



Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Centro de Tecnologia e Ciências  
Faculdade de Engenharia

Luiz Eduardo Pereira Coelho  
Leonardo Vieira Travassos

**Proposta preliminar de projeto básico de implantação de Telhado  
Verde no Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira,**

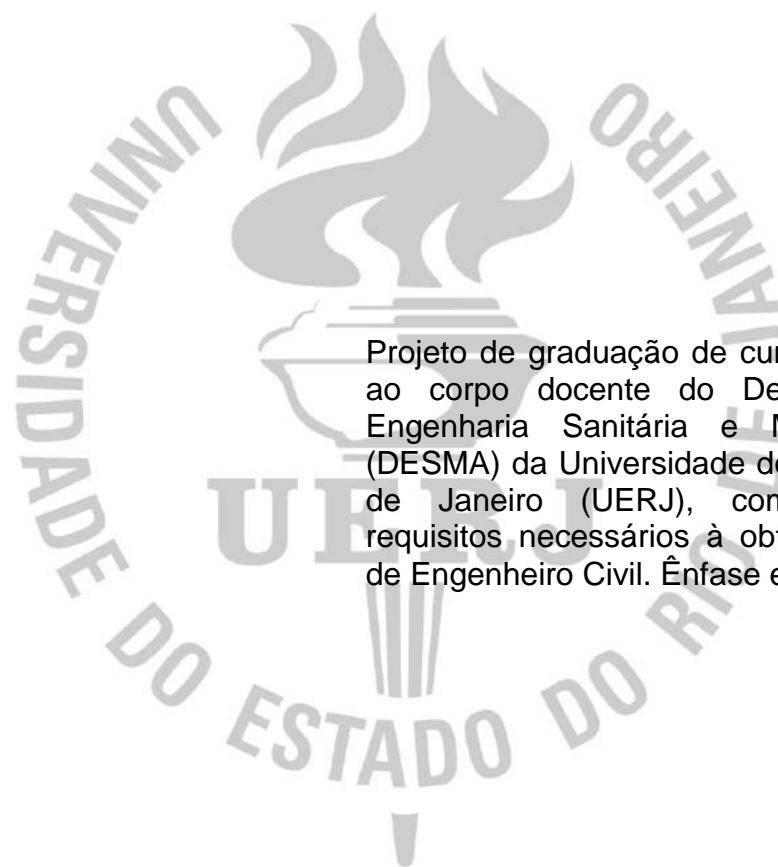
**CAp-UERJ**

Rio de Janeiro  
2015

Luiz Eduardo Pereira Coelho

Leonardo Vieira Travassos

**Proposta preliminar de projeto básico de implantação de Telhado Verde no  
Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira, CAp-UERJ**



Projeto de graduação de curso apresentado  
ao corpo docente do Departamento de  
Engenharia Sanitária e Meio Ambiente  
(DESMA) da Universidade do Estado do Rio  
de Janeiro (UERJ), como parte dos  
requisitos necessários à obtenção do título  
de Engenheiro Civil. Ênfase em Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Alfredo Akira Ohnuma Jr.

Rio de Janeiro

2015

Luiz Eduardo Pereira Coelho  
Leonardo Vieira Travassos

**Proposta preliminar de projeto básico de implantação de Telhado Verde no  
Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira, CAp-UERJ**

Projeto de graduação de curso apresentado  
ao corpo docente do Departamento de  
Engenharia Sanitária e Meio Ambiente  
(DESMA) da Universidade do Estado do Rio  
de Janeiro (UERJ), como parte dos  
requisitos necessários à obtenção do título  
de Engenheiro Civil. Ênfase em Sanitária.

Aprovado pela comissão examinadora abaixo assinada

---

**Prof. Dr. Alfredo Akira Ohnuma Jr.**

---

**Profª.Drª. Ana Ghislane Henriques Pereira Van Elk**

---

**Prof. Dr. Marcelo Obraszka.**

Rio de Janeiro  
2015

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, principalmente, a Deus por ter me motivado nos momentos mais difíceis e ter me dado lucidez quando mais precisei.

Aos meus pais, Jorge e Fátima, por estarem sempre ao meu lado e darem-me total apoio nas adversidades.

A minha companheira, Danielle Araújo, por sempre compartilhar os bons e maus momentos comigo e sempre me incentivar a chegar mais longe, e principalmente, por entender tudo que se passou nessa caminhada.

Aos meus avós, Diamantino (em memória), Petronilha, Adelaide e Manuel, por sempre acreditarem no meu potencial e pelo apoio incondicional prestado por todos.

Aos meus tios, Paulo e Rose, Carlos e Cristine pelo conforto dado e acolhimento em todos esses anos.

A minha irmã Ana Carolina, pela ajuda em diversos momentos e por sua amizade quando precisei.

Ao meu orientador, prof. Dr. Alfredo Akira Ohnuma Jr, por ter acreditado na minha capacidade e aceitado ser meu orientador mesmo diante do prazo apertado para a defesa.

Ao meu companheiro de projeto, Leonardo, pelo empenho em fazer com que este projeto se tornasse realidade.

Aos meus amigos da sanitária, que estiveram ao meu lado nos últimos períodos de faculdade: Allexser Bernacchi, Beatriz D'Elia, Sergio, Rafael Fiad, Ítalo, Marina Berger, Carina, Bruna Magalhães, Ana Carolina, Augusto, Mariah e Daniel.

Aos professores Rodolfo Suanno, Rafael Carvalho, Claudia, Ana, Luciano dentre outros que colaboraram para a formação de um ser humano melhor academicamente e na minha vida.

Enfim, a todos que foram citados aqui e aos tantos outros que não couberam neste pequeno espaço, eu deixo o meu muito obrigado.

**Luiz Eduardo Pereira Coelho**

## **AGRADECIMENTOS**

À minha esposa, Caroline, pela enorme paciência, motivação e carinho nos momentos de reflexão.

Ao meu filho, Lucca, por trazer a serenidade perdida nos momentos de tensão.

Aos meus pais, Neto e Lamir, pela enorme preocupação com minha educação e futuro.

Ao meu orientador, prof. Dr. Alfredo Akira Ohnuma Jr, por ter acreditado no potencial do projeto e ter aceitado ser meu orientador.

Ao meu companheiro de projeto, Luiz Eduardo, pelo empenho em fazer com que este projeto se tornasse realidade.

A todos os professores do Departamento de Engenharia Sanitária e Meio Ambiente – DESMA - UERJ.

**Leonardo Vieira Travassos**

“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta, muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira, você chega lá.”

*Ayrton Senna*

“Deus não escolhe os capacitados, capacita os escolhidos. Fazer ou não fazer algo só depende de nossa vontade e perseverança.”

*Albert Einstein*

## **RESUMO**

**PEREIRA COELHO, L. E. TRAVASSOS, L.V. Proposta preliminar de projeto básico de implantação de Telhado Verde no Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silva, CAp-UERJ** Projeto de Graduação (Graduação em Engenharia Civil), Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

A água é um recurso natural limitado e imprescindível à vida. Dessa forma, questões sobre conservação e preservação dos recursos hídricos vêm sendo cada vez mais destacadas na atualidade. Nos últimos anos, a indústria da construção civil cresceu significativamente no país com oferta de empregos e avanços tecnológicos. O processo de urbanização acelerado e não planejado resultou em mudanças nas condições naturais das bacias hidrográficas, o que diminui a permeabilidade das áreas ocupadas, havendo, assim, uma redução na infiltração da água precipitada. Como consequência, acarreta em um aumento acentuado no volume de escoamento superficial de águas pluviais e inúmeros problemas ambientais como inundações, deslizamentos de terra, erosões e perda da capacidade de preservação e infiltração.

A gestão de águas pluviais tornou-se uma questão de urgência para todos os centros urbanos. Concomitantemente aos problemas supracitados, ocorre a contaminação das águas pluviais devido ao contato com esgoto não tratado e aumento das cargas de poluição difusa na bacia hidrográfica.

Com o aumento dos volumes escoados e, portanto das vazões de pico, ocorre uma redução do tempo de concentração, provocando eventos de cheias cada vez mais intensos.

No intuito de minimizar os picos de escoamento, pode-se utilizar uma técnica compensatória do tipo telhado verde em edificações com estruturas já existentes ou em estruturas futuras. O telhado verde pode tornar-se importante para regiões que sofrem com inundações uma vez que pode vir a reduzir a demanda dos sistemas convencionais de drenagem urbana além de trazer inúmeros outros benefícios, tais

como redução considerável na temperatura da estrutura, possibilidade de um sistema de aproveitamento de águas pluviais, dentre outros.

No presente projeto acadêmico, propõe-se apresentar e elaborar um projeto básico, com a implantação da técnica de telhado verde na área do CAp-UERJ, localizado na região do Rio Comprido, no estado do Rio de Janeiro, região densamente urbanizada.

Espera-se projetar áreas de implantação com indicação de espécies e camada de substrato em prédio existente.

Palavras-chaves: Telhado verde, Recursos hídricos, Escoamento superficial.

## ABSTRACT

**PEREIRA COELHO, L. E. TRAVASSOS, L.V. Implantação de projeto de Telhado Verde no CAp-UERJ.** Graduation Project (Undergraduate Civil Engineering), Rio de Janeiro State University, Rio de Janeiro, 2015.

Water is a limited natural resource, essential to life. Thus, questions about conservation and preservation of water resources are being increasingly deployed nowadays. In the last few years, the construction industry grew significantly across the country bringing job opportunities and technological advances. The rapid and unplanned urbanization process has resulted in changes in natural conditions of river basins, that decrease the permeability of the occupied areas, reducing water infiltration. As a result, there has been a sharp increase in the surface rainwater volume flow besides numerous environmental problems such as floods, landslides, erosion and loss of preserving and infiltration capacity.

The stormwater management has become a matter of urgency for all cities. Besides environmental problems above, contamination of rainwater due to contact with untreated sewage and increase in diffuse pollution loads in the watershed also occur.

With increasing volumes and therefore disposed of peak flows, there is a reduction in the time of concentration, causing flood events increasingly intense

In order to minimize peak flows, a compensating technique of green roof type in buildings with existing structure can be used. The green roof structure may become important to regions that suffer from flooding, besides many other benefits, once it can reduce demand from conventional urban drainage systems.

This academic project intends to present and draw up a basic design project that implements the green roof technique in CAp -UERJ area, located in Rio Comprido, in the state of Rio de Janeiro, a densely urbanized area.

It's expected that the project indicates appropriate plant species and a substrate layer in an existing building roof.

Keywords: Green Roof, Water resources, surface runoff.

## **LISTA DE FIGURAS**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Figura 1 - Mapeamento de inundações área Tijuca .....</b>              | <b>14</b> |
| <b>Figura 2 - Efeito da urbanização no escoamento superficial .....</b>   | <b>15</b> |
| <b>Figura 3 - Modelo de Telhado Verde .....</b>                           | <b>23</b> |
| <b>Figura 4 - Membrana de PEAD .....</b>                                  | <b>25</b> |
| <b>Figura 5 - Membrana de PVC .....</b>                                   | <b>26</b> |
| <b>Figura 6 - Manta Asfáltica.....</b>                                    | <b>27</b> |
| <b>Figura 7 - Exemplos de Vegetação.....</b>                              | <b>33</b> |
| <b>Figura 8 - Exemplos de Vegetação.....</b>                              | <b>34</b> |
| <b>Figura 9 - Exemplos de Vegetação.....</b>                              | <b>35</b> |
| <b>Figura 10 - Localização do Instituto no Rio de Janeiro .....</b>       | <b>39</b> |
| <b>Figura 11 - Localização do CAp-UERJ no Bairro do Rio Comprido.....</b> | <b>40</b> |
| <b>Figura 12 - Vista aérea do CAp-UERJ .....</b>                          | <b>41</b> |
| <b>Figura 13 - Localização da estação pluviométrica.....</b>              | <b>42</b> |
| <b>Figura 14 - Identificação dos Telhados no Bloco A .....</b>            | <b>48</b> |
| <b>Figura 16 - Identificação dos Telhados no Bloco B .....</b>            | <b>49</b> |

## **LISTA DE ANEXOS**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ANEXO A – Proposta de Implantação Vista Bloco A.....</b>                       | <b>63</b> |
| <b>ANEXO B – Proposta de Implantação Vista Bloco B.....</b>                       | <b>64</b> |
| <b>ANEXO C – Proposta de Implantação Corte Bloco A.....</b>                       | <b>65</b> |
| <b>ANEXO C – Proposta de Implantação Detalhe 01 para o Bloco A e Bloco B.....</b> | <b>66</b> |

## **LISTA DE GRÁFICOS**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Gráfico 1 - Precipitações máximas em 24h no período de 2011-2014.....</b>                    | <b>44</b> |
| <b>Gráfico 2- Precipitações máximas em uma hora no período de 2011 - 2014.....</b>              | <b>44</b> |
| <b>Gráfico 3 - Taxa de Retenção por mês.....</b>  | <b>52</b> |
| <b>Gráfico 4 – Comparação do Volume Escoado no telhado verde e no telhado convencional.....</b> | <b>53</b> |
| <b>Gráfico 5 – Composição de Custos para a implantação do telhado verde.....</b>                | <b>57</b> |

## LISTA DE TABELAS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Tabela 1- Classificação de Telhado Verde .....</b>                               | <b>22</b> |
| <b>Tabela 2 - Classificação de telhado verde de acordo com sua inclinação .....</b> | <b>23</b> |
| <b>Tabela 3-Políticas de incentivo em cada país.....</b>                            | <b>38</b> |
| <b>Tabela 4- Precipitações médias mensais e média anual total 2011-2014. ....</b>   | <b>42</b> |
| <b>Tabela 5- Precipitações máximas em período de 24 horas, 2011-2014.....</b>       | <b>43</b> |
| <b>Tabela 6 - Precipitações máximas em período de uma hora, 2011 – 2014.....</b>    | <b>43</b> |
| <b>Tabela 7 - Valores de CN para diversas coberturas vegetais .....</b>             | <b>46</b> |
| <b>Tabela 8 - Dados do Telhado A -.....</b>   | <b>48</b> |
| <b>Tabela 9 - Dados para Telhado Bloco B .....</b>                                  | <b>49</b> |
| <b>Tabela 10 – Valores de Retenção e escoamento no ano de 2011 .....</b>            | <b>50</b> |
| <b>Tabela 11 - Valores de Retenção e escoamento no ano de 2012 .....</b>            | <b>50</b> |
| <b>Tabela 12 - Valores de Retenção e escoamento no ano de 2013 .....</b>            | <b>51</b> |
| <b>Tabela 13 - Valores de Retenção e escoamento no ano de 2014 .....</b>            | <b>51</b> |
| <b>Tabela 14 – Volume Escoado no Telhado Convencional .....</b>                     | <b>52</b> |
| <b>Tabela 15 - Volume Escoado no Telhado verde .....</b>                            | <b>53</b> |
| <b>Tabela 16 – Apresentação de Custos de Implantação do Telhado Verde.....</b>      | <b>56</b> |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>14</b> |
| <b>Justificativa e problemática .....</b>   | <b>14</b> |
| <b>Objetivo geral.....</b>  | <b>16</b> |
| <b>Objetivos específicos.....</b>   | <b>16</b> |
| <b>1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>   | <b>16</b> |
| <b>1.1. Impactos da Urbanização .....</b>   | <b>16</b> |
| <b>1.2. Benefícios da aplicação da técnica de telhado verde.....</b>                              | <b>18</b> |
| <b>1.2.1. - Ilhas de calor.....</b>   | <b>18</b> |
| <b>1.2.2. - Utilização do telhado verde para a redução do escoamento superficial.....</b>         | <b>20</b> |
| <b>1.3. Composição do Telhado verde - Impermeabilização, drenagem, substrato e vegetação.....</b> | <b>22</b> |
| <b>Impermeabilização.....</b>   | <b>24</b> |
| <b>A camada drenante.....</b>   | <b>27</b> |
| <b>A composição do substrato.....</b>   | <b>28</b> |
| <b>Tipos de vegetação.....</b>  | <b>31</b> |
| <b>1.4. Políticas públicas e normas para a técnica de Telhado Verde .....</b>                     | <b>35</b> |
| <b>2. METODOLOGIA.....</b>  | <b>39</b> |
| <b>2.1. Localização e caracterização da área de estudo.....</b>                                   | <b>39</b> |
| <b>Caracterização da área de estudo .....</b>   | <b>40</b> |
| <b>Levantamento de dados pluviométricos .....</b>   | <b>41</b> |
| <b>2.2. Método SCS .....</b>  | <b>45</b> |
| <b>3. RESULTADOS .....</b>  | <b>48</b> |
| <b>3.1. Cálculo da área dos telhados.....</b>   | <b>48</b> |
| <b>3.2. Cálculo de Retenção .....</b>   | <b>49</b> |
| <b>3.3. – Composição do Telhado Verde para o projeto .....</b>                                    | <b>53</b> |

|                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| <b>3.4. – Custos .....</b>  | <b>55</b> |
| <b>4. CONCLUSÃO.....</b>    | <b>57</b> |
| <b>5. REFERÊNCIAS .....</b> | <b>58</b> |

