

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**DIFERENTES TIPOS DE TELHADOS VERDES NO
CONTROLE QUANTITATIVO DA
ÁGUA PLUVIAL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Alan Lamberti Jobim

**SANTA MARIA, RS, BRASIL
2013**

**DIFERENTES TIPOS DE TELHADOS VERDES NO
CONTROLE QUANTITATIVO DA
ÁGUA PLUVIAL**

por

Alan Lamberti Jobim

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS).

Orientadora: Prof^a.RutinéiaTassi

Santa Maria, RS, Brasil

2013

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Jobim, Alan

Diferentes tipos de telhados verdes no controle quantitativo da água pluvial / Alan Jobim.-2013.
75 p.; 30cm

Orientadora: Rutineia Tassi

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2013

1. Telhados verdes 2. Sistemas modulares 3. Aspectos quantitativos I. Tassi, Rutineia II. Título.

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

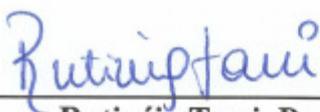
A comissão Examinadora, abaixo assinada,
Aprova a Dissertação de Mestrado

**DIFERENTES TIPOS DE TELHADOS VERDES NO CONTROLE
QUANTITATIVO DA ÁGUA PLUVIAL**

elaborado por
Alan Lamberti Jobim

Como requisito para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil e Ambiental

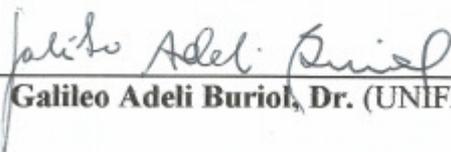
COMISSÃO EXAMINADORA



Rutinéia Tassi, Dra. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Delmira Beatriz Wolf, Dra. (UFSM)



Galileo Adeli Buriol, Dr. (UNIFRA)

Santa Maria, 27 de setembro de 2013.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela existência e pela saúde a mim concedida.

A toda a minha família, pelo apoio incondicional, amor, compreensão durante o tempo de execução dos trabalhos.

À Universidade Federal de Santa Maria e o Centro Universitário Franciscano, como entidades de ensino.

À Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa – FUNDEP, pelo apoio financeiro ao projeto.

À professora Dra. Rutinéia Tassi pela oportunidade, orientação, dedicação, paciência, ensinamentos e a confiança demonstrada.

Aos professores Dra. Delmira Beatriz Wolf e Dr. Galileo Adeli Buriol que fazem parte da banca examinadora.

Aos amigos e colegas engenheiros pelo apoio, colaboração, companheirismo e amizade.

A todos os professores e servidores do curso de pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, que de alguma forma fizeram parte para que este momento fosse possível.

A empresa Ecotelhado[®] pela disponibilização voluntária dos diferentes sistemas modulares de telhado verde para a realização deste trabalho.

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria

DIFERENTES TIPOS DE TELHADOS VERDES NO CONTROLE QUANTITATIVO DA ÁGUA PLUVIAL

AUTOR: ALAN LAMBERTI JOBIM

ORIENTADORA: RUTINÉIATASSI

Com o acelerado processo de crescimento populacional nos centros urbanos, e consequente impermeabilização do solo, os sistemas de drenagem das águas pluviais se tornam insuficientes, devido ao aumento do escoamento superficial, picos de vazão, e pontos de alagamentos. Para mitigar esses problemas, a utilização de técnicas relacionadas à redução do escoamento superficial está sendo incentivada em diferentes escalas, sendo que os telhados verdes são indicados como uma alternativa neste sentido. De maneira geral, os telhados verdes são estruturas dotadas de diferentes camadas, sendo as principais: plantas, substratos e drenagem, que desempenham diferentes funções de acordo com suas características. Embora o uso de telhados verdes seja incentivado, ainda não são bem conhecidas as reais contribuições que as diferentes tipologias podem ter sobre o escoamento pluvial. Neste trabalho é apresentado o resultado de uma pesquisa conduzida com quatro diferentes tipos de sistemas de telhados verdes comerciais, e um sistema desenvolvido a partir de materiais recicláveis, que objetivou avaliar a capacidade de retenção do escoamento pluvial em cada sistema estudado, e como o substrato e o sistema de drenagem podem interferir neste valor. Para atingir ao objetivo, foi construído um sistema experimental de bancadas, onde os cinco tipos de telhados verdes foram, montados com duas composições de substrato: sem argila e com argila expandida. Foram utilizados os sistemas comerciais conhecidos como alveolar simples, alveolar grelhado, hexagonal e modular com galocha, além do sistema produzido com elementos recicláveis, desenvolvido ao longo desse estudo. Foi realizado o monitoramento hidrológico do experimento durante cinco meses, com um total de 35 eventos, sendo avaliadas a precipitação e o escoamento superficial oriundo da drenagem dos telhados verdes. O monitoramento permitiu determinar, para cada tipo de sistema, parâmetros que refletem a capacidade de retenção do escoamento pluvial, como o coeficiente de escoamento (C), o valor da curva-número (CN), e associar a capacidade de retenção do escoamento às condições de umidade antecedente (AMC) do solo. Os resultados apresentaram uma diferença significativa na retenção do escoamento pluvial entre os módulos e entre os substratos, sendo que o sistema de maior eficiência foi o modular com galocha, que apresentou os valores de capacidade de retenção de 13,3 mm/m² sem argila expandida, e de 14,2 l/m² com argila expandida. O coeficiente de escoamento médio para esse tipo de telhado verde variou entre 0,13 e 0,17, sendo que nessas condições o CN assumiu valores entre 80,3 e 82,5, para os substratos com argila e sem argila, respectivamente. O segundo sistema mais eficiente foi o hexagonal, seguido pelos alveolares e o menos eficiente foi o construído com recicláveis, com coeficiente de escoamento próximo a 0,8. Os resultados apresentados, juntamente como a tipologia do telhado verde e a composição do substrato, afeta consideravelmente a capacidade de armazenamento de água.

Palavras-Chave: Cobertura verde; eficiência; controle quantitativo, infiltração de água.

Master Dissertation
Program of Post-Graduation on Civil Engineering
Federal University of Santa Maria

DIFFERENT KINDS OF GREEN ROOFS IN THE QUANTITATIVE CONTROL OF RAIN WATER

AUTHOR: ALAN LAMBERTI JOBIM
SUPERVISOR: RUTINÉIA TASSI

Because of the rapid process of population increase in urban centers and the consequent soil waterproofing, the draining systems of rain water are insufficient because of the increasing superficial outflow, output peaks and flood spots. In order to attenuate these problems, the use of techniques related to the reduction of the superficial outflow is being encouraged in different scales, being the green roofs indicated as alternatives. In broad terms, the green roofs are structures which have different layers: plants, substrates and draining, which perform different tasks in accordance with their characteristics. Although the usage of green roofs is already encouraged, their real contributions on the rain water output are not well-known. In this paper, it is shown the result of a research carried out with four different systems of commercial green roofs and a system developed from recyclable materials, that aimed to evaluate the retention capability of each system and how the substrate and the draining system may interfere in the values. In order to achieve this goal, it was built an experimental stand system where five types of green roofs were set up with two compositions of substrate: without clay and with expanded clay. The commercial systems known as simple alveolar, grided alveolar, hexagon module with gaiter were used as well as the system produced with recycled elements developed throughout this study. It was taken the hydrologic assessment for five months, with 35 events where it was assessed the precipitation and the superficial outflow coming from the draining of green roofs. The monitoring allowed to determine, for each kind of system, parameters that reflect the retention capacity of the rain water outflow, as a coefficient of outflow, the value of curve-number (CN), and associate the retention capacity of the outflow to the previous soil humidity conditions (AMC). The results showed a significant difference in the rain water outflow retention among the modules and the substrates, being the most efficient system the module with gaiter, which presented retention value capacity of 13.3 mm/m² without expanded clay, and 14.2 l/m² with expanded clay. The coefficient of average outflow for this kind of green roof varied from 0.13 and 0.17, and, under these conditions CN assumed the values of 80.3 and 82.5 for the clay and non-clay substrates, respectively. The second most efficient system was the hexagonal one, followed by the alveolar one and the least efficient was the one built with recycled material, which had the outflow coefficient near 0.8. The results showed how the typology of the green roof as well as the substrate composition affects the capacity of storing water.

Key words: green roof, efficiency, quantitative control, water infiltration.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- Ilustração esquemática dos diferentes tipos de telhado verde.....	17
FIGURA 2 -Telhado verde extensivo, instalado na empresa The Ford Motor Company, em Dearborn, Michigan, USA.....	18
FIGURA 3 -Telhado verde intensivo instalado na Câmara Municipal de Chicago, estado de Ilinóis, USA.....	19
FIGURA 4 - Ecotelhado instalado em casas, em Ganchos – SC, Brasil.....	19
FIGURA 5 - Ecotelhado instalado em posto policial na Praia do Rosa - Imbituba – SC, Brasil.....	19
FIGURA 6 - Camadas de um telhado verde básico.....	20
FIGURA 7 - Balanço hídrico de um telhado verde comparado a um tradicional.....	23
FIGURA 8 - Gráfico da capacidade de retenção da chuva de um telhado verde extensivo durante os meses de abril a dezembro.....	25
FIGURA 9– Monitoramento telhado verde do grupo Ecotecnologias -UFSM.....	26
FIGURA 10 – Desenho esquemático das bancadas em madeira.....	35
FIGURA 11 – Vista das bancadas impermeabilizadas.....	36
FIGURA 12 – Sistema de drenos das bancadas.....	36
FIGURA 13 – Localização das bancadas.....	37
FIGURA 14 – Diferentes tipos de sistemas de telhados verdes utilizados no experimento.....	38
FIGURA 15 – Montagem do sistema reciclável com garrafas do tipo PET.....	39
FIGURA 16 – Esquema das dimensões dos diferentes sistemas experimentais de telhado verde.....	41
FIGURA 17 – Montagem dos sistemas alveolares simples e grelhado com e sem argila expandida utilizando plantas da espécie Calanchôe.....	41
FIGURA 18 – Montagem dos sistemas galocha (a) e hexagonal (b) com e sem argila expandida.....	42
FIGURA 19 – Sistemas alveolares antes (a) e depois (b) da substituição da vegetação de plantas Calanchôe por grama São Carlos.....	42
FIGURA 20 – Montagem do sistema reciclável com areia (a) e sem areia (b).....	43
FIGURA 21 – Esquema de paisagem dos diferentes sistemas de telhado verde utilizados no experimento.....	44
FIGURA 22 – Dados pluviométricos monitorados na área do experimento e na estação do INMET.....	49
FIGURA 23 – escoamento superficial nos diferentes sistemas de telhados verdes ao longo dos 35 eventos monitorados no experimento.....	51
FIGURA 24 – Coeficiente de escoamento nos sistemas alveolares simples.....	52
FIGURA 25 – Coeficiente de escoamento dos sistemas alveolares grelhado.....	53
FIGURA 26 – Coeficiente de escoamento dos sistemas recicláveis.....	53
FIGURA 27 – Coeficiente de escoamento dos sistemas Hexagonal.....	54
FIGURA 28 – Coeficiente de escoamento dos sistemas modulares com galocha.....	54

FIGURA 29 – Porcentagem de redução do escoamento superficial dos diferentes sistemas de telhado verde.....	56
FIGURA 30 – Capacidade de armazenamento de água nos diferentes sistemas de telhado verde.....	57
FIGURA 31a – Relação entre coeficiente de escoamento e volume de chuva para o sistema.....	58
FIGURA 31b - Relação entre coeficiente de escoamento e volume de chuva para o sistema alveolar simples sem argila expandida.....	59
FIGURA 31c - Relação entre coeficiente de escoamento e volume de chuva para o sistema alveolar grelhado com argila expandida.....	59
FIGURA 31d - Relação entre coeficiente de escoamento e volume de chuva para o sistemas alveolar grelhado sem argila expandida.....	59
FIGURA 31e - Relação entre coeficiente de escoamento e volume de chuva para o sistema reciclável sem areia.....	60
FIGURA 31f - Relação entre coeficiente de escoamento e volume de chuva para o sistema reciclável com areia.....	60
FIGURA 31g - Relação entre coeficiente de escoamento e volume de chuva para o sistema hexagonal com argila expandida.....	60
FIGURA 31h - Relação entre coeficiente de escoamento e volume de chuva para o sistema hexagonal sem argila expandida.....	61
FIGURA 31i - Relação entre coeficiente de escoamento e volume de chuva para o sistema modular com galocha com argila expandida.....	61
FIGURA 31j - Relação entre coeficiente de escoamento e volume de chuva para o sistema modular com galocha sem argila expandida.....	61
FIGURA 32 – Relação entre volume de chuva acumulado em 5 dias e o coeficiente de escoamento superficial para a AMCI, AMCII e AMCIII.....	63
FIGURA 33 - Valores médios de CN para a AMC I (a), AMC II (b) e AMC III (c), com respectivos limites inferiores e superiores para um nível de significância de 5%.....	65

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Comparação das amplitudes térmicas (A), dos valores máximos, médios e mínimos das temperaturas superficiais internas (tsi), em relação à temperatura do ar.....	30
QUADRO 2 – Descrição dos diferentes sistemas de telhados verdes	40
QUADRO 3 – Classificação da umidade antecedente do solo.....	46

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Coeficiente de escoamento de telhados verde.....	24
TABELA 2 – Avaliação entre o peso seco e o peso saturado dos diferentes sistemas de telhados verdes.....	45
TABELA 3 – Pluviometria (mm) monitorada no experimento na estação do INMET.....	48
TABELA 4 – Escoamento superficial dos diferentes sistemas de telhados verdes.....	50
TABELA 5 – Valores de armazenamento médio para cada sistema de telhado verde (mm/m ²).....	55
TABELA 6 – Valores referentes à classificação de AMC dos eventos monitorados no experimento.....	62
TABELA 7 – Valores de CN estimados para cada sistema de telhado verde.....	64
TABELA 8 – Valores de CN estimados para os eventos monitorados de acordo com a AMC.....	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMC – Umidade antecedente
Cm – Centímetro
Cm² - Centímetro quadrado
CN – Curva Número
CO₂ – Dióxido de carbono
CV – Cobertura Verde
dB – Decibéis
EPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América
EVA – Etileno Vinil Acetato
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHEA – Instituto para o desenvolvimento da Habitação Ecológica
INGRA – International Green Roof Association
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
Kg – Quilograma
KWh – Quilowatt - hora
L – litro
LEED – Leadership in Energy and Environmental Design
LID – Low impact development
m – Metro
m² - Metro quadrado
mg – Miligrama
mm – Milímetro
mm/h – Milímetro por hora
PET – Politereftalato de etileno
Psa – Peso saturado
Pse – Peso seco
RS – Rio Grande do Sul
SC – Santa Catarina
SCS – Serviço de Conservação dos Solos
TV – Telhado verde
UFES – Universidade Federal de Santa Maria
UNIFRA – Centro Universitário Franciscano
USA – Estados Unidos da América

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivo geral.....	15
2.2 Objetivos específicos.....	15
3 TELHADOS VERDES.....	16
3.1 Composição geral.....	20
3.2 Benefícios hidrológicos.....	23
3.3 Outros Benefícios.....	30
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	34
4.1 Sistema de bancadas de telhados verdes.....	34
4.2 Sistemas de telhados verdes.....	37
4.3 Sistema de monitoramento.....	45
4.4 Tratamento e análise dos dados.....	46
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
5.1 Eventos monitorados.....	48
5.2 Controle do escoamento pluvial.....	49
5.3 Avaliação da influência da chuva antecedente no armazenamento de água no telhado verde.....	62
5.4 Estimativa do parâmetro CN.....	63
6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	67
REFERÊNCIAS.....	69

1- INTRODUÇÃO

Nos centros urbanos em processo de expansão, os sistemas de drenagem se tornam insuficientes devido à crescente impermeabilização do solo, que promove o aumento do escoamento superficial, e do pico de vazão, comprometendo o sistema de drenagem. Por esta razão, nos países desenvolvidos da América do Norte e da Europa, e atualmente no Brasil, têm sido utilizadas técnicas ambientais compensatórias como medida de retenção das águas pluviais, dentre as quais podem ser citados os telhados verdes, trincheiras de infiltração, reservatórios de aproveitamento de água pluvial e pavimentos permeáveis, que são igualmente consideradas como medidas de desenvolvimento de baixo impacto (Low impact development - LID's).

Especificamente no caso de telhados verdes, verifica-se uma tendência em incorporar esse tipo de tecnologia nas edificações no Brasil, embora essa técnica seja amplamente empregada, principalmente em países Europeus, onde demonstrou um melhoramento da função ecológica, social e econômica do ponto de vista energético e hidrológico (CUNHA & MEDIONDO, 2004).

São considerados telhados verdes toda a cobertura ou telhado, plano ou inclinado, devidamente impermeabilizado e com sistema de drenagem para o escoamento pluvial excedente, que agrega em sua composição, uma camada de solo ou substrato e outra camada de vegetação. São classificados quanto ao porte adotado em extensivos ou intensivos, no qual, diferem entre si unicamente pela espessura do substrato e vegetação utilizada. Os telhados verdes ainda podem ser classificados como acessíveis ou inacessíveis, sendo o primeiro uma área aberta ao uso das pessoas, como jardim suspenso ou um terraço, e os inacessíveis que não permitem a circulação de pessoas (CORREA & GONZALEZ, 2002).

Os telhados verdes proporcionam melhorias nas condições de escoamento pluvial, conforto termoacústico e paisagismo, reduzindo a poluição ambiental comum em grandes centros urbanos. São instrumentos importantes na prevenção de inundações locais, pois implicam em uma retenção total ou parcial do escoamento pluvial, além do atraso temporal do escoamento superficial. Alguns autores mencionam que, dependendo do tipo adotado, é possível reduzir entre 50 e 90% dos volumes escoados (INGRA, 2010; ROSENZWEIG *et al.*, 2006), o que confere uma variabilidade muito grande na eficiência do telhado verde.

