrigado.**  
Fonte: A autora (2011).

De acordo com Laar (2001) plantas da espécie *Portulaca grandiflora* são indicadas para telhados verdes extensivos, assim o material utilizado para propagação constou de mudas obtidas das plantas matrizes de *Portulaca grandiflora* existentes no Museu Botânico de Curitiba, integrante do projeto Biocidade e fornecidas pelo engenheiro agrônomo responsável (Figura 33).



**Figura 33: Execução do plantio.**  
Fonte: A autora (2011).

Depois de montado, o telhado verde apresenta um peso total igual a  $55 \text{ kgf/m}^2$  quando seco e  $95 \text{ kgf/m}^3$  quando saturado de umidade. Um telhado convencional (estrutura e telhas) com telhas de concreto pesa cerca de  $55 \text{ kgf/m}^2$ . Se este telhado verde fosse montado em cima de uma laje, esta precisaria ser impermeabilizada. Em uma residência comum, esta laje pesa cerca de  $350 \text{ kgf/m}^2$  e uma laje para telhas de concreto,  $250 \text{ kgf/m}^2$ . Adicionando a carga devido aos ventos que pode ser admitida como  $50 \text{ kgf/m}^2$  às duas, teremos:

- telhado verde  $\rightarrow 495 \text{ kgf/m}^2$

- telhado com telhas de concreto  $\rightarrow 355 \text{ kgf/m}^2$

A carga sobre a estrutura é 39% maior no telhado verde.

- Segundo espaço.

Este que simula uma laje foi constituído apenas pelo pavimento impermeável com 2% de inclinação para que seja coletada a água de chuva a ser medida em um recipiente graduado. Para a proteção da válvula de escoamento foi colocada uma malha metálica que evita a descida de partículas sólidas, tais como folhas, no recipiente graduado (Figura 34).



**Figura 34: Detalhe da proteção da válvula do espaço 2 que simula uma laje.**  
Fonte: A autora (2011).

- Terceiro espaço.

Composto pelo telhado convencional, foi constituído de uma estrutura de madeira, totalmente embutida no espaço a ela reservado para receber as telhas de barro tipo francesa com 10% de inclinação e com mais 2% da estrutura, ficou com 12% de inclinação, diferente da indicada para este tipo de telha que é 33%. Para simular um telhado tradicional e em uso na cidade de Curitiba, optou-se por telhas usadas oriundas de uma edificação com cerca de 40 anos de idade. Foi utilizado o mesmo recurso do segundo espaço para a proteção da válvula de escoamento (Figura 35).



**Figura 35: Detalhe do espaço 3, telhado convencional .**  
Fonte: A autora (2011).

Com todo o conjunto pronto, foram instalados os registros e os recipientes graduados. A colocação dos registros se deve ao fato de que ao fazer a leitura da água acumulada e esvaziar os recipientes durante uma leitura (em um período de chuva intensa), não se perca uma fração da água ainda a ser medida (Figura 36).



**Figura 36: Detalhe do registro e recipiente graduado.**  
Fonte: A autora (2011).

Depois das etapas vencidas, foram feitos alguns testes de leitura para calibrar todo o sistema. Como ponto de partida, o telhado verde foi inicialmente saturado de água e depois as leituras foram iniciadas.

## CAPÍTULO 5 – COLETA DE DADOS E RESULTADOS

### 5.1. Coleta de dados e resultados do experimento

Para verificar o comportamento do protótipo do telhado verde coletou-se os dados diários do experimento, os dados de precipitação e evapotranspiração das estações meteorológica e agrometeorológica e por fim os dados recolhidos com a aplicação do *software*. As leituras da água escoada no experimento foram feitas às 00 horas UTC (*Universal Time Coordinated*) para melhor confrontar com os dados recolhidos do INMET, ou seja às 21 horas ou às 22 horas no horário de verão.

Ao fim deste processo obteve-se, de forma organizada, planilhas diferenciadas de coleta de dados, tornando-as ferramentas de análise de modo que, por meio de um processamento, seja possível, na próxima etapa, confrontar os resultados. O início da coleta de dados deu-se no dia 26 de novembro de 2011 e terminou no dia 27 de fevereiro de 2012. Para se ter conhecimento sobre as características climáticas do local do experimento segue um relato básico sobre elas.

A partir de dados constantes no Banco de Dados Climáticos do Brasil no período entre 1961 e 1990 processados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa - e pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ - a partir dos dados do INMET, a região de Curitiba apresenta um clima temperado úmido (Cfb) de acordo com a classificação climática de Köppen. Apresenta uma temperatura média de 12,2 °C no mês mais frio, junho, e, durante o verão, a temperatura média igual a 19,9 °C no mês mais quente, o de fevereiro. Temperaturas da ordem de -2 °C são observadas comumente durante os meses inverno e temperaturas de 32 °C são observadas em dias mais quentes durante os meses de verão. A precipitação é bem distribuída totalizando 1407mm anuais tendo como o mês menos chuvoso, o de agosto, com 74mm e o mais chuvoso, janeiro, com 165mm. A evapotranspiração real totaliza 769mm anuais ocorrendo em dezembro o máximo de 93mm e o mínimo de 33mm em junho. Cabe aqui notar que, em mês algum, ocorre um balanço hídrico desfavorável, ou seja, não ocorre um mês com déficit hídrico.

Ao término da montagem do experimento e antes de iniciar as medições, o substrato foi encharcado com a finalidade de obter um dado inicial para a simulação eletrônica e como houve precipitação, aguardou-se três dias para iniciar as medições dando tempo de escoar o excesso de água (Tabela 3).

Com o objetivo de confrontar com os dados obtidos na laje impermeável do experimento foi inserida uma coluna com os dados obtidos pelo INMET que constam também na Tabela 7.

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

**Tabela 3: Coleta de dados do experimento – novembro 2011.**  
Fonte: A autora (2011).

Seguem as tabelas dos meses posteriores: dezembro de 2011, janeiro e fevereiro de 2012 (Tabela 4, Tabela 5 e Tabela 6).



DEZEMBRO 2011		COLETA DE DADOS DO EXPERIMENTO		
Data	Dados de precipitação	Água escoada mm/dia	Água escoada mm/dia	Água escoada mm/dia
	INMET	LAJE IMPERMEÁVEL	TELHA DE BARRO	TELHADO VERDE
1/12/2011	10,6	0,00	0,00	0,00
2/12/2011	0,0	0,00	0,00	0,00
3/12/2011	1,0	2,78	0,00	0,00
4/12/2011	0,0	0,00	0,00	0,00
5/12/2011	1,0	0,88	0,00	0,00
6/12/2011	0,0	0,00	0,00	0,00
7/12/2011	1,2	1,55	0,00	0,00
8/12/2011	7,4	10,50	6,50	0,00
9/12/2011	32,0	38,75	37,40	21,85
10/12/2011	2,0	0,68	0,53	0,25
11/12/2011	0,0	0,00	0,00	0,00
12/12/2011	2,0	0,33	0,00	0,00
13/12/2011	1,2	3,75	1,35	0,00
14/12/2011	2,8	8,30	5,53	0,05
15/12/2011	6,6	0,00	0,00	0,00
16/12/2011	0,0	0,00	0,00	0,00
17/12/2011	0,0	0,00	0,00	0,00
18/12/2011	0,0	0,00	0,00	0,00
19/12/2011	0,0	0,00	0,00	0,00
20/12/2011	0,0	0,00	0,00	0,00
21/12/2011	0,0	0,00	0,00	0,00
22/12/2011	0,2	1,32	0,10	0,00
23/12/2011	0,0	3,67	1,37	0,00
24/12/2011	17,2	10,45	7,30	0,00
25/12/2011	6,8	0,10	0,00	0,00
26/12/2011	2,0	1,95	1,61	0,67
27/12/2011	1,0	0,00	0,00	0,00
28/12/2011	1,0	7,87	7,50	2,65
29/12/2011	1,0	1,90	1,80	0,40
30/12/2011	0,6	1,20	1,10	0,20
31/12/2011	7,2	13,80	13,00	3,00

**Tabela 4: Coleta de dados do experimento – dezembro 2011.**

Fonte: A autora (2011).

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

**Tabela 5: Coleta de dados do experimento – janeiro 2012.**  
 Fonte: A autora (2012).

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

**Tabela 6: Coleta de dados do experimento – fevereiro 2012.**  
 Fonte: A autora (2012).

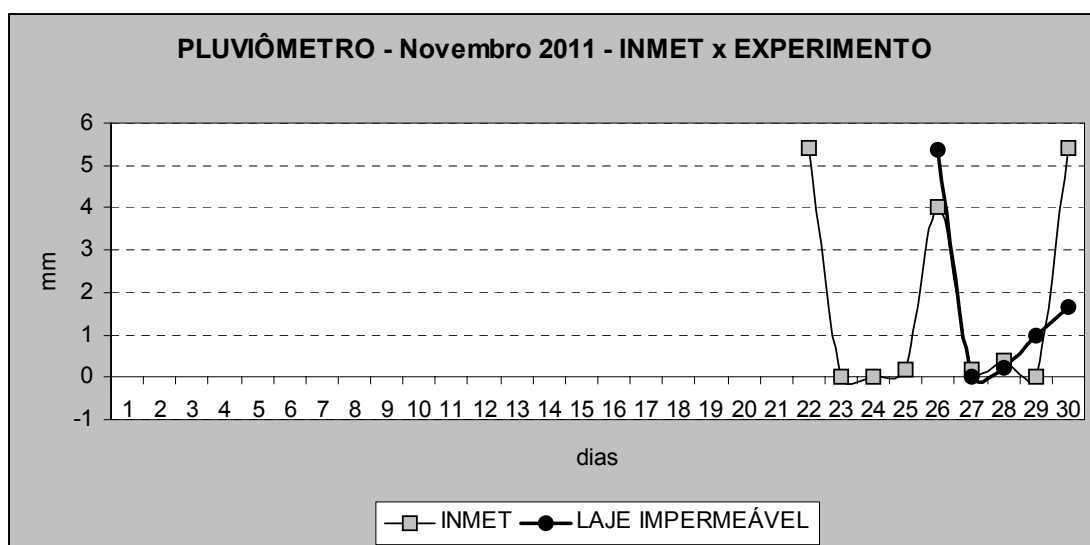
## 5.2. Coleta de dados da estação meteorológica - INMET

Os dados de precipitação foram obtidos das planilhas fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), dados recolhidos da Estação Automática Meteorológica de Observação de Superfície de Curitiba (Tabela 7).