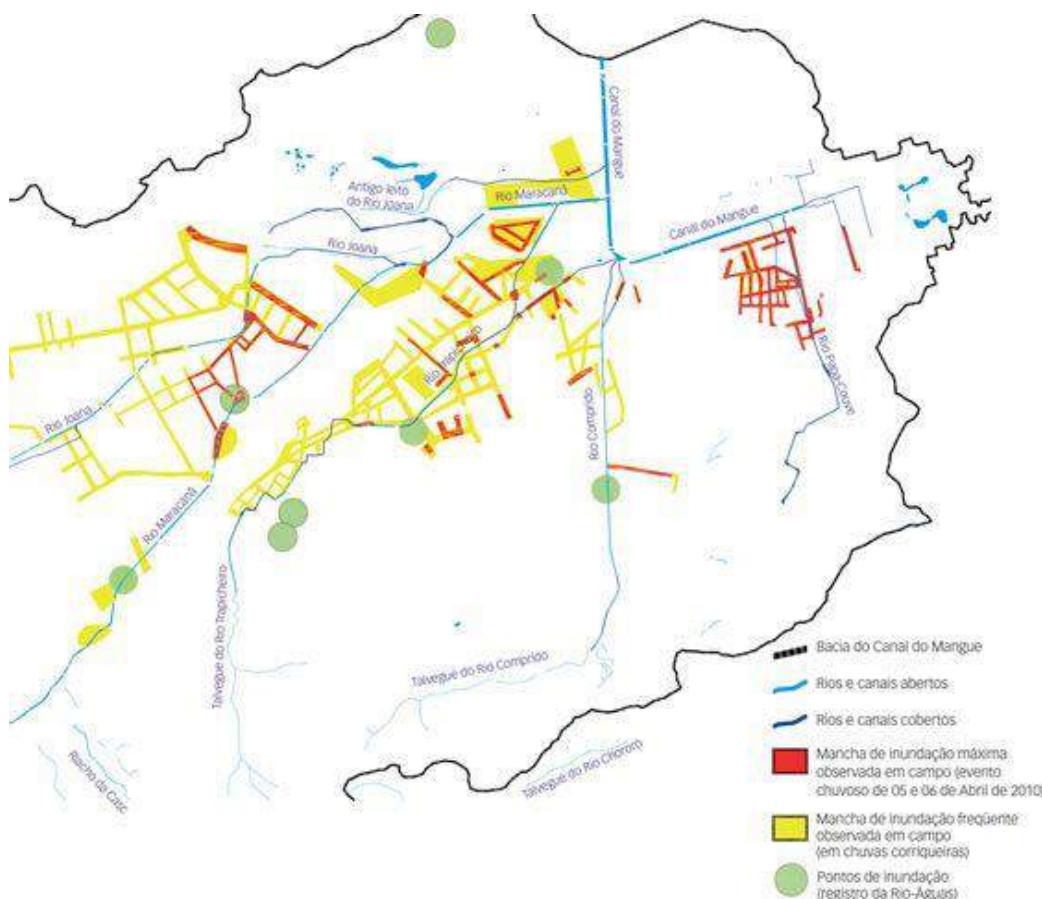
## **INTRODUÇÃO**

## **Justificativa e problemática**

As cidades que se encontram em constante crescimento têm se deparado com as consequências do crescimento desorganizado e com a ocorrência de problemas socioambientais graves como eventos externos de precipitações, doenças de veiculação hídrica, alagamentos, etc.

Além do crescimento populacional, várias regiões do país sofrem com dois grandes problemas principais: a má distribuição da população ao longo de seu território e as inundações urbanas, decorrentes da impermeabilização do solo nas grandes cidades. A figura 1 ilustra as manchas de inundações na região da grande Tijuca, Rio de Janeiro – RJ.

**Figura 1 - Mapeamento de inundações área Tijuca**

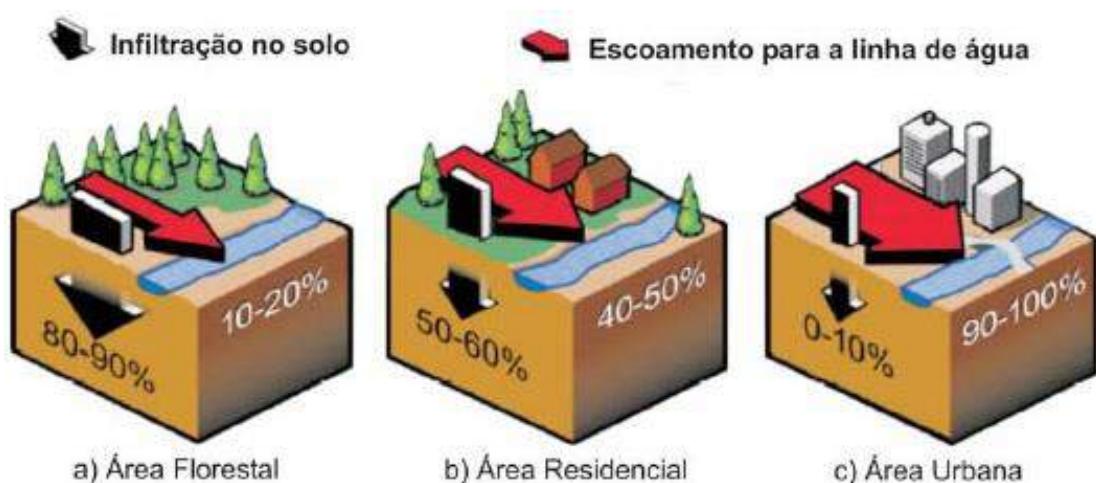


Fonte: ALERTA RIO, 2015.

Desastres ligados às chuvas intensas afetaram perto de cinco milhões de pessoas nas décadas de 1990 e 2000.

A ocupação urbana com o acréscimo de áreas impermeáveis, como por exemplo, ruas, estacionamentos e edificações, alteram as características de volume escoado e a qualidade do ciclo hidrológico. Devido a esta impermeabilização desenfreada nas cidades, houve uma redução no volume de infiltração da água precipitada acarretando um aumento acentuado no escoamento superficial das águas pluviais. Segundo SILVEIRA (2002), isso acarreta maior volume de água para drenagem, acelerando os escoamentos, favorecendo o acúmulo de água em pontos de saturação, o que provoca as inundações nestes locais. A figura 2 demonstra o efeito descrito.

**Figura 2 - Efeito da urbanização no escoamento superficial**



**Fonte:** MARSH, 1984

É a partir desse quadro que surge a principal motivação e questionamento desta pesquisa acadêmica: há como mitigar a redução da permeabilidade devido à intensa ocupação urbana? Sob a análise de eficiência na retenção, o telhado verde apresenta resultados significativos para minimizar o problema?

Para isso, tem-se como princípio que o ambiente degradado pela ocupação urbana pode se tornar mais permeável com a utilização do telhado verde. A utilização deste tipo de cobertura pode contribuir na absorção de parte do escoamento superficial na região, com a liberação do excesso de forma controlada

para o sistema de micro drenagem urbana de forma a amenizar os problemas de infraestrutura urbana, como nas galerias e sistemas de captação das águas pluviais.

Enchentes em áreas urbanas são causadas ao mesmo tempo por fenômenos naturais e pelas atividades humanas e os seus estudos têm como preocupação geral os aspectos relacionados à quantidade ou ao excesso das águas superficiais nos sistemas de drenagem. No entanto, não podemos estudar a água superficial sem considerar a água que está incluída no ciclo hidrológico. Isto nos leva a estudar características singulares, exigindo algumas abordagens integradas. (MATTES, 2005)

Propondo ações para contribuir com a gestão de águas pluviais, uso do telhado verde pode promover a redução de parte do volume de escoamento para a rede pública e, assim, diminuir os impactos decorrentes das inundações urbanas.

## **Objetivo geral**

Esse trabalho de conclusão de curso tem como objetivo principal dimensionar e discutir um projeto de implantação de telhado verde nas dependências do Instituto Fernando Rodrigues da Silveira - CAp-UERJ, Rio de Janeiro - RJ.

## **Objetivos específicos**

- Elaborar um projeto básico de implantação de telhado verde conforme espécies de plantio, composição e espessura do solo.
- Estimar a redução do volume de escoamento superficial a partir do projeto proposto com análise de eficiência na retenção.
- Avaliar o custo de implantação de telhado verde.

## **1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **1.1. Impactos da Urbanização**

Ao longo da evolução da humanidade, sempre existiu uma profunda ligação das cidades com os cursos d'água, sendo estes determinantes inclusive para o surgimento das mesmas na medida em que constituíram fatores essenciais no processo de sedimentação das populações. Entretanto, os papéis desempenhados

pelos cursos d'água mudaram muito ao longo dos tempos, refletindo as mudanças sofridas por uma sociedade que deixou de ter uma base econômica agrícola e essencialmente rural para ser predominantemente industrial e urbana (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2002).

A princípio, essa proximidade entre povoados e rios era tida como um fator de desenvolvimento e segurança. Destes rios, proviam a água para o abastecimento, o meio de acesso fácil para comunicação e transporte e a eventual defesa natural contra invasores. Até meados do século XIX, o risco de inundações era bem aceito e tido como o ônus pela proximidade com o leito do rio. (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2002).

Os episódios de inundações são tão antigos quanto os próprios povoados ou aglomerados urbanos. Estes eventos podem ocorrer devido ao comportamento natural dos rios ou serem amplificados pelo efeito desastroso de modificações produzidas pelo homem, normalmente causados pelo processo de urbanização, impermeabilização das superfícies e canalização dos leitos dos rios. (TUCCI; BERTONI, 2003).

O adensamento das cidades, em particular a partir do século XIX, evidenciou dificuldades e a precariedade da infraestrutura de controle das cheias nas cidades. Datam desta época, as concepções de sistemas de drenagem de águas pluviais e de esgotamento sanitário por meio de redes subterrâneas de tubulações e a canalização quase que generalizada dos cursos d'água em meio urbano. A partir da segunda metade do século XX, a explosão populacional nos centros urbanos manifesta-se como um fenômeno mundial ainda mais significativo e os problemas decorrentes deste processo ainda mais evidentes. (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2002).

O quadro crescente de urbanização consome o espaço natural, impermeabiliza o solo, altera o fluxo e o balanço hídrico das águas nas zonas urbanas impactando ainda na obsolescência gradual das redes de drenagem, levando a inundações cada vez maiores e mais frequentes, com pesadas implicações sociais, econômica e políticas. (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2002).

## 1.2. Benefícios da aplicação da técnica de telhado verde

### 1.2.1. - Ilhas de calor

A atividade humana nos ambientes urbanos altera a composição atmosférica, afeta os componentes do ciclo hidrológico, modifica o ciclo de carbono e os ecossistemas. Embora a compreensão total dos efeitos da urbanização no sistema climático terrestre ainda seja incompleta, os efeitos das alterações do equilíbrio energético da superfície terrestre são percebidos em todas as latitudes, como, por exemplo, a criação das ilhas de calor urbanas (GONZÁLEZ et al., 2005).

A maioria dos estudos científicos sobre telhados verdes está relacionada ao clima temperado, sendo poucos os centros que estudam o sucesso do sistema em climas tropicais. Essas pesquisas abordam estudos empíricos sobre mitigação e técnicas de contenção de águas pluviais, qualidade do ar e da água de escoamento de telhados, comportamento térmico, eficiência energética (redução do uso de condicionadores de ar), avaliação no provável efeito atenuador de ilhas de calor urbano e escolha de espécies vegetais apropriadas. (DEL BARRIO, 1998; GETTER et al., 2005; GETTER et al., 2007<sup>a</sup>; USEPA, 2003; WONG et al., 2003; VANWOERT et al., 2005a;) Esses estudos têm sido conduzidos em plataformas reduzidas com a simulação de telhados para avaliar o sucesso de sobrevivência, persistência, cobertura do solo e crescimento de variedades de espécies vegetais de pequeno e grande porte sob várias condições de profundidade de substrato, estresse térmico e hídrico (DURHMAN et al., 2007; HEINZ, 1985), além de propriedades físicas, custos de implantação e manutenção (DUNNETT; NOLAN, 2004; PORSCHE; KÖHLER, 2003).

De acordo com a IGRA (International Green Roof Association), os benefícios do telhado verde ainda podem ser subdivididos em “benefícios públicos” e “benefícios privados”. Os benefícios públicos englobam o fato dos telhados verdes serem um habitat natural para animais e plantas, reterem parcela da água das chuvas, reduzirem o efeito das “ilhas de calor” urbanas, a poeira e a poluição além de servirem como área de lazer e contato com a natureza em meio à urbanização. Já os privados são aumento do tempo de vida útil da cobertura que recebe a maturação, a redução dos níveis de barulho, o conforto térmico e tornar a cobertura um espaço utilizável.

Em centros urbanos, as superfícies verdes nas coberturas são de estimável benefício para o conforto ambiental e térmico dos usuários destas edificações, além da economia de energia para climatização de ambientes internos e da redução do efeito urbano denominado “ilhas de calor” causado pelo crescimento urbano desordenado e descompromissado com o meio ambiente. Uma vez que áreas verdes urbanas têm se tornando cada vez mais escassas, a composição de vegetação nas superfícies dos telhados urbanos tem sido uma opção eficiente na manutenção e no aumento destas áreas verdes. (NIACHOU, 2001).

Em São Paulo, a prefeitura determinava uma taxa mínima de permeabilidade de 15%, porém este valor foi alterado para 20% em 2009. Esta medida visa assegurar, entre outros aspectos, a infiltração das águas pluviais, a conservação da biodiversidade e a mitigação da formação de ilhas de calor (PORTARIA 156/2009; PMSP, 2009).

Em virtude das várias funções da vegetação, os telhados verdes desempenham um papel importante no estabelecimento de microclimas e na atenuação do efeito urbano chamado de “ilhas de calor”, contribuindo para a redução dos níveis de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) produzidos pelos veículos, indústrias e sistemas mecânicos. Podem também acelerar a expansão das áreas verdes, contribuindo para o bem-estar da população, tendo em vista o modelo de urbanização vigente que prioriza e sobrecarrega as cidades (NIACHOU, 2001).

Os telhados verdes nos centros urbanos funcionam como potenciais condicionadores térmicos, pois reduzem as “ilhas de calor” e contribuem na absorção do volume de água precipitada. 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).

### **1.2.2. - Utilização do telhado verde para a redução do escoamento superficial.**

O ciclo hidrológico vem sendo prejudicado devido ao desenvolvimento urbano desordenado com um aumento do volume de escoamento superficial de águas pluviais refletindo em um importante impacto socioambiental, principalmente nas áreas mais carentes, uma vez que não possuem infraestrutura suficiente de planejamento de suas residências nem de seus acessos e, consequentemente, nem das linhas naturais de drenagem. (TUCCI, 2003).

Em virtude da grande área urbana impermeabilizada, praticamente toda a água precipitada na cidade torna-se escoamento superficial, ocasionando problemas de alagamentos e, até mesmo, deslizamentos. Além disso, os materiais construtivos utilizados para erguer as cidades, como o concreto e o asfalto, absorvem muito calor, o que torna o ambiente urbano uma região com altas temperaturas aquecendo o ambiente interno das estruturas construídas (SILVEIRA, 1999 apud SILVEIRA 2002).

Os projetos de drenagem urbana são desenvolvidos dentro de premissas estruturais onde os impactos são transferidos de montante para jusante sem nenhum controle das suas fontes contribuintes. No escoamento superficial, esse processo de desenvolvimento tem provocado aumento da frequência das enchentes, entupimento das galerias de águas pluviais em virtude dos sedimentos arrastados e comprometimento da qualidade da água. É fundamental o controle da erosão urbana tanto para manutenção da capacidade de escoamento do sistema de drenagem como para qualidade e quantidade da água produzida pelo sistema hídrico.

À medida que a cidade urbaniza-se, são evidenciados os seguintes impactos: aumento das vazões das bacias hidrográficas devido às impermeabilizações do solo com materiais tradicionais usados em projetos de urbanização e o aumento do escoamento superficial. Consequentemente, verifica-se o aumento das recargas hídricas nos dutos e canais de drenagem, aumento do processo erosivo do solo e sedimentação dos dutos e canais já que a superfície do solo fica desprotegida. Verifica-se, ainda, o aumento da produção de resíduos sólidos, mais uma vez comprometendo a qualidade da água. (TUCCI, 2003).

As ações mitigadoras dos danos provocados pelas águas pluviais devem ter início no próprio planejamento da ocupação e do uso do solo visando menores custos econômico e socioambiental. São exemplos de ações estruturais que integram esse planejamento: a ocupação progressiva do solo acompanhada das obras de infraestrutura básica, a observância da taxa e do modo de ocupação do solo fixados em condições compatíveis com a capacidade de suporte do meio ambiente e com a boa qualidade de vida, a preservação de áreas verdes naturais principalmente junto às drenagens, a previsão e execução de obras de controle do escoamento superficial das águas pluviais tais como: poços, trincheiras, valas de infiltração e bacias de retenção, de detenção e de sedimentação (CARVALHO; LELIS, 2000).