Dada essa variabilidade no controle quantitativo do escoamento pluvial, e o pouco conhecimento sobre os sistemas empregados no Brasil, verifica-se a necessidade de estudos

que permitam avaliar entre os diferentes sistemas de telhados verdes aqueles mais eficientes, e que devem ser priorizados. Assim, buscando contribuir com esse conhecimento, o presente trabalho apresenta os resultados obtidos a partir de um estudo desenvolvido com diferentes sistemas construtivos de telhados verdes, que objetivou avaliar como o sistema construtivo, substrato e condições climatológicas podem interferir na capacidade de armazenamento das águas pluviais.

2- OBJETIVOS

2.1- Objetivo geral:

Avaliar a eficiência de diferentes sistemas construtivos de telhado verde no controle quantitativo da água pluvial.

2.2- Objetivos específicos:

- Avaliar a capacidade de cada sistema de telhado verde na retenção das águas pluviais;
- Determinar parâmetros hidrológicos para cada sistema de telhado verde como o coeficiente de escoamento superficial, capacidade média e máxima de armazenamento de água;
- Calibrar os eventos monitorados a uma metodologia chuva-vazão, para fins de determinação de parâmetros médios de cálculo para cada tipo de sistema de telhado verde.

3- TELHADOS VERDES

Telhados verdes são sistemas construtivos que, de maneira geral, possuem uma manta, substrato e vegetação e são sobrepostos em coberturas planas ou inclinadas de edificações, com o objetivo de trazer benefícios sócio-econômicos e ambientais (isolamento térmico e acústico, biodiversidade, redução do escoamento superficial). Segundo Tacla (1984), um sistema construtivo é o conjunto das regras práticas, ou o resultado de sua aplicação de uso adequado e coordenado de materiais e de mão-de-obra para a execução de uma construção ou parte dela.

Existem dois tipos principais de telhados verdes, os extensivos e os intensivos. Os extensivos caracterizados por possuir baixa profundidade de substrato, plantas de pequeno porte que exigem pouca manutenção devido ao seu lento e baixo crescimento. Os intensivos são caracterizados por possuir uma espessura maior de substrato, uma maior diversidade de espécies vegetais podendo abrigar plantas de pequeno e médio porte, maior capacidade de retenção de água e nutrientes, tendo também suas desvantagens, pois exige manutenções e irrigações regulares e uma estrutura de suporte mais reforçada, pois este implicará em uma sobrecarga maior na estrutura de suporte (ZINCO, 2007).

Segundo o INGRA 2010 (*Internacional Green Roof Association*) os sistemas de telhado verde extensivos possuem substrato com profundidade que varia entre 6 a 20 cm, peso entre 60 a 150 kg/m², enquanto que nos sistemas intensivos a profundidade do substrato varia é superior a 15 cm, chegando a mais de 1m, com cargas que variam entre 180 e 500 kg por m² respectivamente.

O sistema extensivo pode ser construído em praticamente todos os tipos de coberturas (telhas cerâmicas, de fibrocimento, coberturas de aço e lajes), enquanto que o sistema intensivo necessita de um estudo prévio devido suas características físicas.

Há ainda outra subdivisão que o classifica em semi-extensivos, caracterizados por altura de substrato de 12 a 25 cm, peso de 120 a 200 kg por m² podendo abrigar uma maior diversidade de plantas (se comparado aos extensivos), como alguns tipos de arbustos, plantas lenhosas e ervas, demandando de manutenções periódicas (INGRA, 2010), além de possibilitar área de lazer. Na figura 1 pode-se observar o esquema dos diferentes tipos de telhados verdes.

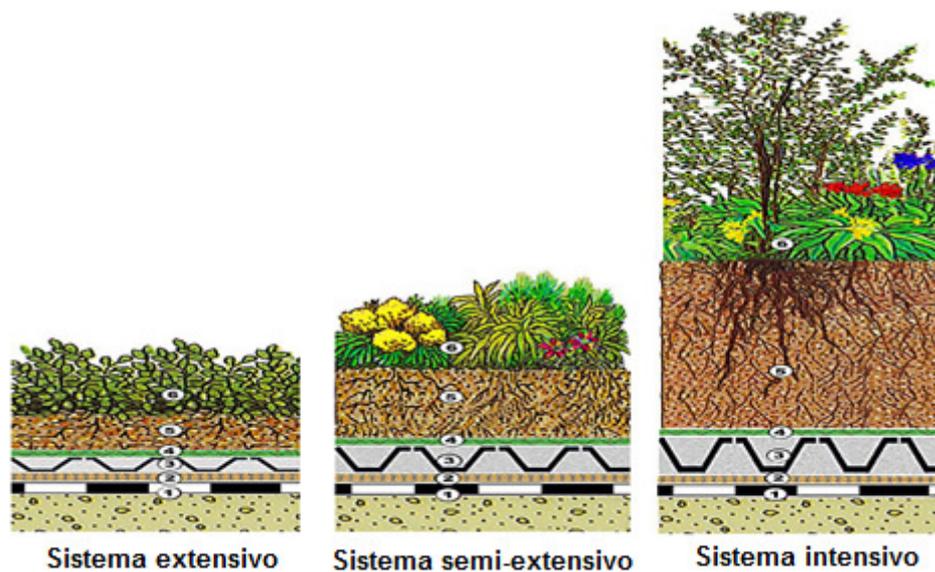


Figura 1 – Ilustração esquemática dos diferentes tipos de telhados verde.
Fonte: Adaptado de Green Roof Service LLC (2010).

Os sistemas extensivos por serem mais leves são mais adequados para grandes áreas e telhados com declive de até 20° . Coberturas acima de 20° é necessário à utilização de barreiras ou outras estruturas (TOMAZ, 2005) que permitam dar capacidade de suporte para que o substrato e a vegetação não deslizem ou excedam. É relativamente mais barato, constitui-se um bom isolante térmico, porém apresentam algumas desvantagens, pois possuem baixo apelo estético devido haver limitação na escolha das plantas e ao baixo crescimento das espécies vegetais, não podendo ser utilizados para fins recreativos e de lazer.

Os telhados com sistemas intensivos possuem um custo mais elevado, e necessitam de cuidados maiores no dia-dia, inclusive com a manutenção e irrigação, além da necessidade de maiores cuidados no processo de instalação dos sistemas de drenagem e de impermeabilização. Não são limitados em termos de variedades de plantas, e requerem os mesmos tratamentos paisagísticos que os jardins convencionais. Essas coberturas podem oferecer espaços verdes acessíveis ao usuário, como se fossem parques, e costumam incluir plantas maiores e árvores. Com esta estruturação de peso adicional é necessário um reforço estrutural considerável, no qual, resulta em um elevado custo de implantação. Este tipo de cobertura é mais viável em edificações com coberturas planas. Apesar de tudo, são mais atrativos pela altura da vegetação e por possuírem uma maior diversidade de plantas.

Os telhados verdes podem, ainda, ser definidos como acessíveis e inacessíveis, sendo o segundo, como o próprio nome já diz sem acesso a circulação de pessoas. Os acessíveis podem fornecer benefícios para os seus usuários com o aumento da área útil para fins de

recreação, lazer e até mesmo para plantações ou hortas, bem como poderá agregar valor comercial ao imóvel (ARAUJO, 2007), porém são adequadas apenas a telhados verdes com sistema intensivo, dadas suas características.

Portanto, a instalação de um determinado tipo de telhado verde dependerá de alguns fatores como o tipo de vegetação pretendida, localização, capacidade estrutural, inclinação do telhado da edificação, custos, bem como a função desejada.

Embora os tipos de sistemas de telhados verdes sejam bastante diferentes, todos contribuem positivamente para o meio ambiente. Tanto os sistemas intensivos como os extensivos contribuem para a restauração do ciclo hidrológico local, uma vez que aumentam a evapotranspiração e minimizam o escoamento superficial, reduzem a temperatura interna, aumentam a biodiversidade local e melhoram a qualidade do ar, conseqüentemente melhorando a qualidade de vida da população. Nas figuras 2,3,4 e 5 são apresentados alguns exemplos de aplicações em telhados verdes em diversas regiões do mundo.



Figura 2 – Telhado verde extensivo com 42100m², instalado na empresa The Ford Motor Company, em Dearborn, Michigan, USA.

Fonte: Green Roofs Service LLC (2010).



Figura 3 – Telhado verde intensivo na Câmara Municipal de Chicago, Ilinoís, USA.
Fonte: Roof Portland (2010).



Figura 4–Telhado verde instalado em casas, em Ganchos – SC, Brasil.
Fonte: Ecotelhado (2010).



Figura 5 –Telhado verde instalado em posto policial na Praia do Rosa - Imbituba – SC,
Brasil.
Fonte: Ecotelhado (2010).

3.1 - COMPOSIÇÃO GERAL

A composição mais comum e simples de um telhado verde, adotado por diversas empresas, construtores, pesquisadores e especialistas da área consiste em cinco camadas: vegetação, substrato, camada de filtragem, de drenagem e de impermeabilização (Figura 6), tendo outras variações como a utilização de mais camadas, incluindo, por exemplo, uma manta anti-raiz ou uma camada de substrato rígido.

Na sua composição, vários materiais podem ser empregados, variando de acordo com o executor, necessidades e desejos do usuário, espaço disponível, custo, tipo de cobertura da edificação e capacidade de suporte bem como a localização da área desejada, Os parágrafos seguintes descrevem basicamente a estrutura dessas camadas, bem como as funções que desempenham, pois as condições naturais do clima podem interferir diretamente no tipo de espécies vegetais que serão utilizadas.

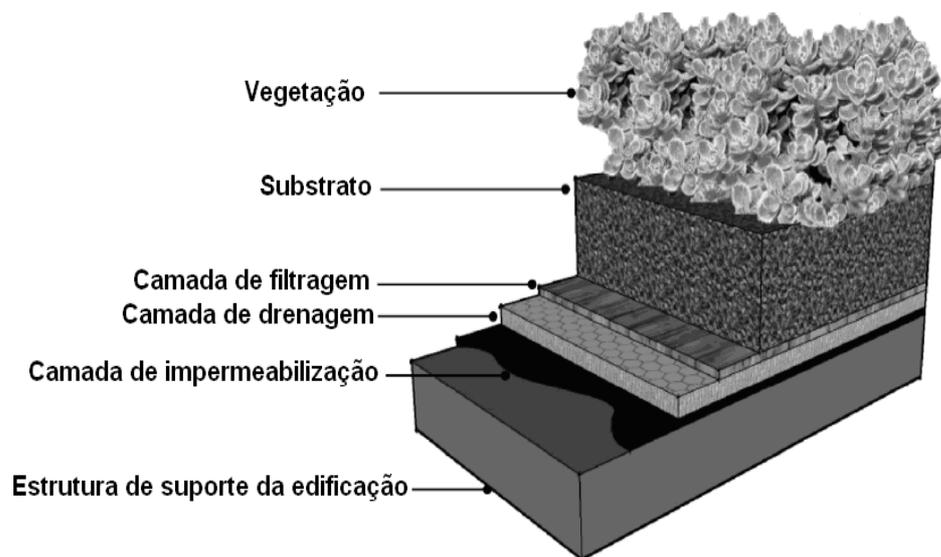


Figura 6 – Camadas de um telhado verde básico.
Fonte: Adaptado de Martin (2008).

Vegetação:

A vegetação é a camada superficial de um telhado verde, conseqüentemente a mais visível, e está ligada à estética do telhado. Portanto, o tipo de vegetação a ser utilizado é determinante para uma boa aceitação do telhado verde na edificação.

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

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

Existe uma grande diversidade de plantas de pequeno porte que podem ser aplicadas em telhados verdes do tipo extensivo. Para a região sul do Brasil as espécies mais indicadas são: Rosinha do Jardim (*Aptenia Cordifolia*), Grama-amedoim (*Arachis Repens*), Rabo de Gato (*Acalypha Reptans*), Kalanchôe (*Kalanchöe blossfeldiana*), Echeveria (*Echeveria Pulvinata*), Gravatinha (*Chlorophytum Comosum*), Cebolinha-de-jardim (*Bulbine Frutescens*), Capim-chorão (*Eragrotis Curvula*), Falso-íris (*Neomarica Caerulea*), Grama-batatais (*Paspalum Notatum*), Boldo (*Plectranthus Barbatus*), Ruélia-azul (*Ruellia Coerulea*), Vedélia (*Sphagneticolatrilobata*), Bálsamo (*Sedum Dendroideum*), Sedum – Dourado (*Sedum Acre L.*), Estrela-gorda (*Sedum Multiceps*), (ECOTELHADO, 2010).

Substrato:

A função do substrato é propiciar um meio de fixação e desenvolvimento das plantas, fornecendo água e os nutrientes necessários ao seu crescimento e desenvolvimento. Deve possuir boa capacidade no controle quantitativo da água pluvial, capacidade de drenagem eficiente, boa composição mineral de nutrientes, não sendo recomendado o uso de solo argiloso, pois absorve muita água (ARAUJO 2007), o que pode dificultar a drenagem no sistema. Se permanecer úmido por muito tempo pode prejudicar o crescimento das plantas e o seu enraizamento, deixando-as em condições anaeróbias (LOHMANN, 2008).

A espessura e composição do substrato dependerão do tipo de telhado verde adotado, bem como dos tipos de vegetação, podendo ser utilizado areia, cascalho, terra e mesmo materiais na sua composição (perlita, vermiculita e argila expandida).

O substrato, por ser um composto orgânico, deverá ter uma alta durabilidade e fertilidade, proporcionando o enraizamento e o desenvolvimento da vegetação. Algumas características poderão ser alteradas devido a sua espessura, como o peso seco e o peso saturado, a retenção de água e a capacidade de drenagem do sistema.

Filtragem:

A camada de filtragem é responsável por filtrar a água, e ao mesmo tempo separar a camada de drenagem do substrato, evitando que ele migre para o sistema de drenagem juntamente com os nutrientes, causando a obstrução do sistema. O material mais comumente utilizado por especialistas da área é uma manta fina e leve, conhecido como geotêxtil, feito de poliéster ou polipropileno. Esse material é resistente à degradação química e biológica, possui alta permeabilidade, elevada resistência mecânica e alta durabilidade (MACCAFERRI, 2010).

Drenagem:

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

Impermeabilização:

A camada de impermeabilização é de extrema importância, pois é responsável pela efetividade e durabilidade do telhado verde (LOHMANN, 2008), sendo necessária a análise da estrutura que ela irá sobrepôr para que a escolha do tipo de material seja adequada a tal estrutura (MORGADO, 2010).

Existe uma grande variedade quanto aos materiais potencialmente aplicáveis como alguns tipos de mantas ou membranas (asfálticas, termoplásticas, elastoméricas, betume polímeros) ou até mesmo resinas ou bases, todos responsáveis por evitar o contato da água e da umidade com a estrutura base do telhado verde, conseqüentemente evitando infiltrações.

3.2 - BENEFÍCIOS HIDROLÓGICOS

O ciclo hidrológico é o fenômeno fechado de circulação da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado pela energia solar, a gravidade e a rotação terrestre, que compreende os processos de: precipitação, infiltração, escoamento superficial (“run-off”) e subterrâneo e evapotranspiração (MOTA et al., 1970). Alguns processos do ciclo hidrológico em telhados verdes se assemelham muito aos processos hidrológicos naturais, sendo que o seu desempenho hidrológico é bastante diferente de um telhado convencional. Com a adoção do telhado verde é possível aumentar a evapotranspiração e promover a infiltração de uma parcela da água da chuva, que fica retida no substrato e na camada de drenagem. Isso se traduz em uma redução, tanto do escoamento superficial, quanto do tempo de sua ocorrência, se comparado um telhado verde a um telhado convencional (Figura 7). Seus efeitos em tal redução são oriundos da diminuição no volume de água escoado e do atraso no pico do escoamento (CASTRO; GOLDENFUM 2008).

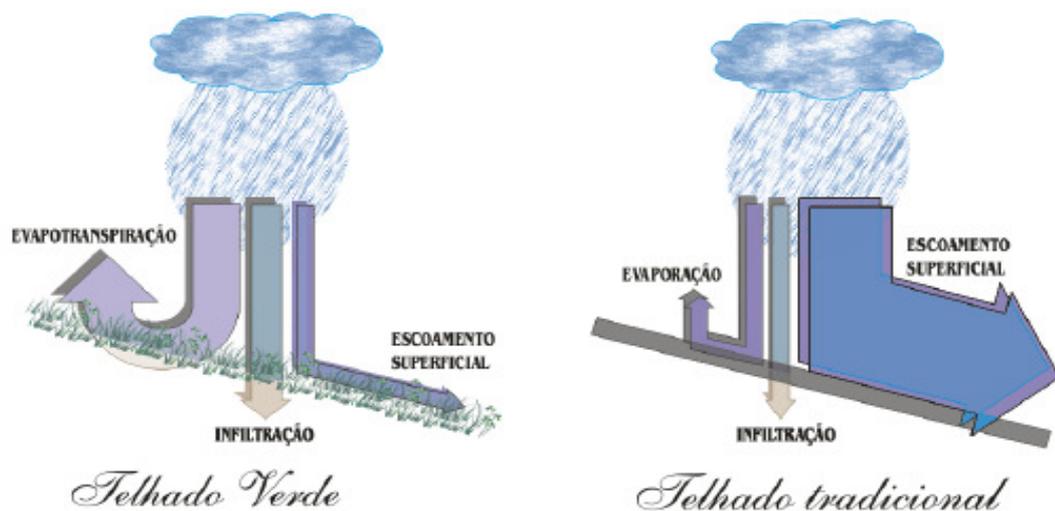


Figura 7 – Balanço hídrico de um telhado verde comparado a um tradicional.

Fonte: OHNUMA (2008 p.34)

De acordo com Kolb (2003), o coeficiente de escoamento superficial em um telhado convencional varia de 0,8 a 1, ou seja, cerca de 80 a 100% do volume total precipitado será convertido em escoamento superficial. Em um telhado verde o coeficiente de escoamento superficial pode ser bastante variável, devido à inclinação, espessura do substrato e o tipo de vegetação do telhado, conforme demonstra a tabela 1 (FLL 2002; OHNUMA, 2008).