COLETA DE DADOS - INMET				
Dia	Precipitação mm/dia			
	NOVEMBRO 2011	DEZEMBRO 2011	JANEIRO 2012	FEVEREIRO 2012
1		10,6	1,6	0,0
2		0,0	0,8	0,0
3		1,0	0,6	0,0
4		0,0	0,4	0,0
5		1,0	0,4	0,0
6		0,0	1,0	0,0
7		1,2	6,6	0,2
8		7,4	0,0	20,4
9		32,0	7,4	2,4
10		2,0	4,8	51,2
11		0,0	1,4	1,0
12		2,0	0,0	0,0
13		1,2	3,0	2,0
14		2,8	4,4	10,0
15		6,6	4,2	7,8
16		0,0	4,4	0,0
17		0,0	2,6	0,0
18		0,0	2,2	0,0
19		0,0	1,4	9,8
20		0,0	1,2	22,2
21		0,0	1,4	2,4
22	5,4	0,2	0,8	2,4
23	0,0	0,0	13,2	2,0
24	0,0	17,2	0,0	19,2
25	0,2	6,8	0,0	0,2
26	4,0	2,0	13,2	3,4
27	0,2	1,0	0,0	22,8
28	0,4	1,0	0,0	
29	0,0	1,0	0,0	
30	5,4	0,6	0,0	
31		7,2	0,0	

**Tabela 7: Dados de precipitação diária retirados do INMET.**  
Fonte: A autora (2012).

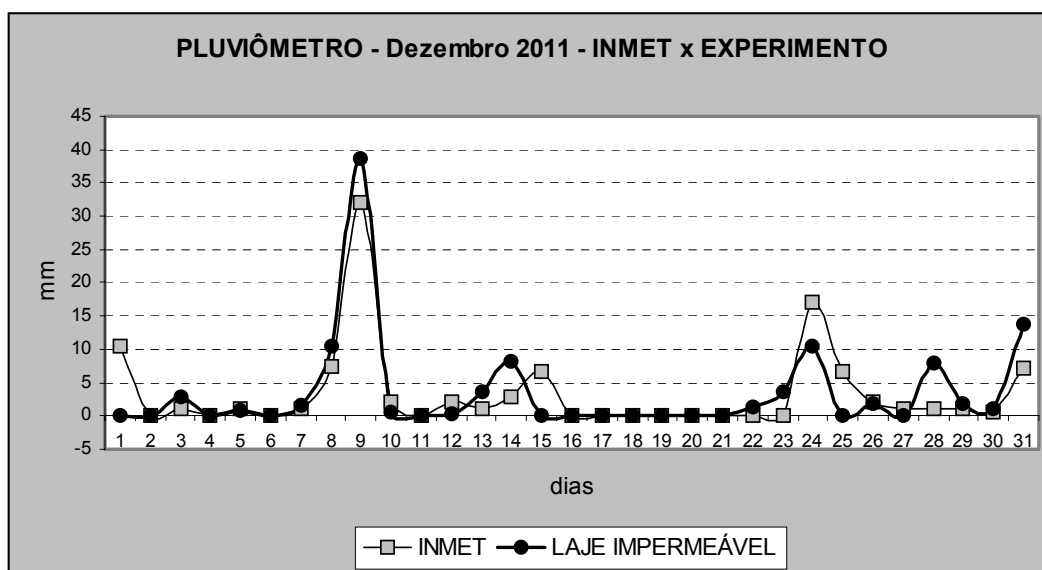
Estes dados recolhidos foram utilizados somente para a simulação feita com o *software* no telhado verde existente no bairro de Vila Isabel, pois, diferentemente do experimento não se coletou os dados de precipitação no local. Porém, para utilizar o *software* no experimento os dados de precipitação foram utilizados da leitura da laje impermeável que funcionou como um pluviômetro. Para apresentar a confrontação dos valores obtidos entre os recolhidos pelo experimento e os adquiridos pelo INMET, optou-se por apresentá-los na forma de gráficos de cada mês do período trabalhado.



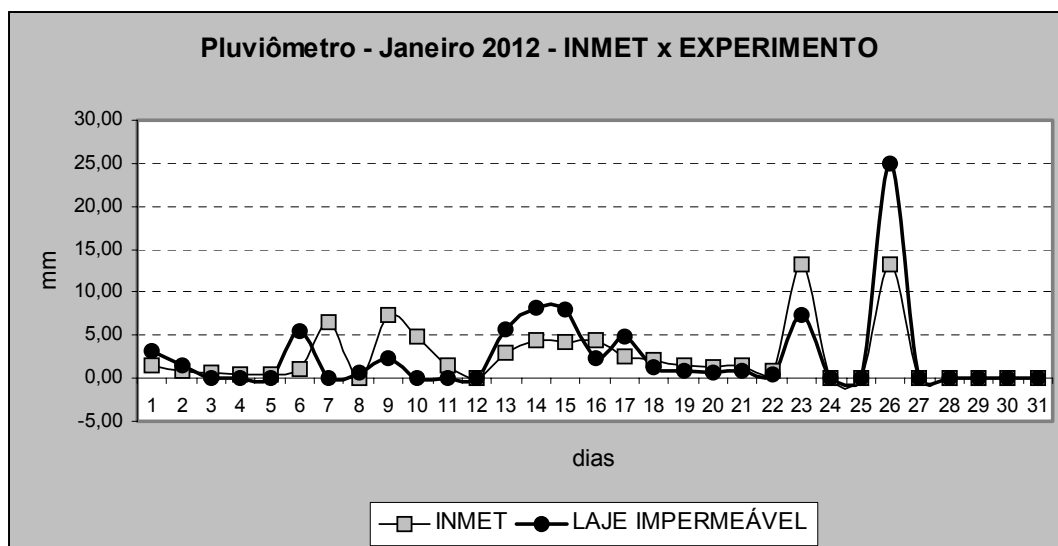
**Figura 37:** Gráfico da comparação das medições de precipitação – novembro de 2011.  
Fonte: A autora (2012).

A Figura 37 apresenta o gráfico do mês de novembro de 2011 e conforme já exposto anteriormente, sobre o início da coleta, os dados do experimento foram anotados a partir do dia 26, porém os dados coletados do INMET são anteriores, dia 22. Como mostrado na montagem do experimento (Figura 32) o substrato recebeu água até a sua saturação para definir o parâmetro inicial (substrato encharcado) para a utilização do *software*. Porém já na mesma semana, em decorrência de uma chuva intensa, esperou-se três dias para iniciar as anotações de modo que o substrato escoasse o excesso de água. Na Tabela 3 estas informações foram devidamente anotadas.

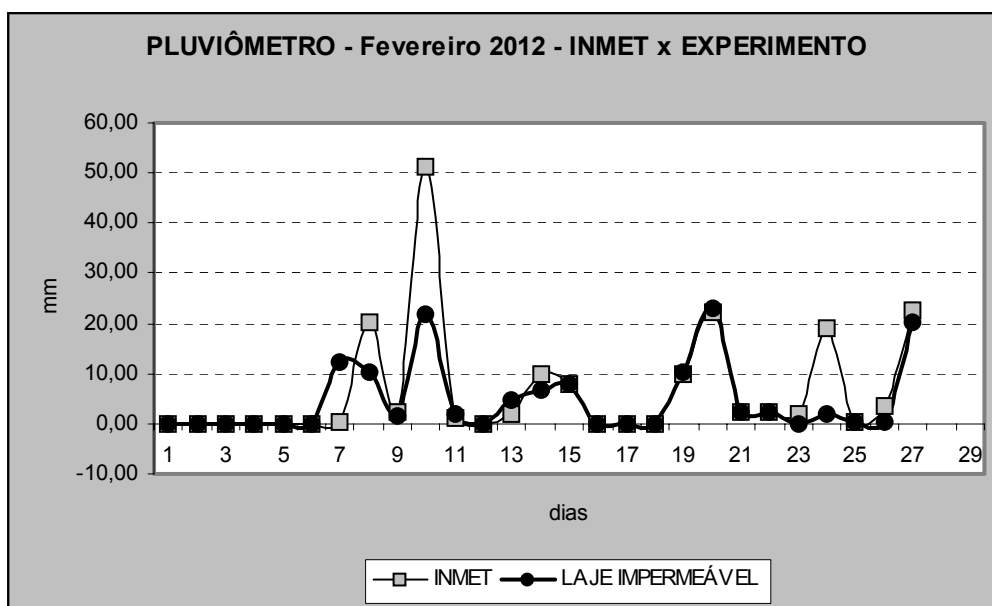
A seguir os gráficos comparativos referentes aos outros três meses (Figura 38, Figura 39 e Figura 40).



**Figura 38:** Gráfico da comparação das medições de precipitação – dezembro de 2011.  
Fonte: A autora (2012).



**Figura 39:** Gráfico da comparação das medições de precipitação – janeiro de 2012.  
Fonte: A autora (2012).



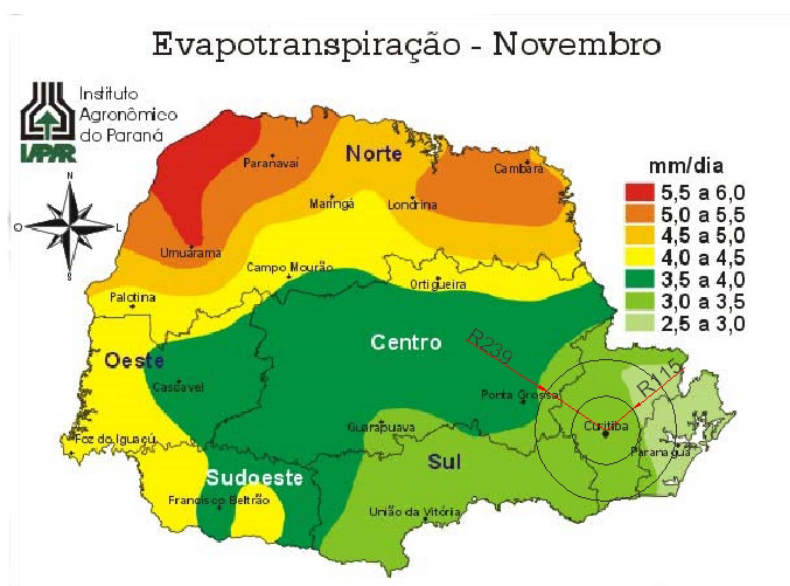
**Figura 40: Gráfico da comparação das medições de precipitação – fevereiro de 2012.**  
Fonte: A autora (2012).

Notou-se que existem algumas diferenças entre as chuvas computadas e isto se deve ao fato de que a localização geográfica das duas fontes é diferente. Quando ocorrem as chuvas de origem convectiva (chuvas-de-verão) a quantidade de precipitação pode ser elevada porém as nuvens que as produzem, têm uma abrangência limitada devido ao seu tamanho e disto origina o fato de que as medidas de precipitação num local e em outro, mesmo que separadas por cerca de uma dezena de quilômetros, ficam razoavelmente diferentes. A estação está localizada no leste da cidade de Curitiba, enquanto que o experimento se encontra no norte da mesma.

### 5.3. Coleta de dados da estação agrometeorológica - IAPAR

Os dados mensais das normais de evapotranspiração do estado do Paraná foram obtidos no Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR). Estes são apresentados como mapas de evapotranspiração com os valores médios para cada mês do ano. Porém, estes mapas abrangem todo o Paraná e possuem isolinhas com

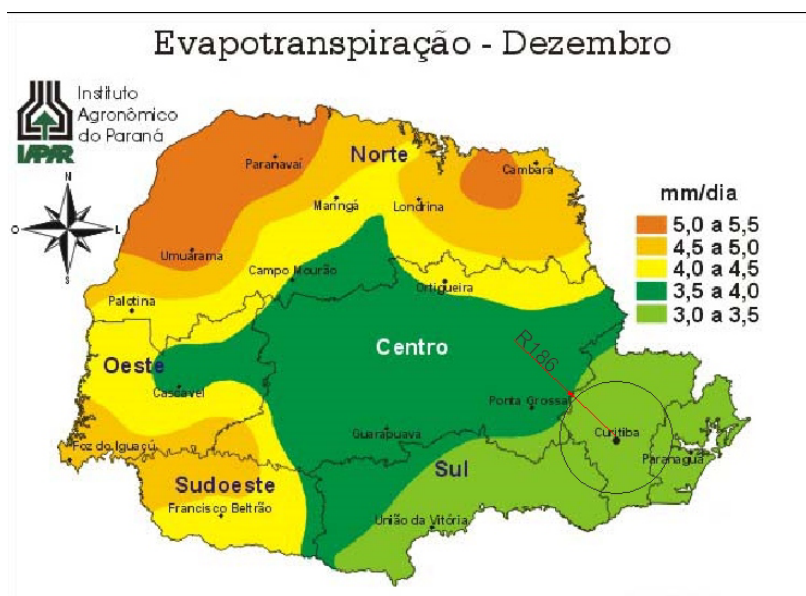
intervalos de 0,5mm/dia, como já exposto na revisão bibliográfica. Assim, para estabelecer o valor mais próximo para a região de Curitiba, onde se localiza o protótipo da pesquisa, foi necessário fazer a interpolação linear dos dados do mapa para a região em questão. A seguir a apresentação dos mapas modificados para a obtenção destas interpolações (Figura 41, Figura 42, Figura 43 e Figura 44).