Os sistemas convencionais de drenagem geralmente têm como objetivo apenas conduzir as águas de escoamento superficial para fora das cidades, lançando-as em cursos d'água e reservatórios. Hoje, com o intuito de preservar os recursos hídricos, os sistemas de drenagem conhecidos como alternativos ou compensatórios, além de reterem parte do volume de água superficial, promovem sua infiltração no solo e disponibilizam esse volume de água para o consumo ou recarga subterrânea. Esses dispositivos têm sido utilizados como complementares aos sistemas convencionais. (CARVALHO; LELIS, 2000).

As soluções sustentáveis de telhados verdes surgem como uma proposta interessante para redução do escoamento superficial e o gerenciamento das contribuições pluviais. O cultivo de plantas tropicais de espécies que apresentem melhores condições de adaptação para a construção de telhados verdes extensivos, ou seja, telhados cujas espécies de plantas não são exigentes nas rotinas de manutenção e apresentam custos de estrutura reduzidos em função de camadas mais leves e estreitas de substratos com impermeabilização e drenagem bem executados, é uma alternativa capaz de reduzir problemas ambientais relacionados à má gestão dos recursos hídricos, que fazem parte da rotina dos grandes centros urbanos, como as enchentes e inundações urbanas (KOELLER, 2000).

Nesse sentido, há de se mencionar a abordagem LID (Low Impact Development) que preconiza o desenvolvimento urbano de uma forma sustentável com objetivo de retornar o ciclo hidrológico que existia antes da urbanização. Assim,

áreas impermeáveis tornam-se verdes com a adoção de práticas de preservação ao invés de canalização. Tais práticas permitem a ocorrência dos processos de infiltração, retenção vegetal e evapotranspiração que contribuem para a redução do escoamento superficial. (SILVEIRA, 2002).

### **1.3. Composição do Telhado verde - Impermeabilização, drenagem, substrato e vegetação.**

No processo evolutivo dos sistemas de telhado verde aplicados nos centros urbanos, diversas técnicas e tecnologias têm sido empregadas para sua execução. Basicamente, os telhados verdes podem ser classificados conforme dois aspectos principais: o primeiro, de acordo com KREBS e SATTLER (2010), está associado com a altura da camada de substrato, os tipos de plantas utilizados e a sua necessidade de manutenção. Já o segundo aspecto, conforme MINKE (2004) e PIPPI e BARBOSA (2009), está relacionado apenas à inclinação do telhado. Os componentes principais dos telhados verdes podem ser classificados em três tipos: intensivos, semi-intensivos e extensivos (Tabela 1).

**Tabela 1- Classificação de Telhado Verde**

| CLASSIFICAÇÃO  | CARACTERÍSTICAS                                |                    |                    |            |           |        |
|----------------|--|--------------------|--------------------|------------|-----------|--------|
|                | Carga superficial                              | Espessura vegetal  | Tipo de vegetação  | Manutenção | Irrigação | Custos |
| Intensiva      | de 180kg/m <sup>2</sup> a 500kg/m <sup>2</sup> | superiora 150cm    | arbóreo            | intensa    | regular   | Alto   |
| Semi-intensiva | de 120kg/m <sup>2</sup> a 200kg/m <sup>2</sup> | entre 12cm e 250cm | arbustivo          | periódica  | periódica | Médio  |
| Extensiva      | de 60kg/m <sup>2</sup> a 150kg/m <sup>2</sup>  | entre 6cm e 20cm   | herbáceo extensivo | baixa      | nenhuma   | Baixo  |

**Fonte:** [www.igra-world.com](http://www.igra-world.com)

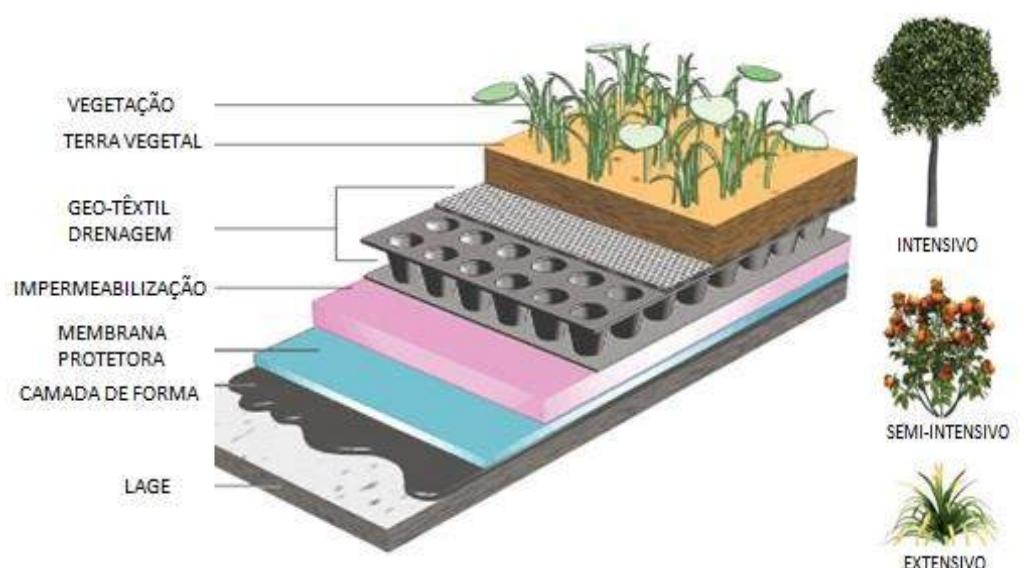
Conforme MINKE (2004) e PIPPI e BARBOSA (2009), os telhados verdes também podem ser classificados de acordo com sua inclinação, sendo divididos em três subgrupos (Tabela 2).

**Tabela 2 - Classificação de telhado verde de acordo com sua inclinação**

| CLASSIFICAÇÃO        | CARACTERÍSTICAS |  |
|----------------------|-----------------|--|
|                      | Inclinação      | Aspectos construtivos  |
| Plano                | até 5%          | Execução demorada porque necessita de uma drenagem especial através de uma manta para conduzir o excedente de água acumulada.  |
| Inclinação moderada  | De 5 a 35%      | De fácil execução e mais econômico. Não necessita de camada de drenagem, o substrato armazena água como conduz o excedente, para isso, deve-se agregar material poroso, como pedra pomes, escória ou argila expandida. |
| Inclinação acentuada | De 36 a 84%     | Assemelha-se com o de inclinação moderada, porém devem possuir barreiras que evitem o deslizamento do substrato.   |

**Fonte:** [www.igra-world.com](http://www.igra-world.com)

Em todo o mundo, o sistema extensivo é o mais difundido e é o que apresenta os melhores resultados. Normalmente, é aplicado diretamente sobre a superfície da estrutura suporte, obedecendo à seguinte ordem das principais camadas, de baixo para cima: impermeabilizante, drenagem, substrato e vegetação (Figura 3). Como camada secundária, tem-se o geotêxtil, que possui a dupla função de protetor do impermeabilizante da ação mecânica da drenagem e filtro das partículas mais finas do substrato para a drenagem evitando, assim, seu entupimento (ROLA, 2008).

**Figura 3 - Modelo de Telhado Verde**

**Fonte:** PLEDGE, 2005.

A estrutura de suporte, também chamada de camada de suporte, é a responsável por suportar todo o peso do sistema, que atinge seu valor máximo, quando saturado. O suporte estrutural é fundamental na garantia da integridade da cobertura e consequente proteção da edificação. A implantação de um telhado verde requer a avaliação da sobrecarga na estrutura que o suporta. A tipologia construtiva adotada no Brasil para edifícios multi familiares é em laje de concreto, estrutura capaz de suportar um sobrepeso médio de até 400 kg/m<sup>2</sup> (ROLA, 2008) Entretanto, é recomendável verificar a capacidade da estrutura para o novo carregamento quando se tratar de uma adaptação em estruturas já existentes.

## **Impermeabilização**

A camada de impermeabilização possui papel importante no projeto de telhados verdes uma vez que é responsável por proteger da umidade e assegurar a estanqueidade em toda a camada suporte. O uso de membrana impermeabilizante é fundamental para a proteção de estrutura de suporte à cobertura (PLEDGE, 2005). Segundo publicação do IBI (Instituto Brasileiro de Impermeabilização), a impermeabilização de telhados verdes deve considerar um grande esforço mecânico da estrutura, problemas emergentes em caso de incêndio, desgaste pela água, pelos microrganismos além de possíveis substâncias que infiltrem pela cobertura plana que se encontra por debaixo de uma cobertura verde.

Autores como PIRONDI (1988) e PICCHI (1986) defendem a ideia de que um bom sistema de impermeabilização deve ser formado por várias camadas de membranas que garantam um melhor desempenho. Além da impermeabilização, são necessárias camadas anteriores de regularização e de proteção bem como a de isolamento térmico (que, no caso de coberturas com vegetação, pode ser dispensada). A camada de regularização tem a função de garantir uma superfície homogênea, lisa, sem protuberâncias ou materiais soltos, que venham a danificar a membrana de impermeabilização, com inclinação mínima de 1% na direção dos coletores de água e com arestas de cantos arredondados. É importante evitar a formação de bolsões de água estagnada com uma inclinação uniforme.

Para esse fim, há no mercado membranas impermeabilizantes fabricadas em PEAD (Polietileno de Alta Densidade) (Fig.4), membranas termoplásticas de PVC (Policloreto de polivinila ou cloreto de vinila ou policloreto de vinil) (Fig.5) e de resinas sintéticas e betume modificado, conhecidas como manta asfáltica (Fig. 6) que, quando combinadas no processo de impermeabilização, oferecem boa resistência física à perfuração e eficaz característica química como componente anti-raiz. (MINKE, 2004; KREBS e SATTLER, 2010).

Segundo MINKE (2004), a membrana de PEAD demonstrou ser uma opção com limitações. O material é rígido e difícil de executar dobras, motivo pelo qual se recomenda que tanto as dobras quanto as emendas sejam encomendadas junto com a membrana, executadas pelo fornecedor.

**Figura 4 - Membrana de PEAD**



**Fonte:** Tellus telhado verde

Segundo PLEDGE (2005), membranas em PVC são termoplásticos polimerizados adicionados de um tratamento de maleabilidade geralmente fabricados em chapas e encaixados nas juntas sobre o telhado plano sendo, em seguida, aquecidos para selamento da superfície. MINKE (2004) descreve como material seguro e econômico para essas funções um tecido de poliéster revestido em PVC com espessura de 2mm. Segundo o autor, esse material cumpre, sozinho, as funções de impermeabilização e de proteção anti-raízes.

**Figura 5 - Membrana de PVC**



**Fonte:** Studio cidade jardim.

Segundo WOLLET (2000), as mantas de PVC são muito utilizadas pela sua praticidade, preço e resistência contra as raízes, muito embora o PVC promova impactos ambientais importantes como a liberação de produtos carcinogênicos e irritantes durante a sua fabricação além da sua baixa capacidade de reciclagem após o descarte. Já as resinas sintéticas são polímeros preparados por diferentes processos químicos de polimerização podendo ser aplicados diretamente à superfície desejada que, por sua vez, sofre uma fixação formando uma película protetora e o tamponamento dos poros da superfície. A membrana anti-raiz não é impermeável e, portanto, não deve ser usada para substituir a manta impermeabilizante. (FERRAZ; LEITE, 2011).

O Instituto Brasileiro de Impermeabilização (IBI) normatiza que a impermeabilização mais indicada para telhados verdes combine armaduras de poliéster com betume modificado, que é um aglomerante de manta asfáltica plastomérica ou elastomérica, fabricado pela fusão de betume com filtros orgânicos, gerando um subproduto no qual são adicionados outros materiais como: polímeros, que oferecem flexibilidade, elasticidade e força, alumínio, polietileno além de aditivos herbicidas, em mono ou dupla camada, a fim de inibir a penetração de raízes das plantas na estrutura.

**Figura 6 - Manta Asfáltica**



**Fonte:** Comtex impermeabilizações, 2015.

A camada de proteção mecânica tem a função de proteger a membrana de impermeabilização da ação dos agentes atmosféricos e, eventualmente, das ações mecânicas causadas por trabalhos de construção, de plantio ou de manutenção. Os materiais comumente utilizados são: argamassa, concreto armado (no caso de trânsito de veículos), pisos e agregados soltos.

### **A camada drenante**

Imediatamente sobre a superfície impermeabilizada, deve ser colocada uma camada drenante normalmente composta de material mineral leve e poroso e, preferencialmente, de bordas arredondadas para que não ofereça riscos à membrana impermeabilizante. Usualmente, faz-se uso de brita, argila expandida ou seixo ralado em camadas que vão de 7 a 10 cm de espessura para que assim ocorra vazão ao excesso de água precipitada ou irrigada. Logo acima desta camada, utiliza-se a camada filtrante, normalmente composta de material geotêxtil de, aproximadamente, 150g/m<sup>2</sup> cuja função é evitar que as águas arrastem as finas partículas do substrato que será depositado logo acima. De acordo com Morgado (1995), a manta ideal é de aproximadamente 200g/m<sup>2</sup> e deve ser instalada de forma que recubra toda a superfície drenante e o perímetro dos rodapés em altura mínima de 20 cm.

## A composição do substrato

O estudo do substrato recebe atenção especial uma vez que não se pode recomendar um único composto para todos os locais de aplicação devido a particularidades meteorológicas da região. De forma geral, os principais critérios para composição de sistemas de substratos são: a granulometria; a proporção do material orgânico, resistência mínima às intempéries, estabilidade estrutural, permeabilidade de água, máxima capacidade de retenção de água, nutrientes satisfatórios, boa aeração e um pH ideal para o cultivo a ser introduzido (em média entre 6,0 e 7,0).

Dentre as características apresentadas, pesquisas apontam que a retenção hídrica está diretamente relacionada à altura da camada de substrato aplicada (MENTENS et al., 2005). No entanto, a disponibilidade de água e a estação climática afetam a capacidade do meio de cultura em reter água. Quando a água é facilmente disponível, as taxas de evapotranspiração são muito maiores nos telhados com vegetação do que em telhados com meio de cultura, especialmente no verão (FARZANEH, 2005). Segundo o trabalho de VANWOERT (2005), o substrato sozinho pode reduzir em até 50% o escoamento em um telhado verde quando comparado com um telhado de cascalho convencional, desta forma, o acréscimo de vegetação resultou em impacto muito pequeno.

Segundo JOHNSTON (1996) em seu livro ‘Building Green: A guide to using plants on roofs, walls and pavements’, para melhorar a retenção de água e a estrutura do substrato, outros materiais podem ser acrescentados como materiais orgânicos (vários substitutos de turfa) ou materiais inorgânicos (perlita ou vermiculita). No entanto, SCRIVENS (1989) adverte que a estrutura do substrato pode ser danificada no transporte ou por excesso de mistura com outros materiais. Logo, o substrato deve ser manuseado com cuidado em todas as etapas e os materiais orgânicos e inorgânicos devem ser adicionados em quantidades mínimas. (JOHNSTON, 1996).

Já em estudo de BLISS et al. (2009), foi utilizado um substrato sintético de 14 cm de altura composto principalmente de xisto expandido, perlita e casca de coco. Este estudo utilizou um protótipo de telhado verde extensivo a fim de demonstrar a

diminuição do volume da água de escoamento em eventos de grande precipitação combinados com eventos de transbordamento de esgotos. O protótipo conseguiu reter 70% do volume e retardar seu pico de escoamento para chuvas de 15mm ou de menor intensidade.

KÖLB (1983) testou mais de 50 diferentes misturas para substratos e identificou várias que são particularmente adequadas para uso em telhados: 50% de compostagem + 50% de grânulos de argila, 60% de grânulos de argila (4-8 mm) + 25% de grânulos de argila (<4 mm) + 10% de Vermiculita + 5% de Bentonita de cálcio e 100% Hygromix (substrato alemão pré-misturado). O autor também sugere uma cobertura de 20 mm de tijolo, pedra ou grãos de lava (entre 2 e 5mm) na superfície para ajudar a dissuadir as plantas não desejadas especialmente plantas daninhas agressivas ou mudas de árvores. A palha também é útil para reduzir a perda de água por evaporação do substrato. Também é boa prática regar o substrato com água, várias vezes antes do plantio, para estimular a sedimentação. Isto é particularmente importante para os substratos com teor de matéria orgânica substancial.