Tabela 1 – Coeficiente de escoamento de telhados verde.

Fonte: Adaptado de OHNUMA, 2008.

Espessura ℓ (cm)	Coeficiente de escoamento superficial para telhado verde	
	Inclinação até 15°	Inclinação acima de 15°
$\ell \geq 50$	0,1	-
$25 \leq \ell < 50$	0,2	-
$15 \leq \ell < 25$	0,3	-
$10 \leq \ell < 15$	0,4	0,5
$6 \leq \ell < 10$	0,5	0,6
$4 \leq \ell < 6$	0,6	0,7
$2 \leq \ell < 4$	0,7	0,8

De acordo com a Tabela 1, verifica-se que, quanto maior for a espessura do substrato, menor será o coeficiente de escoamento superficial, sendo a inclinação um fator pouco pertinente quanto a este aspecto, pois para uma inclinação acima de 15° e considerando as diferentes espessuras de substrato estudadas, verificou-se um aumento relativo de 0,1 no valor do coeficiente de escoamento superficial para telhado verde.

No entanto, a capacidade de um telhado verde em armazenar a água da chuva no substrato por meio da infiltração é altamente influenciada pelas condições climáticas e o regime de chuvas, sendo que uma vez excedida a sua capacidade de armazenamento seu comportamento se assemelha ao de um telhado convencional.

De acordo com Kolb (2003) os telhados verdes extensivos têm capacidade de reduzir o escoamento superficial em 50% do total das precipitações anuais e um sistema intensivo em 70%.

Em um estudo realizado na Universidade Estadual da Carolina do Norte, com um experimento de telhado verde extensivo de 70m², verificou-se que a capacidade de retenção das águas pluviais variou entre 49% e 90 %, conforme a figura 8 (JENNINGS *et al.*, 2003). O experimento demonstrou que os meses com as menores precipitações médias foram os que obtiveram as melhores performances quanto à capacidade de retenção, enquanto que nos meses de maiores precipitações, essa capacidade foi reduzida, devido à saturação do substrato.

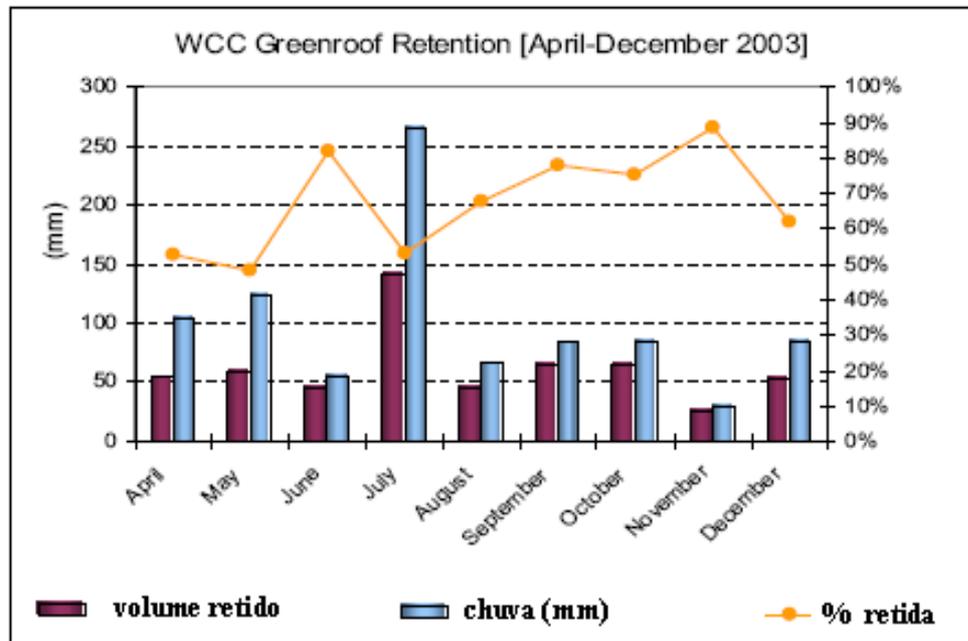


Figura 8- Capacidade de retenção da chuva de um telhado verde extensivo de 70m², durante os meses de abril a dezembro.

Fonte: Adaptado de JENNINGS *et al.*, 2003

Outro estudo realizado na Universidade de Genova na Itália demonstra um desempenho quase que semelhante ao encontrado por Jennings *et al.* (2003), porém em escala maior, um telhado verde extensivo de 1000m², que obteve média de retenção de 40 a 80% do volume total das precipitações anuais e redução de volumes de pico de 60 a 80%. (LANZA *et al.*, 2010).

Em um estudo desenvolvido na cidade de Santa Maria/RS (PERSCH *et al.*, 2011), onde foi feita a comparação do escoamento de um telhado verde e de um telhado convencional frente a eventos chuvosos, verificou-se que o telhado verde promoveu uma redução média de 39,78% no volume do escoamento (Figura 9).

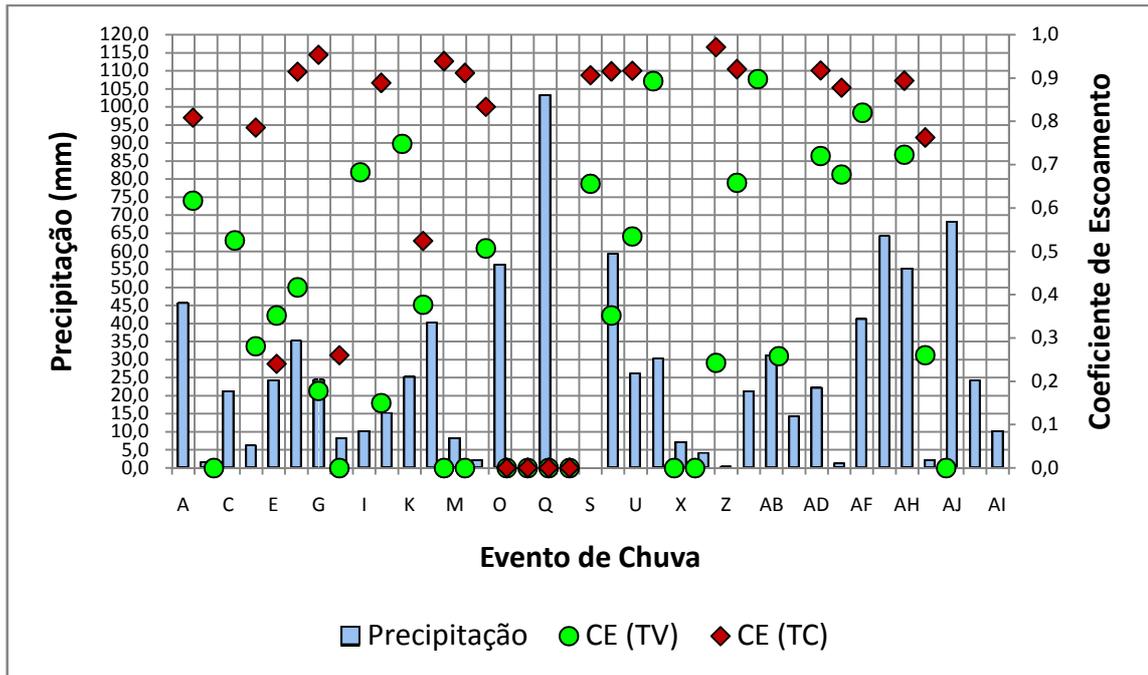


Figura 9 - Escoamento do telhado verde (TV) e do telhado convencional (TC) no controle do escoamento pluvial.

Fonte: Adaptado de Persch, 2011.

Em estudos de Oliveira (2009 p. 65 a 69), que comparou as vazões de pico do escoamento entre um telhado testemunha (de fibrocimento) e um telhado verde, para uma simulação de chuva com intensidade de 8,77mm/h com duração de 13 minutos, verificou-se que o pico da vazão no telhado testemunha aconteceu 5 minutos após o início da chuva, enquanto que no telhado verde ele só ocorreu aos 13 minutos após o início da chuva, tendo ocorrido um retardo de 8 minutos. Já para uma simulação com chuva de intensidade de 42mm/h e mesma duração, os picos de vazão aconteceram aos 5 e aos 11 minutos respectivamente, ou seja, com retardo de 6 minutos.

Portanto, de acordo com os resultados desses trabalhos, para chuvas de menor volume um telhado verde tem capacidade significativa no armazenamento e retardo do escoamento pluvial, enquanto que para chuvas mais intensas e de maior volume tal capacidade se demonstrou pouco inferior, porém ainda assim é possível encontrar evidências de sua eficiência.

De qualquer forma, em situações urbanas onde telhados verdes são empregados, a redução do escoamento superficial implica em uma diminuição na demanda por galerias de águas pluviais. Assim, a redução do volume e da velocidade de liberação da água precipitada no telhado verde permite uma melhor distribuição do escoamento superficial ao longo do

tempo (CASTRO; GOLDENFUM 2008). Ainda, segundo Kolb (2003), sistemas conjuntos de telhados verdes e cisternas de captação da água da chuva, poderiam tornar possível manejo das águas pluviais em uma edificação, aliviando o sistema público de drenagem pluvial.

Uma técnica excelente que vem sendo aplicada para avaliar o comportamento de telhados verdes sob condições reais de funcionamento consiste na calibração do método da Curva Número (CN) do *Natural Resources Conservation Service* (USDA, 1986) a eventos monitorados. Assim, é possível avaliar os valores de CN que o telhado verde assume frente aos diferentes eventos chuvosos, e verificar a sua eficiência quando comparado a outros tipos de cobertura.

De acordo com o método, a precipitação efetiva é determinada a partir da equação 1.

$$P_{ef} = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad (1)$$

sendo:

P_{ef} : Precipitação efetiva (mm)

P : Precipitação total (mm)

S : Capacidade máxima de armazenamento de água no solo (mm)

I_a : Abstrações iniciais, incluindo perdas por armazenamento na superfície, interceptação, infiltração inicial e outros (mm).

No equacionamento original, sugere-se que o valor de I_a possa ser estimado como 20% de S , ou seja: $I_a = 0,2.S$. As variáveis P_{ef} e P são conhecidas a partir do monitoramento, sendo o volume escoado superficialmente, armazenado na bombona, e a precipitação total, respectivamente. O parâmetro S relaciona-se com o valor do CN conforme a equação 2. Os valores descritos e fixados na equação (2) são utilizados para correção das unidades do Sistema Internacional Americano.

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

O parâmetro CN depende do tipo e uso do solo, bem como da condição de umidade antecedente do solo, assumindo valores entre 0 a 100 (TASSI *et al.*, 2006). Os valores de CN são geralmente tabelados conforme as diferentes estruturas adotadas nas diferentes aplicações. Atualmente, existem poucos estudos sobre o parâmetro CN para telhados verdes, por isso há necessidade de sua determinação.

No caso do telhado verde, como as perdas iniciais são praticamente nulas, as abstrações iniciais foram desconsideradas, sendo a parcela de Ia removida da equação 1. Reorganizando a equação 1 de maneira a isolar o termo de S, dependente de CN, resulta na equação 3.

$$S = \frac{(P^2 - P_{ef} \cdot P)}{P_{ef}} \quad (3)$$

Pequenas diferenças nos valores dos parâmetros CN podem gerar respostas diferenciadas sobre o comportamento de um telhado verde, modificando principalmente os valores relacionados ao seu potencial de retenção de águas pluviais. Allasia e Villanueva (2006) destacam que o incremento de apenas uma unidade no valor do CN, dentro de um intervalo usual utilizado em trabalhos de drenagem pluvial urbana ($75 < CN < 95$), pode causar um crescimento de cerca de 8 a 10 % no volume escoado.

3.3–OUTROS BENEFÍCIOS

Além dos benefícios ligados à capacidade do telhado verde permitir a manutenção de algumas componentes do ciclo hidrológico, ele também desempenha outros importantes papéis, que se traduzem em benefícios ao meio ambiente e sociedade, conforme descrito nos itens abaixo.

Isolamento térmico

O telhado verde é um bom isolante térmico, devido ao fato da camada de substrato e vegetação atuar como uma manta isolante, pois o processo de fotossíntese utiliza energia solar diminuindo o acúmulo de energia na superfície das construções (FERREIRA, 2007). As plantas têm capacidade de refletir o calor, proporcionar sombra, diminuir a velocidade dos ventos e resfriar o ar circundante com a evapotranspiração.

Segundo alguns autores (MORAIS; RORIZ, 2005; RIVERO, 1986), da irradiação solar que incide sobre uma cobertura verde, 60% é absorvida pelas plantas, 27% são refletidos para a atmosfera e apenas 13% são transmitidos para as camadas abaixo. De acordo com Kolb (2003) desses 60% absorvidos pelas plantas, aproximadamente 13% são gastos com a evapotranspiração em um telhado verde extensivo, enquanto que em um intensivo pode chegar a 44%, demonstrando que este processo também é importante para redução tanto das temperaturas do ar externo como do interno.

Tais características reduzem as variações térmicas, propiciando conforto térmico aos ocupantes da edificação, ou seja, em dias quentes a temperatura interior da edificação não se elevará enquanto que em dias frios não se reduzirá, mantendo uma temperatura agradável, dispensando condicionamentos de ar.

Segundo Sailor (2011), o desempenho térmico dos telhados verdes varia de acordo com a composição do meio de crescimento, profundidade e umidade, a cobertura vegetal, características de construção, cargas e horários bem como as condições meteorológicas.

Um experimento realizado por Vecchia (2005), comparando o comportamento térmico de um telhado verde com sistemas tradicionais de cobertura existentes no Brasil (telha cerâmica, aço galvanizado, laje de concreto e fibrocimento ondulado) comprovou a eficiência do telhado verde perante os demais. Os resultados demonstraram que o telhado verde foi o que apresentou menor amplitude térmica (9,2°C), três vezes menor que os demais sistemas, para temperaturas do ar acima de 20°. Nessas condições, o telhado verde conseguiu reduzir a temperatura do ambiente interno. Para temperaturas mais baixas, o telhado verde possibilitou aumento da temperatura interna. O Quadro 1 mostra alguns dos principais resultados desta pesquisa.

	tsi (°C) telha cerâmica	tsi (°C) aço galvanizado	tsi (°C) fibrocimento ondulada 6mm	tsi (°C) laje concreto	tsi (°C) cobertura verde leve CVL	temp ar ext (°C)
MÁXIMA	50.9	57.8	48.6	45.0	26.7	34.0
MÉDIA	32.9	35.9	25.6	31.8	22.1	27.1
MÍNIMA	8.5	9.5	9.5	11.5	17.5	12.7
A (amplitude térmica)	42.5	48.4	39.1	33.4	9.2	21.4

Quadro 1 –Variação das amplitudes térmicas na superfície interna (tsi), com relação à temperatura externa do ar, em diferentes tipos de coberturas (VECCHIA, 2005).

Fonte: Vecchia, 2005.

Verifica-se, a partir desse resultado, que os telhados tradicionais transformam grande parte da energia solar em calor, enquanto que em telhados verdes isto não ocorre.

Além do conforto térmico, os telhados verdes combatem as altas temperaturas do ar e o aquecimento global devido à absorção do gás carbônico e o aumento na umidade do ar, contribuindo para a redução da formação de “ilhas de calor” (ROSENZWEIG *et al.*, 2006).

Em uma simulação de um cenário com 50% das coberturas de Nova York com telhados verdes extensivos, verificou-se a redução da temperatura média da superfície entre 0,1-0,8°C (ROSENZWEIG *et al.*, 2006). Segundo Kolb (2003) uma camada vegetal de gramíneas e de pequenos arbustos é capaz de reduzir a amplitude das temperaturas do ar interno e externo em 60 a 94%.

Melhoria na qualidade do ar

A utilização de áreas verdes nas estruturas urbanas permite a melhoria nas condições da qualidade do ar, devido à retenção de partículas em suspensão e poluentes, sequestro de carbono da atmosfera e pelo seu desempenho térmico, pois temperaturas elevadas contribuem para a má qualidade do ar. A vegetação contribui para estabilizar o clima ao seu entorno, reduzindo a amplitude térmica, absorvendo energia e favorecendo a manutenção do ciclo oxigênio-gás carbônico, que é essencial para a renovação do ar atmosférico (DIMOUDI & NIKOLOPOULOU, 2003 ; MARY *et al.*, 2008), além de reduzir a velocidade do vento.

As plantas filtram as partículas de pó do ar em até 85%, além de absorver e transformar diversos poluentes gasosos, sendo que estimativas indicam que para cada 100 cm² de área de folhas podem ser retidos de 10 a 30 mg de partículas de pó do ar; ainda, é possível produzir em média 18 g/h de oxigênio, pois as plantas utilizam o CO₂ da atmosfera e liberam oxigênio (MORGADO, 2010).

Valores de referência indicam que um metro quadrado de telhado verde pode filtrar cerca de 0,2 kg de pó de partículas de aerossol e poluição por ano. Além disso, podem diminuir a concentração de nitratos e outros materiais nocivos no ar atmosférico, trazidos pelas chuvas, sendo então depositados no substrato (INGRA, 2010).

Isolamento acústico

Os telhados verdes reduzem o som reflexivo em até 3 dB e melhoraram o isolamento acústico em até 8dB, sendo bastante eficazes quando instalados próximos a lugares muito barulhentos como aeroportos, discotecas e áreas industriais (ZINCO, 2007). O substrato bloqueia as baixas frequências de som, enquanto as plantas bloqueiam as mais altas, sendo que uma cobertura com 12 cm de substrato tem capacidade de redução de ruídos em cerca de 40 dB, (PECK & KUHN 2000), enquanto um de 20 cm pode reduzir o som de 46 a 50 dB (OLIVEIRA & RIBAS, 1995). Verifica-se, portanto, que o isolamento acústico é uma função da altura da camada de substrato, bem como dos tipos de plantas utilizadas.