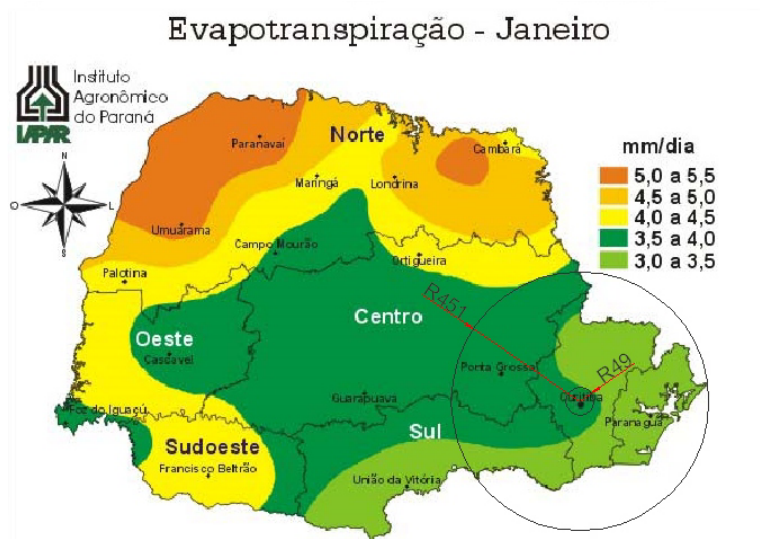
**Figura 41: Mapa do IAPAR modificado – Evapotranspiração - Novembro.**  
Fonte: IAPAR (2011).

Em cada mês a interpolação linear foi feita através da distância, no mapa, entre o local de pesquisa e as isolinhas mais próximas. Por meio de proporção de segmentos e intervalo de isolinhas extraiu-se o valor interpolado.

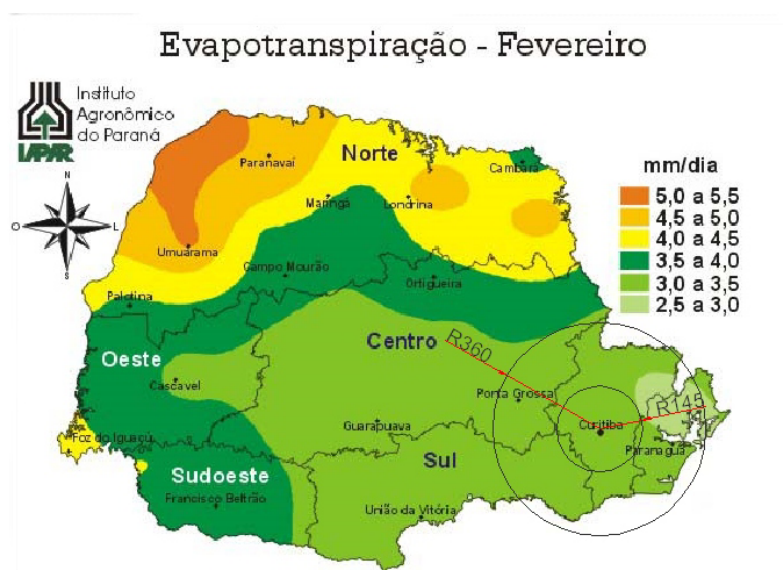




**Figura 42: Mapa do IAPAR modificado – Evapotranspiração - Dezembro.**  
Fonte: IAPAR (2011).



**Figura 43: Mapa do IAPAR modificado – Evapotranspiração - Janeiro.**  
Fonte: IAPAR (2011).



**Figura 44: Mapa do IAPAR modificado – Evapotranspiração - Fevereiro.**  
Fonte: IAPAR (2011).

Os valores obtidos da evapotranspiração, referentes aos mesmos meses trabalhados com o experimento, foram transpostos para a tabela de evapotranspiração (Tabela 8). Estes dados foram coletados pela necessidade de utilizá-los na simulação do *software*. Neste caso os dados foram igualmente usados na simulação do experimento bem como no telhado verde existente.

<b>COLETA DE DADOS - IAPAR</b>			
<b>Normais de Evapotranspiração mm/dia</b>			
NOVEMBRO	DEZEMBRO	JANEIRO	FEVEREIRO
2011	2011	2012	2012
3,16	3,00	3,55	3,14

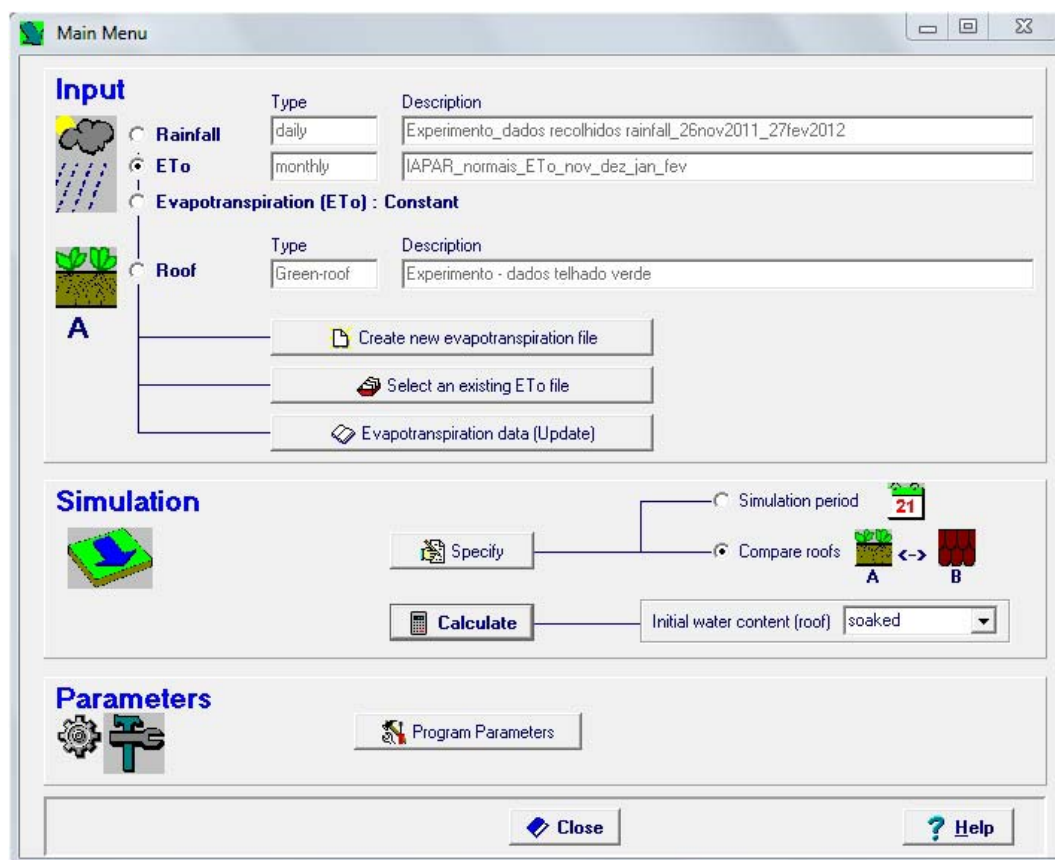
**Tabela 8: Dados interpolados das normais de evapotranspiração – IAPAR.**  
Fonte: A autora (2012).

## 5.4. Simulação do software *GreenRoof*

### 5.4.1. Simulação para o experimento

Como já apresentado, anteriormente na revisão bibliográfica, os procedimentos para a utilização do *software* não serão tratados neste tópico. A intenção aqui foi utilizar os dados levantados para a calibragem dos dois sistemas.

Já com a entrada dos dados pré-gravados no programa (Figura 45), *rainfall daily* (precipitação diária) e descritas como: “Experimento\_dados recolhidos rainfall\_26nov2011\_27fev2012” e ETo (evapotranspiração média diária para cada mês), descritas como “IAPAR\_normais\_ETo\_nov\_dez\_jan\_fev” e com os dados, também já pré-gravados, das descrições dos dois telhados: verde e de barro, construídos para o experimento. Anotou-se também o estado inicial do substrato do telhado verde como sendo *soaked* (encharcado) e gerou-se a simulação entre os dois telhados.



**Figura 45: Interface dos dados do experimento.**  
Fonte: *Software GreenRoof* (2012).

O programa ainda permite o acesso aos parâmetros por ele utilizados, permitindo até a alteração de dados para obter resultados mais próximos da realidade. Porém, os valores ali incluídos (valores *default*) só devem ser alterados se o usuário conhecer parâmetros mais próximos dos efeitos do telhado a ser analisado.

A partir de então pode-se observar a computação dos balanços hídricos entre os dois telhados do experimento no período de 94 dias a contar deste 26 de novembro de 2011 até 27 de fevereiro de 2012. O telhado verde mostrou-se vantajoso quanto ao seu uso relativamente ao escoamento de águas pluviais. Dos 325 litros de precipitação computada no período, 32% foram escoadas pelo telhado verde e 96% pelo telhado convencional (Figura 46).

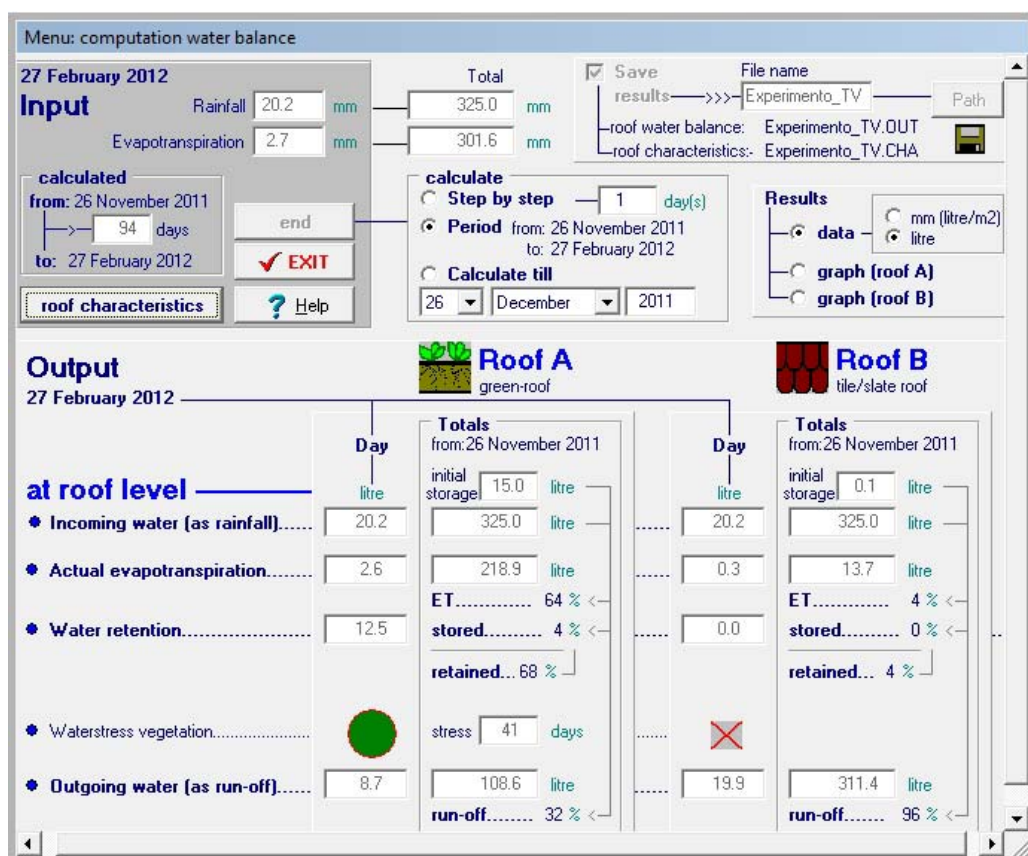


Figura 46: Interface de resultados do *software* aplicado no experimento.  
Fonte: *Software GreenRoof* (2012).