TEEMUSK (2007) a fim de estudar a quantidade e a qualidade da água de escoamento em um telhado verde extensivo durante eventos pluviométricos de curta duração utilizou uma camada de substrato de 100 mm com 66% de LWA (light weight aggregate ou agregados leves), 30% de húmus e 4% de argila. O LWA no telhado verde teve um efeito considerável - positivos e negativos - sobre a qualidade da água da enxurrada. Isto depende claramente de que quanto mais lento o ritmo do escoamento superficial, maior a concentração de N-total, NH4-N e material orgânico (após DBO7 e DQO) na água da enxurrada. A concentração de P total não variou significativamente em relação à descarga de água. O LWA no telhado verde geralmente atua como um dispositivo de armazenamento: os poluentes acumulam-se na camada de substrato e são liberados quando há lavagem da carga inicial pela água da chuva. É também evidente que o material utilizado na camada de substrato tem uma influência importante na qualidade do escoamento. Como as medições mostraram o escoamento do telhado verde sempre contém mais sulfatos e sal Ca-Mg devido à presença do material LWA. Em BLISS et al. (2009), o meio crescente sintético utilizado foi de 14 cm de espessura, feito principalmente de xisto expandido,

perlita, e casca de coco. Os vegetais foram principalmente *sedums* para um telhado verde extensivo. O estudo utilizou um protótipo de telhado verde extensivo a fim de demonstrar a diminuição do volume da água de escoamento em eventos de tempestade combinados com eventos de transbordamento de esgotos. O protótipo reteve 70% do volume de enxurrada para chuvas de 15 mm ou de menor intensidade. O telhado verde neutralizou ligeiramente a chuva ácida e, na maioria dos eventos, atrasou o pico de enxurrada, muito embora níveis de fósforo e DQO tenham sido elevados na água de escoamento.

Substratos com níveis baixo a médio de fertilidade podem encorajar uma comunidade vegetal mais diversificada, reduzindo a probabilidade de espécies dominantes agressivos (DUNNETT e KINGSBURY, 2004). Segundo JOHNSTON (1996), o substrato ideal será composto de 30-40% de partículas sólidas, 60-70% do volume de poros, sendo 35-45% para incorporar água e 15-25% para aeração. O pH deve ser ligeiramente ácido, um valor de cerca de 6,0. Os substratos que são muito ricos podem ser misturados com uma proporção de areia. Os substratos pesados podem ser atenuados por meio da adição de uma proporção de grânulos de argila leve. Ao se utilizar solo para composição do substrato, suas camadas superficiais devem ser evitadas para as misturas, pois tendem a ser infestadas por sementes de ervas daninhas, devendo-se, portanto, utilizar a terra das camadas mais profundas.

JOHNSTON (1996) defende o uso de materiais já disponíveis no local tanto por razões ecológicas quanto econômicas. Substratos como: areia, cascalho, resíduos de tijolo esmagados, entulho e concreto podem ser usados para complementar os materiais orgânicos utilizados no telhado. Isso permite a reutilização de materiais descartados como o entulho reduzindo, assim, os custos de transporte, os requisitos de aterro e a produção de novos materiais. Os materiais típicos adicionados à mistura de substratos são: solo superficial estéril, subsolo, areia, grânulos de argila, pedregulho ou cascalho (16 a 32 mm), “clinker” (tijolo vermelho moído, concreto etc.) e substitutos de turfa (cascas e folhas compostadas fibra de coco, etc.). JOHNSTON (1996) recomenda profundidades de: 10 a 20 mm para vegetação auto estabelecida e musgo; 30 a 50 mm para suculentas e outras plantas de baixo desenvolvimento radicular e 50 a 200 mm para gramíneas, herbáceas e flores silvestres. Como consequência das camadas finas, os sistemas

permanecem secos por longos períodos e, portanto, só podem suportar as espécies tolerantes à seca (MONTERUSSO et al., 2005).

Em relação ao conforto térmico proporcionado pelo telhado verde, TEEMUSK (2009), avaliou a redução das temperaturas em um telhado na Estônia. Neste estudo, a camada de substrato de 100 mm era composta por 66% de LWA (Leight weight aggregate ou agregados leves), 30% de húmus e 4% de argila. Os resultados apontaram uma redução significativa nas flutuações de temperatura no interior do ambiente.

### **Tipos de vegetação**

A escolha da vegetação mais adequada exerce um papel fundamental no uso de tecnologias de telhados verdes. Destaca-se, dentre os benefícios, o quanto a cobertura do solo diminui o impacto das gotas de chuva e agrupa as partículas controlando processos erosivos, diminuindo o escoamento superficial e facilitando a infiltração.

Os tipos de plantas utilizadas devem levar em consideração as condições bioclimáticas locais sejam elas nativas ou não. Devem sobreviver com êxito a aspectos limitantes como espaço, profundidade e nutrição, favorecendo a otimização de suas funções ecológica, estética e econômica, tornando-se, deste modo, viáveis para a implantação em coberturas, diminuindo custos com o replantio, manutenção e irrigação (DURHMAN et al., 2007).

A escolha adequada do vegetal apropriado para cada região considera conhecimentos básicos dos seus processos fisiológicos e suas necessidades nutricionais para que se possa obter o sucesso de sobrevivência por longos períodos sem manutenção, por exemplo, o suprimento de disponibilidade hídrica, pois, à medida que absorvem água do solo, os vegetais perdem parte dela pelo processo fisiológico da transpiração além da diminuição de reserva hídrica do solo inerente ao processo de evapotranspiração direta (KERBAUY, 2004). Em solos onde há constante perda de água por evaporação durante o dia, as plantas têm dificuldades crescentes de retirar água para balancear a perda por transpiração. Neste processo, pode ocorrer um ressecamento das células potencializado pela

elevação do valor da temperatura do ar e pela presença de vento (DUNNETT; KINGSBURY, 2008; KERBAUY, 2004). No entanto, de acordo com BRANDY (1989), este quadro tende a se moderar durante a noite com a quase interrupção da transpiração, as células geralmente retomam o turgor e os valores de temperatura do ar são menores.

Segundo KERBAUY (2004), o fenômeno da transpiração aumenta a velocidade de água em movimento, absorção e translocação de nutrientes. Em condições de elevada temperatura e baixa unidade do solo, frequentemente, intensifica-se este processo, resultando em estresse de água e injúrias por dessecação.

Na América do Norte e Europa, *sedums* e outras plantas suculentas são escolhas de plantas inquestionáveis para telhados verdes extensivos. São bonitas, de rápido crescimento e, em pouco tempo, formam uma cobertura verde uniforme. No México, até o sul de Guadalajara e Cidade do México, *sedums* e outras plantas suculentas ainda têm um bom desempenho em telhados verdes, mas, mais ao sul, onde a diferença entre as estações é marcada somente por períodos secos e períodos chuvosos, as espécies nativas da região devem ser as recomendadas.

Em regiões de clima tropical como o Havaí, CABURGOS (2008) realizou experimentos em canteiros de cultivos monitorados e selecionados para o plantio com espécies nativas, submetidas ao sistema de cobertura extensiva, sendo utilizadas: *Carex Wahuensis*, *Sesuvium Portulacastrum* (*bredo-da-praia*) *Sida Fallax* (*guanxuma ou vassoura*), *Sporobolus Virginicus* (*grama costeira*) e *Vitex Rotundifolia* (*vitex de praia*). (Fig.7)

Para o Brasil, LAAR et al. (2001) realizaram um estudo durante a primavera e verão totalizando 5 meses na região do litoral sudeste do país em que sugeriu, com ressalvas e poucos critérios, uma relação de plantas para cultivo em telhados verdes extensivos para aquele local em solos de 0,10m,a saber: *Asparagus sprengeri* (*Aspargo ou Aspargo alfinete*), *Bulbine caulescens* (*Cebolinha-de-jardim*) *Liriope muscari* (*Barba de serpente*), *Pilea microphylla* (*Brilhantina ou Dinheiro-em-penca*), *Portulaca grandiflora* (*Onze-horas*), *Rhoeo discolor* (*Planta ostra*) e *Setcreasea purpurea* (*Trapóeraba*). (Fig.8)

**Figura 7 - Exemplos de Vegetação**



*Carex wahuensis*



*Sesuvium portulacastrum* (bredo-da-praia)



*Sida fallax* (guanxuma ou vassoura)



*Sporobolus virginicus* (grama costeira)



*Vitex rotundifolia* (vitex de praia)



*Asparagus sprengeri* (Aspargo alfinete)

Fonte:<http://luirig.altervista.org>, consultado em 05/07/2015.

**Figura 8 - Exemplos de Vegetação**



*Bulbine caulescens* (Cebolinha-de-jardim)



*Liriope muscari* (Barba de serpente)



*Pilea microphylla* (Dinheiro-em-penca)



*Portulaca grandiflora* (Onze-horas)



*Rhoeo discolor* (Planta ostra)



*Setcreasea purpurea* (Trapoeraba)

Fonte:<http://luirig.altervista.org>, consultado em 05/07/2015.

Em recente estudo, BEATRICE (2011), fazendo uso de três diferentes profundidades de substratos, quantificou mensalmente por um período de um ano a porcentagem de cobertura vegetal, o crescimento vertical e de sobrevivência, de três diferentes espécies de plantas das famílias Fabaceae (*Arachisrepens* ou grama amendoim), Poaceae (*Paspalum notatum* ou grama batatais) e Ruscacea (*Ophiopogon japonicus* ou grama preta) (Fig. 9). Dentre as espécies avaliadas, tanto a grama amendoim quanto a grama batatais atenderam de forma satisfatória aos requisitos avaliados e, portanto, foram recomendadas para futuros projetos de Telhados Verdes.

**Figura 9 - Exemplos de Vegetação**



Grama amendoim

Grama batatais

Grama preta

**Fonte:** <http://luirig.altervista.org>, acesso em 05/07/2015.

Muito embora os estudos apresentem alternativas de vegetação condizentes com as respectivas regiões de estudo, segundo SNODGRASS e SNODGRASS (2006), não há estabelecida uma lista padrão de plantas recomendadas para uso em telhados verdes, mas, sim, indicações de espécies potencialmente favoráveis para cada tipo de clima. CABURGOS (2008) afirma que poucas pesquisas têm sido realizadas sobre os efeitos da diversidade de plantas, tanto taxonômicas quanto estruturais, em aplicações de telhados verdes e suas potenciais interferências na capacidade de retenção hídrica.

#### **1.4. Políticas públicas e normas para a técnica de Telhado Verde**

No Brasil, as políticas de incentivo e normatização para esta prática sustentável ainda não existem. O Telhado Verde ainda pode ser considerado uma iniciativa voluntária à busca de uma certificação ou normatização. Embora algumas

melhorias já possam ser vistas nesta direção em algumas cidades ou em até alguns estados do país, a técnica precisa ser melhor difundida e aceita por parte da comunidade . Em São Paulo, por exemplo, existe um Projeto de Lei 115/09 da vereadora Sandra Tadeu do DEM/SP que dispõe sobre a obrigatoriedade da instalação da técnica de Telhado Verde em locais específicos e, ainda, dá outras providencias como, por exemplo, a iniciativa de promover cursos e palestras por parte do poder Executivo para difusão da prática junto à população.

Outro exemplo de iniciativa pública foi comentada por SPITZCOVSKY (2011), que divulga as diretrizes do programa IPTU Verde em São Paulo, na cidade de Guarulhos, estabelecido pela Lei Municipal 6.793/2011, que tem como objetivo uma série de benefícios fiscais para os donos de imóveis que adotarem princípios de sustentabilidade como: acessibilidade nas calçadas, sistema de captação de água da chuva, telhado verde, separação de resíduos sólidos, utilização de energias solar e eólica e arborização do terreno, prevendo desconto de até 20% no valor anual do IPTU.

Há também a Lei 14243, de 11 de Dezembro de 2007, de procedência do Deputado Professor Grando em Santa Catarina, que dispõe sobre a implementação de sistemas de naturação através da criação de telhados verdes em espaços urbanos de Santa Catarina. Determina, entre outros, a participação do poder Executivo em criação de parcerias e incentivos fiscais aos municípios participantes do programa.

Atualmente, foi sancionada a lei municipal 18.112/2015 que prevê o plantio de gramas, hortaliças, arbustos e árvores de pequeno porte nas lajes dos edifícios. O objetivo do projeto é aumentar as áreas verdes e diminuir os efeitos do calor já que um prédio com telhado verde pode chegar a uma temperatura de até seis graus mais baixa do que no seu entorno.

Além desse fato, a lei prevê também a construção de reservatórios para captação da água das chuvas em novos imóveis comerciais e residenciais com área de solos superior a 500 m<sup>2</sup> e, assim, tenha 25% da sua área impermeabilizada. A lei disponibiliza também o destino das águas coletadas nesse processo assim como

regulamenta a ampliação de áreas verdes no entorno de parques e praças com o afastamento de novos empreendimentos ao promover a arborização.

A Alemanha inclusive possui normatização e legislação para a técnica em questão: a DIN (Deutsches Institut für Normung ou Instituto Alemão para Normatização, 1986), que regulamenta e normatiza procedimentos para instalação e manutenção de telhados verdes.

A USEPA (Environmental Protection Agency ou Agencia de Proteção Ambiental dos Estados Unidos) considera que a principal função do telhado verde é absorver parte do volume de água da chuva e liberá-lo num ritmo reduzido e controlado. A grande parte das pesquisas e legislações tem sido implementadas exatamente nestas áreas, pioneiras na aplicação e desenvolvimento de telhados verdes como: Europa, Estados Unidos e, principalmente, a Alemanha, que é um dos principais pioneiros no uso de telhados verdes.

Na cidade de Esslingen, por exemplo, 50% do custo dos telhados verdes é retornado ao construtor, enquanto, em Darmstad, os usuários podem receber um ordenado máximo de € 5000 para a utilização de um telhado verde.

Em outros países, como Suíça e Áustria, os usuários são reembolsados em até 20% do custo utilizado para a implantação do telhado verde. Já, em Quebec, é oferecido um incentivo por m<sup>2</sup>de área utilizada.

Nos Estados Unidos, alguns estados estabeleceram políticas próprias e específicas devido às diferenças climáticas e à dificuldade de adaptação de um estado para outro. Em Oregon, por exemplo, 70% dos telhados estão sendo cobertos por um telhado verde. No entanto, a maioria das políticas tem sido estabelecidas para cidades maiores.

Considerando-se o alto consumo energético e ambiental dos edifícios, muitas políticas em todo o mundo estão encorajando edifícios mais sustentáveis e, muitas vezes, com a aplicação de telhados verdes.

A lei em Tóquio, no Japão, requer a instalação de telhados verdes em edifícios privados com áreas construídas maiores que 1000 m<sup>2</sup> e em edifícios públicos com áreas construídas maiores que 250m<sup>2</sup>.

Algumas opções para a implementação dos telhados verdes podem ser, simplesmente, a imposição no código da construção civil uma vez que todas as construções recentes baseiam-se neste documento. Porém, isso não resolve o problema das construções antigas que ainda não teriam a técnica aplicada, um problema que, aparentemente, só com o incentivo de políticas fiscais para ter sua resolução com maior êxito.

A tabela 3 apresenta critérios de implantação da técnica bem como os incentivos ou leis aplicadas em alguns países.