Promoção de biodiversidade

Telhados verdes podem servir como habitat para insetos, pássaros e outros pequenos animais, bem como para vegetais, promovendo um aumento da biodiversidade local. Em um estudo realizado na cidade de Londres, em um sistema de telhado verde extensivo, foram encontrados exemplares de diferentes espécies de invertebrados, aproximadamente 100, dentre eles, besouros, aranhas, abelhas, etc., dos quais aproximadamente 10% foram considerados raros ou escassos no âmbito nacional, ou são de distribuição bastante limitada (KADAS, 2006 ; FRISER, 2007).

Telhados verdes intensivos, por possuírem espécies vegetais de porte maior e uma maior variedade de que os extensivos, provavelmente podem abrigar um número ainda maior de insetos e pássaros.

Valorização do imóvel

O uso de telhado verde torna as edificações mais sustentáveis, podendo ainda ser considerado como requisito para a obtenção de certificações LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), sendo ideal para empresas e edifícios comerciais, além de permitirem aumentar a área útil da construção no caso de serem acessíveis.

Além disso, protege a cobertura contra a ação dos raios ultravioletas, extremos de temperatura, efeitos do vento no telhado (TOMAZ, 2005) e a ação da água. Assim, a vida útil da cobertura da edificação é aumentada e são reduzidas as demandas de outros materiais que degradam o meio ambiente, como as telhas de fibrocimento e de cerâmica. Segundo Davis (2007), a substituição ou reparação de um telhado convencional é necessária em um período de 10 a 20 anos, enquanto que em telhados verdes é necessário a cada 40 anos, ou seja, o dobro de tempo.

Economia de água e energia elétrica

Devido ao benefício térmico do telhado verde, é possível economizar com energia elétrica utilizada por aparelhos de ar condicionado. A economia de energia dependerá do tamanho do edifício, sua localização, a profundidade do meio de cultura, e o tipo de plantas utilizadas (PECK & KUHN 2000).

Segundo estimativas, o telhado verde instalado na Câmara Municipal de Chicago nos Estados Unidos pode fornecer uma redução de cerca de 9.270 kWh por ano com aquecimento ou refrigeração de seu ambiente interno, representando uma economia de energia elétrica de aproximadamente US\$ 3.600,00(R\$ 7.200,00) reais por ano (CHICAGO, 2007 ; EPA, 2010).

Em outro estudo, realizado em um edifício em Toronto no Canadá, um telhado verde com 2980m² gerou uma redução de cerca de 10% no consumo de energia com refrigeração e aquecimento do ambiente, ou seja, cerca de 21.000 kWh por ano (BASS & BASKARAN, 2003).

Ainda, se o escoamento superficial gerado em um telhado verde for captado e armazenado em cisternas, a água da chuva pode ser utilizada para fins não potáveis, como irrigação do próprio telhado e jardins, além de descarga em bacias sanitárias, lavagens de pisos, entre outros, implicando em redução de custos com o pagamento de água tratada e, indiretamente contribui para a preservação de mananciais.

Além dos benefícios previamente comentados, os telhados verdes podem gerar oportunidades urbanas para a produção de alimentos orgânicos, plantas medicinais e ornamentais, trazendo como vantagem a redução do tempo e a distância entre área de colheita e a mesa, diminuindo custos com transporte de alimentos e assegurando maturação na colheita, além de oferecer novas oportunidades de emprego aos moradores da cidade (PECK & KUHN, 2000).

Em alguns países (Haiti, Colômbia, Tailândia, Rússia) topos de coberturas com telhados verdes são utilizados para produzir frutas, vegetais e até orquídeas (GARNETT, 1997; HENEINE, 2008), gerando possibilidades de empregos e renda. Psicólogos recomendam a jardinagem como atividade para terapias, refletindo no estado emocional dos usuários (MARY *et al.*, 2008).

O aumento de área verde pode ainda contribuir para produção de efeitos estéticos combatendo a poluição visual das cidades, além de propiciar sensações de bem estar aos moradores vizinhos ao telhado verde. Segundo Rivero (1986), a vegetação é um elemento ornamental, cuja função é dar satisfação às necessidades estéticas do ser humano, e proporcionar diminuição de ventos, aumento da sombra, intervindo diretamente nos problemas visuais.

4- MATERIAS E MÉTODOS

Foram projetados e construídos sistemas de bancadas para comportar os diferentes tipos de módulos de telhados verdes a serem testados experimentalmente. Foram também instalados sistemas de monitoramento hidrológico independente junto a cada divisão modular nas bancadas e, posteriormente, os dados oriundos do monitoramento foram processados, de maneira a permitir avaliar a atuação dos diferentes tipos de sistemas de telhados verdes sobre o escoamento pluvial. Uma descrição detalhada do processo metodológico é apresentada a seguir.

4.1 –SISTEMA DE BANCADAS DE TELHADOS VERDES

O sistema projetado foi composto de 3 (três) bancadas de madeira tratada, divididas em 2 (duas) partes iguais – reproduzindo, em menor escala, um telhado de 2 (duas) águas. Assim, foi possível obter 6 (seis) superfícies planas inclinadas, para uma utilização de até 12 (doze) diferentes tipos de sistemas de telhado verde. Cada bancada possui o comprimento de 1,90 m e largura de 0,40m em cada plano, com inclinação de 1 %, ou seja, inclinação total de 0,004m (Figura 10).

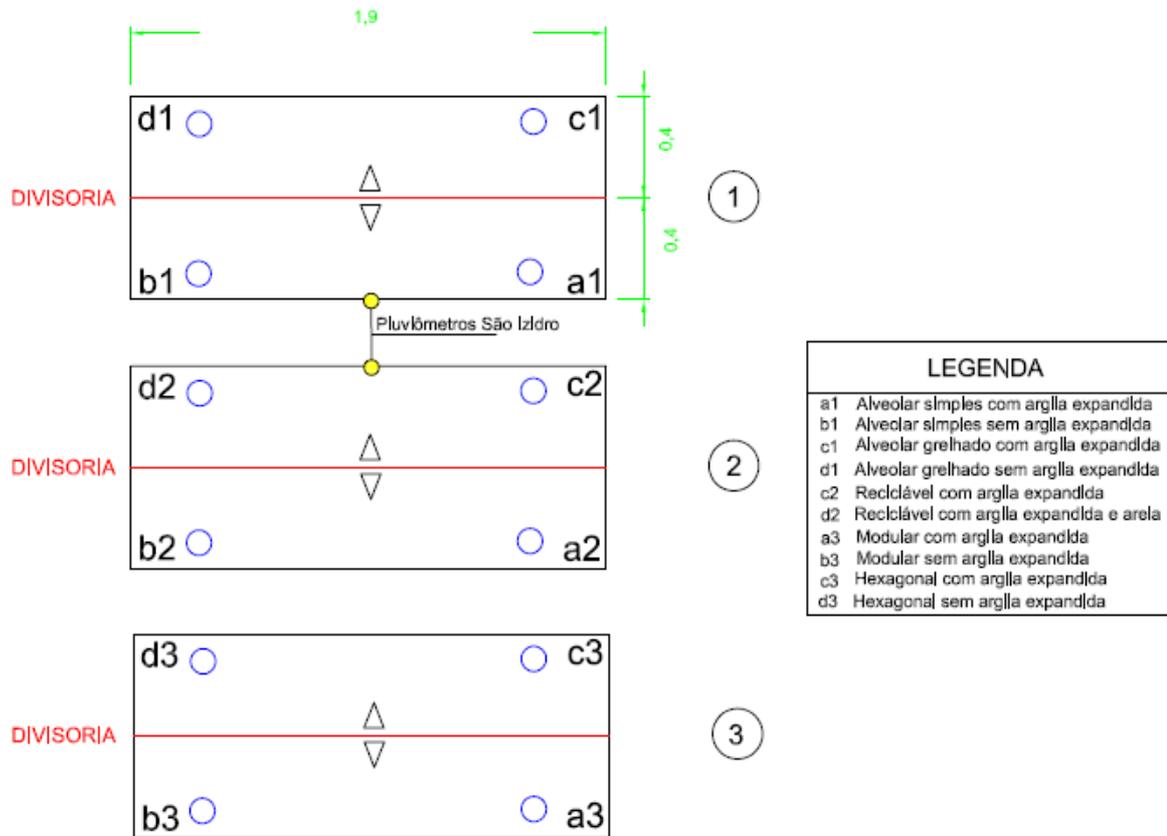


Figura 10 - Desenho esquemático das bancadas.

A impermeabilização das bancadas foi realizada com lona plástica transparente (Figura 11), com espessura de 95 (noventa e cinco) micras, em 2 (duas) camadas. Este tipo de lona é utilizado principalmente para a montagem de estufas para hidroponia, hortaliças, flores, entre outras, no qual, possui aditivos incorporados na fabricação, dando uma maior resistência devido aos raios UV (Ultra-Violetas). Sobre a impermeabilização realizada nas bancadas, foram acondicionados os sistemas de telhado verde utilizados no experimento.

Para a realização da coleta do escoamento gerado em cada plano, foram construídos drenos individuais, com diâmetro de 40 mm e comprimento de 15 cm, interligados por uma mangueira transparente de 3/8'' com espessura da parede de 1,50 mm, desde a extremidade responsável pela condução do escoamento até o recipiente de armazenamento (Figura 12).



Figura 11 - Vista das bancadas impermeabilizadas.



Figura 12 - Sistemas de drenos das bancadas.

Para o armazenamento do escoamento gerado em cada sistema de telhado verde, foi instalado na base de cada dreno uma “bombona” de água de 20 L, que ficou apoiada no solo.

As bancadas, assim montadas, foram instaladas em um terreno anexo ao Instituto Cardiovascular Icardio (Figura 13), na cidade de Santa Maria, localizado na rua Mal. Floriano

Peixoto, 1785 – Centro. A instalação foi concluída no dia 08 de outubro de 2012 e o experimento foi monitorado até o dia 25 de fevereiro de 2013.

Para o posicionamento das bancadas no terreno, foi utilizada a orientação norte, no sentido longitudinal, com as laterais voltadas para o leste e oeste. A localização foi determinada levando em conta a insolação de aproximadamente 8 (oito) horas diárias.



Figura 13 - Localização das bancadas em anexo ao Instituto Icardio.
Fonte: Google Earth (12/01/2013).

4.2 – SISTEMAS DE TELHADOS VERDES

Para este estudo, foram utilizados 4 (quatro) tipos de sistemas modulares comerciais diferentes, e um sistema de telhado verde criado a partir de materiais recicláveis.

Os sistemas comerciais foram obtidos por meio de doação junto à empresa Ecotelhado[®], localizada na cidade de Porto Alegre – RS. Os sistemas comerciais utilizados no experimento são conhecidos como, sistema hexagonal (figura 14a), sistema alveolar simples (figura 14b), sistema alveolar grelhado (figura 14c), sistema modular com galocha (figura 14d). O sistema reciclável foi projetado e desenvolvido com garrafas do tipo PET (2L) (figura 14e).



Figura 14 – Diferentes tipos de sistemas de telhados verdes empregados.

Os sistemas comerciais foram montados nas bancadas em forma de conexão, onde, os encaixes individuais proporcionaram uma determinada área para cada tipo de sistema de telhado verde experimental. O sistema reciclável que foi desenvolvido a partir de garrafas do tipo PET de 2 litros, onde, foram cortadas ao meio, e realizado alguns furos em toda a circunferência, em uma distância de 3 cm da base (Figura 15), para que o sistema obtivesse uma camada de acondicionamento e drenagem da água pluvial.

Como foram desenvolvidas 2 (duas) parcelas experimentais iguais para cada tipo de sistema de telhado verde, apenas com uma variação no substrato, as áreas de concentração das parcelas experimentais para cada tipo de sistema foram devidamente impermeabilizadas, e possuíam as mesmas dimensões.



Figura 15 - Montagem do sistema reciclável com garrafa do tipo PET.

Para a montagem dos sistemas de telhado verde, foram utilizadas diferentes composições e espessuras de substratos, bem como, a adição de aproximadamente 1 cm de compostos do tipo argila expandida em uma das parcelas de cada sistema.

Para a cobertura vegetal dos sistemas de telhado verde, foi escolhida a grama São Carlos (*Axonopus compressus*) e a Calanchôe (*Kalanchoe blossfeldiana*). A grama foi necessária para a instalação nos sistemas alveolares, enquanto a Calanchôe foi instalada nos sistemas hexagonal, modular com galocha e reciclável.

As razões para a escolha destas duas espécies devem-se ao fato de ambas serem resistentes aos eventos extremos de calor e frio, bem como a alta tolerância a períodos de estiagem. Especificamente com relação à aplicação de Calanchôe em telhados verdes, verificou-se que a mesma é adequada para as condições climáticas de Santa Maria (SILVA, 2010).

No quadro 2 é apresentada a caracterização de cada um dos sistemas de telhado verde utilizados no experimento.

TIPOS DE MÓDULOS	DESCRIÇÃO	BANCADA*	CÓDIGO*	COMPOSIÇÃO	QUANTIDADE DE MUDAS	TIPO DE VEGETAÇÃO	ÁREA (m ²)
Alveolar Simples	Com argila expandida	1	a1	Base com argila e 5,5 cm de solo	1(leiva)	São Carlos	0,331
	Sem argila expandida	1	b1	5,5 cm de solo	1 (leiva)	São Carlos	0,331
Alveolar Grelhado	Com argila expandida	1	c1	Base com argila e 5,5 cm de solo	1 (leiva)	São Carlos	0,331
	Sem argila expandida	1	d1	5,5 cm de solo	1 (leiva)	São Carlos	0,331
Reciclável	Com argila expandida	2	c2	8,5 cm de solo	7	Calanchôe	0,187
	Com argila expandida e areia	2	d2	6,5 cm de solo e 2 cm de areia	7	Calanchôe	0,187
Hexagonal	Com argila expandida	3	a3	Base com argila e 3 cm de solo	13	Calanchôe	0,249
	Sem argila expandida	3	b3	3 com de solo	13	Calanchôe	0,249
Modular com Galocha	Com argila expandida	3	c3	Base com argila e 3,0 cm de solo	8	Calanchôe	0,245
	Sem argila expandida	3	d3	4 cm de solo	8	Calanchôe	0,245

**ver a Figura 10 para um melhor entendimento do posicionamento nas bancadas*

Quadro 2 - Descrição dos diferentes sistemas para telhados verdes utilizados no estudo.

Em razão de o experimento utilizar diferentes tipos de sistemas de telhados verdes, os formatos obtidos possuíam as áreas de concentração diferenciadas para cada, conforme apresentado na figura 16.

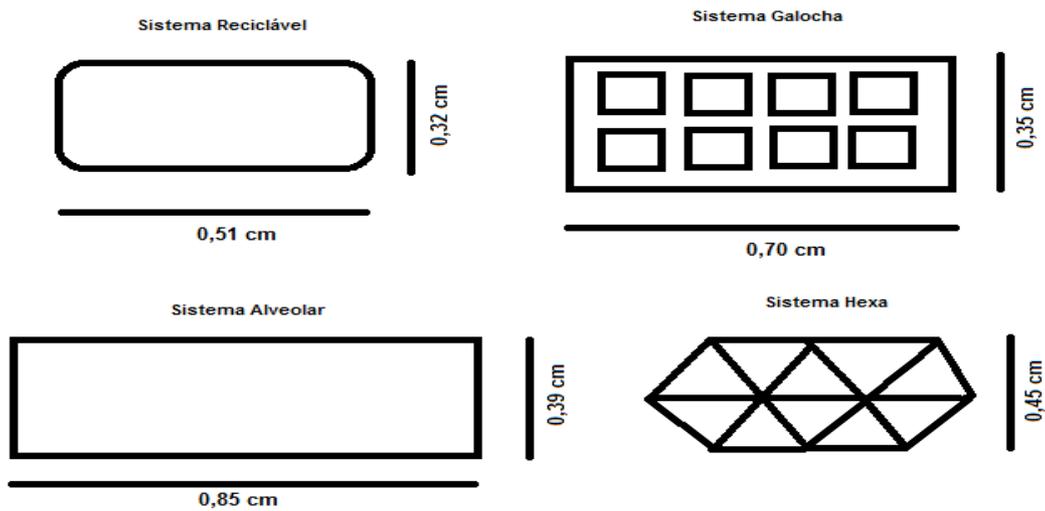


Figura 16 – Esquema das dimensões dos diferentes sistemas experimentais de telhado verde.

A camada de solo utilizada no substrato foi de aproximadamente 3,5 cm para o sistema alveolar simples e grelhado com a argila expandida, e de 4,5 cm para o substrato sem a argila expandida. O substrato do sistema modular com galocha utilizando argila expandida atingiu 3 cm de solo e 4 cm sem argila expandida. Já o sistema hexagonal não teve alteração no volume do substrato por possuir uma base inferior para separação do substrato e do reservatório de armazenamento de água (Figura 17 e 18).



Figura 17 – Montagem inicial dos sistemas alveolares simples e grelhado com e sem argila expandida utilizando plantas da espécie Calanchôe.



Figura 18 - Montagem dos sistemas galocha (a) e hexagonal (b) com e sem argila expandida.

Os sistemas alveolares receberam inicialmente 6 (seis) mudas Calanchôe, sendo que após 10 dias de monitoramento foram substituídas por grama São Carlos, devido ao grande espaço vazio que restou entre as mudas(Figura 19a e 19b). Com a substituição o sistema passou a ter um substrato de aproximadamente 5,5 cm, pois a vegetação utilizada neste caso foi na forma de leiva.



Figura 19 – Sistemas alveolares antes (a) e depois (b) da substituição da vegetação de plantas Calanchôe por grama São Carlos.

Para o sistema reciclável foi desenvolvido em caixas de PVC com formato retangular, onde as garrafas Pets foram acondicionadas intercaladas de um espaço vazio entre ambas. Foi utilizado uma composição diferenciada nas garrafas, contendo uma camada de aproximadamente 2 cm de argila expandida bem abaixo, uma manta geotéxtil para a separação da água do substrato, 2 cm de areia e 7 cm de substrato (Figura 20a e 20b).