As características dos telhados que estão sendo comparados podem ser facilmente resgatados em *roof characteristics* obtendo os dados demonstrados na Figura 47. Pode-se observar que a área do telhado (*roof surface*) está definida em 1 m<sup>2</sup>, área de montagem de cada telhado do experimento.

	Roof A	Roof B	Unit
Roof type	green-roof	tile/slate roof	
Vegetation	mosses-succulents	absent	
Degree of vegetation cover	75	0	perce
Roof surface	1	1	m2
Depth of substrate layer	6	0	cm
Water retention on surface	0.10	0.15	litre
Water retention substrate layer	15.00	0.10	litre
Water retention drainage layer	0.00	0.00	litre
Water stored in storage layer	0.00	0.00	litre
Total water retention	15.10	0.25	litre
Slope	0	0	degre
Orientation	not specific	not specific	
Position	fully exposed	fully exposed	

**Figura 47: Interface de características dos telhados do experimento.**  
 Fonte: *Software GreenRoof* (2012).

Com a geração do gráfico (Figura 48) fica muito evidente a água escoada (*run off*) correspondente ao telhado A, ou seja o telhado verde e o telhado B, telhado convencional em relação a água de precipitação computada no período.

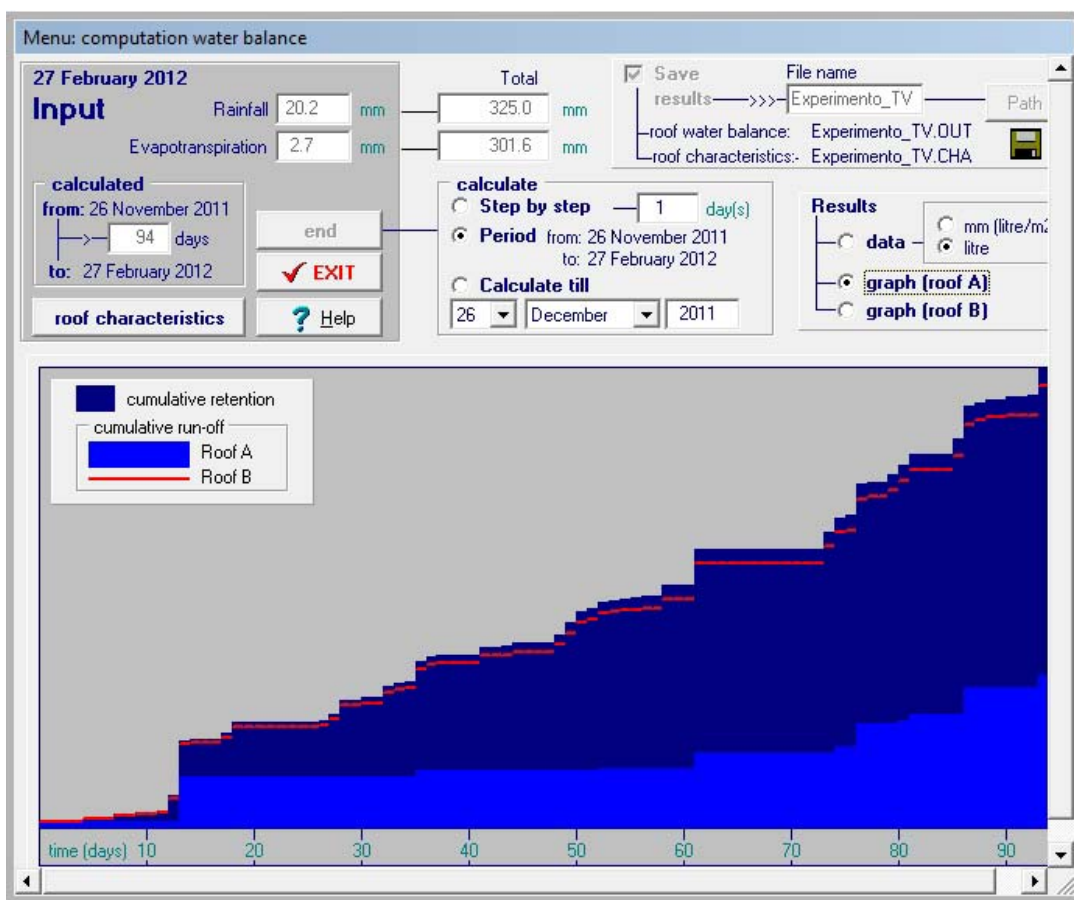
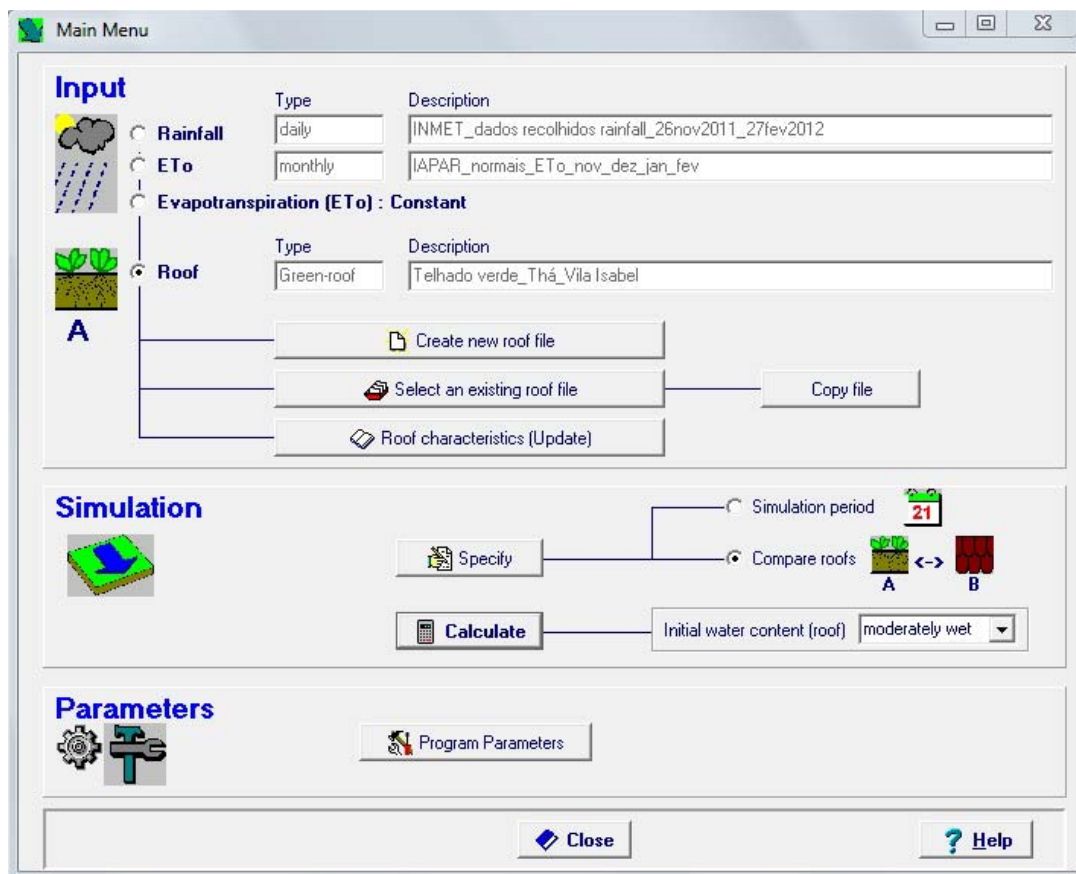


Figura 48: Interface do gráfico do experimento produzido pelo *software*.  
Fonte: *Software GreenRoof* (2012).

#### 5.4.2. Simulação para o telhado verde existente

Como já descrito anteriormente, os dados obtidos para esta outra simulação já foram devidamente inseridos no programa, com a diferença de que neste segundo caso de simulação os valores utilizados de precipitação (*rainfall*) foram os divulgados pelo INMET. Já os dados referentes a evapotranspiração são os mesmos obtidos no IAPAR e utilizado igualmente nas simulações, a do experimento e a deste telhado verde. Salienta-se que os dados do telhado verde inseridos foram os coletados do existente, construído por Thá, no bairro de Vila Isabel em Curitiba.

Para dar início a simulação foi admitido para este telhado verde a situação de moderadamente molhado (*moderately wet*), isto porque, diferentemente do primeiro caso, não se sabia em que condições estava o substrato (Figura 49).



**Figura 49: Interface dos dados do telhado verde existente.**  
 Fonte: Software GreenRoof (2012).

Imaginando o mesmo local sendo coberto com um telhado convencional, inseriu-se os dados deste possível telhado no programa. O balanço hídrico computado para o telhado da Vila Isabel nos mesmos 94 dias da primeira simulação mostrou-se, também, favorável ao telhado verde quanto ao escoamento de água (Figura 50).

Dos 92.800 litros de precipitação computada no período, 21% foram escoadas pelo telhado verde e 96% pelo imaginário telhado convencional. O programa não aceitou a espessura real de 30 cm para a simulação, assim optou-se pela maior espessura proposta, no caso 15 cm. A retenção de água foi grande, pois escoou 21% de todo o volume precipitado.