**Tabela 3–Políticas de incentivo em cada país.**

| País           | Estado/Cidade | Características   |
|----------------|---------------|---|
| Alemanha       | Munique       | obrigação de paisagem todos os telhados planos adequados, com uma área de superfície > 100 m <sup>2</sup>   |
|                | Esslingen     | 50% do custo de telhados verdes é pago de volta   |
|                | Darmstadt     | proprietários receber até € 5000 para o plantio de um telhado verde   |
| Canadá         | Toronto       | telhados verdes são necessários para todos os novos empreendimentos acima de 200 sq / m   |
|                | Vancouver     | todos os novos edifícios comerciais e industriais mais de 5000 metros quadrados devem possuir telhado verde, construtor será isento de taxas e licenças de desenvolvimento  |
| Estados Unidos | Chicago       | a cidade de Chicago oferece até 50% do custo ou US \$ 100.000 para o desenvolvimento de telhados verdes cobrindo 50% ou mais de um espaço na cobertura  |
|                | Baltimore     | taxa de crédito de até 10% do custo utilizado, para ser utilizada em novas técnicas de gestão ambiental   |
|                | Minneapolis   | qualquer edifício que melhora a gestão de águas pluviais através de telhados verdes recebe um crédito de 50% nas taxas de águas pluviais  |
|                | New York City | a cidade dá um crédito de imposto de um ano de até US \$ 100.000 (ou US \$ 4,5 por sq / ft) para telhados verdes que abrangem pelo menos 50% da área disponível   |
| Brasil         | Seattle       | a cidade oferece um Bônus de área bruta de 3 sq / ft por pé de telhado verde.   |
|                | Washington    | programa telhado verdes rebate fundos do distrito US \$ 5 por sq / ft de telhado verde  |
|                | Recife        | os projetos de edificações habitacionais multi familiares com mais de quatro pavimentos e não habitacionais com mais de 400m <sup>2</sup> de área de coberta deverão prever a implantação de "Telhado Verde" para sua aprovação |

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Localização e caracterização da área de estudo

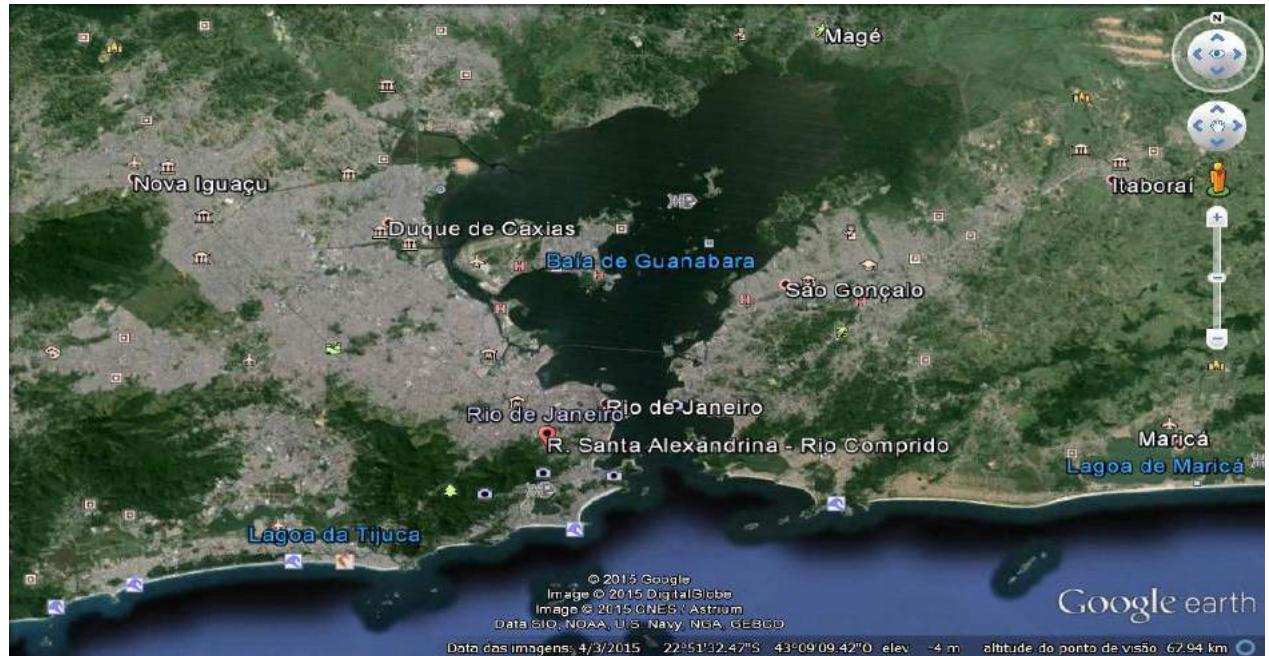
O objeto desse estudo é o Colégio de Aplicação da UERJ (CAp- UERJ) ou Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira situado no Bairro do Rio Comprido, região norte do município do Rio de Janeiro – RJ.

O bairro Rio Comprido pertence à Grande Tijuca, delimitado pela sub-bacia do Canal do Mangue, da Baía de Guanabara. Segundo dados do IBGE (2010), é um bairro de classe média da Zona Norte do Rio de Janeiro, tendo IDH de 0,849 referente ao ano de 2000, com área correspondente de 334,25 hectares e população total de 43764 em 2010.

A figura 10 abaixo mostra a localização do Estado do Rio de Janeiro na Região Sudeste e destaca a área da Tijuca, local do estudo.

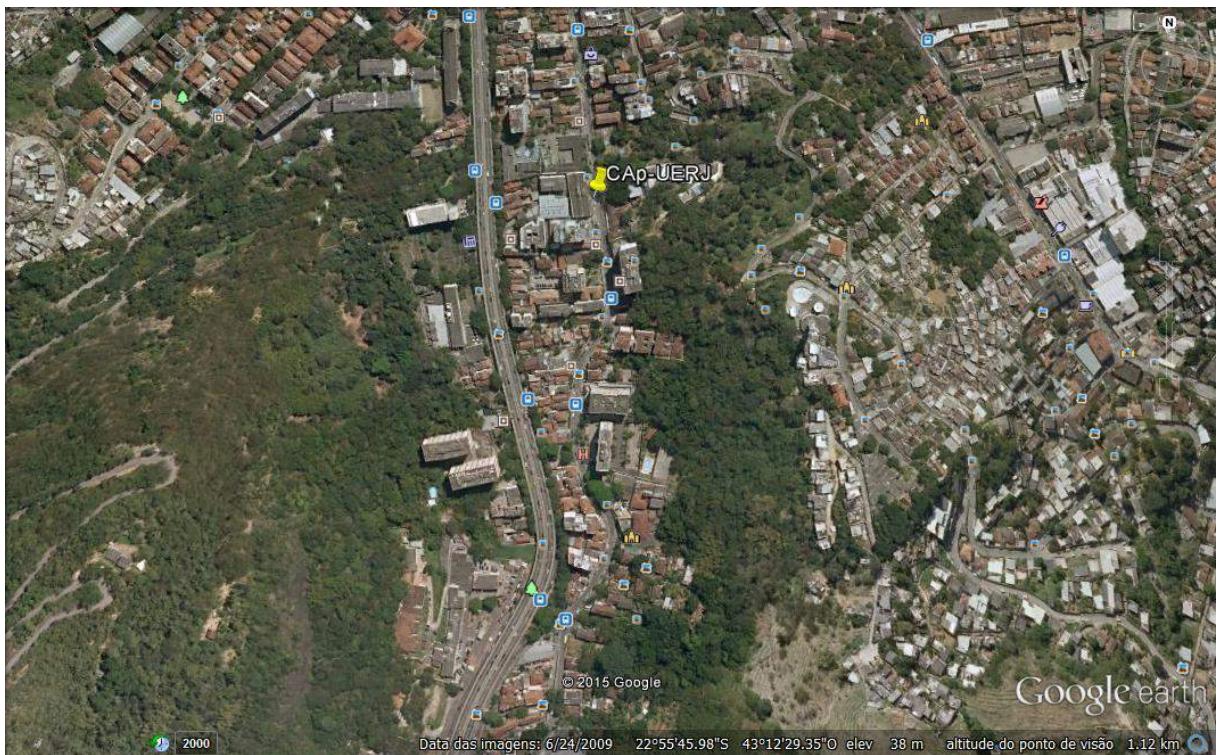
Em seguida, a figura 11 detalha na região do Rio Comprido, a localização da área de estudo (CAp-UERJ).

**Figura 10** - Localização do Instituto no Rio de Janeiro



Fonte: GOOGLE EARTH, 2015

**Figura 11 - Localização do CAp-UERJ no Bairro do Rio Comprido**



O bairro do Rio Comprido é composto por residências, hospitais, bares e lojas. Nas proximidades, pode-se encontrar shopping center, o estádio do Maracanã e uma região densamente povoada devido à urbanização dos bairros pertencentes à Grande Tijuca.

Diversos rios cortam a região, entre eles, o rio comprido, que desce a serra da Tijuca e deságua no canal do mangue, canal este que deságua diretamente na Baía de Guanabara. Sendo um dos principais rios da região, é um grande ponto de discussão quando se trata de inundações urbanas, que aumentaram consideravelmente com a ocupação descontrolada da bacia.

### **Caracterização da área de estudo**

O Instituto tem por objetivo promover a educação básica e a formação de professores em parceria com os institutos básicos da Universidade. As atividades de ensino são realizadas e articula-se em dois níveis: a educação básica e o ensino

médio, mediados e integrados pelas atividades de pesquisa, extensão e cultura.

Promove ainda projetos específicos, envolvendo servidores docentes, técnico-administrativos e estudantes da graduação, que atuam em cursos de alfabetização de jovens e adultos, de informática e da formação de agentes educadores, para citar apenas alguns dos projetos, prestando atendimento às comunidades interna e do entorno.

A figura 12, a seguir, mostra uma vista aérea do instituto em geral, colocando-nos à vista da área do projeto do telhado verde.

**Figura 12 - Vista aérea do CAp-UERJ**



### **Levantamento de dados pluviométricos**

O levantamento de dados pluviométricos utilizados neste trabalho foi obtido a partir de dados do Sistema Alerta Rio da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro para a estação Tijuca. A estação encontra-se no interior do Centro de Estudos do Sumaré, localizado na Estrada do Sumaré, 670, Rio Comprido, Rio de Janeiro – RJ em latitude -22,931944 e longitude -43,221667 e a uma distância de 1,8 km da área de estudo (CAp-UERJ), a Figura 13 mostra os dados acima apresentados.

**Figura 13 - Localização da estação pluviométrica**



Os dados coletados do Sistema Alerta Rio forneceram os totais de chuva (em mm) para intervalos de 15 em 15 minutos. Desta forma, calcularam-se os totais diáários, totais mensais, máxima precipitação diária e máxima precipitação em uma hora. As tabelas 4,5 e 6 apresentam os resultados para precipitações no mês em um período de vinte e quatro horas e no período de uma hora.

**Tabela 4- Precipitações médias mensais e média anual total 2011-2014.**

| <b>Mês / Ano</b> | <b>Precipitações em mm</b> |               |               |              |               |
|------------------|----------------------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
|                  | <b>2011</b>                | <b>2012</b>   | <b>2013</b>   | <b>2014</b>  | <b>Média</b>  |
| <b>Jan</b>       | 103,6                      | 180,8         | 353,8         | 28,8         | <b>142,2</b>  |
| <b>Fev</b>       | 87,4                       | 14,4          | 83,4          | 30,4         | <b>56,9</b>   |
| <b>Mar</b>       | 149,0                      | 91,0          | 358,0         | 98,6         | <b>123,8</b>  |
| <b>Abr</b>       | 357,4                      | 100,8         | 85,0          | 177,0        | <b>138,9</b>  |
| <b>Mai</b>       | 171,4                      | 99,6          | 169,2         | 45,8         | <b>134,4</b>  |
| <b>Jun</b>       | 39,8                       | 147,8         | 42,6          | 106,0        | <b>74,3</b>   |
| <b>Jul</b>       | 46,6                       | 46,6          | 171,8         | 100,6        | <b>73,6</b>   |
| <b>Ago</b>       | 36,8                       | 20,6          | 22,2          | 48,4         | <b>29,5</b>   |
| <b>Set</b>       | 57,4                       | 124,6         | 75,0          | 47,4         | <b>66,2</b>   |
| <b>Out</b>       | 138,2                      | 74,4          | 88,8          | 54,2         | <b>81,6</b>   |
| <b>Nov</b>       | 33,0                       | 119,8         | 138,2         | 82,2         | <b>101,0</b>  |
| <b>Dez</b>       | 171,8                      | 28,2          | 221,2         | 40,4         | <b>106,1</b>  |
| <b>Total</b>     | <b>1392,4</b>              | <b>1048,6</b> | <b>1809,2</b> | <b>859,8</b> | <b>1128,5</b> |

Fonte: SISTEMA ALERTA RIO, 2015.

**Tabela 5- Precipitações máximas em período de 24 horas, 2011-2014.**

| <b>Mês / Ano</b> | <b>Precipitações em mm</b> |              |              |              |              |
|------------------|----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                  | <b>2011</b>                | <b>2012</b>  | <b>2013</b>  | <b>2014</b>  | <b>Média</b> |
| <b>Jan</b>       | 56,0                       | 52,8         | 61,0         | 19,6         | <b>54,4</b>  |
| <b>Fev</b>       | 57,8                       | 10,0         | 38,0         | 14,6         | <b>26,3</b>  |
| <b>Mar</b>       | 40,2                       | 29,2         | 147,6        | 44,2         | <b>42,2</b>  |
| <b>Abr</b>       | 229,8                      | 42,6         | 47,8         | 94,4         | <b>71,1</b>  |
| <b>Mai</b>       | 46,0                       | 53,8         | 107,2        | 22,0         | <b>49,9</b>  |
| <b>Jun</b>       | 9,6                        | 58,4         | 38,0         | 72,8         | <b>48,2</b>  |
| <b>Jul</b>       | 36,8                       | 17,6         | 63,8         | 47,2         | <b>42,0</b>  |
| <b>Ago</b>       | 9,2                        | 17,2         | 16,4         | 33,8         | <b>16,8</b>  |
| <b>Set</b>       | 8,2                        | 69,8         | 47,2         | 27,8         | <b>37,5</b>  |
| <b>Out</b>       | 41,2                       | 30,6         | 35,8         | 19,8         | <b>33,2</b>  |
| <b>Nov</b>       | 13,0                       | 41,0         | 54,8         | 28,8         | <b>34,9</b>  |
| <b>Dez</b>       | 47,2                       | 11,4         | 120,4        | 11,4         | <b>29,3</b>  |
| <b>Total</b>     | <b>595,0</b>               | <b>434,4</b> | <b>778,0</b> | <b>436,4</b> | <b>485,8</b> |

Fonte: SISTEMA ALERTA RIO, 2015.

**Tabela 6 - Precipitações máximas em período de uma hora, 2011 – 2014.**

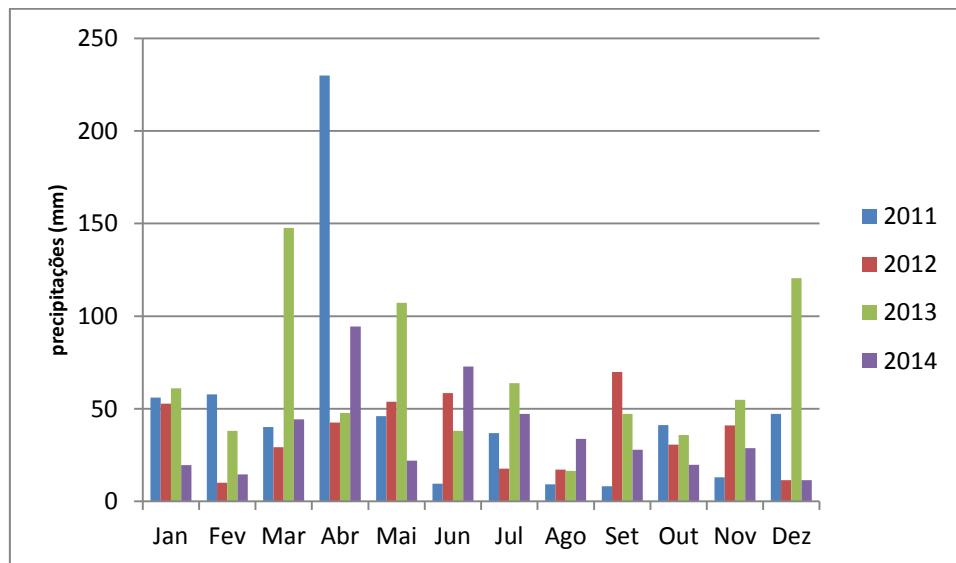
| <b>Mês / Ano</b> | <b>Precipitações em mm</b> |              |              |              |              |
|------------------|----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                  | <b>2011</b>                | <b>2012</b>  | <b>2013</b>  | <b>2014</b>  | <b>Média</b> |
| <b>Jan</b>       | 29,0                       | 13,4         | 54,2         | 9,8          | <b>21,2</b>  |
| <b>Fev</b>       | 26,2                       | 4,4          | 14,4         | 7,8          | <b>11,1</b>  |
| <b>Mar</b>       | 9,6                        | 11,0         | 86,0         | 14,6         | <b>12,8</b>  |
| <b>Abr</b>       | 74,0                       | 14,2         | 12,8         | 18,0         | <b>16,1</b>  |
| <b>Mai</b>       | 13,2                       | 15,2         | 18,2         | 5,4          | <b>14,2</b>  |
| <b>Jun</b>       | 4,4                        | 15,4         | 16,0         | 19,2         | <b>15,7</b>  |
| <b>Jul</b>       | 4,4                        | 9,4          | 12,0         | 9,0          | <b>9,2</b>   |
| <b>Ago</b>       | 4,2                        | 10,4         | 6,0          | 4,6          | <b>5,3</b>   |
| <b>Set</b>       | 1,4                        | 17,6         | 12,4         | 12,4         | <b>12,4</b>  |
| <b>Out</b>       | 20,2                       | 22,0         | 8,8          | 11,6         | <b>15,9</b>  |
| <b>Nov</b>       | 4,4                        | 8,8          | 15,2         | 9,8          | <b>9,3</b>   |
| <b>Dez</b>       | 21,6                       | 6,2          | 48,0         | 5,6          | <b>13,9</b>  |
| <b>Total</b>     | <b>212,6</b>               | <b>148,0</b> | <b>304,0</b> | <b>127,8</b> | <b>157,1</b> |

Fonte : SISTEMA ALERTA RIO, 2015.