(a)

(b)

Figura 20 – Montagem dos sistemas recicláveis com areia (a) e sem areia (b).

Foi realizado um procedimento de pesagem dos diferentes sistemas de telhados verdes, de maneira a verificar qual seriam o peso seco (P_{se}) e o peso saturado (P_{sa}). A informação é bastante relevante do ponto de vista estrutural dos telhados, pois a maior eficiência no controle quantitativo do escoamento pluvial também pode estar correlacionada a um maior sobrepeso na estrutura portante, o que pode se tornar muitas vezes antieconômico. Para a realização das pesagens, foi utilizada uma balança eletrônica digital industrial da marca Digitron, do Laboratório de Engenharia Ambiental e Sanitária do Centro Universitário Franciscano – UNIFRA (Figura 21a, 21b, 21c e 21d) devidamente aferida e calibrada pelo INMETRO. Na Tabela 2 é apresentado o resultado desta pesagem.



Figura 21 – Esquema de pesagem dos diferentes sistemas de telhado verde utilizados no experimento.

Tabela 2 - Avaliação entre o peso seco e o peso saturado dos sistemas de telhados verdes

CÓDIGO	ÁREA (m ²)	PESO SECO (Kg)	PESO SATURADO (Kg)	DIFERENÇA (Psa-Pse)
a1	0,331	16,8	22,0	5,2
b1	0,331	16,9	22,1	5,2
c1	0,331	17,0	22,4	5,4
d1	0,331	17,1	22,2	5,1
c2	0,187	6,7	7,8	1,1
d2	0,187	7,0	8,5	1,5
a3	0,249	10,3	12,8	2,5
b3	0,249	10,8	12,7	1,9
c3	0,245	10,4	13,9	3,5
d3	0,245	10,2	14,0	3,8

4.3 – SISTEMA DE MONITORAMENTO

Foram monitoradas as seguintes variáveis: precipitação e o volume drenado a partir dos diferentes tipos de sistemas de telhado verde.

O monitoramento da precipitação foi realizado a partir de 2 (dois) pluviômetros instalados sobre as bancadas. Esse monitoramento permitiu a estimativa da precipitação incidente diretamente sobre os sistemas de telhado verde, desconsiderando quaisquer efeitos ao entorno.

Os resultados obtidos para os eventos monitorados pelos índices pluviométricos nos diferentes sistemas de telhados verdes foram corrigidos para a unidade de metro quadrado (m²), relacionando os valores com os dos eventos chuvosos registrados na mesma unidade volumétrica.

O monitoramento do escoamento gerado a partir dos sistemas de telhado verde foi realizado por meio da destinação dos excedentes até os drenos instalados nas bancadas e

condução até o interior de bombonas de 20 L. O escoamento excedente é o resultado da precipitação total incidente menos a quantidade de água que ficou retida no sistema de telhado verde, por meio de interceptação, armazenamento no substrato e sistema de drenagem, sendo considerado o escoamento superficial. Os volumes de escoamento superficial eram quantificados em cada parcela de monitoramento.

A coleta dos dados do escoamento superficial junto às bombonas foram realizadas após o término de cada evento chuvoso, ou caso ocorresse o enchimento total do recipiente, o mesmo era registrado e substituído imediatamente.

4.4 – TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

Os dados oriundos do monitoramento foram trabalhados e analisados, de forma a permitir a determinação da eficiência de cada sistema de telhado verde no controle quantitativo do escoamento pluvial.

Com relação aos dados pluviométricos, os dois pluviômetros instalados permitiram verificar que a precipitação incidente registrada, foi praticamente à mesma ao longo dos períodos monitorados, sendo que se optou por considerar um valor médio da leitura feita nos dois equipamentos. A consistência desses registros foi realizada com os dados do pluviógrafo do INMET, instalado na cidade de Santa Maria no bairro Camobi, próximo a UFSM. Embora sua localização esteja distante do experimento, os dados do INMET foram utilizados para verificar a magnitude dos eventos chuvosos incidentes na região de Santa Maria.

Os registros do pluviógrafo do INMET permitiram avaliar o volume de chuva acumulada do evento chuvoso monitorado no experimento, no qual, foi possível determinar a condição da umidade antecedente do solo (*Antecedent Moisture Condition – AMC*), de acordo com a classificação do *Natural Resources Conservation Service (USDA, 1986 - antigo Soil Conservation Service)*. Seguindo essa metodologia, é possível indicar a AMC de cada evento chuvoso, com base no volume de chuva acumulado nos cinco dias que antecedem o evento chuvoso (Quadro 3).

AMC	Precipitação acumulada 5 dias anteriores
I	Inferior a 13 mm
II	Entre 13 e 28 mm
III	Superior a 28 mm

Quadro 3 - Classificação da umidade antecedente do solo.

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

A partir do registro do escoamento superficial armazenado nas bombonas, foi determinada a eficiência dos diferentes sistemas de telhados verdes no controle quantitativo de água pluvial. Para isso, foi utilizado o coeficiente de escoamento superficial (C) como variável descritora. O C é a relação entre o escoamento superficial e a precipitação total incidente, no qual, representa a proporção da chuva que é convertida em escoamento superficial, assumindo valores entre 0 e 1, sendo que quando mais próximo a 0, mais eficiente na retenção das águas pluviais é o sistema de telhado verde. Também foi realizada a estimativa da capacidade de armazenamento de água por m² de cada sistema de telhado verde, considerando as áreas de cobertura de cada sistema. Para isso, após o final de cada evento chuvoso, o valor relacionado ao escoamento pluvial em cada parcela era verificado, e logo, este valor tratado para gerar os resultados.

Outra maneira de analisar a eficiência de telhados verdes no controle quantitativo do escoamento pluvial é analisar os valores que parâmetros hidrológicos devem assumir para representar o comportamento da estrutura frente a um evento chuvoso.

Para a determinação do parâmetro CN foi utilizado o volume de escoamento superficial armazenado nas bombonas (chuva efetiva), e a chuva total incidente. Considerando o equacionamento do método, o objetivo do ajuste aos eventos monitorados foi o de encontrar o valor do CN que aplicado no equacionamento, juntamente com a precipitação observada produzisse um volume escoado superficialmente (chuva efetiva) equivalente ao observado.

Após a obtenção dos valores da capacidade máxima de armazenamento de água no solo, foi possível determinar os valores de CN para todos os eventos monitorados, conforme a equação 2. Os valores de CN também foram separados de acordo com a AMC previamente definida, seguindo as recomendações do método. Os valores de CN obtidos mediante o

processo de calibração foram comparados com aqueles que seriam obtidos a partir de valores apresentados na literatura para cada AMC.

5- RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 – EVENTOS MONITORADOS

Na tabela 3 são apresentados os 35 eventos monitorados no decorrer deste estudo. A pluviometria apresentada corresponde à média dos valores registrados nos pluviômetros instalados na área das bancadas, e consistidos com os dados do INMET para verificação das informações. Na Figura 22 eles são apresentados em forma gráfica, de maneira a facilitar a visualização.

Tabela 3 - Precipitação (mm) monitorada pelos pluviômetros no experimento e na estação do INMET.

EVENTOS	DATA	INMET	EXPERIMENTO	EVENTOS	DATA	INMET	EXPERIMENTO
1	09/10/2012	68	68	19	18/12/2012	24,6	27
2	11/10/2012	2	2	20	21/12/2012	78,8	51
3	16/10/2012	10	10	21	26/12/2012	53,4	41
4	20/10/2012	31	39	22	28/12/2012	27,4	20
5	22/10/2012	28,2	26	23	01/01/2013	49	40
6	27/10/2012	6,4	3	24	05/01/2013	55,6	38
7	28/10/2012	4	4	25	07/01/2013	36	32
8	29/10/2012	10,8	11	26	17/01/2013	-	3
9	10/11/2012	12,4	11	27	25/01/2013	-	2
10	11/11/2012	0,2	1	28	02/02/2013	45,3	54
11	19/11/2012	10,2	14	29	12/02/2013	6,2	9
12	20/11/2012	1	2	30	13/02/2013	1,6	1
13	23/11/2012	19,8	10	31	14/02/2013	4,2	6
14	24/11/2012	29,4	28	32	17/02/2013	30,2	28
15	01/12/2012	12,8	14	33	18/02/2013	0,8	1
16	04/12/2012	19,6	15	34	20/02/2013	5,6	6
17	11/12/2012	32,4	19	35	25/02/2013	3,2	2
18	12/12/2012	57	56				

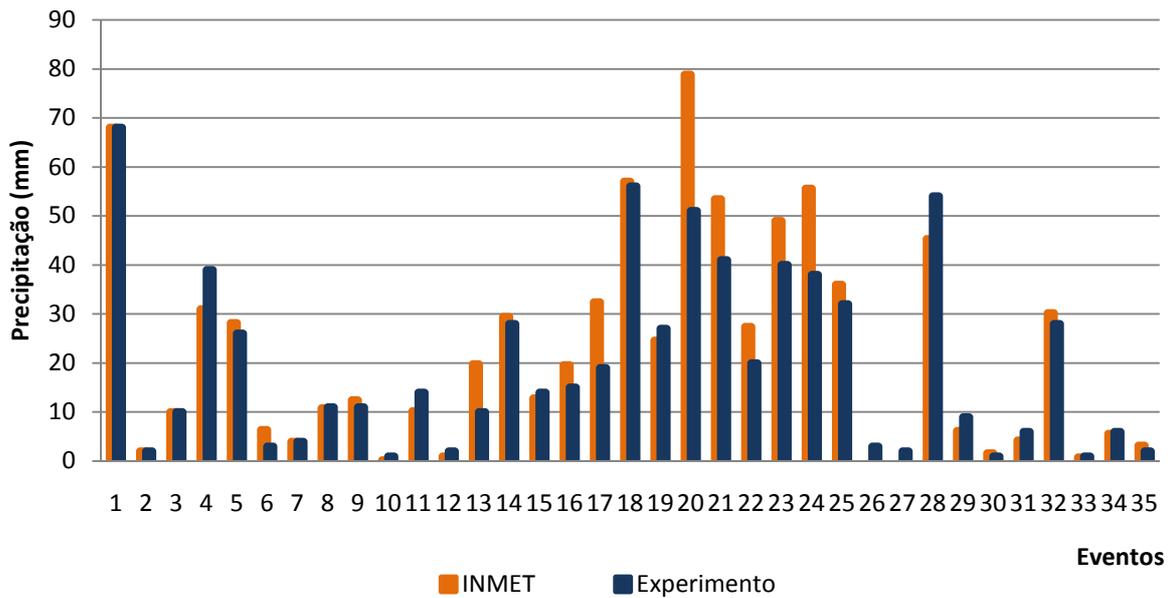


Figura 22 – Dados pluviométricos monitorados na área do experimento e na estação do INMET.

Conforme se verifica, os valores de precipitação obtidos no experimento têm a mesma ordem de magnitude daqueles observados na estação do INMET. Durante alguns eventos o volume chuvoso foi idêntico, enquanto em outros houve uma pequena diferença, sendo notável que, em geral, o posto do INMET apresentou maior volume de chuva na maioria dos casos. Essa pequena diferença deve-se, provavelmente, à localização dos postos, além de possíveis interferências na região do experimento, devido à proximidade com edificações. Assim, considerou-se que os dados eram consistentes.

O volume médio de precipitação incidente nos sistemas de telhados verdes foi de 14 mm, com o maior valor registrado de 68 mm e o menor valor de 1 mm.

5.2 – CONTROLE DO ESCOAMENTO PLUVIAL

A tabela 4 apresenta os volumes de escoamento superficial (em litros por unidade de área) registrados em cada sistema de telhado verde durante os eventos monitorados. Os mesmos resultados são apresentados na forma gráfica na figura 23, onde é possível visualizar as diferenças no escoamento superficial gerado nos diferentes sistemas de telhados verdes estudados.

Tabela 4 - Escoamento superficial dos diferentes sistemas de telhados verdes.

Eventos	Escoamento superficial (L/m ²)									
	Alveolar simples		Alveolar grelhado		Reciclado		Hexagonal		Modular	
	a1	b1	c1	d1	c2	d2	a3	b3	c3	d3
1	51,4	64,7	57,4	62,2	-	-	57	62,2	25	25,5
2	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0
3	0	0,3	1,93	1,72	22,08	6,31	0,4	0,64	0,08	0,06
4	19,27	28,22	23,38	24,98	96,26	42,78	26,75	28,51	0	11,96
5	17,79	26,65	24,32	15,65	52,46	31,98	23,53	21,29	2,2	12,73
6	0	0,07	0	0	1,68	2,11	0	0	0	0
7	0	0	0	0	4,49	4,33	0	0	0	0
8	0	7,4	5,05	3,93	8,45	19,04	1,85	2,89	0,53	0
9	0	4,41	0	1,45	14,76	17,86	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	3,78	5,74	4,53	5,56	20,96	16,79	1,61	1,2	0,65	0,45
12	0	0	0	0	1,18	0,86	0	0	0	0
13	5,47	5,62	3,6	4,08	6,36	7,01	1,24	5,22	1,63	1,71
14	17,16	17,28	13,29	14,77	23,96	28,07	4,74	17,83	6,78	7,1
15	4,29	6,19	5,44	5,89	23,53	21,12	4,42	3,82	3,27	2,65
16	10,91	10,63	13,72	8,28	10,7	12,41	2,49	4,54	1,06	1,55
17	11,42	14,47	14,62	11,42	18,4	17,06	12,53	17,59	5,67	3,27
18	46,28	50,91	43,26	44,59	46,2	57,54	45,74	50,84	22,94	24,2
19	10,57	14,62	14,08	12,93	18,4	21,39	5,46	10,44	3,51	3,76
20	36,73	42,53	41,18	45,86	42,03	35,24	24,02	24,94	12,33	13,02
21	14,98	15,74	14,14	15,41	32,09	30,05	15,26	16,39	8,61	9,47
22	10,27	11,75	9,55	10,63	15,94	16,15	4,34	5,7	2,37	3,63
23	21,18	21,45	20,6	21,3	26,31	28,98	23,33	24,98	9,31	8,65
24	11,75	12,21	3,99	4,26	29,95	28,24	26,51	28,51	28,24	30,29
25	12,45	13,29	6,04	6,28	27,86	26,95	27,83	28,11	28,49	28,9
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	38,7	39,03	39,64	44,71	46,52	47,11	26,91	27,47	15,51	15,96
29	4,29	4,86	4,08	4,62	6,68	5,94	4,78	4,82	3,76	4,29
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	3,17	3,32	3,26	3,38	5,08	4,28	4,02	4,1	2,45	2,61
32	11,48	11,9	11,36	12,15	17,11	16,63	11,57	11,77	9,39	10
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	4,14	4,26	4,2	4,41	5,61	5,08	4,54	4,66	2,53	2,78
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Média	10,5	12,5	10,93	11,16	18,94	16,71	10,31	11,67	5,61	6,42

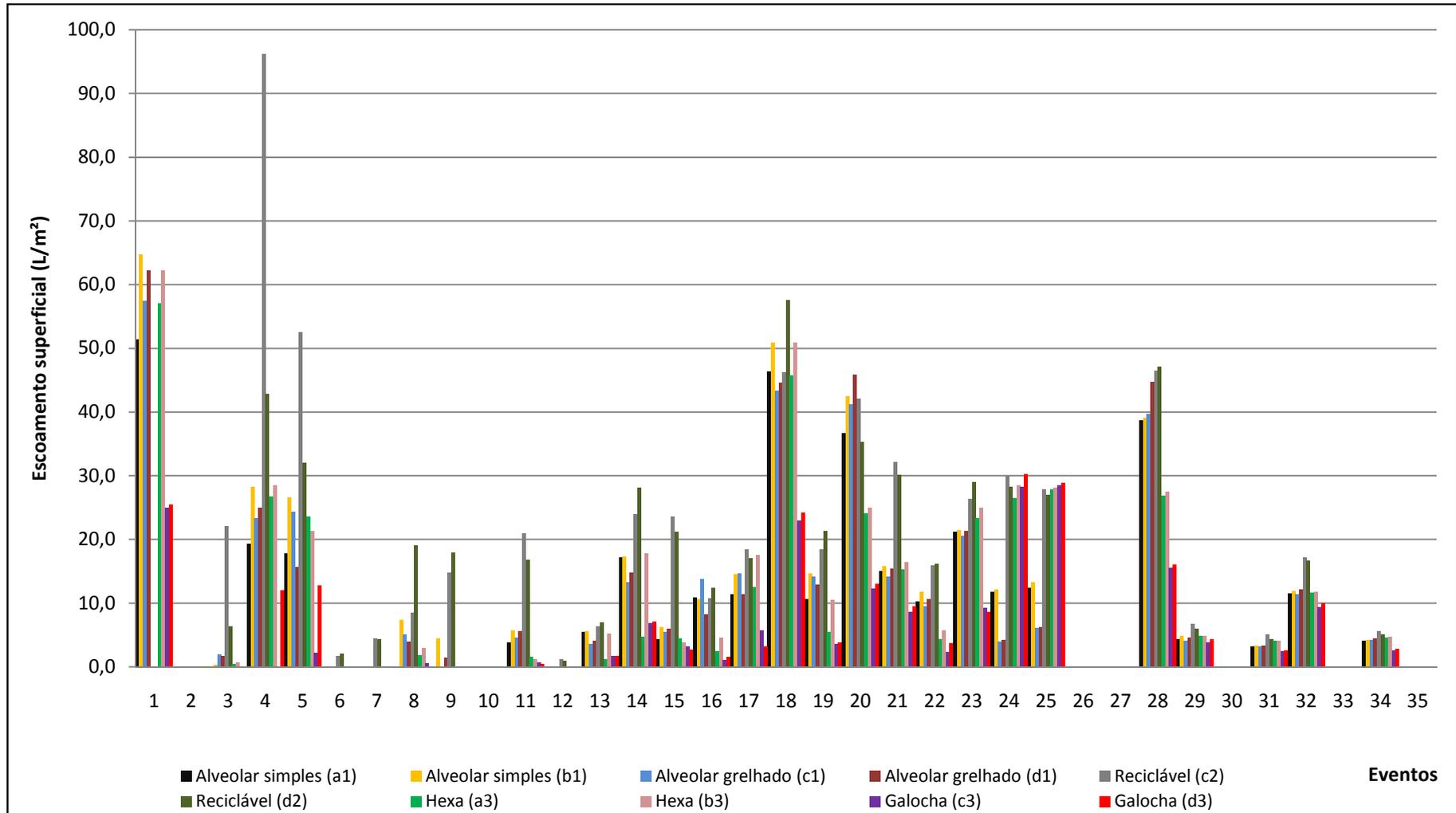


Figura 23. Escoamento superficial nos diferentes sistemas de telhados verdes ao longo dos 35 eventos monitorados no experimento.