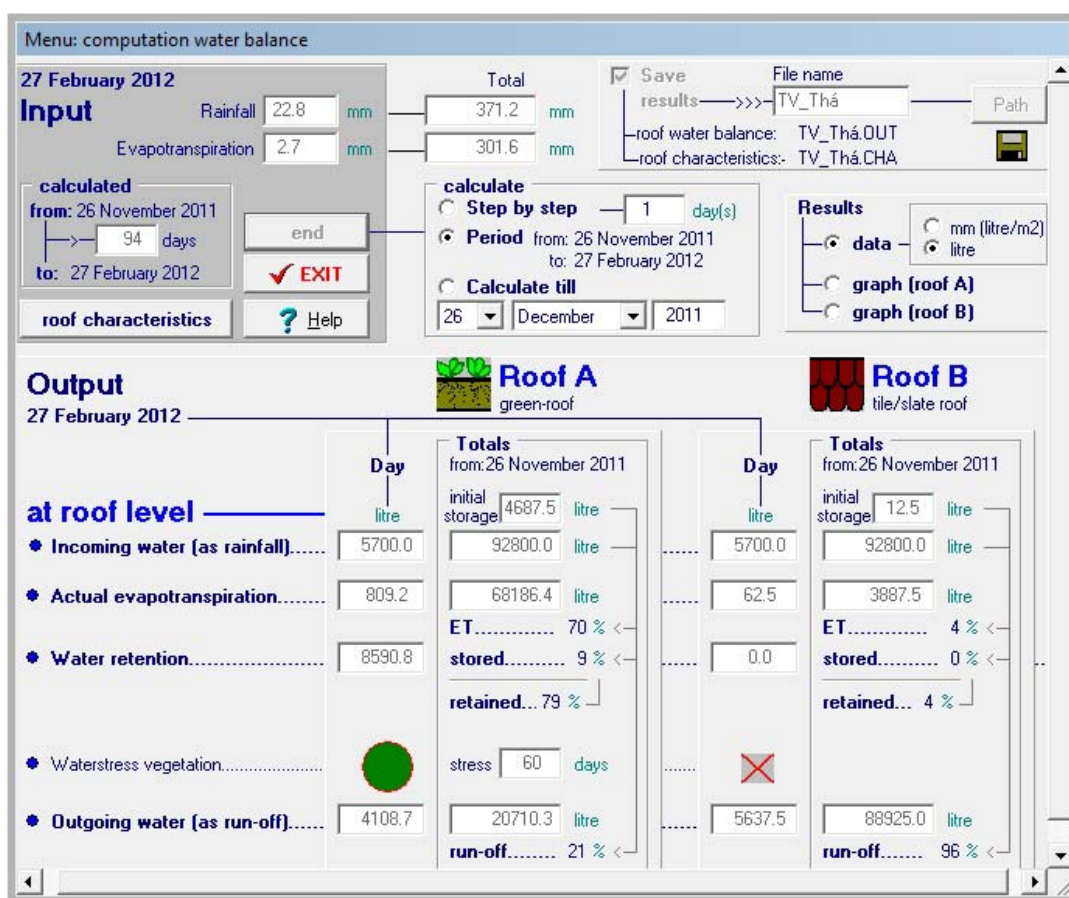


Figura 50: Interface de resultados do *software* aplicado no telhado verde existente.  
Fonte: *Software GreenRoof* (2012).



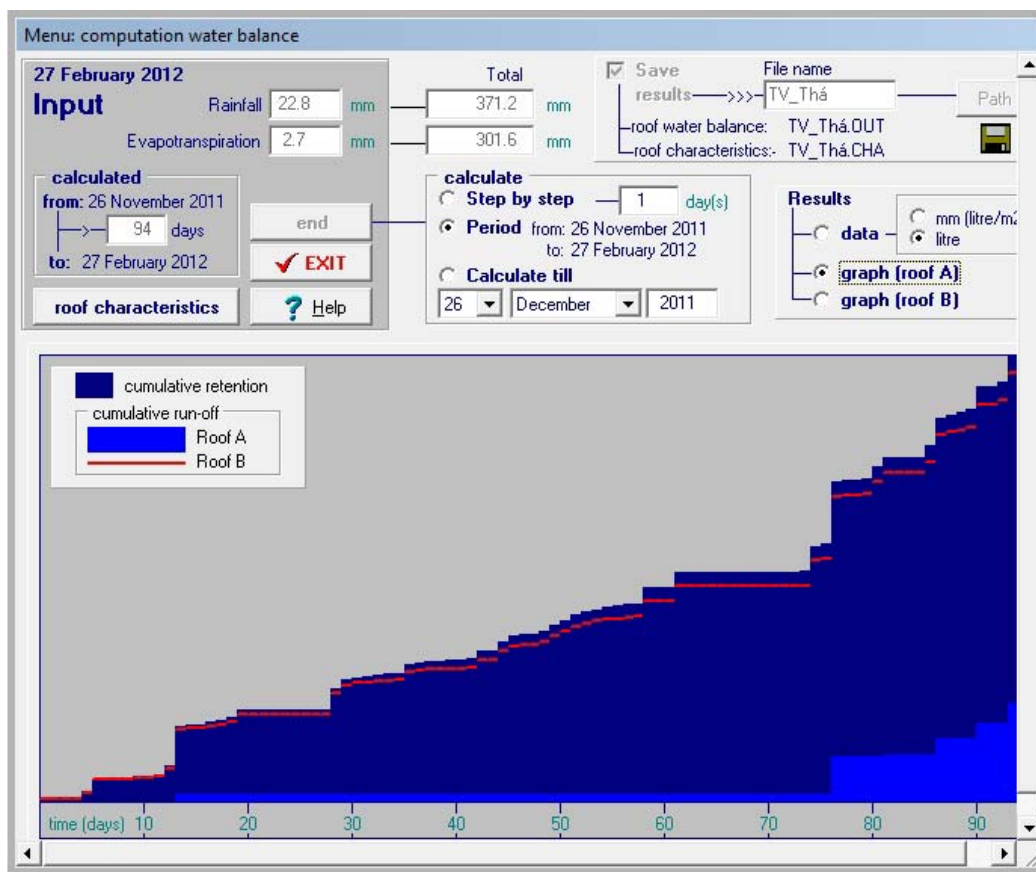
Na Figura 51, pode-se verificar as características dos dois telhados. O telhado A é o telhado verde existente e o telhado B é um telhado convencional fictício implantado no mesmo local para que sejam confrontados. A cobertura vegetal existente no telhado verde é formada por gramíneas com uma abrangência igual a 100%.

	Roof A	Roof B	Unit
Roof type	green-roof	tile/slate roof	
Vegetation	grasses-herbs	absent	
Degree of vegetation cover	100	0	perce
Roof surface	250	250	m2
Depth of substrate layer	15	0	cm
Water retention on surface	25.00	37.50	litre
Water retention substrate layer	9375.00	25.00	litre
Water retention drainage layer	0.00	0.00	litre
Water stored in storage layer	0.00	0.00	litre
Total water retention	9400.00	62.50	litre
Slope	0	0	degree
Orientation	not specific	not specific	
Position	fully exposed	fully exposed	

OK

**Figura 51:** Interface de características do telhado verde existente.  
 Fonte: *Software GreenRoof* (2012).

Na visualização do gráfico gerado é notório que, em praticamente 3 meses, um único telhado verde da região (telhado A) pôde reter 79% da água precipitada onde aproximadamente 70% será evapotranspirada posteriormente (Figura 52).

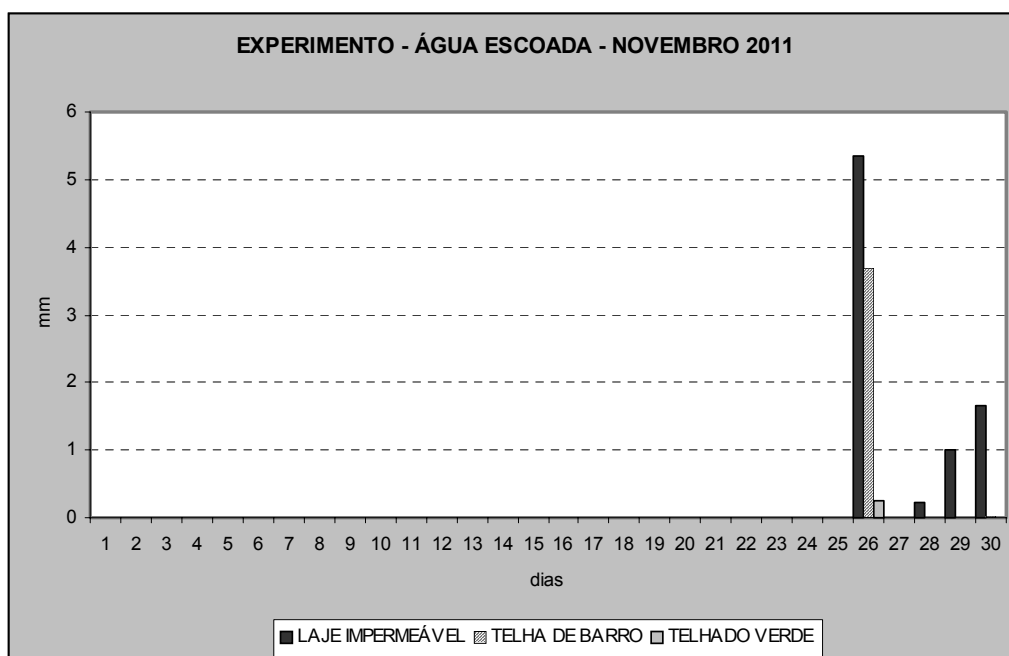


**Figura 52: Interface do gráfico do telhado verde existente produzido pelo software.**  
 Fonte: *Software GreenRoof* (2012).

## CAPÍTULO 6 – ANÁLISE

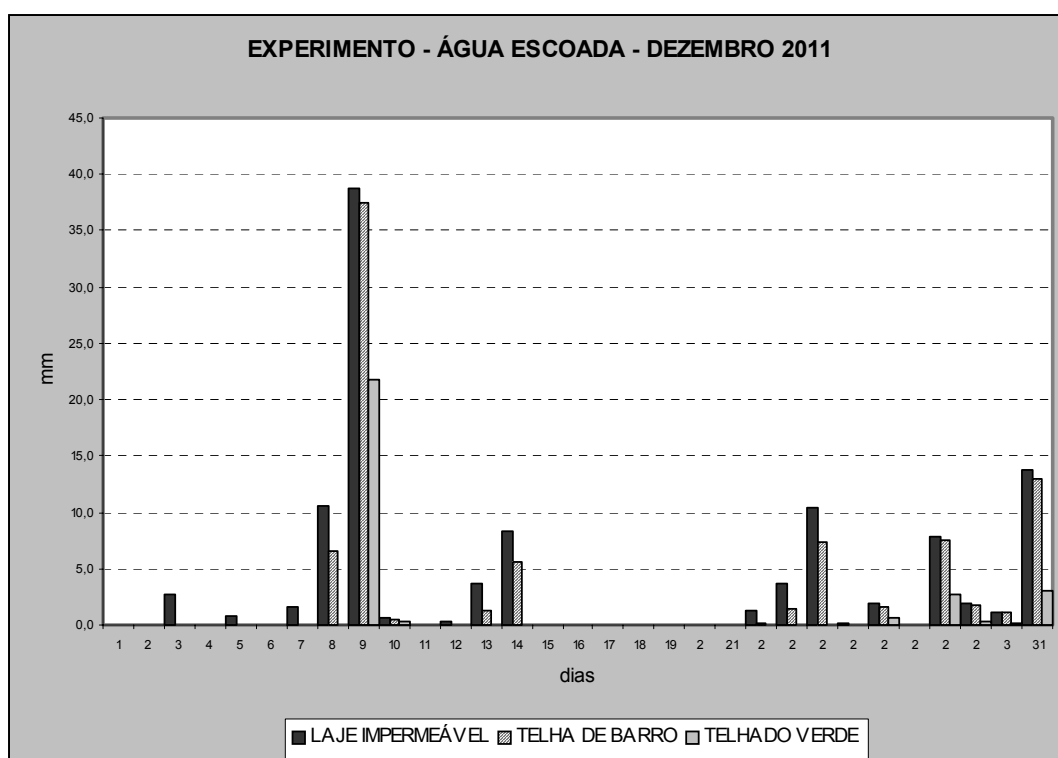
Os resultados foram obtidos por comparação entre os valores medidos para a água escoada entre as três superfícies distintas: a laje impermeável, a cobertura com telha de barro e o telhado verde. A utilização do *software GreenRoof* para esta situação serviu para aplicá-lo no experimento, obtendo valores de escoamento e compará-los com os obtidos nas leituras do protótipo de telhado verde. Constatando a calibragem dos dois sistemas pode-se usar o software, oportunamente, em projetos de telhados verdes com a vegetação nativa do sul do Brasil, em benefício de uma ferramenta de gestão para o controle do escoamento de águas pluviais em regiões urbanas.