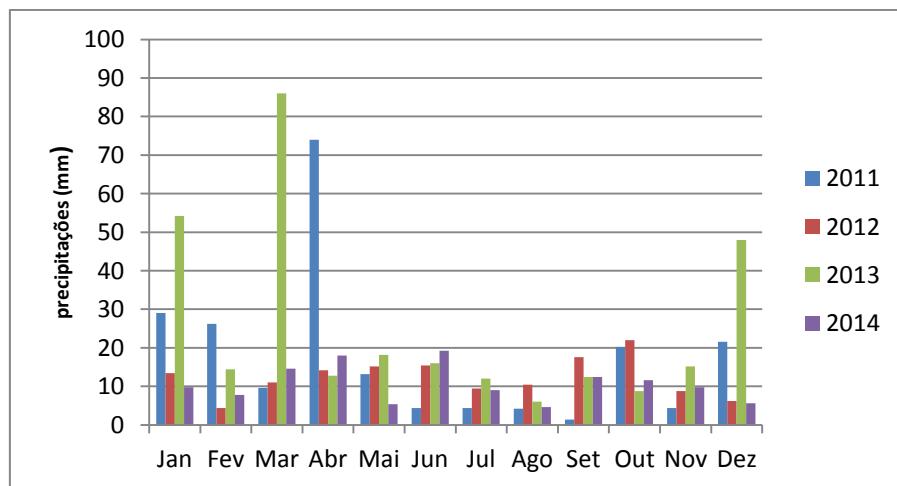
Durante o período de Janeiro de 2011 a dezembro de 2014, foram coletados dados de chuva e escoamento, dentre eles, os eventos máximos em um dia e em uma hora que possam representar a perda inicial da capacidade de armazenamento

do telhado verde conforme a intensidade da chuva. Nos Gráficos 01 e 02 a seguir, estão desenhados os gráficos das precipitações máximas em 24 horas e em uma hora para assim podermos vizualizar melhor os eventos selecionados.

**Gráfico 1 - Precipitações máximas em 24h no período de 2011-2014.**



**Gráfico 2- Precipitações máximas em uma hora no período de 2011 - 2014**



## 2.2. Método SCS

Este método foi desenvolvido pelo serviço de conservação de solos do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (SCS-USDA) e visa o cálculo do deflúvio total gerado, seja numa bacia ou em uma área de contribuição, sendo, assim, considerado adequado como estimativa da capacidade de armazenamento ou da precipitação efetiva no telhado verde.

O embasamento físico do método é entendido pela equação (1)

$$\frac{\text{Volume Infiltrado}}{\text{Capacidade máxima de Absorção}} = \frac{\text{Precipitação total efetiva}}{\text{precipitação total}} \quad (1)$$

KOHLER e RICHARDS (1962 apud TUCCI 2001) verificaram que, em média, as perdas iniciais representavam 20% (vinte por cento) da capacidade máxima de armazenamento do solo. Para determinar a capacidade máxima da camada superior do solo, os autores relacionaram esse parâmetro da bacia com um fator CN através da expressão (2):

$$S = \left( \frac{25400}{CN} \right) - 254 \quad (2)$$

Na realidade, existem perdas iniciais no processo, associadas à infiltração inicial, retenção pelas depressões do terreno e pela cobertura vegetal, as quais são denominadas abstrações iniciais. Assim, obtém-se a seguinte formulação (3):

$$\frac{P-Q-I_a}{S-I_a} = \frac{Q}{P} \quad (3)$$

Em que P é a precipitação total, Q, o deflúvio ou precipitação efetiva, S, a capacidade máxima de absorção de água e I<sub>a</sub>, abstrações iniciais. Segundo autores, as perdas representavam 20% de S, deixando, desta forma, a presente equação (4) do deflúvio:

$$Q = \frac{(P-0,20.S)^2}{P+0,80.S} \quad (4)$$

Os valores de CN variam de 1 a 100 e estão associados a diversos parâmetros fisiográficos como, a saber: cobertura vegetal, umidade do solo antecedente ao evento e classe do solo. Existem quatro grupos de solos para esta classificação:

- Grupo A: produzem pequeno escoamento e alta infiltração, caracterizados por alto teor de areia, que possui alta permeabilidade, e pela alta profundidade.

- Grupo B: são arenosos, porém menos que os do grupo A, e em menor profundidade.

- Grupo C: capacidade de infiltração média e baixa, percentual elevado de argila e pouco profundo.

- Grupo D: solo com pouca profundidade e baixa capacidade de infiltração

A partir de uma análise rápida, podemos concluir que a classificação acima é bastante superficial, não sendo consistente em vários aspectos, tais como: compactação e intemperismo, o qual atribui aspectos físico-químicos e mineralógicos marcantes em solos tropicais.

Esses grupos de solos e seus atributos foram desenvolvidos com base nas condições de clima temperado, com menor grau de intemperismo, condições nas quais foram desenvolvidos os primeiros projetos nessa área, enquanto que, em solos tropicais, a estrutura é o fator determinante.

Apesar da dificuldade na determinação do parâmetro e na ausência de informações mais precisas, apresentamos a tabela 9 com diversos valores de CN em cobertura vegetal.

**Tabela 7 - Valores de CN para diversas coberturas vegetais**

| Uso do solo           | Superfície              | Tipos de Solo |    |    |    |
|-----------------------|-------------------------|---------------|----|----|----|
|                       |                         | A             | B  | C  | D  |
| Solo Lavrado          | com sulcos retilíneos   | 77            | 86 | 91 | 94 |
|                       | em Fileiras Retas       | 70            | 80 | 87 | 90 |
| Plantações regulares  | em curvas de níveis     | 67            | 77 | 83 | 87 |
|                       | terraceamento em níveis | 64            | 76 | 84 | 88 |
| Plantações de Legumes | em Fileiras retas       | 64            | 76 | 84 | 88 |
|                       | Em curvas de níveis     | 60            | 72 | 81 | 84 |
| Pastagens             | terraceamento em nível  | 57            | 70 | 78 | 89 |
|                       | Pobres                  | 68            | 79 | 86 | 89 |
| Campos permanentes    | Normais                 | 49            | 69 | 79 | 94 |
|                       | Boas                    | 39            | 61 | 74 | 80 |
|                       | pobres,em nível         | 47            | 67 | 81 | 88 |
|                       | normais, em nível       | 25            | 59 | 73 | 83 |
|                       | boas, em nível          | 6             | 35 | 70 | 79 |
|                       | Normais                 | 30            | 58 | 71 | 78 |
|                       | Esparsos                | 45            | 66 | 77 | 83 |

| Uso do solo                   | Superfície            | Tipos de Solo |    |    |    |
|-------------------------------|-----------------------|---------------|----|----|----|
|                               |                       | 36            | 60 | 73 | 79 |
| Chácaras de estradas de terra | Transpiração normais  | 36            | 60 | 73 | 79 |
|                               | densas                | 25            | 55 | 70 | 77 |
|                               | Normais               | 56            | 75 | 86 | 91 |
|                               | más                   | 72            | 82 | 87 | 89 |
|                               | de superfície dura    | 74            | 84 | 90 | 92 |
|                               | Muito esparsas        | 56            | 75 | 86 | 91 |
|                               | transpiração esparsas | 46            | 68 | 78 | 84 |
|                               | densas                | 26            | 52 | 62 | 69 |
|                               | normais               | 36            | 60 | 70 | 76 |
|                               |                       |               |    |    |    |

Fonte: SCS (1986).

Através dos resultados obtidos, podemos, assim, calcular a eficiência do telhado verde para os eventos escolhidos, comparando os valores infiltrados com os valores iniciais conforme a equação 6.

$$E(\%) = [1 - \left( \frac{Q_{escoa}}{Q_{total}} \right)] \times 100 \quad (6)$$

Uma vez que os processos hidrológicos envolvidos no substrato do telhado verde são dinâmicos, as características hidrológicas, que geram o escoamento sobre o telhado verde, devem ser avaliadas criteriosamente, pois são passíveis de interferência que possa comprometer os resultados de armazenamento. Deve-se levar em consideração, além das condições de umidade antecedente do solo, a intensidade pluviométrica no período e a porosidade do solo. Mesmo em baixos índices pluviométricos, podem ocorrer elevadas taxas de escoamento superficial ou de retenção de água pelo solo devido às condições de saturação do solo.

O comportamento hidrológico proporcionado pelo telhado verde, após a ocorrência de uma sequência de precipitações, indica que, após o início das chuvas, existe um intervalo de tempo para o início do escoamento dependendo das condições de umidade do solo. Conforme OHNUMA JR. (2008), este intervalo deve-se ao armazenamento e perdas iniciais por interceptação e depressões sobre o telhado além do próprio tempo de retardo de resposta da superfície devido ao deslocamento da água até o início de seu escoamento.

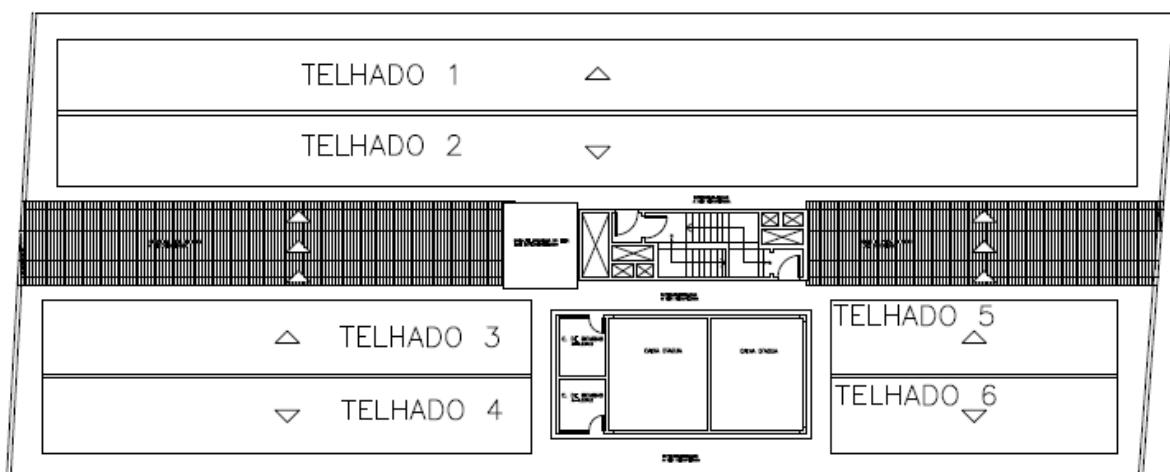
### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Cálculo da área dos telhados

A partir da planta de cobertura obtida na instituição, foi possível calcular a área de projeção da cobertura para implantação do telhado verde. Para melhor visualização dos cálculos e do projeto em questão, seguem as figuras abaixo:

- Área do telhado no Bloco A:

**Figura 14 - Identificação dos Telhados no Bloco A**

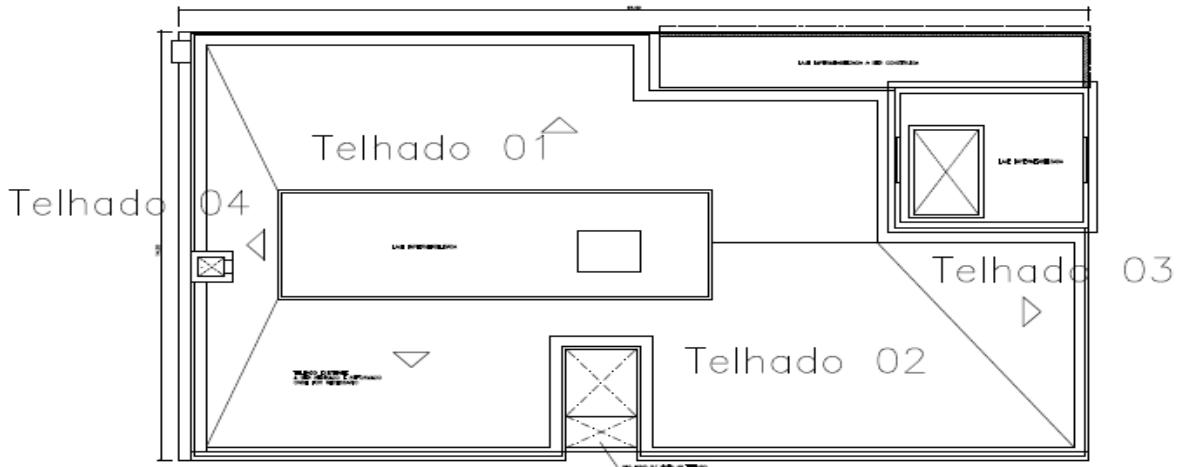


**Tabela 8 - Dados do Telhado A -**

| <b>Dados Telhado - Bloco A</b> |                        |            |
|--------------------------------|------------------------|------------|
| Telhado                        | Área (m <sup>2</sup> ) | Inclinação |
| 1                              | 132,37                 | 5,07%      |
| 2                              | 132,37                 | 5,07%      |
| 3                              | 61,98                  | 5,07%      |
| 4                              | 61,98                  | 5,07%      |
| 5                              | 36,67                  | 5,07%      |
| 6                              | 36,67                  | 5,07%      |

-Área do telhado Bloco B

**Figura 15 - Identificação dos Telhados no Bloco B**



**Tabela 9 - Dados para Telhado Bloco B**

| <b>Dados Telhado - Bloco B</b> |                        |            |
|--------------------------------|------------------------|------------|
| Telhado                        | Área (m <sup>2</sup> ) | Inclinação |
| 1                              | 81,58                  | 5,07%      |
| 2                              | 104,67                 | 5,07%      |
| 3                              | 18,88                  | 5,07%      |
| 4                              | 17,03                  | 5,07%      |

### 3.2. Cálculo de Retenção

O processo de cálculo será iniciado, citando que adotaremos a condição de umidade zero para o início dos eventos sendo o valor de CN adotado, segundo Ohnuma Jr. (2008), com valor igual a 86,

Através do valor do parâmetro CN definido, podemos calcular o valor da capacidade de infiltração máxima e as abstrações iniciais que serão adotadas no projeto, valores que estão apresentados nas Tabelas 10,11,12 e 13, a seguir:

A partir da escolha e cálculo dos parâmetros, é necessária a escolha de eventos pluviométricos no período escolhido. Foram listados todos os eventos em máximas de uma para que fosse possível mostrar os eventos com maior intensidade e com menor intensidade pluviométrica e, assim, analisar a eficiência dentre os eventos listados.

Após uma análise dos dados, foram escolhidos índices de alta e baixa pluviometria, conforme já citado, para que pudéssemos analisar, então, o deflúvio calculado nas Tabelas 10,11,12 e 13, a seguir:

**Tabela 10 – Valores de Retenção e escoamento no ano de 2011**

|           | 2011  |    |       |        |                   |                 |              |
|-----------|-------|----|-------|--------|-------------------|-----------------|--------------|
|           | P(mm) | CN | S(mm) | Ia(mm) | Q(mm)- Escoamento | Q(mm)- Retenção | Retenção (%) |
| Janeiro   | 29,00 | 86 | 41,35 | 8,27   | 6,92              | 22,08           | 76,13%       |
| Fevereiro | 26,20 | 86 | 41,35 | 8,27   | 5,42              | 20,78           | 79,30%       |
| Março     | 9,60  | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,04              | 9,56            | 99,57%       |
| Abril     | 74,00 | 86 | 41,35 | 8,27   | 40,35             | 33,65           | 45,48%       |
| Maio      | 13,20 | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,53              | 12,67           | 96,02%       |
| Junho     | 4,40  | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,00              | 4,40            | 100,00%      |
| Julho     | 4,40  | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,00              | 4,40            | 100,00%      |
| Agosto    | 4,20  | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,00              | 4,20            | 100,00%      |
| Setembro  | 1,40  | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,00              | 1,40            | 100,00%      |
| Outubro   | 20,20 | 86 | 41,35 | 8,27   | 2,67              | 17,53           | 86,78%       |
| Novembro  | 4,40  | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,00              | 4,40            | 100,00%      |
| Dezembro  | 21,60 | 86 | 41,35 | 8,27   | 3,25              | 18,35           | 84,95%       |

**Tabela 11 - Valores de Retenção e escoamento no ano de 2012**

|           | 2012  |    |       |        |                   |                 |              |
|-----------|-------|----|-------|--------|-------------------|-----------------|--------------|
|           | P(mm) | CN | S(mm) | Ia(mm) | Q(mm)- Escoamento | Q(mm)- Retenção | Retenção (%) |
| Janeiro   | 13,4  | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,57              | 12,83           | 95,77%       |
| Fevereiro | 4,4   | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,00              | 4,40            | 100,00%      |
| Março     | 11    | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,17              | 10,83           | 98,46%       |
| Abril     | 14,2  | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,74              | 13,46           | 94,76%       |
| Maio      | 15,2  | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,99              | 14,21           | 93,46%       |
| Junho     | 15,4  | 86 | 41,35 | 8,27   | 1,05              | 14,35           | 93,19%       |
| Julho     | 9,4   | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,03              | 9,37            | 99,68%       |
| Agosto    | 10,4  | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,10              | 10,30           | 99,00%       |
| Setembro  | 17,6  | 86 | 41,35 | 8,27   | 1,72              | 15,88           | 90,24%       |
| Outubro   | 22    | 86 | 41,35 | 8,27   | 3,42              | 18,58           | 84,44%       |
| Novembro  | 8,8   | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,01              | 8,79            | 99,92%       |
| Dezembro  | 6,2   | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,00              | 6,20            | 100,00%      |