Verifica-se que foi possível obter uma boa capacidade de retenção de água nos diferentes sistemas e substratos analisados, sendo que para alguns eventos de chuva nem mesmo foi gerado escoamento superficial. Com base nos resultados obtidos, o sistema que menos gerou escoamento superficial médio por unidade de área foi o sistema comercial de o tipo modular com galocha, que possui em sua composição um material poroso em EVA, capaz de aumentar a retenção de água. O sistema com o pior resultado foi o reciclável, no qual, foi desenvolvido experimentalmente com garrafas PET, portanto, formaram-se espaços vazios entre as garrafas acondicionados sobre o módulo. Verificou-se, também, que em todos os casos os sistemas com substrato contendo argila expandida apresentaram menores volumes de escoamento superficial, demonstrando-se, assim, o papel do agregado no controle das águas pluviais.

De maneira a relacionar os escoamentos gerados e a chuva ocorrida, nas figuras 24 a 28 são apresentados os resultados do coeficiente de escoamento superficial (C – razão entre o volume escoado superficialmente e o total precipitado), obtidos nos diferentes sistemas com os substratos diferenciados.

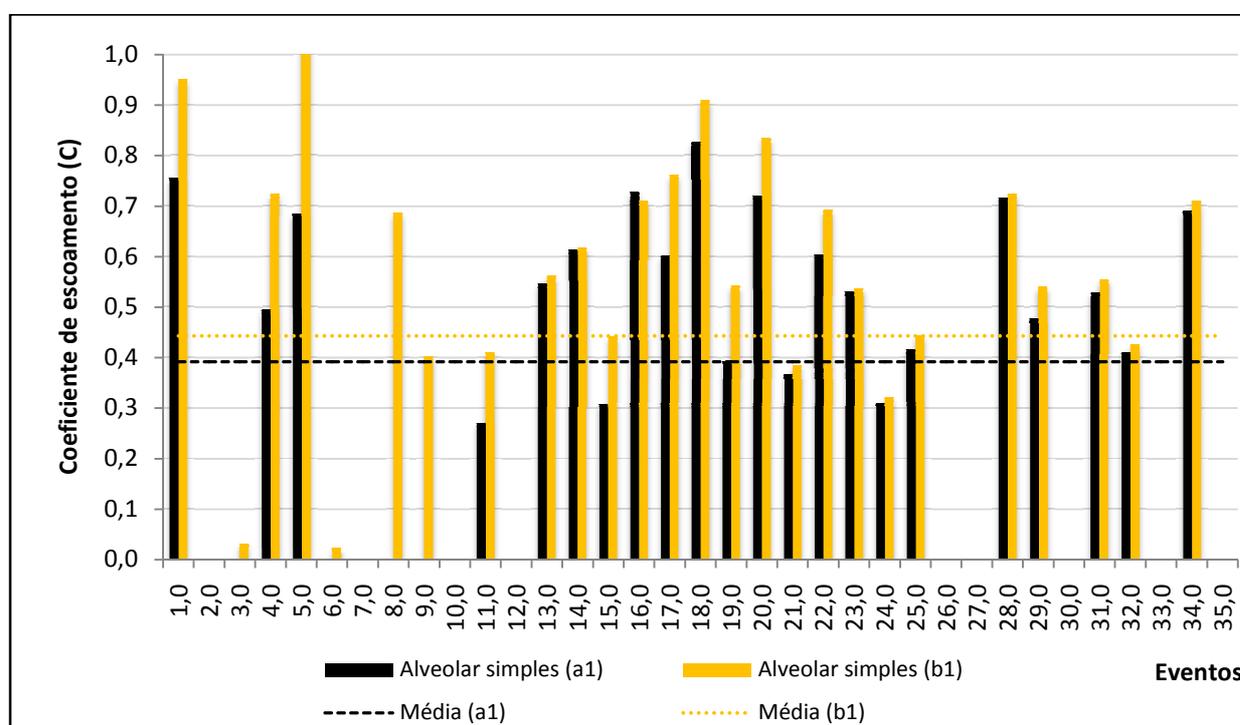


Figura 24 - Coeficiente de escoamento nos sistemas alveolares simples.

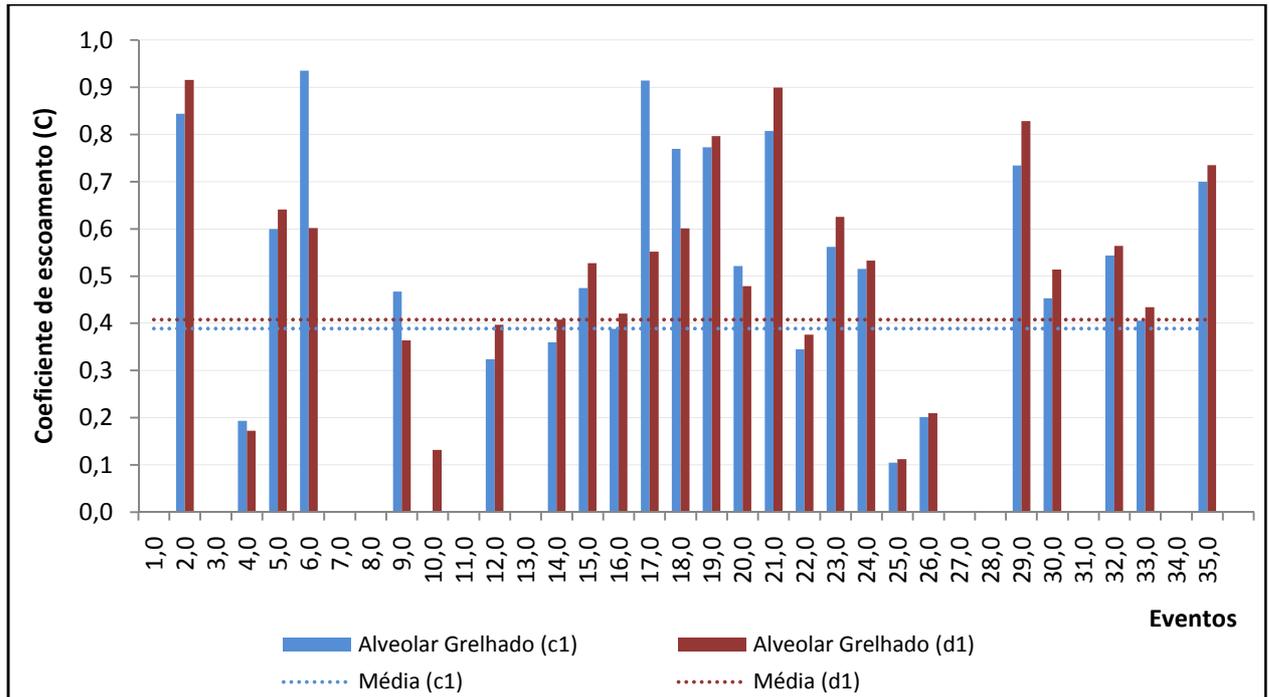


Figura 25 - Coeficiente de escoamento dos sistemas alveolares grelhado.

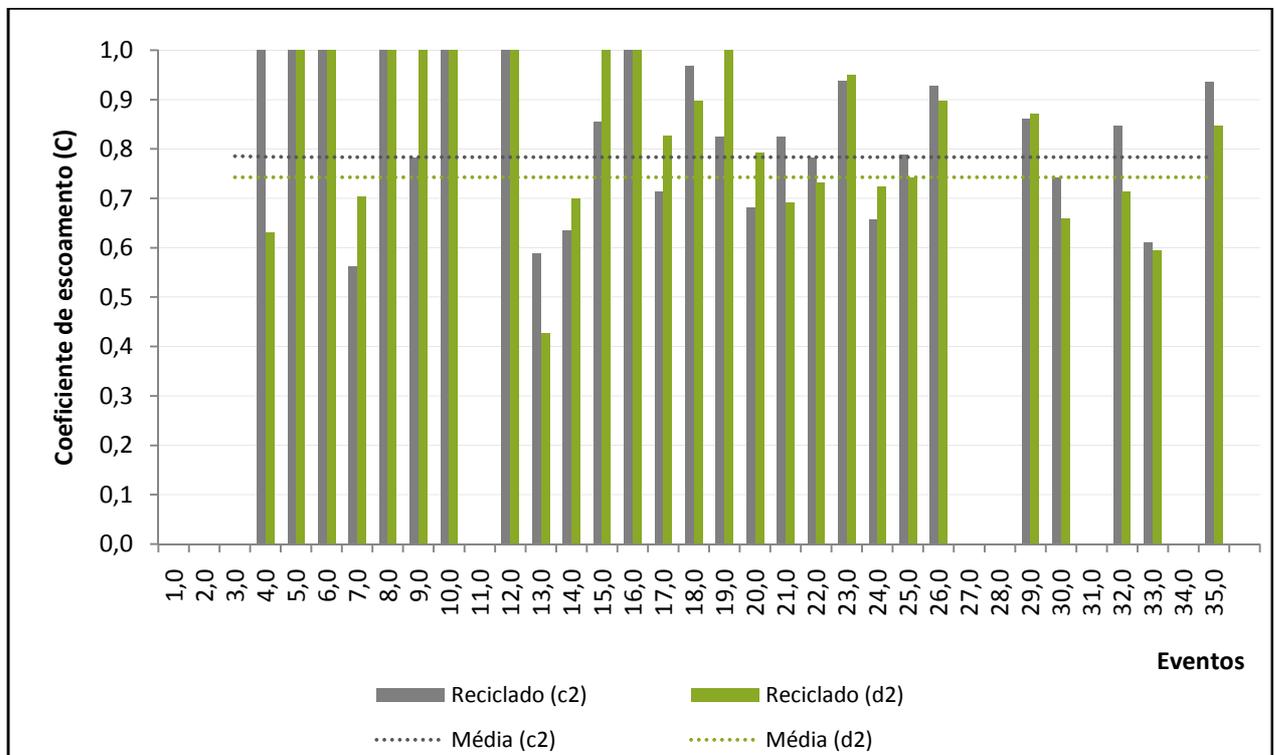


Figura 26 - Coeficiente de escoamento dos sistemas recicláveis.

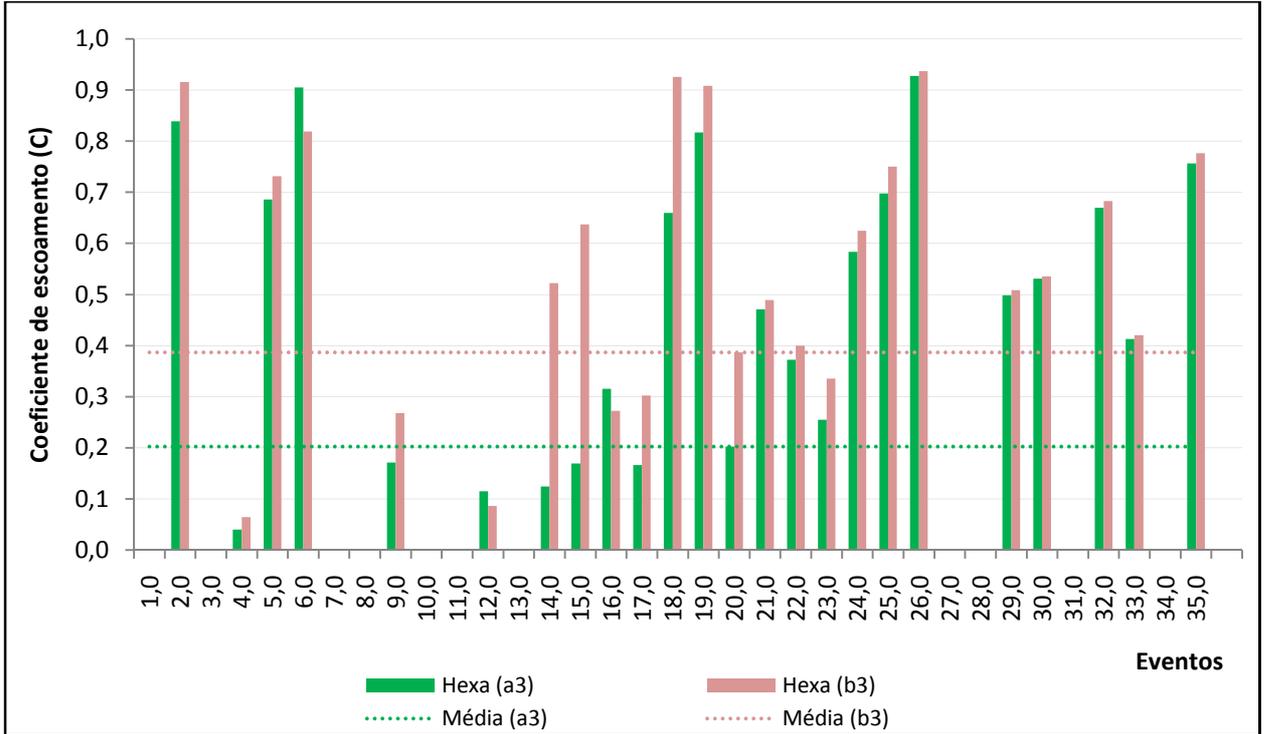


Figura 27 - Coeficiente de escoamento dos sistemas Hexagonal.

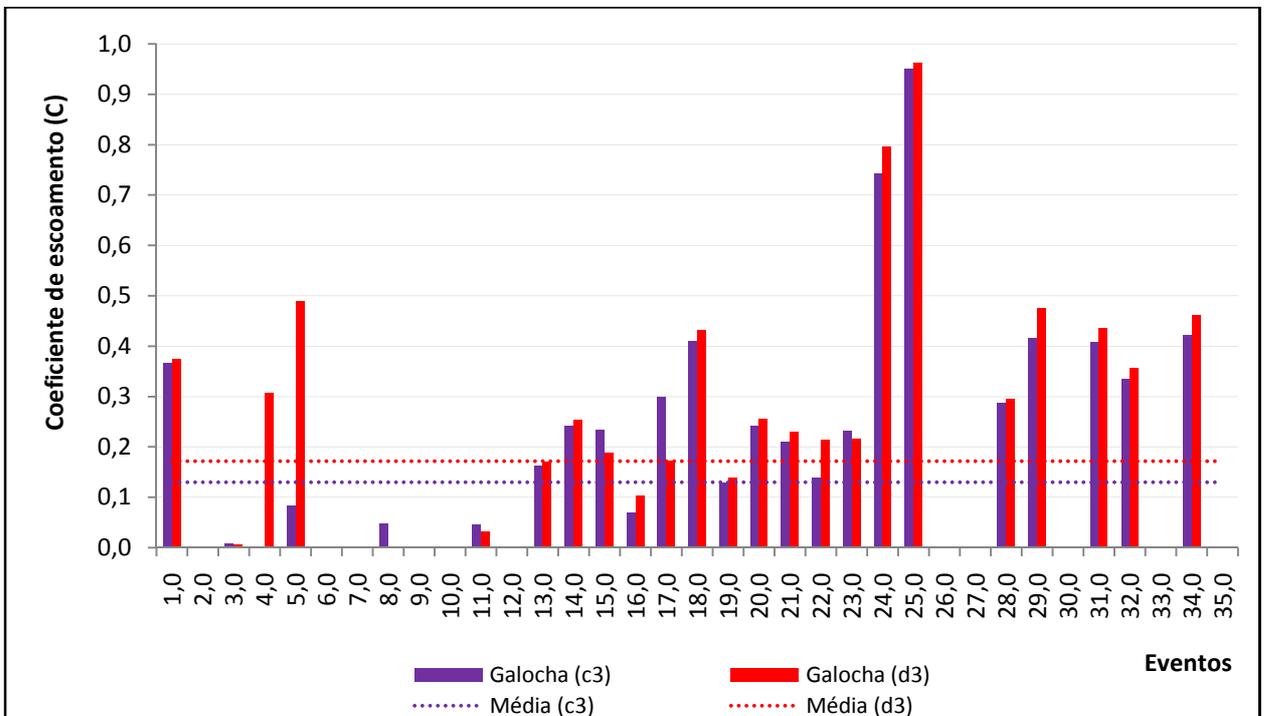


Figura 28 - Coeficiente de escoamento dos sistemas modulares com galocha.

A análise do coeficiente de escoamento também demonstra que o sistema que gera um menor coeficiente de escoamento superficial é o modular com galocha, com valor médio de 0,13 para o substrato com argila expandida (c3) e de 0,17 para o substrato sem argila expandida (d3). A diferença entre os resultados obtidos para o sistema c3 e d3 refere-se à utilização da argila expandida, que aumentou a capacidade de retenção de água no sistema, reduzindo em média 18,5% o volume do escoamento superficial. O percentual médio de retenção do volume de chuva no sistema modular com galocha é de 88,1% para o substrato com argila expandida (c3) e de 82,8% para o substrato sem argila expandida (d3).

O sistema que gerou um maior volume de escoamento superficial foi o reciclável, com um coeficiente de escoamento superficial médio de 0,74 para o substrato com argila expandida e areia (d2) e de 0,78 para o substrato com argila expandida e sem areia (c2). A retenção do volume de escoamento superficial no sistema reciclável foi baixa, com uma porcentagem de 21,7% para o substrato com argila expandida e sem areia (c2) e de 25,7% para o substrato com argila expandida e areia (d2) (Figura 29).