Os gráficos seguintes mostram os resultados diários da água escoada nas três superfícies estudadas. A água escoada na laje impermeável é praticamente a água da chuva que precipitou, funcionando como pluviômetro. A leitura do equipamento iniciou-se em 26 de novembro de 2011, por esta razão o gráfico apresenta somente os dados do final do mês (Figura 53).



**Figura 53: Gráfico da água escoada – novembro 2011.**  
Fonte: A autora (2012).

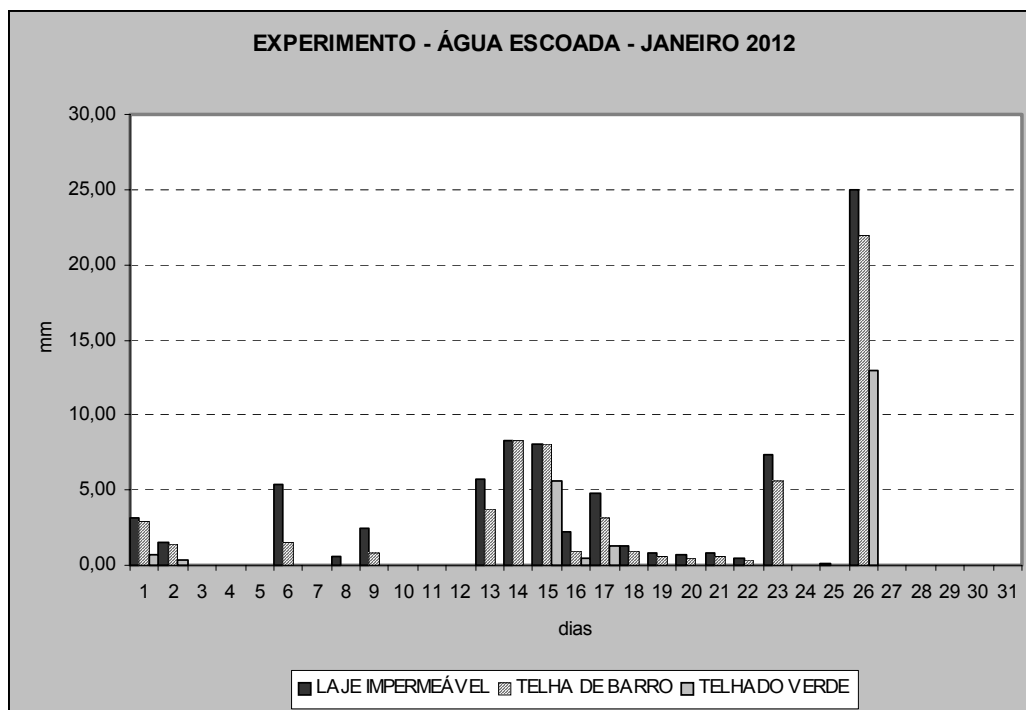
No gráfico correspondente ao mês de dezembro de 2011 (Figura 54), pode-se observar melhor o comportamento de todo o experimento. Nota-se que o telhado verde começa a escoar a água depois de alguns dias de precipitação, ou seja, somente na saturação do substrato. Entre o dia 15 e o dia 21 percebeu-se um período de estiagem, causando nas plantas um estresse hídrico. A opção, nesta ocasião, foi regar o telhado verde com apenas 5 litros de água, correspondente a 5 mm de precipitação. Notou-se neste período que as temperaturas máximas diárias variaram desde 25°C até 32°C, com poucas nuvens e umidade baixa (INMET).



**Figura 54: Gráfico da água escoada – dezembro 2011.**  
Fonte: A autora (2012).

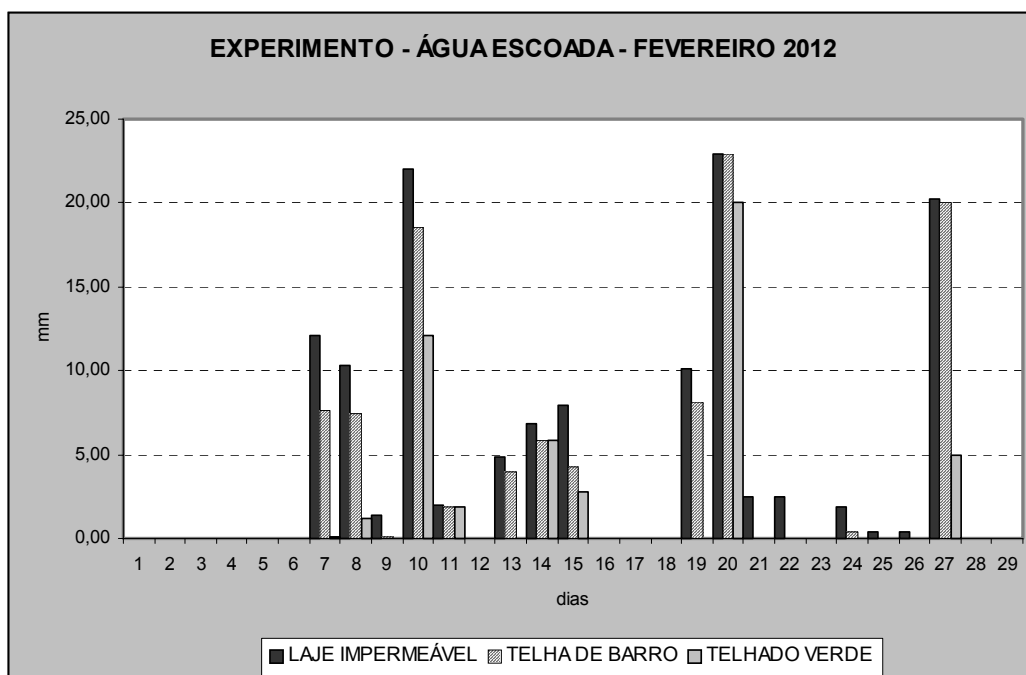
No gráfico correspondente ao mês de janeiro de 2012 (Figura 55), tem-se uma boa leitura também. Na primeira quinzena, o telhado verde praticamente absorveu toda a água e após três dias de chuvas do fim da quinzena é que o telhado verde escoou. Salienta-se, ainda, que o telhado de barro escoou em quase todos os dias de chuva. Já na segunda quinzena, depois de vários dias seguidos de chuva, o telhado verde veio a escoar aproximadamente 13 litros, em 25 litros de pluviosidade, uma quantia considerável em relação ao seu desempenho, porém diminuta em

relação ao telhado de barro que escoou em todos os dias de chuva anteriores e no dia em questão escoou 22 litros. Observa-se também, a partir do dia 27 até o fim do mês um período de estiagem que se estenderá para o mês seguinte, como se pode observar no próximo gráfico.



**Figura 55: Gráfico da água escoada – janeiro 2012.**  
Fonte: A autora (2012).

No gráfico correspondente ao mês de fevereiro de 2012 (Figura 56), e conforme dito anteriormente, a estiagem estendeu-se até o dia 6 e, a contar com o início da mesma no mês anterior, foram 11 dias sem chuva. Nos seis primeiros dias de fevereiro as temperaturas máximas diárias foram altas, variando desde 29°C até 33°C, com poucas nuvens e umidade baixa (INMET). No dia 5, as plantas apresentaram estresse hídrico e novamente foi regado o telhado verde com 5 litros de água, correspondente a 5 mm de precipitação. A partir do dia 7, as chuvas foram mais intensas e frequentes, fazendo com que neste mês de fevereiro o telhado verde escoasse o maior volume de água de todo o período do experimento.



**Figura 56: Gráfico da água escoada – fevereiro 2012.**  
 Fonte: A autora (2012).

A Tabela 9 expõe as totalizações mensais e o total correspondente ao período de observação. Apresenta também o desempenho do mesmo telhado verde obtido por simulação eletrônica. Analisando os valores obtidos, observa-se que a redução acentuada da água escoada pelo telhado verde é considerável, tem-se 30,7% da água de chuva precipitada no período de 26 de novembro de 2011 até 27 de fevereiro de 2012. Em contrapartida tem-se 77,3% no telhado de barro. Em relação a simulação feita, pode-se perceber a acurácia do *software GreenRoof* em relação a leitura do equipamento, pois acusou para o período em questão, da água precipitada, 33,4%, um valor muito próximo ao medido no experimento.

TOTALIZAÇÃO DE ÁGUA ESCOADA - EXPERIMENTO					
	Água escoada mm	Água escoada mm	Água escoada mm	Água escoada mm	
período	laje impermeável medido	telhado de barro medido	telhado verde medido	telhado verde simulação software	TOTAIS
nov 2011	8,2	3,7	0,3	5,2	total mensal (em mm)
dez 2011	109,8	85,1	29,1	36,2	total mensal (em mm)
jan 2012	78,7	61,2	21,3	12,1	total mensal (em mm)
fev 2012	128,3	101,2	49,0	55,0	total mensal (em mm)
	<b>325,0</b>	<b>251,2</b>	<b>99,6</b>	<b>108,5</b>	<b>total geral (em mm)</b>
	<b>100,0</b>	<b>77,3</b>	<b>30,7</b>	<b>33,4</b>	<b>total geral (em %)</b>

**Tabela 9: Totalização da água escoada medida no experimento.**  
 Fonte: A autora (2012).

Este fato comprova a propriedade dos telhados verdes: a redução acentuada da água de escoamento durante os períodos de chuva demonstrando que o problema de redução da permeabilidade do solo em regiões urbanas pode ser atenuado pelo uso do telhado verde. Os resultados apresentados foram obtidos por um telhado verde de pouco peso (95kgf/m<sup>2</sup>) como descrito no Capítulo 4 na montagem do experimento.

O resultado da aplicação do *software* ao telhado verde do experimento mostrou que a simulação retornou valores compatíveis com os medidos levando a crer que os resultados obtidos pela simulação aplicada no telhado verde existente são verdadeiras e transcrevem realmente o comportamento do telhado verde na região de Curitiba. Verifica-se novamente uma redução acentuada no volume de água escoada, 20.710 litros do telhado verde contra 88.925 litros do telhado convencional para um total de precipitação igual a 92.800 litros (Tabela 10).

<b>SIMULAÇÃO SOFTWARE GREENROOF</b>				
<b>TOTALIZAÇÃO DE ÁGUA ESCOADA - TELHADO VERDE EXISTENTE</b>				
	<b>Água escoada litros</b>	<b>Água escoada litros</b>	<b>Água escoada litros</b>	
<b>período</b>	<b>precipitação</b>	<b>telhado verde</b>	<b>telhado convencional</b>	<b>TOTAIS</b>
nov 2011	2500	0	2275	total mensal (em litros)
dez 2011	26200	1969	24963	total mensal (em litros)
jan 2012	19250	0	17875	total mensal (em litros)
fev 2012	44850	18742	43813	total mensal (em litros)
	<b>92800</b>	<b>20710</b>	<b>88925</b>	<b>TOTAL GERAL (em litros)</b>
	<b>100,0</b>	<b>22,3</b>	<b>95,8</b>	<b>TOTAL GERAL (em %)</b>

**Tabela 10: Totalização da água escoada do telhado verde existente.**  
 Fonte: A autora (2012).

De acordo com o Decreto n°.212/2007 da Cidade de Curitiba, a taxa de ocupação para algumas Zonas Residenciais (ZRs) vale 50% da área do terreno e a taxa de permeabilidade do solo, 25%. Mantendo os 25% da parte de permeabilidade do lote e se a parte edificada de 50% de ocupação contiver um telhado verde tem-se o equivalente a uma área permeável que chega a 75%, ou seja, maior permeabilidade, menor a quantidade de água escoada para a rede de águas pluviais da cidade.