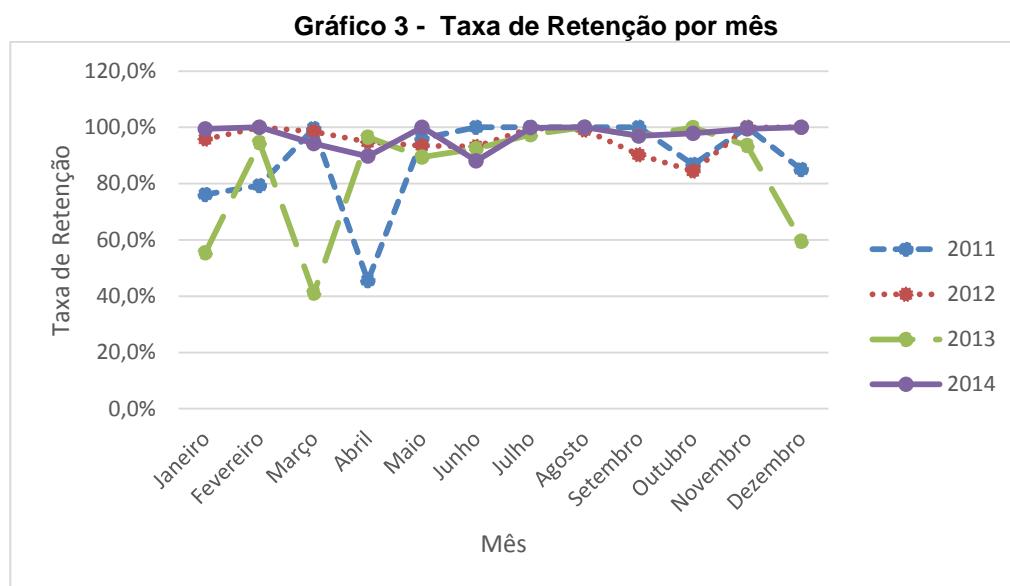
**Tabela 12 - Valores de Retenção e escoamento no ano de 2013**

|           | 2013  |    |       |        |                   |                 |              |
|-----------|-------|----|-------|--------|-------------------|-----------------|--------------|
|           | P(mm) | CN | S(mm) | Ia(mm) | Q(mm)- Escoamento | Q(mm)- Retenção | Retenção (%) |
| Janeiro   | 54,20 | 86 | 41,35 | 8,27   | 24,17             | 30,03           | 55,40%       |
| Fevereiro | 14,40 | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,79              | 13,61           | 94,50%       |
| Março     | 86,00 | 86 | 41,35 | 8,27   | 50,74             | 35,26           | 41,00%       |
| Abril     | 12,80 | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,45              | 12,35           | 96,51%       |
| Maio      | 18,20 | 86 | 41,35 | 8,27   | 1,92              | 16,28           | 89,43%       |
| Junho     | 16,00 | 86 | 41,35 | 8,27   | 1,22              | 14,78           | 92,39%       |
| Julho     | 12,00 | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,31              | 11,69           | 97,43%       |
| Agosto    | 6,00  | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,00              | 6,00            | 100,00%      |
| Setembro  | 12,40 | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,38              | 12,02           | 96,98%       |
| Outubro   | 8,80  | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,01              | 8,79            | 99,92%       |
| Novembro  | 15,20 | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,99              | 14,21           | 93,46%       |
| Dezembro  | 48,00 | 86 | 41,35 | 8,27   | 19,47             | 28,53           | 59,44%       |

**Tabela 13 - Valores de Retenção e escoamento no ano de 2014**

|           | 2014  |    |       |        |                   |                 |              |
|-----------|-------|----|-------|--------|-------------------|-----------------|--------------|
|           | P(mm) | CN | S(mm) | Ia(mm) | Q(mm)- Escoamento | Q(mm)- Retenção | Retenção (%) |
| Janeiro   | 9,80  | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,05              | 9,75            | 99,44%       |
| Fevereiro | 7,80  | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,00              | 7,80            | 100,00%      |
| Março     | 14,60 | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,84              | 13,76           | 94,24%       |
| Abril     | 18,00 | 86 | 41,35 | 8,27   | 1,85              | 16,15           | 89,70%       |
| Maio      | 5,40  | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,00              | 5,40            | 100,00%      |
| Junho     | 19,20 | 86 | 41,35 | 8,27   | 2,29              | 16,91           | 88,10%       |
| Julho     | 9,00  | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,01              | 8,99            | 99,86%       |
| Agosto    | 4,60  | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,00              | 4,60            | 100,00%      |
| Setembro  | 12,40 | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,38              | 12,02           | 96,98%       |
| Outubro   | 11,60 | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,25              | 11,35           | 97,86%       |
| Novembro  | 9,80  | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,05              | 9,75            | 99,44%       |
| Dezembro  | 5,60  | 86 | 41,35 | 8,27   | 0,00              | 5,60            | 100,00%      |

Os valores estão apresentados na tabelas necessitam de uma melhor visualização em conjunto e para agrupar tais dados o gráfico 3 a seguir é apresentado.



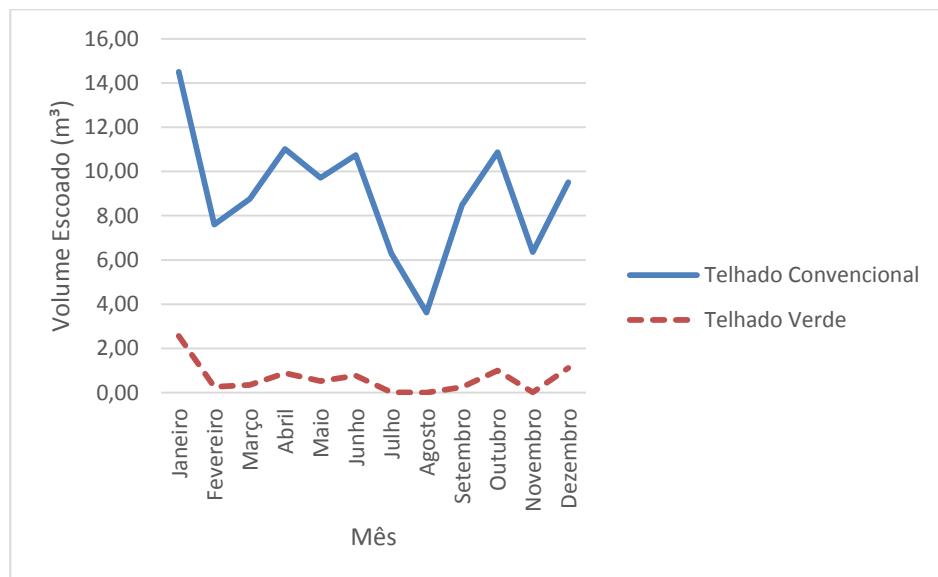
Para uma melhor visualização da ideia e quantificação dos valores citados, a tabela 17 mostra o volume escoado no telhado convencional e a tabela 18, o volume escoado no telhado verde.

|           | Telhado Convencional – (m <sup>3</sup> ) |  |                |  |                | Média |                |
|-----------|--|--|----------------|--|----------------|-------|----------------|
|           | 2011                                     |  | 2012           |  | 2013           |       |                |
|           | Volume Escoado                           |  | Volume Escoado |  | Volume Escoado |       | Volume Escoado |
| Janeiro   | 19,84                                    |  | 9,17           |  | 37,08          |       | 6,71           |
| Fevereiro | 17,93                                    |  | 3,01           |  | 9,85           |       | 5,34           |
| Março     | 6,57                                     |  | 7,53           |  | 58,84          |       | 9,99           |
| Abril     | 50,63                                    |  | 9,72           |  | 8,76           |       | 12,32          |
| Maio      | 9,03                                     |  | 10,40          |  | 12,45          |       | 3,69           |
| Junho     | 3,01                                     |  | 10,54          |  | 10,95          |       | 13,14          |
| Julho     | 3,01                                     |  | 6,43           |  | 8,21           |       | 6,16           |
| Agosto    | 2,87                                     |  | 7,12           |  | 4,11           |       | 3,15           |
| Setembro  | 0,96                                     |  | 12,04          |  | 8,48           |       | 8,48           |
| Outubro   | 13,82                                    |  | 15,05          |  | 6,02           |       | 7,94           |
| Novembro  | 3,01                                     |  | 6,02           |  | 10,40          |       | 6,71           |
| Dezembro  | 14,78                                    |  | 4,24           |  | 32,84          |       | 3,83           |

**Tabela 14 – Volume Escoado no Telhado Convencional**

**Tabela 15 - Volume Escoado no Telhado verde**

|           | Telhado Verde – (m <sup>3</sup> ) |                |                |                | Média |
|-----------|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------|-------|
|           | 2011                              | 2012           | 2013           | 2014           |       |
|           | Volume Escoado                    | Volume Escoado | Volume Escoado | Volume Escoado |       |
| Janeiro   | 4,74                              | 0,39           | 16,54          | 0,04           | 2,56  |
| Fevereiro | 3,71                              | 0,00           | 0,54           | 0,00           | 0,27  |
| Março     | 0,03                              | 0,12           | 34,72          | 0,58           | 0,35  |
| Abril     | 27,61                             | 0,51           | 0,31           | 1,27           | 0,89  |
| Maio      | 0,36                              | 0,68           | 1,32           | 0,00           | 0,52  |
| Junho     | 0,00                              | 0,72           | 0,83           | 1,56           | 0,78  |
| Julho     | 0,00                              | 0,02           | 0,21           | 0,01           | 0,01  |
| Agosto    | 0,00                              | 0,07           | 0,00           | 0,00           | 0,00  |
| Setembro  | 0,00                              | 1,18           | 0,26           | 0,26           | 0,26  |
| Outubro   | 1,83                              | 2,34           | 0,00           | 0,17           | 1,00  |
| Novembro  | 0,00                              | 0,00           | 0,68           | 0,04           | 0,02  |
| Dezembro  | 2,22                              | 0,00           | 13,32          | 0,00           | 1,11  |

**Gráfico 4 – Comparação do Volume Escoado no telhado verde e no telhado convencional**

### 3.3.– Composição do Telhado Verde para o projeto

Independente da metodologia e demais características adotadas, o ponto de partida para construção de um telhado verde é a preparação da superfície com a impermeabilização adequada e um sistema de drenagem que não permita o acúmulo de água.

Nesse quesito, diante das inúmeras alternativas apresentadas anteriormente, foi realizado um estudo no qual se apresentasse a melhor relação custo-benefício além de uma fácil aquisição e manutenção. Diante disto, a opção deu-se pela combinação de armaduras de poliéster com betume modificado (aglomerante de manta asfáltica plastomérica ou elastomérica), fabricado pela fusão de betume com feltros orgânicos, gerando um subproduto, onde são adicionados outros materiais como polímeros, para adquirir flexibilidade, elasticidade e força, podendo ainda ser adicionados outros componentes como alumínio e polietileno, além de aditivos herbicidas em mono ou dupla camada, a fim de inibir a penetração de raízes das plantas na estrutura.

Imediatamente sobre a superfície impermeabilizada, é colocada uma camada drenante contendo argila expandida, escolhida por sua leveza, porosidade e forma esférica, disposta em camadas de aproximadamente 7 cm de espessura. Sobre a camada drenante, é utilizada a camada filtrante, composta de material geotêxtil de 180g/m<sup>2</sup> de forma a recobrir toda a superfície e o perímetro dos rodapés em altura mínima de 20 cm.

A formulação da composição dos substratos considerou que o substrato almejado deva possuir características, tais como: resistir ao clima da região de estudo com o mínimo de manutenção, suportar de forma satisfatória uma determinada espécie vegetal que maximize a vida útil do sistema e, ainda, atender ao objetivo de se mitigar o volume de águas de escoamento pluvial.

Em função de todos esses pré-requisitos, foi feita a opção por um substrato composto pela mistura, entre os compostos minerais, de: 35% de argila expandida, 17,5% de areia e 17,5% argila e, entre os orgânicos, de: 22,5% de húmus, 5% de fibra de coco e 2,5% de pó de coco.

Diante da composição do substrato apresentada acima, a opção pela vegetação de cobertura, que melhor se adapta a ele e, mais facilmente, se adapta às variações climáticas da região, são as espécies: *Ophiopogon japonicus* (grama amendoim) e *Paspalum notatum* (grama batatais).

Essas espécies receberam avaliação positiva em estudos recentes: apresentaram boa resistência às variações climáticas e mostraram-se eficientes nos quesitos cobertura do solo, crescimento vertical e sobrevivência além de exigirem recobrimentos da ordem de 0,10m para o substrato.

### 3.4. – Custos

Diante dos resultados apresentados e, tendo em vista que o custo de um projeto é um fator relevante para sua execução, apresenta-se abaixo uma base para o projeto descrito aqui a qual considera os materiais citados acima e seus valores unitários para uma composição de valor/m<sup>2</sup>.

Os valores citados nessa fase estão demonstrados como fonte na tabela 19 mostrada abaixo. Além disto, o valor do custo final está sendo considerado em duas moedas para que futuros trabalhos possam usá-lo como base tendo em vista que a inflação modifica muito o preço por metro quadrado do telhado verde.

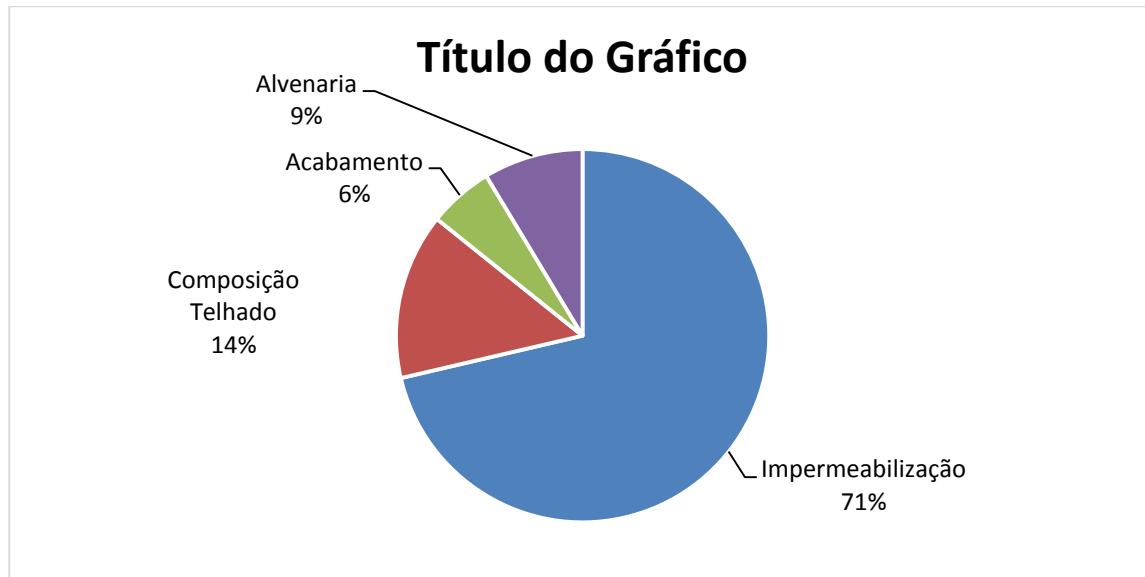
Abaixo, segue a tabela com uma proposta de valores para a implantação do telhado verde, lembrando que os valores variam de acordo com as condições impostas no momento da execução do projeto, o que torna esta tabela apenas em uma proposta a qual deve ser revista no momento da aprovação do projeto.

Os valores descritos foram retirados em parte da tabela de índices da construção civil da EMOP e parte de prestadores de serviço especializados, e foram alocados em grupos para uma composição visual do orçamento do projeto. A fase de impermeabilização foi considerada como o preparo da superfície adicionada do tratamento no piso e parede. A fase de composição do telhado foi considerada como a soma da argila expandida com o substrato e a grama amendoim. A fase de acabamento foi considerada somente com a implantação do mármore com cimento. E por fim a fase de Alvenaria foi considerada como a soma da parcela da elevação da alvenaria e o revestimento da mesma. Com a composição destes custos o gráfico 5 demonstra a parcela de cada custo do telhado verde.