A maior variabilidade no valor do coeficiente de escoamento superficial influenciado pela composição do substrato foi no sistema hexagonal. Foi obtido um valor de 0,2 para o substrato com argila expandida (a3) e de 0,4 para o sistema sem argila expandida (d3), ou seja, uma diferença de 100%, revelando a importância da escolha do substrato adequado para garantir uma melhor eficiência no controle do escoamento pluvial.

Quanto estimada a capacidade de armazenamento de água por unidade de área – quantidade de chuva (mm) por metro quadrado (m^2) – foi novamente verificado que o sistema modular com galocha apresentou um desempenho superior aos demais (Figura 30). Foi possível, atingir um armazenamento médio de 14,2 mm/m^2 no sistema com substrato contendo argila expandida (c3) e 13,4 mm/m^2 no substrato sem argila expandida (d3). Para os demais sistemas, foram obtidas as capacidades de armazenamento médias por unidade de área, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Valores de armazenamento médio para cada sistema de telhado verde (mm/m^2)

Alveolar simples		Alveolar grelhado		Reciclado		Hexagonal		Modular Galocha	
a1	b1	c1	d1	c2	d2	a3	b3	c3	d3
9,3	7,6	8,9	8,7	4,5	4,8	9,5	8,2	14,2	13,4

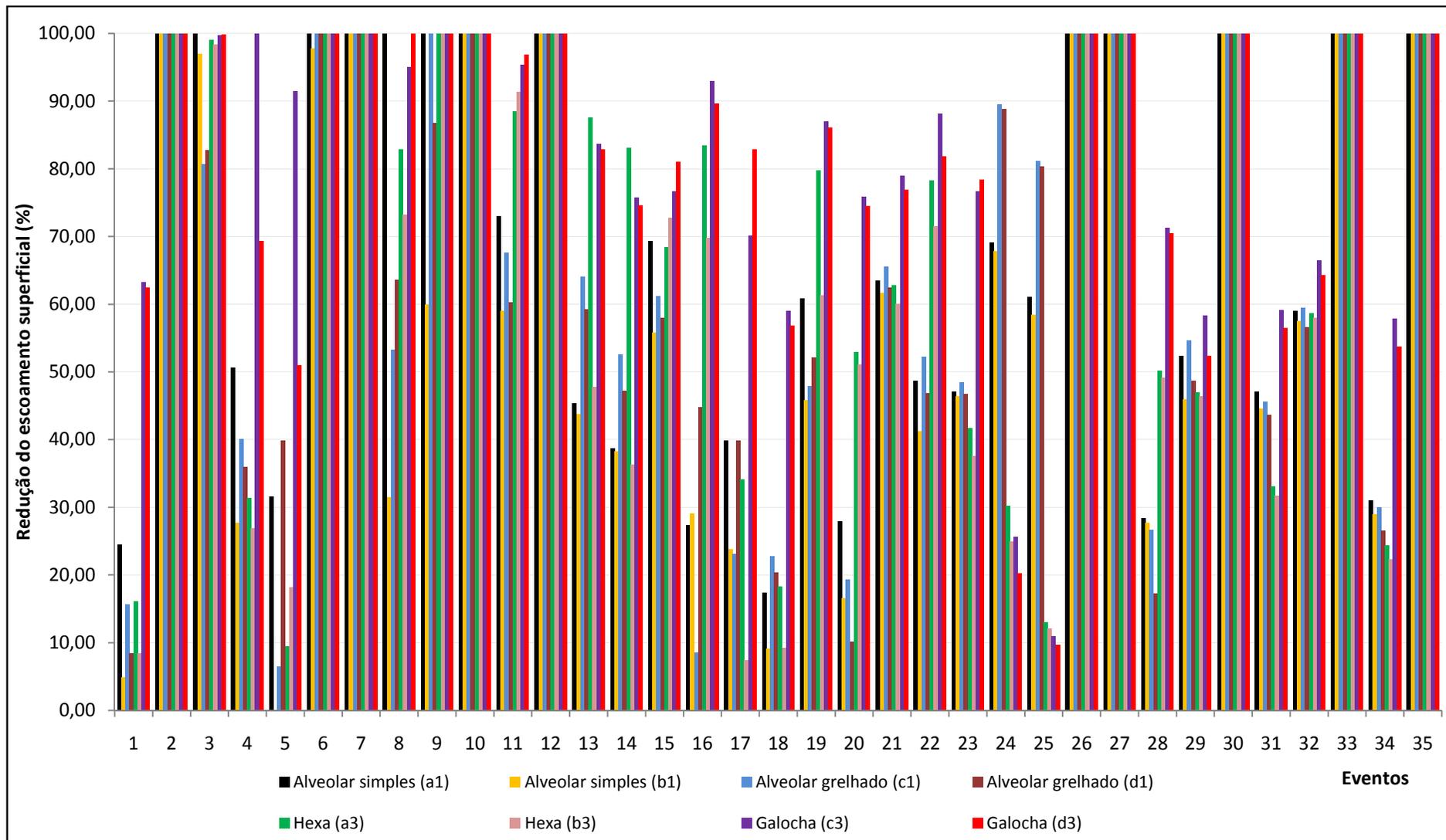


Figura 29 - Porcentagem de redução do escoamento superficial dos diferentes sistemas de telhado verde.

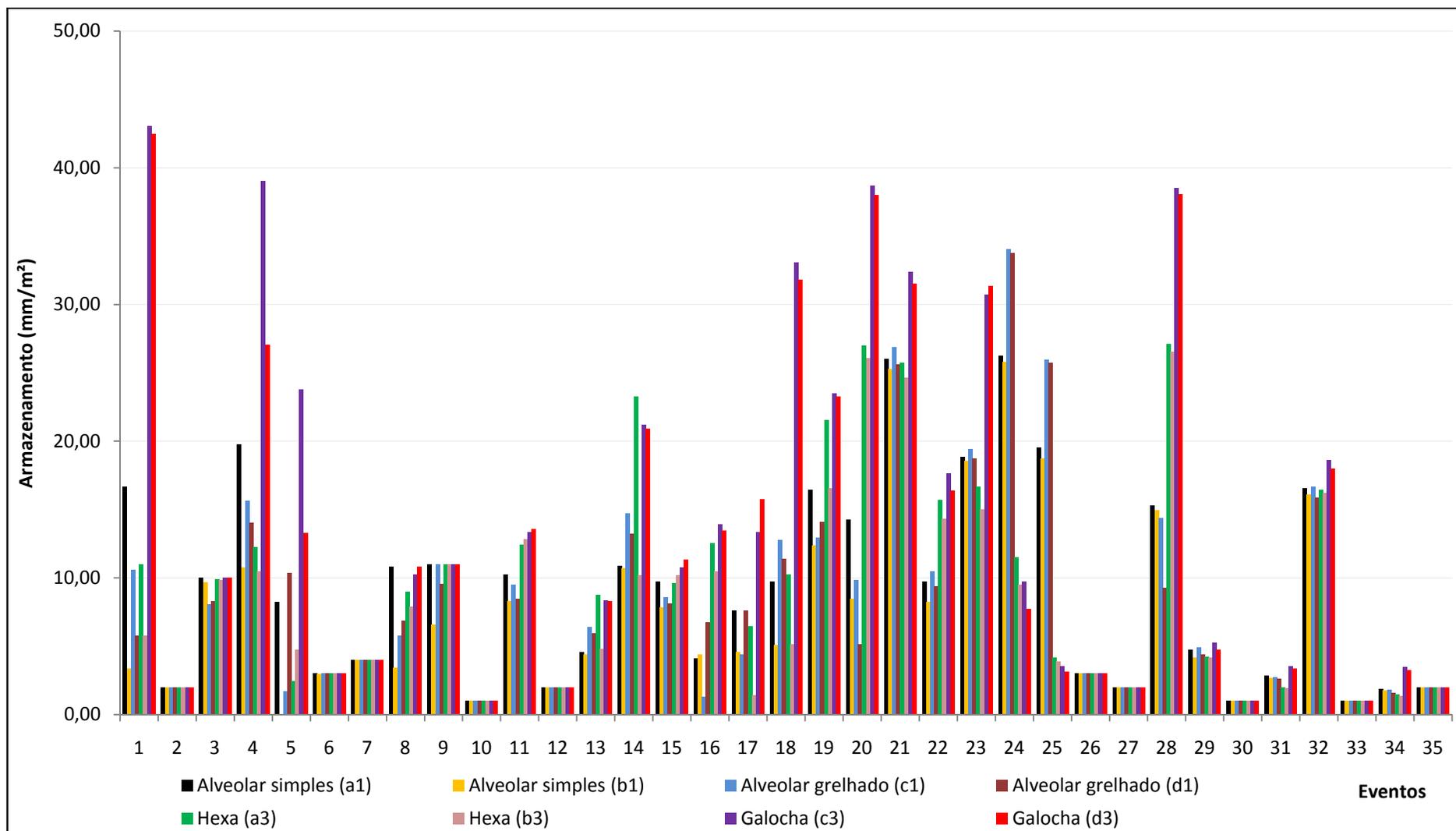


Figura 30 - Capacidade de armazenamento de água nos diferentes sistemas de telhado verde.

De acordo com esses resultados, verifica-se que na maioria dos casos, a adição de argila expandida ao substrato proporcionou uma maior capacidade de armazenamento de água na estrutura, tendo sido evidente nos sistemas alveolar simples e hexagonal, onde a capacidade de armazenamento aumentou em mais de 1 mm/m².

Na sequência, foi realizada uma análise contemplando apenas o volume de chuva acumulado no evento e o coeficiente de escoamento superficial obtido em cada sistema de telhado verde (Figuras 31a,b,c,d,e,f,g,h,i,j), na tentativa de encontrar uma correlação entre as duas variáveis. Nos gráficos apresentados verifica-se que há forte dispersão entre os resultados obtidos para uma mesma faixa de valores de precipitação. No entanto, verifica-se uma tendência crescente no aumento do coeficiente de escoamento superficial, há medida que aumenta o volume de chuva. A inclinação das retas ajustadas também dá uma ideia da capacidade de retenção de água em cada sistema estudado, sendo que retas fortemente inclinadas com relação ao eixo horizontal indicam a menor capacidade de armazenamento de água nos sistemas estudados. Para os sistemas alveolares simples e grelhado, além do hexagonal o resultado foi muito próximo. Para o sistema reciclável, independentemente do volume de chuva o coeficiente de escoamento mostrou-se elevado, já o sistema modular com galocha mostrou o menor incremento na geração de escoamento superficial com o aumento da chuva.

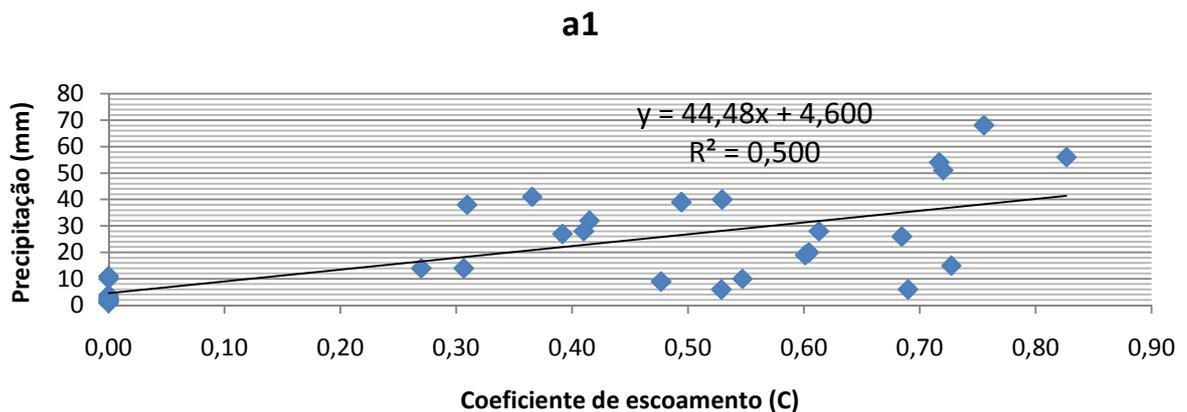


Figura 31 a. Relação entre coeficiente de escoamento superficial e volume de chuva no sistema alveolar simples com argila expandida.

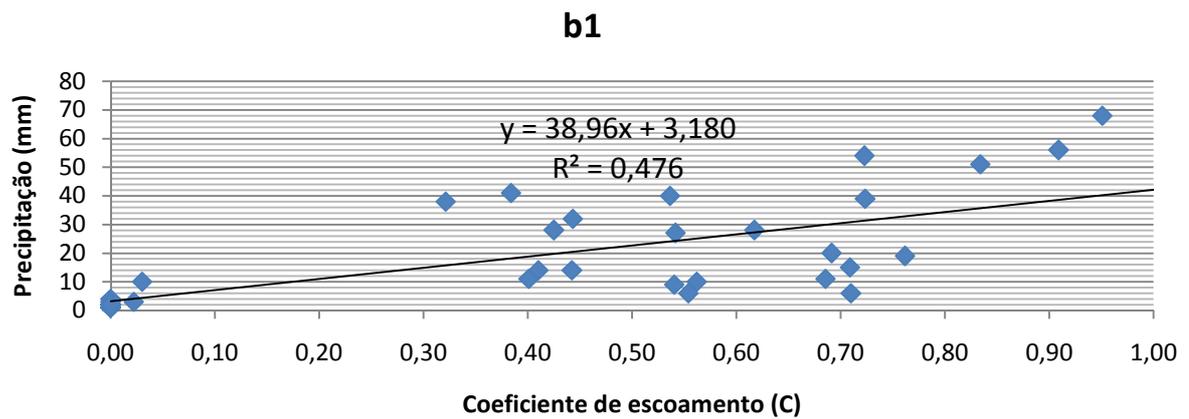


Figura 31 b. Relação entre coeficiente de escoamento superficial e volume de chuva no sistema alveolar simples sem argila expandida.

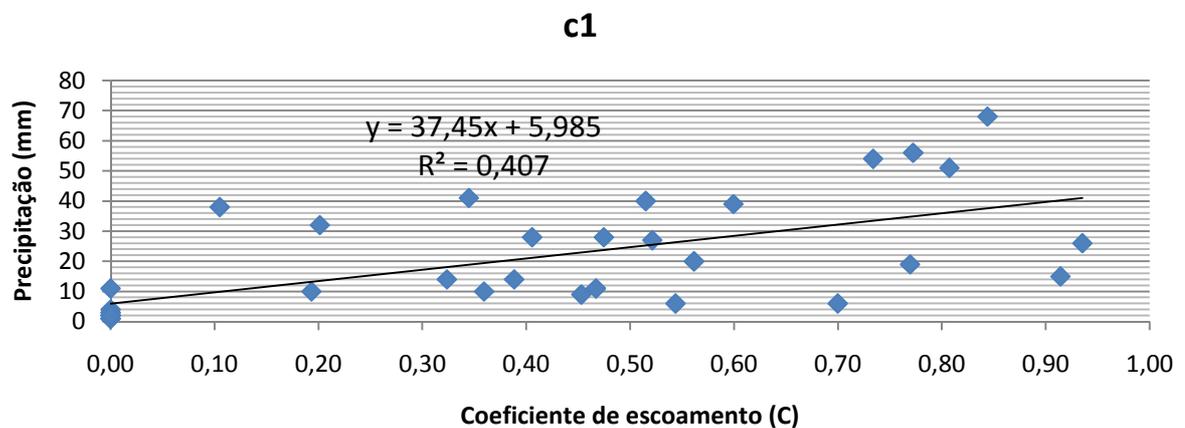


Figura 31 c. Relação entre coeficiente de escoamento superficial e volume de chuva no sistema alveolar grelhado com argila expandida.

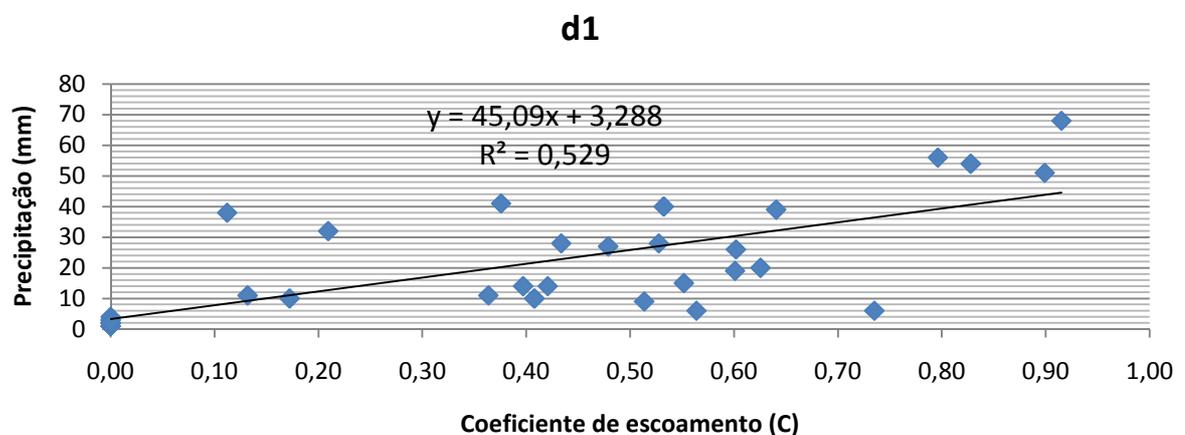


Figura 31 d. Relação entre coeficiente de escoamento superficial e volume de chuva no sistema alveolar grelhado sem argila expandida.