## CONCLUSÕES

Já na introdução desta pesquisa, salienta-se o fato de que ela vem contribuir para o conhecimento e o incentivo do uso de telhados verdes em grandes centros urbanos. Assim, de acordo com o problema de pesquisa levantado sobre as inundações geradas pela falta de permeabilidade no solo urbano e as consequências que trazem aos seus moradores e ao meio ambiente, procurou-se avaliar de maneira experimental o comportamento de um telhado verde extensivo com vegetação nativa e a sua real contribuição para minimizar os efeitos negativos das inundações.

Tendo a hipótese como verdadeira, a pesquisa então partiu para a verificação dela e concentrou-se em montar um protótipo de telhado verde no qual pôde-se avaliar, de maneira concreta e sistemática, a sua real contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada. As leituras feitas diariamente exigiram disciplina. Para diminuir os transtornos causados em relação as coletas de água para as medições, concluiu-se que, se fossem usados recipientes de 50 litros (equivalentes a 50mm/dia de precipitação), ter-se-ia maior tranquilidade quanto às leituras durante os grandes temporais. Deste modo diminuiu-se a preocupação com o extravasamento dos recipientes de 22 litros que foram utilizados, o que ocasionou, por vezes, duas leituras no mesmo dia. A possibilidade de se possuir no experimento aparelhos de coleta dotado de um mecanismo do tipo “balancim” associado a um contador com *data logger* facilitarim as medições. Aconselha-se, para um experimento semelhante, investir neste tipo de equipamento.

A laje impermeável citada ao longo de toda esta dissertação é formada por uma caixa de alumínio. Por esta razão ela comportou-se como um verdadeiro pluviômetro e a medida da chuva caída nesta caixa pôde ser usada como a que seria registrada por um pluviômetro colocado ao lado do protótipo dos telhados do experimento.

O período de recolhimento dos dados do experimento (26 de novembro de 2011 a 27 de fevereiro de 2012) ocorreu quase que totalmente em

uma mesma estação do ano, o verão, que, de acordo com as médias meteorológicas foi constatado atípico para esta época do ano em Curitiba, quebrando recordes de temperaturas altas dos últimos seis anos, segundo Simepar (Sistema Meteorológico do Paraná). Por causa disto as plantas, apesar de terem sido escolhidas também por sua característica de resistência ao calor, apresentaram em algumas ocasiões estresse hídrico. A conclusão que se tem é de que isto poderia ter ocorrido por dois motivos: o primeiro seria em decorrência de que as plantas estavam espaçadas, ou seja, distantes umas das outras e isto deixou o substrato muito exposto à incidência dos raios solares fazendo com que não se conserve a umidade. Calcula-se que se forem plantadas mais mudas, bem próximas umas das outras possa-se amenizar este problema visto que o substrato estaria mais protegido. O segundo motivo estaria relacionado à camada de drenagem utilizada. A argila expandida não se caracteriza pela propriedade de reter água. Na ausência de instrumentos precisos de aferição, foram feitos testes rudimentares, pesando este material seco e úmido, depois de ter ficado 24 horas mergulhado em água. Como a diferença foi pouco significativa, estima-se que isto se deve ao fato de que a argila expandida apresenta na sua parte externa uma película impermeável, diferentemente do tijolo que mostra-se poroso. A sugestão é a utilização de cacos de tijolos ao invés da argila expandida. Desta forma a camada retém maior umidade que, por capilaridade, abasteceria o substrato em momentos críticos.

Com as medições feitas e o agrupamento dos dados observou-se os resultados adquiridos que em análise comprovou-se o esperado, o telhado verde realmente contribui através dos mecanismos de evapotranspiração e armazenamento a redução de água de chuva direcionada à galeria de águas pluviais. Aplicado como uma ferramenta extra, a utilização do *software* também mostrou-se válida. A proximidade dos dados recolhidos no experimento com os dados obtidos pela simulação contribuiu para que o *software GreenRoof* constitua uma opção como ferramenta de projeto para os profissionais e também como ferramenta de estudos para a região de Curitiba. Assim ao resgatar o objetivo da pesquisa verifica-se que este foi atingido e conseqüentemente obteve-se credibilidade na pesquisa desenvolvida.

Concluindo, esta pesquisa buscou assegurar que a intenção global pela busca de sustentabilidade é real e concreta. Existem sim mecanismos de

estudo que procuram amenizar os efeitos nocivos e danos ao meio ambiente em decorrência do desenvolvimento desenfreado da humanidade. A percepção quanto ao uso de telhados verdes em várias localidades do planeta já é real e precisa ser difundida através de pesquisas, educação, conscientização ambiental e a interferência direta do poder público definindo diretrizes que estimulem o uso deste tipo de cobertura.

## **TRABALHOS FUTUROS**

O estudo do telhado verde é interdisciplinar. Várias são as vertentes para o desenvolvimento de novas pesquisas. A listagem dos benefícios do uso de telhados verdes, vista no capítulo dois, proporciona uma contribuição para o desenvolvimento de estudos gerados por qualquer um dos benefícios listados.

A própria pesquisa merece continuidade, visto que a época (26 de novembro a 27 de fevereiro) em que foram feitas as leituras, o clima é específico e diferente das outras estações. O período trabalhado possui chuvas características de verão, temperaturas altas e poucas nuvens aumentando assim a incidência de radiação solar. É interessante observar, o mesmo tipo de experimento, para outras épocas do ano, como por exemplo: o inverno.

Estudo crítico em relação à legislação existente, promovendo discussões sobre a criação de um programa de incentivo para incorporar na cidade o uso de telhados verdes.

Implantação, junto aos poderes públicos, de telhados verdes em escolas proporcionando, de maneira direta, educação ambiental e conscientização da sociedade para os benefícios do uso deste tipo de cobertura.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAM, Roberto Sabatella. **Princípios do Ecoedifício: interação entre ecologia, consciência e edifício**. Editora Aquariana, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15527 – **Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2007.

BEN. **Balanco Energético Nacional 2009/Ano base 2008**. Disponível em: <[www.ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal2009](http://www.ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal2009)>. Acesso em: 10.maio.2010.

BLUME, Herman. **Cobijo**. Edición Lloyd Kahn 1985.

BRUNDTLAND, Gro Harlem. **Our common future: The World Commission on Environment and Development**. Oxford: Oxford University 1987.

CÂMARA MUNICIPAL DE CURITIBA (2003). **Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações - PURAE** – Lei 10.785 de 18 de setembro de 2003.

CAMARGO, Ângelo Paes de; CAMARGO, Marcelo Bento Paes de. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. *Bragantia* online. 2000, vol.59, n.2, pp. 125-137. ISSN 0006-8705. doi: 10.1590/S000687052000000200002. *SciELO Brazil*.

CANTOR, Steven L.. **Green Roofs in Sustainable Landscape Design**. W.W. Norton & Company, New York – London, 2008.

CAPRA, Fritjof. **A Teia da Vida, Uma nova compreensão científica dos sistemas vivos**. Editora Cultrix, 1996, São Paulo. Disponível em: <<http://escoladeredes.ning.com/group/bibliotecafritjofcapra>>. Acesso em: 02.dez.2010.

CAROLIN, R.C. 1993. Portulacaceae. Pp. 544-555. In: K. Kubitzki, J.B. Rhower & V. Bittrich (eds.) **The Families and Genera of Vascular Plants. Flowering Plants Dicotyledons (2)**, Berlin, Ed. Springer Verlag.

CASTELNOU, A. M. N.; FRANCISCONI, A. M.; BORMIO, A. P.; LOVATO, K. E.; SOUZA, H. M. B.; VECCHIATTI, S. O. F.; KAESTNER, S. Considerações Gerais sobre a Eco-Arquitetura. **Terra e Cultura**, Londrina PR, v. 01, n. 33, p. 76-90, 2001.

CATALISA - **Rede de Cooperação para Sustentabilidade**. Disponível em: <<http://catalisa.org.br/site/>>.

COLLISCHONN, W. - **IPH** – Capítulo 8 – UFRGS, 2008.

CUNHA, Arã P. da S. R. da; MENDIONDO, Eduardo M. **Experimento Hidrológico para aproveitamento de águas de chuva usando coberturas verdes leves**. Disponível em:

<[http://www.shs.eesc.usp.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=21:nib\\_h&catid=14:area-1&Itemid=13](http://www.shs.eesc.usp.br/index.php?option=com_content&view=article&id=21:nib_h&catid=14:area-1&Itemid=13)>. Acesso em 02.dez.2010.

Decreto nº.212/2007. **Prefeitura Municipal de Curitiba**. Disponível em: <<http://www.curitiba.pr.gov.br/conteudo/legislacao-smu-smu-secretaria-municipal-do-urbanismo/211>>.

EAD - **Environmental Affairs Department**. Disponível em: <<http://www.ci.la.ca.us/EAD/>>.

Embrapa - **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária** e ESALQ - **Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**. Disponível em: <<http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br>>.

FERREIRA, C.A.; MORUZZI, R.B. **Considerações sobre a aplicação do telhado verde para captação de água de chuva em sistemas de aproveitamento para fins não potáveis**. ELECS 2007. IV Encontro Nacional e II Encontro Latino-Americano Sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. Campo Grande – MS. Campus da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

FREITAS, Edmilson D. de; SILVA DIAS, Pedro L.. **O Efeito da Ilha de Calor Urbana sobre os Fluxos de Calor Através da Utilização do Modelo RAMS** (Regional Modeling Atmospheric System). In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2000, Rio de Janeiro - RJ. Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2000. p. 3566-3574.

GHIRARDO, Diane. **Arquitetura Contemporânea**. Uma história concisa. Editora WMF Martins Fontes, 2009.

GONÇALVES, Joana C. S.; DUARTE, Denise H. S. **Arquitetura Sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino**. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, V.6, nº4, p.51-81, out./dez.2006.

HIG, 2000. **“Cool Roofs”**. Lawrence Berkeley National Lab, Heat Island Group. Disponível em: <<http://eetd.lbl.gov/HeatIsland/>>.

IAPAR - **Instituto Agrônomo do Paraná**  
<<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=861>> . Acesso em 06.dez.2010.

INMET - **Instituto Nacional de Meteorologia**  
<<http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php>>. Acesso em 06.dez.2010.

IUPWARE - **InterUniversitare Programme in WAter Resources Enginnering**  
Disponível em: <<http://www.biw.kuleuven.be/lbh/lsw/iupware/downloads/elearning/software/greenroof.pdf>>. Acesso em 04.dez.2010.

KATZSCHNER, Lutz. **Thermal Comfort Evaluation for Planning in Cities Under Consideration of Global Climate Change**. **Fórum**, vol. 3, nº. 2. Publicado em 24.nov.2011.

KIBERT, Charles J. **Sustainable Construction. Green Building Design and Delivery**. John Wiley e Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, 2008.

KOBIYAMA, Masato; CHAFFE, Pedro Luiz Borges. **Evapotranspiração**. 2009. Disponível em: < [www.cca.ufsc.br/~aaap/irrigacao/clima/texto\\_evapot.doc](http://www.cca.ufsc.br/~aaap/irrigacao/clima/texto_evapot.doc)>. Acesso em 03.dez.2010.