**Tabela 16 – Apresentação de Custos de Implantação do Telhado Verde**

| <b>OBRA: IMPLANTAÇÃO DE TELHADO VERDE - CAP UERJ</b> |  |               |                |                      |               |
|--|--|---------------|----------------|----------------------|---------------|
| <b>DATA: 14/06/2015</b>                              |  |               |                |                      |               |
| <b>ITEM</b>  | <b>DESCRÍÇÃO</b>   | <b>QUANT.</b> | <b>UN.</b>     |                      |               |
|  |  |               |                | <b>UNIT</b>          | <b>TOTAL</b>  |
| 1  | <b>Impermeabilização - Manta Asfáltica 4mm Ardosizada Colada á Quente</b>                    | 723,64        | m <sup>2</sup> | R\$ 50,14            | R\$ 36.283,31 |
| 2  | <b>Tratamento de meia cana Piso / Parede</b>   | 49,56         | m <sup>2</sup> | R\$ 82,00            | R\$ 4.063,92  |
| 3  | <b>Argila Expandida</b>  | 89,21         | Kg             | R\$ 6,99             | R\$ 623,58    |
| 4  | <b>Chapim em Granito New Icarai Polido dos dois lados com pingadeira e Largura até 25 cm</b> | 39,56         | ml             | R\$ 102,00           | R\$ 4.035,12  |
| 5  | <b>Contrapiso</b>  | 674,08        | m <sup>2</sup> | R\$ 16,20            | R\$ 10.920,10 |
| 6  | <b>Substrato - Com mistura já realizada</b>  | 78,41         | m <sup>3</sup> | R\$ 98,35            | R\$ 7.711,62  |
| 7  | <b>Grama Amendoin</b>  | 674,08        | m <sup>2</sup> | R\$ 2,98             | R\$ 2.008,76  |
| 8  | <b>Alvenaria - ELEVAÇÃO DE ALVENARIA 11,5cm (incluso marcação e aperto)</b>                  | 39,56         | m <sup>2</sup> | R\$ 23,20            | R\$ 917,79    |
| 9  | <b>Revestimento de alvenaria</b>   | 148,90        | m <sup>2</sup> | R\$ 35,50            | R\$ 5.285,95  |
| 10   | <b>Frete</b>   | 5,00          | unid           | R\$ 150,00           | R\$ 750,00    |
| <b>TOTAL</b>   |  |               |                | <b>R\$ 72.600,15</b> |               |
| <b>TOTAL ( DOLAR COTADO A R\$3,20 EM 14/06/2015)</b> |  |               |                | <b>\$ 22.687,55</b>  |               |
| <b>PREÇO COMPOSIÇÃO (R\$/m<sup>2</sup>)</b>          |  |               |                | <b>R\$ 107,70</b>    |               |
| <b>Condições Comerciais</b>                          |  |               |                |                      |               |
| <b>IMPOSTOS</b>                                      |  |               |                |                      |               |
| <b>Quanto aos Prazos</b>                             |  |               |                |                      |               |
| Prazo para Mobilização                               |  |               |                |                      |               |
| 7 dias   |  |               |                |                      |               |
| Prazo para Início / entregas                         |  |               |                |                      |               |
| 3 dias   |  |               |                |                      |               |
| Prazo para instalação                                |  |               |                |                      |               |
| 35 dias  |  |               |                |                      |               |
| <b>Quanto aos fornecimentos</b>                      |  |               |                |                      |               |
| Especificação Técnica Considerada                    |  |               |                |                      |               |
| INCLUSO  |  |               |                |                      |               |
| Fornecimentos de materiais                           |  |               |                |                      |               |
| INCLUSO  |  |               |                |                      |               |
| Perdas Consideradas ou à considerar                  |  |               |                |                      |               |
| NÃO CONSIDERADO                                      |  |               |                |                      |               |
| Pontos de energia elétrica e água                    |  |               |                |                      |               |
| FORNECIDO NO LOCAL                                   |  |               |                |                      |               |
| Mão de Obra  |  |               |                |                      |               |
| INCLUSO  |  |               |                |                      |               |
| Material   |  |               |                |                      |               |
| INCLUSO  |  |               |                |                      |               |

**Gráfico 5 – Composição de Custos para a implantação do telhado verde**



#### 4. CONCLUSÃO

Após uma análise dos resultados inseridos nesse trabalho, pode-se verificar que a estrutura do telhado verde é mais eficiente enquanto o índice pluviométrico é pequeno. Com o substrato em condições iniciais, o telhado verde mostra-se eficiente até o seu ponto de saturação, diminuindo, assim, a eficácia do Telhado Verde. Para os eventos de alto índice pluviométrico, o substrato mostrou-se em processo de saturação e, assim, apresentou um menor poder de infiltração, uma vez que o solo esgotaria sua capacidade de absorção caso a precipitação aumentasse.

Com índices pluviométricos baixos, o Telhado Verde mostrou-se muito eficiente, porém os valores encontrados não são necessariamente reais tendo em vista que foi considerado um solo seco no início dos eventos.

É necessário o projeto de um reservatório a fim de coletar a precipitação da água retida na estrutura do Telhado Verde assim como a implantação de um sistema de irrigação automático para a manutenção do mesmo uma vez que, neste projeto, apenas foram feitas previsões para tal sistema.

O cálculo da taxa de retenção hídrica expressa que o Telhado Verde é, em média, 80% mais eficiente do que o telhado convencional.

Considerando a referência de origem canadense FLL (2002), com resultado médio anual em torno de 55%, aumentando o número de eventos ao longo do ano e aproximando os eventos encontrados, foi possível verificar uma aproximação do

resultado teórico do presente estudo com o da referência. Estudos obtidos por KÖEHLER *et al.* (2003) afirmam que, cerca de 75% das chuvas precipitadas, são capazes de ficar retidas no substrato do Telhado Verde.

No entanto, eficiências elevadas conforme são citadas neste projeto e, por alguns autores, dependem de fatores climáticos, geográficos e de execução do projeto, devendo, portanto, serem estudadas individualmente e não de forma generalizada.

As recomendações para trabalhos futuros incluem o dimensionamento de um reservatório para a captação desta área , uma análise da qualidade da água da chuva proveniente da cobertura verde para seu aproveitamento e o dimensionamento de um sistema mecânico de irrigação para a área do presente estudo.

## 5. REFERÊNCIAS

BAPTISTA, M.B.; NASCIMENTO, N.O. *Aspectos Institucionais e de Financiamento dos sistemas de drenagem Urbana*. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Jan/Mar, 2002.

BEATRICE, C.C. *Avaliação do potencial de uso de três espécies vegetais como cobertura leve de telhados em edificações* – Dissertação de Mestrado - São Carlos. São Paulo. 2011.

BEVEN, K. *Runoff Production and Flood Frequency in Catchments of Order n: An Alternative Approach*. In: Scale problems in Hydrology. Water Science and Technology Library. v. 6, 1986.107-131 p.

BLISS, D.J.; NEUFELD, R.; RIES, R.J. *Storm Water Runoff Mitigation Using a Green Roof*. Environmental Engineering Science, v. 26. 2009. 2 p.

BRENNEISEN, S. *Green roofs: How nature returns to the city*. International Conference on Urban Horticulture – ISHS Acta Horticulture 643, 2004. 289–93 p.

CABUGOS, L. *An evaluation Of Five Native Plant Species For Use In Green Roofs And Storm Water Management in Hawaii*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Hawaii, Manoa, Hawai, Estados Unidos da América, 2008.

CARTER, T.; FOWLER, L. *Establishing green roof infrastructure through environmental policy instruments*. Environ Manage v. 42(1), 2008.151–64 p.

- CARVALHO, J.C.; LELIS, A.C. "Cartilha Infiltração – Volume 2." Série Geotécnica UnB. Brasília, 2000.
- COLLISCHONN, W.; TASSI, R. "Introduzindo Hidrologia." Rio Grande do Sul: Editora UFRGS, 2008. 260 p.
- DEL BARRIO, E.P.D. *Analysis of the green roofs cooling potential in buildings. Energy and Buildings*, v.27, 1998. 179-193 p.
- DUNNETT, N; KINGSBURY, N. *Planting Green Roofs and Living Walls*. Timber Press, Portland, 2004.
- DUNNETT, N.; NOLAN, A. *The effect of substrate depth and supplementary watering on the growth of nine herbaceous perennials in a semi-intensive green roof*. Acta hort. v.634, 2004. 305-309 p.
- DURHMAN, A.K.; ROWE, D.B.; RUGH, C.L. *Effect of Substrate Depth on Initial Growth, Coverage, and Survival of 25 Succulent Green Roof Plant Taxa*. HortScience v. 42, n.3, 2007, 588-595 p.
- FARZANEH, R.; JARRETT, A.; BERGHAGE, R.D.; BEATTIE, D.J. *Evapotranspiration Rates from Extensive green Roof Plant Species*. In: Annual International Meeting Sponsored – (ASABE), Flórida, Estados Unidos da América. 2005.
- FERRAZ, I. L.; LEITE, B.C.C. *Amendoim no telhado: O Comportamento da grama amendoim (Arachisrepens) na cobertura verde extensiva*. VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, Vitória, 2011.
- FLL(2002). *Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen*. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau. V(FLL), Bonn. Apud: NGAN,G(2004). *Green Roof Policies: Tools for encouraging Sustainable Design*. Landscape Architect Canada Foundation.
- GASH, J.H.C.; ROSIER, P.; RAGAB, R. "A note on estimating urban roof runoff with a forest evaporation model", in *Hydrological processes* v.22, 2008. 1230-1233 p.
- GETTER, K.L.; ROWE, D.B.; "Effect of substrate depth and planting season on Sedum plug establishment for green roofs". *J. Environ. Hort.* v. 25, n. 2, 2005. 95-99 p.
- GETTER, K.L.; ROWE, D.B.; ANDERSEN, J.A.; *Quantifying the effect pf slope on extensive green roofs stormwater retention*. *Ecological engineering* v.31, 2007a. 225-231 p.
- GONZÁLEZ,J.E.; LUVALL, J. C.; RICKMAN, D.; COMARAZAMY, D.; PICÓN, A. J.; HARMSEN, E. W.; PARSIANI, H.; RAMÍREZ, N.; VÁSQUEZ, R. E.; WILLIAMS, R.; R. WAIDE, TEPLEY, C. A. *Urban Heat Islands Developing in Coastal Tropical Cities*. EOS – Transactions, American Geophysical Union 86, n. 42, 2005.

HEINZ, W. *Results of an experiment on extensive growth of vegetation on roofs.* Rasen Grunflachen Begrunungen. v.16, n.3, 1985. 80-88 p.

IGRA: INTERNATIONAL GREEN ROOF ASSOCIATION. *Green Roof Types.* Alemanha: 1995-2012. Disponível em: [http://www.igraworld.com/types\\_of\\_green\\_roofs/index.php](http://www.igraworld.com/types_of_green_roofs/index.php). Acesso em: 20 mar. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO (IBI). *Impermeabilização em coberturas verdes.* Revista Téchne, São Paulo, n.152, 2009. 41p.

JOHNSTON, J.; NEWTON, J. *Building green: a guide for using plants on roofs, walls and pavements.* London: The London ecology Unit, 1996.

KERBAUY, G.B. *Fisiologia Vegetal.* Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. 450p.

KOELLER, M.; SCHMIDT; M. *Green Roofs in the temperate climates and in the hot humid tropics.* 18th Int. Conference and Passive and Low Energy Arquiteture, PLEA Proc. Florianópolis, Brasil, 2000. 493-499 p.

KÖHLER, M.; SCHMIDT, M.; SICKERMANN, J. *Greened Roofs and the Technique of Water Harvesting: a synergistic combination.* University of Applied Sciences Neubrandenburg, Germany. Gründächerund Niederschiags retention 2003.

KREBS, L. F.; SATTLER, M. A. *Coberturas vivas extensivas: Análise da utilização em projetos na região metropolitana de porto Alegre e Serra Gaúcha.* XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, canela, 2010.

LAAR, M.; SOUZA, C.G.; de ASSUNÇÃO PAIVA, V.L; AUGUSTA DE AMIGO, N. et al. *Estudo de aplicação de plantas em telhados vivos extensivos em cidades de clima tropical,* 2001. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC). São Pedro, São Paulo, 2001.

Lei 14.243 de 11/12/2007 – Legislação Municipal de Santa Catarina. Disponível em:<http://www.leisestaduais.com.br/sc/lei-ordinaria-n-14243-2007-santa-catarina-dispõe-sobre-a-implementação-de-sistemas-de-naturaçãoatravés-da-criação-de-telhados-verdes-em-espacos-urbanos-de-santa-catarina>. Acesso em 03.07.2015.

Lei 18.112 de 12/01/2015 – Legislação Municipal de Recife. Disponível em: <http://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=280138>. Acesso em 03.07.2015.

MENTENS, J.; RAES, D.; HERMY, M. *Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21<sup>st</sup> century?* Landscape and Urban planning 77 (2206) 2005. 217-226 p.

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

MONTERUSSO, M. A.; ROWE, D.B.; RUGH, C.L. *Establishment and persistence of Sedum spp. and native taxa for green roof applications.* HortScience v. 40, n.2, 2005. 391-396 p.

MORGADO, J.M. "Coberturas Verdes." Impermeabilizar. São Paulo, n 78, 1995. 62-76 p.

NIACHOU A.; PAPAKONSTANTINOU, K.; SANTAMOURIS, M.; TSANGRASSOULIS, A.; MIHALAKAKOU, G. *Analysis of the Green roof thermal properties and investigation of its energy performance.* Energy Build. v.33, n. 7, 2001. 719-729 p.

OHNUMA JR, A. A. *Medidas não-convencionais de reservação d'água para o controle da poluição em lotes urbanos.* Teste de Doutorado. Ciências da engenharia ambiental. Departamento de Hidráulica e Saneamento. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 2008. 40 p.

OLIVEIRA, E. W. N.; SILVA, L. P. *Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico.* Dissertação de Mestrado. Gestão sustentável de recursos hídricos. Universidade do Estado do Rio de Janeiro Rio de Janeiro, 2009. 87 p.

PICCHI, F.A. *Impermeabilização de Coberturas – panorama Geral e Perspectivas.* In: Tecnologia das edificações. São Paulo: IPT/Pini, 1986. 245-250 p.

PIRONDI, Z. *Manual Prático da Impermeabilização e de Isolação Térmica.* São Paulo: SBR – Editora e Artes Gráficas, 1988. 140 p.

PLEDGE, E. *Green Roofs: Ecological Design and Construction.* Philadelphia: Shiffler , 2005. 154 p.

PORSCHE, U., KÖHLER, M. *Life Cycles Costs of Green Roofs. A Comparison of Germany, USA, and Brazil.* RIO 3 – World Climate & Energy Event, Rio de Janeiro, Brazil, 2003. 461-467 p.

PORTARIA 156 de 10/12/2009 – Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente - SMVA/SP. Disponível em: [http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/meio\\_ambiente/legislacao/index.php?p=13681](http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/meio_ambiente/legislacao/index.php?p=13681). Acesso em: 03/07/2015.

PROJETO DE LEI 115 de 10/03/2009–Câmara Municipal de São Paulo. Disponível em: <http://www.radarmunicipal.com.br/proposicoes/projeto-de-lei-115-2009>. Acesso em 03/07/2015.

PRUSKI, F.F; FERREIRA,P.A. ; RAMOS, M.M. ; CECON,P.R. *Modelo design level terraces.* Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 123:8-12. 1997.

ROLA, S. M. *A maturação como ferramenta para a sustentabilidade de cidades: Estudo da capacidade do sistema de maturação em filtrar a água de chuva.* Tese de Doutorado. Ciências em planejamento energético. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2008.

SILVEIRA, A. L. L. *Drenagem Urbana: Aspectos de Gestão*. Apostila do curso Gestores Regionais de Recursos Hídricos. 1<sup>a</sup> Ed. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Fundo Setorial de Recursos Hídricos (CNPq) - UFRGS, Rio Grande do Sul, 2002.

SNODGRASS, E; SNODGRASS, L. *Green Roof Plants: A Resource and Planting Guide*. Portland: Timber PresInc, 2006. 220 p.

SPITZCOVSKY, D. Guarulhos implanta IPTU Verde. Editora Abril S.A. São Paulo. Disponível em: <http://planetasustentavel.abril.com.br/noticias/desconto-ipu-verde-guarulhos-beneficio-fiscal-sustentabilidade-moradias-632838.shtml>. Acesso em 03/07/2015

TEEMUSK, A.; MANDER, Ü. *Rainwater runoff quality and quality performance from a green roof: The effects of short-term events*. Ecological engineering 30 (2207), 2007. 271-277 p.

TUCCI, C.E.M. "Hidrologia ciéncia e aplicação." Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). Editora da Universidade UFRGS. Porto Alegre - RS, 2<sup>a</sup>ed.2001.

TUCCI, C.E.M.; BERTONI, J.C. *Inundações Urbanas na América do Sul*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

USEPA -U.S. Environmental Protection Agency – *Protecting water quality from urban runoff*. Disponível em: [http://www.epa.gov/npdes/pubs/nps\\_urban-facts\\_final.pdf](http://www.epa.gov/npdes/pubs/nps_urban-facts_final.pdf). Acesso em 03/07/2015

USEPA -U.S. Environmental Protection Agency – *Green Roofs*. Disponível em: <http://water.epa.gov/polwaste/npdes/swbmp/Green-Roofs.cfm>. Acesso em 03/07/2015.

VANWOERT, N.D.; ROWE, D.B.; ANDRESEN, J.A.; RUGH, C.L.; XIAO, L. *Watering regime and green roof substrate design affect Sedum plant growth*. HortScience v.40, n.3, 2005. 659-664 p.

VANWOERT, N.D.D.; ROWE, B., ANDRESEN, J.A., RUGH, C.L.; FERNANDEZ, T.; XIAO, L. *Green Roof Stormwater Retention: Effects of Roof Surface, Slope, and MediaDepth*. J. Environ. Qual. 34, 2005. 1036-1044 p.

WONG, N.H.; Y. CHEN; C.L. ONG; A.SIA. *Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment*. Building and Environment. v.38, n. 2, 2003. 261-270 p.