LAAR, M.; SOUZA, C.; ASSUNÇÃO PAIVA, V. L.; AUGUSTA DE AMIGO, N.; TAVARES, S.; GRIMME, F.W.; GUSMÃO, F.; KOHLER, M.; SCHMIDT, M. **Estudo de aplicação de plantas em telhados vivos em cidades de clima tropical**. In: Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído -ENCAC, São Pedro, 6., 11-14 de novembro de 2001.

Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 - **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos**, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso **XIX** do art. **21** da **Constituição Federal**, e altera o art. **1º** da Lei nº **8.001**, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº **7.990**, de 28 de dezembro de 1989.

LORENZI, H.; SOUZA, H.M. **Plantas Ornamentais do Brasil: arbustivas, herbáceas e trepadeiras**. São Paulo: Ed. Plantarum, 1995.720p.

LORENZI, H.; MATOS, F.J.A. **Plantas Medicinais do Brasil, Nativas e Exóticas**; Nova Odessa, Instituto Plantarum.

MASCARÓ, Juan Luis. **Sustentabilidade em urbanizações de pequeno porte**. Masquatro Ediora, 2010.

MATTOS, J.R. Portulacáceas. **Flora Ilustrada Catarinense**. Itajaí, SC, 1984.31p. Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2002. 512p.

MIGUEL, Jorge Marão Carnielo. **A Casa**. Curitiba. Imprensa Oficial, 2003.

MINKE, Gernot. **Tectos verdes. Planificación, ejecución, consejos prácticos**. Editorial Fin de Siglo, Montevideo, Uruguay, 2004.

MONTANER, Josep Maria. **A Modernidade Superada**. Arquitetura, arte e pensamento do século XX. Editorial Gustavo Gili, S.A., Barcelona, 2001.

MOTTA, Silvio R.F.; AGUILAR, Maria Teresa P. **Sustentabilidade e processos de projetos de edificações. Gestão e Tecnologia de Projetos**. Vol.4, nº1, maio de 2009.

NASCIMENTO, Wânia C. do. **Coberturas verdes no contexto da região metropolitana de Curitiba – Barreiras e potencialidades**. Dissertação de mestrado. Curitiba: UFPR, PPGCC, 2008.

NIEVA, Antonio BañoGuía; POZO, Alberto Vigi-Escalera del. **Guía de construcción sostenible**. Espana: Instituto Sindical do Trabajo, Paralelo Edición, noviembre, 2005.

NRCA - National Roofing Contractors Association (EUA) - **NRCA Green Roof Systems Manual** (2007). Disponível em: <<http://www.nrca.net/>>.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, **Centro de Pesquisa em Epidemiologia de Desastres**. SAPIR, Debarati Guha. Professora da Universidade Católica de Louvain, Bruxelas. Disponível em: <<http://www.ecobebate.com.br/2011/01/20/o-quadro-de-chuvas-e-enchentes-no-brasil-mudou-precisamos-mudar-politicas-e-atitudes-artigo-de-sergio-abranches/>>. Acesso em: 21.jun.2011.

OSMUNDSON, T. **Roof Gardens. History, Design and construction**. W.W.New York, Norton & Company, Inc, 1999.

RIOS, J. F. Engenheiro Agrônomo. Pesquisador. **Museu Botânico de Curitiba**, PR.

ROAF, S.; FUENTES, M.; THOMAS, S. **Ecohouse**. 3a. ed. Burlington MA: Architectural Press, 2003.

SIMEPAR – **Instituto Tecnológico Simepar** (Sistema Meteorológico do Paraná).

SCHUNCK, Eberhard; OSTER, Hans Jochen; BARTHEL, Ranier; KIESSL, Kurt. **Roof Construction Manual. Pitched Roofs**. Birkhäuser Edition Detail, 2003.

SNODGRASS, Edmund C.; McINTYRE, Linda. **The Green Roof Manual. A Professional Guide to Design, Installation, and Maintenance**. Timber Press, Inc, 2010.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. 2005. **Botânica Sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira, baseado em APGII**. Nova Odessa, Instituto Plantarum.

THÁ Filho, Fernando. **Arquivos pessoais de Eduardo Thá referentes a edificação com telhado verde escolhida para a pesquisa**. Arquivos fornecidos por Fernando Thá Filho, 2010.

THOMPSON, J. William; SORVIG, Kim. **Sustainable Landscape Construction. A Guide to Green Building Outdoors**. Island Press, Washington, Covelo, London, 2008.

TUCCI, C. E. M. ; ARAUJO, Paulo Roberto de ; GOLDENFUM, Joel A. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 3, p. 21-29, 2000.

VILANUEVA, Adolfo; TUCCI, C. E. M. **Metodologias de simulação para planos diretores de drenagem urbana**. In: Seminário de Drenagem Urbana da América do Sul, 2001, Porto Alegre. Soluções para drenagem urbana em países da América Latina, 2001. v. 1. p. 239-242.

WHITE, Louis. **Arquitetura Sustentável**. Publicado em 06.mar.2008. Disponível em: < <http://pt.shvoong.com/writers/louiswhite>>. Acesso em: 05.abr.2010.

YEANG, K. **Proyectar com la Natureza. Bases ecológicas para el proyecto arquitetônico**. Editorial Gustavo Gili, S.A., Barcelona, 1999.

YIN, R. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ZAMBRANO, Letícia m. de A. **Integração dos princípios da sustentabilidade ao projeto de arquitetura.** Tese de doutorado. Rio de Janeiro: UFRJ/FAU/PROARQ, fev.2008.



## BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

CARTER, T; C. Butler. 2008. Ecological impacts of replacing traditional roofs with green roofs in two urban areas. **Cities and the Environment** 1(2):article 9, 17 pp. <http://escholarship.bc.edu/cate/vol1/iss2/9>.

CHEDE, Farid C. **Manual de Meteorologia Aeronáutica**.

FRIEDRICH, C. R. **Principles for Selecting the Proper Components for a Green Roof Growing Media**. Disponível em: <<http://www.permatill.com>>.

LENGEN, Johan Van. **Manual do arquiteto descalço**. 5º edição. Editora Empório do Livro, São Paulo, 2008.

LOPES, Daniela A. R. **Análise do comportamento térmico de uma cobertura verde leve (CVL) e diferentes sistemas de cobertura**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), 2007.

MACLVOR, J. Scott; LUNDHOLM. **Insect species composition and diversity on intensive Green roofs and adjacent level-ground habitats**. Published online: 9 September 2010. Springer Science+Business Media, LLC 2010.

MORAES, Caroline S. de. **Desempenho térmico de coberturas vegetais em edificações na cidade de São Carlos – SP**. Dissertação de mestrado. UFSC, São Paulo, 2004.

MORUZZI, Rodrigo Braga; FERREIRA, César A. **Considerações sobre a aplicação do telhado verde para captação de água de chuva em sistemas de aproveitamento para fins não potáveis**. UNESP- Rio Claro.

NESBITT, Kate; (org). **Uma Nova Agenda para a Arquitetura**. Antologia Teórica 1965 – 1995. Ed. Cosac Naify, 2006.

OLIVEIRA, Eric W. N. de. **Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico**. Dissertação de mestrado. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia e Ciências, Faculdade de Engenharia, 2009.

PALLA, Anna; GNECCO, Ilaria; LANZA, Luca G. Hydrologic Restoration in the Urban Environment Using Green Roofs. Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering, University of Genova, Via Montallegro 1, 16145 Genoa, Italy. **Water** 2010, 2, 140-154; doi:10.3390/w2020140.

RIEHL, Herbert. **Meteorologia Tropical**. Ao Livro Técnico. 1965.

RORIZ, Maurício; ANDRADE, Nixon C.. **Comportamento térmico de cobertura verde utilizando a grama *brachiaria humidicola* na cidade de São Carlos, SP**. X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano, Natal, 2009.

TUCCI, Carlos E. M. **Elementos para o controle de drenagem urbana.** UFRGS.

## FONTES DE FIGURAS

Figura 1: Enchentes em centros urbanos  
<http://www.ecobusiness.net.br/blog/?p=300>

Figura 2: Abrigo primitivo  
<http://picasaweb.google.com/lh/view>

Figura 3: Telhado verde da Escandinávia  
[http://obviousmag.org/archives/2009/06/telhados\\_verdes.html](http://obviousmag.org/archives/2009/06/telhados_verdes.html)

Figura 4: Terraço jardim Savoye  
<http://archive.chez.com/images/savoye/savoye12.jpg>

Figura 5: Casa da Cascata  
<http://vidaeobraarquitectura.blogspot.com/2010/11/frank-lloyd-wright-casa-da-cascata.html>

Figura 6: Teto verde de Stuttgart na Alemanha  
<http://petcivilufjf.wordpress.com/2010/08/26/sustentabilidade-design-verde/>

Figura 8: Execução da impermeabilização.  
<http://cantinhodasaromaticas.blogspot.com/2010/06/telhado-verde-na-lojinha-do-cantinho.html>

Figura 9: Telhado verde e suas propriedades  
[http://www.lid-stormwater.net/greenroofs\\_benefits.htm](http://www.lid-stormwater.net/greenroofs_benefits.htm)

Figura 10: Evapotranspiração, Departamento de recursos Hídricos da Califórnia.  
[http://www.greenroofs.com/content/energy\\_editor003.htm](http://www.greenroofs.com/content/energy_editor003.htm)

Figura 14: *Portulaca grandiflora*,  
<http://www.floresnaweb.com/dicionario.php?id=56>

## **ANEXOS**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA EM CONSTRUÇÃO CIVIL -  
PPGCC

Curitiba, 08 de novembro de 2011.

Of. nº. 129/2011/PPGECC

Da Coordenadora do Programa de Pós Graduação de Engenharia em Construção Civil - PPGECC

Para o Sr. Sr. José Roberto Roloff - Diretor do Departamento de Produção Vegetal da SMMA de Curitiba

Prezado Sr.

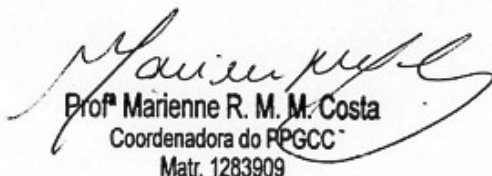
Venho através deste solicitar vosso apoio para o desenvolvimento da dissertação de Mestrado da aluna **Silvia Maria Nogueira Baldessar**, regularmente matriculada no Programa de Pós Graduação em Construção Civil da Universidade Federal do Paraná, orientanda do Professor **Sergio Fernando Tavares**, cujo o tema de pesquisa é "O telhado verde e a sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada".

Para tanto a aluna requer a cessão de 0,5 m<sup>3</sup> de substrato específico para jardinagem desenvolvido pelo Engenheiro Agrônomo Jose Fernando Rios que atua no Museu Botânico Municipal, e ainda 2 m<sup>2</sup> de forração de espécies adequada para telhados verdes.

O trabalho em questão é parte do projeto de pesquisa "Desenvolvimento de protótipos de telhados verdes extensivos para a cidade de Curitiba" desenvolvido pela UFPR, com registro no BANPESQ 2011025456, concebido em parceria com esta Secretaria para aplicação das espécies catalogadas no projeto bio-cidade mais adequadas para usos em telhados verdes na cidade de Curitiba.

Certa da sua atenção,

Atenciosamente,

  
Prof.ª Marianne R. M. Costa  
Coordenadora do PPGCC  
Matr. 1283909