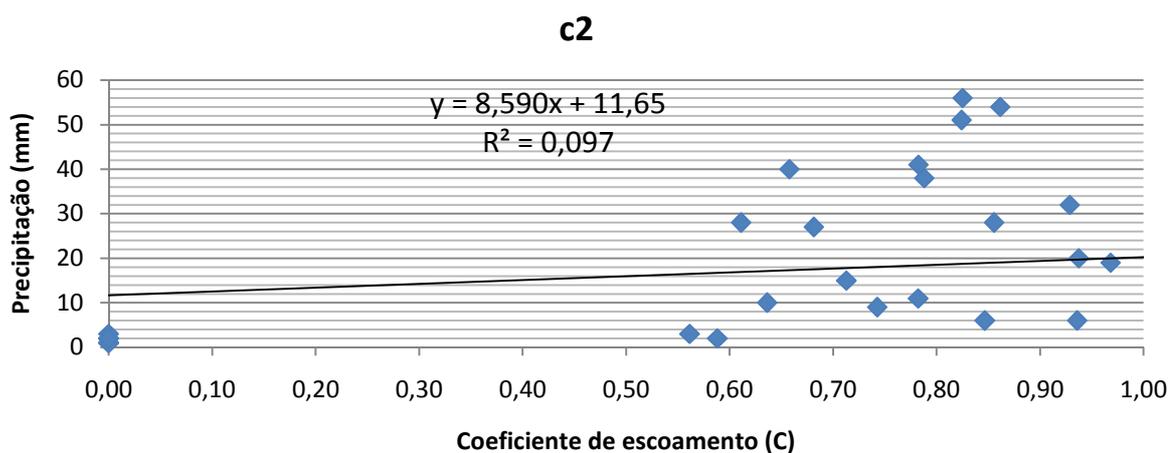


Figura 31 e. Relação entre coeficiente de escoamento superficial e volume de chuva no sistema reciclável sem areia.

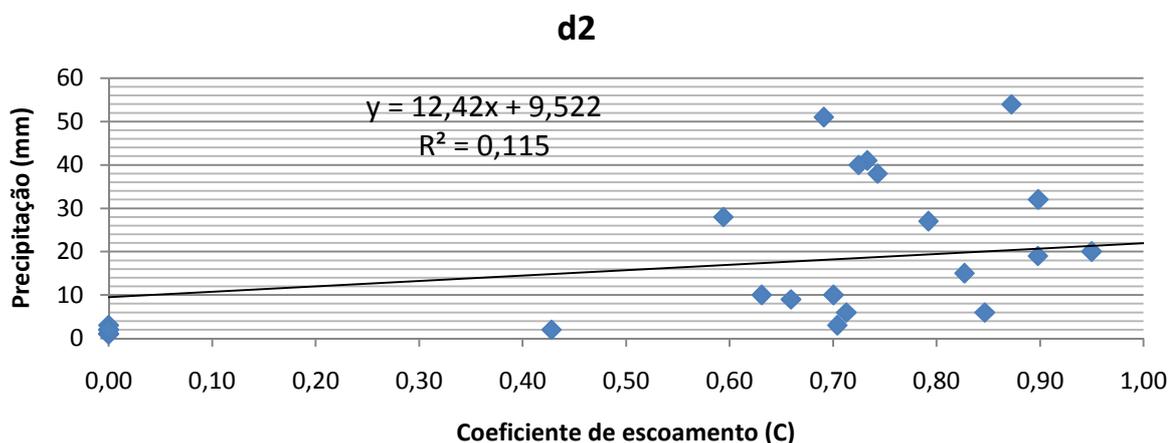


Figura 31 f. Relação entre coeficiente de escoamento superficial e volume de chuva no sistema reciclável com areia.

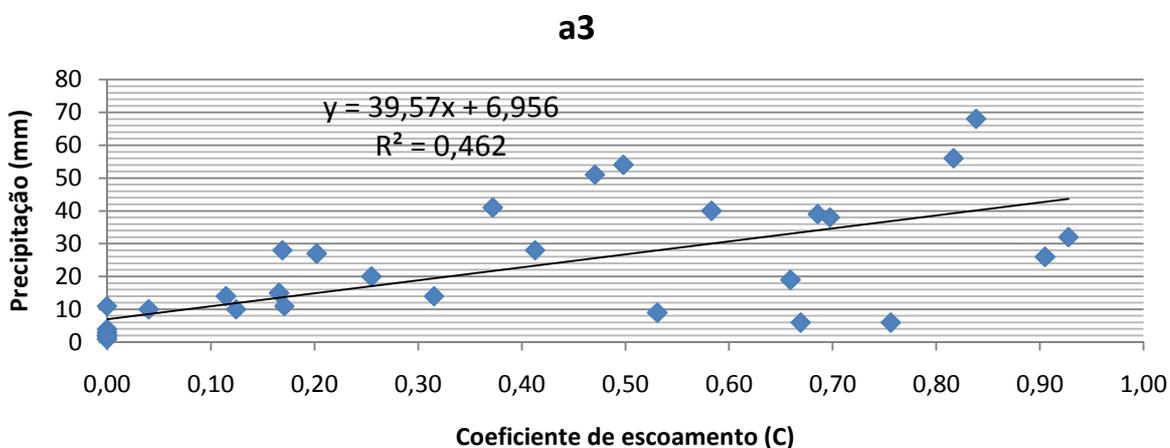


Figura 31 g. Relação entre coeficiente de escoamento superficial e volume de chuva no sistema hexagonal com argila expandida.

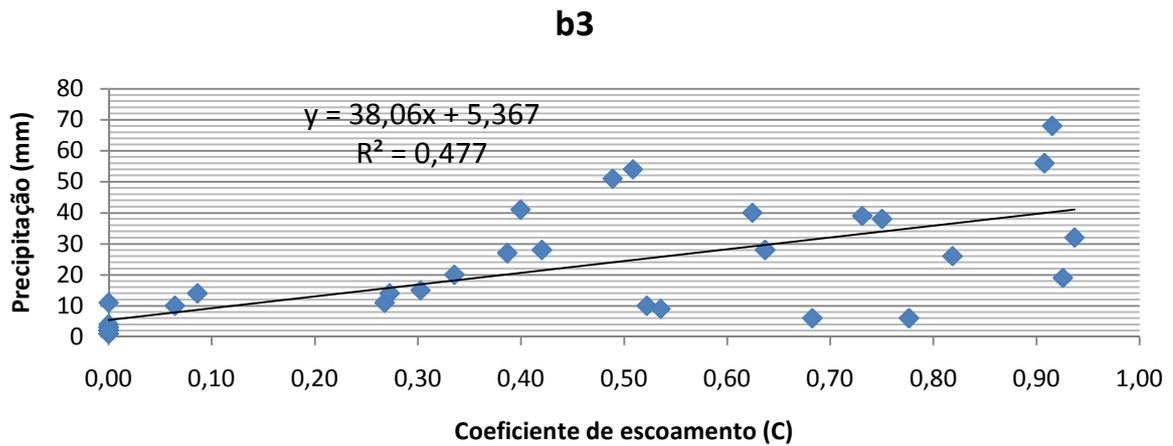


Figura 31 h. Relação entre coeficiente de escoamento e volume de chuva no sistema hexagonal sem argila expandida.

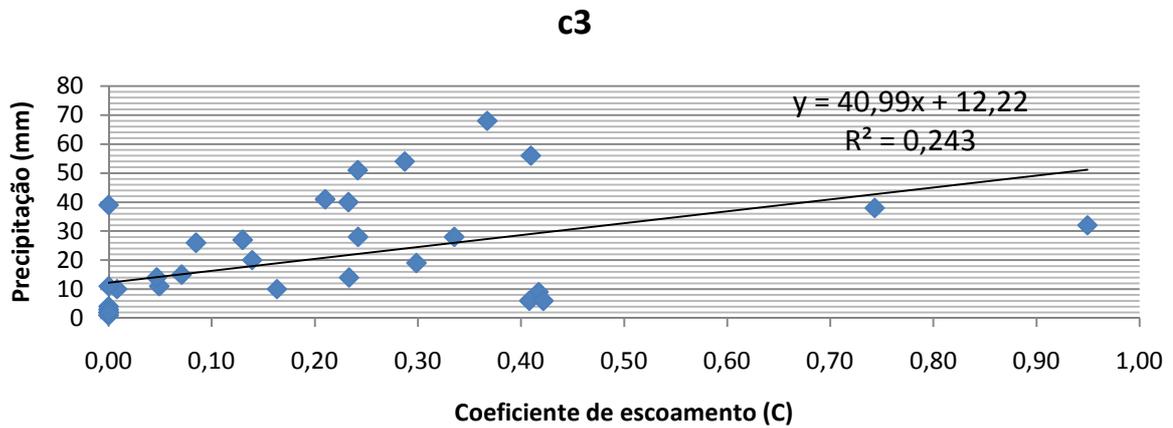


Figura 31 i. Relação entre coeficiente de escoamento superficial e volume de chuva no sistema galocha com argila expandida.

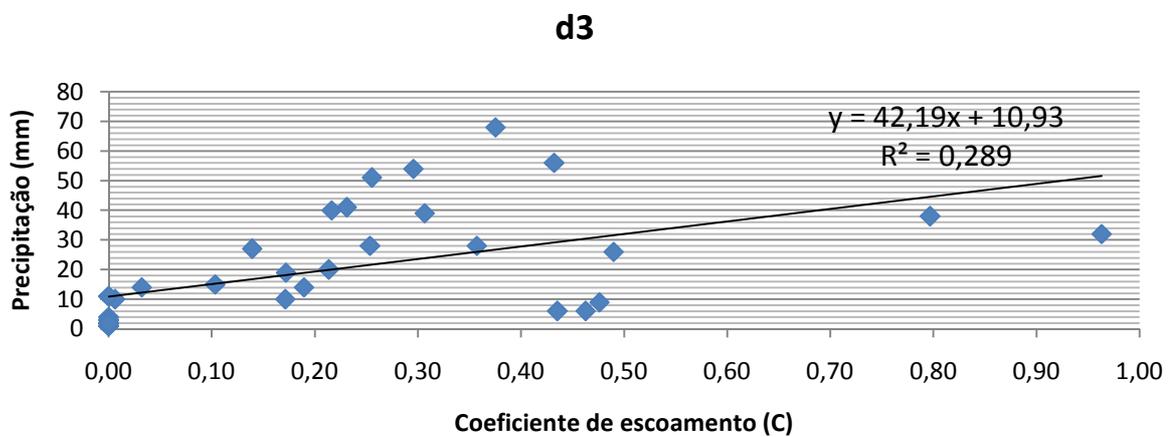


Figura 31 j. Relação entre coeficiente de escoamento superficial e volume de chuva no sistema Galocha sem argila expandida.

5.3 – AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA CHUVA ANTECEDENTE NO ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO TELHADO VERDE

Conforme previamente apresentado na metodologia, foi realizada uma análise de maneira a verificar como o teor de umidade presente no solo anteriormente ao evento chuvoso pode afetar a capacidade de armazenamento de água nos sistemas de telhado verde estudados.

Assim, seguindo a classificação do NRCS os eventos foram separados nas três classes, com base na chuva acumulada dos 5 dias anteriores. Na tabela 6 é apresentado o número de eventos que ocorreu dentro de cada AMC e a precipitação média em cada intervalo.

Tabela 6 - Valores referentes à classificação de AMC dos eventos monitorados no experimento.

Classificação	Eventos	Precipitação média (mm)
Total	35	14,0
AMC I	18	11,0
AMC II	9	28,0
AMC III	8	23,0

Praticamente a metade dos eventos foi classificada na AMC I, ou seja, com um volume de chuva acumulado nos 5 dias anterior ao evento inferior a 13 mm. A outra metade dos eventos ficou dividida na AMC II e AMC III de maneira similar.

Na Figura 32 é apresentada a relação entre a precipitação acumulada de 5 dias e o coeficiente de escoamento superficial (C) de acordo com a AMC dos eventos. É possível observar que não foi possível identificar uma relação direta entre a umidade antecedente do solo e o valor de C assumido, sendo que para os eventos observados, pode-se dizer que a resposta dos diferentes sistemas estudados foi pouco sensível às chuvas antecedentes.

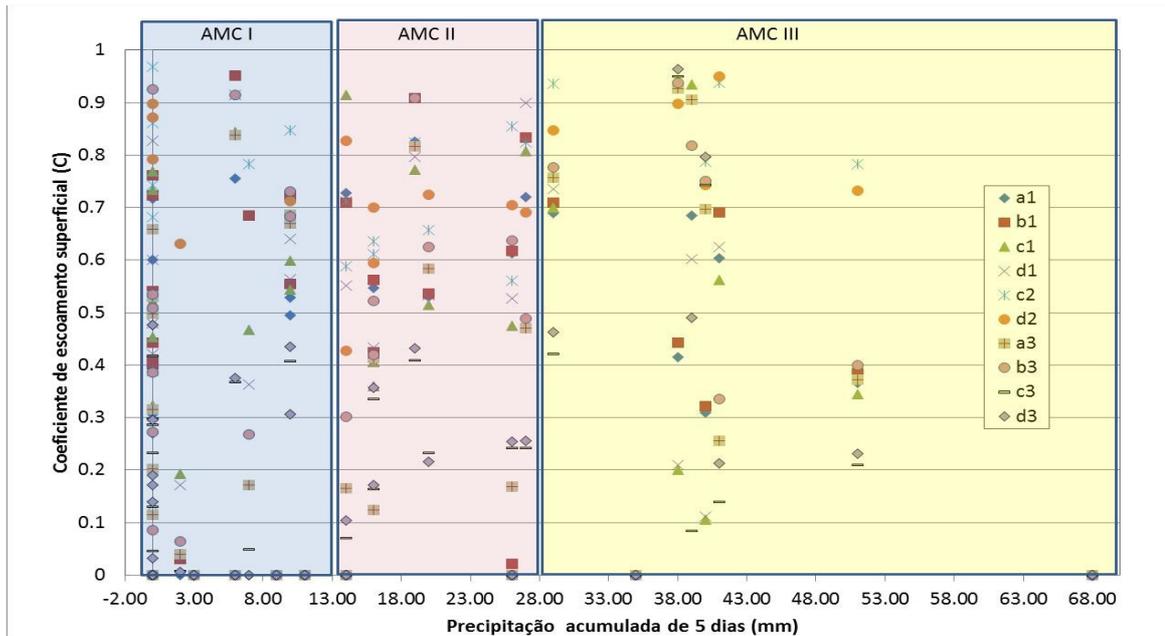


Figura 32 – Relação entre volume de chuva acumulado em 5 dias e o coeficiente de escoamento superficial para a AMCI, AMCII e AMCIII

5.4 – ESTIMATIVA DO PARÂMETRO CN

Conforme descrição na metodologia, o parâmetro CN foi calibrado para cada evento chuvoso monitorado. A tabela 7 apresenta o resultado do processo de calibração com algumas estatísticas do valor do parâmetro, sendo também apresentados os limites superiores e inferiores esperados para o valor de CN, considerando uma distribuição normal, com significância de 5% (confiança de 95%).

O menor valor médio de CN foi encontrado para os sistemas modulares com galocha com substrato contendo argila (80,3), com valores contidos no intervalo entre 73,4 e 87,1 como os mais prováveis, ao nível de significância de 5%. O segundo menor valor médio foi obtido para o mesmo sistema com substrato sem argila (82,5). Esse tipo de sistema foi o que apresentou o maior desvio padrão, refletindo a variabilidade na resposta do sistema frente aos eventos monitorados.

Os valores mais elevados de CN médio estiveram associados ao sistema reciclável, sendo que tanto no sistema com argila expandida, como sem argila expandida, o valor foi superior a 97. Este também foi o sistema com menor desvio padrão, mostrando um comportamento bastante homogêneo em todos os eventos monitorados.

Tabela 7 - Valores de CN estimados para cada sistema de telhado verde.

	Sistema de telhado verde									
	a1	b1	c1	d1	c2	d2	a3	b3	c3	d3
Média	93,6	92,4	92,4	92,1	97,8	97,7	89,6	92,5	80,3	82,5
Desvio	6,4	11,4	11,1	10,9	2	2,3	12,1	9,4	20,8	20
Limite Superior	95,7	96,2	96	95,7	98,6	98,6	93,6	95,7	87,1	89,1
Limite Inferior	91,5	88,6	88,7	88,5	97	96,8	85,8	89,4	73,4	75,9

De maneira a permitir uma comparação com valores de CN apresentados em tabelas do NRCS, foi realizada uma nova análise, considerando as estatísticas do parâmetro para os eventos separados de acordo com a AMC. Esses resultados são apresentados na tabela 8. Uma melhor visualização é apresentada na Figura 33.

Tabela 8 - Valores de CN estimados para os eventos monitorados de acordo com a AMC.

Condição de Umidade	Estatística	Sistema de telhado verde									
		a1	b1	c1	d1	c2	d2	a3	b3	c3	d3
AMC I	Médio	94,7	93,7	95,3	94,5	98,7	98,6	89,9	91,7	80,5	80,9
	Desvio	6,4	11,4	11,1	10,9	2	2,3	12,1	9,4	20,8	20
	Limite Superior	96,8	97,5	99	98,1	99,5	99,5	93,9	94,8	87,4	87,5
	Limite Inferior	92,6	89,9	91,6	90,9	97,9	97,7	85,9	88,6	73,6	74,3
AMC II	Médio	94,3	91,4	93,6	94,1	96,6	96,4	85,7	92,8	77,4	79
	Desvio	6,7	8,2	12,2	11,9	2,1	2,4	10,8	8,6	17,7	16,9
	Limite Superior	96,5	94,1	97,6	98,1	97,4	97,3	89,3	95,7	83,3	84,6
	Limite Inferior	92,1	88,7	89,6	90,1	95,8	95,5	82,1	89,9	71,5	73,4
AMC III	Médio	90,4	90,4	84,3	84,5	97,9	97,4	93,2	94,2	82,8	90
	Desvio	6,5	11,7	11,4	11,1	2,1	2,3	12,4	9,6	21,1	20,3
	Limite Superior	92,6	94,3	88,1	88,2	98,7	98,3	97,3	97,4	89,8	96,7
	Limite Inferior	88,2	86,5	80,5	80,8	97,1	96,5	89,1	91	75,8	83,3

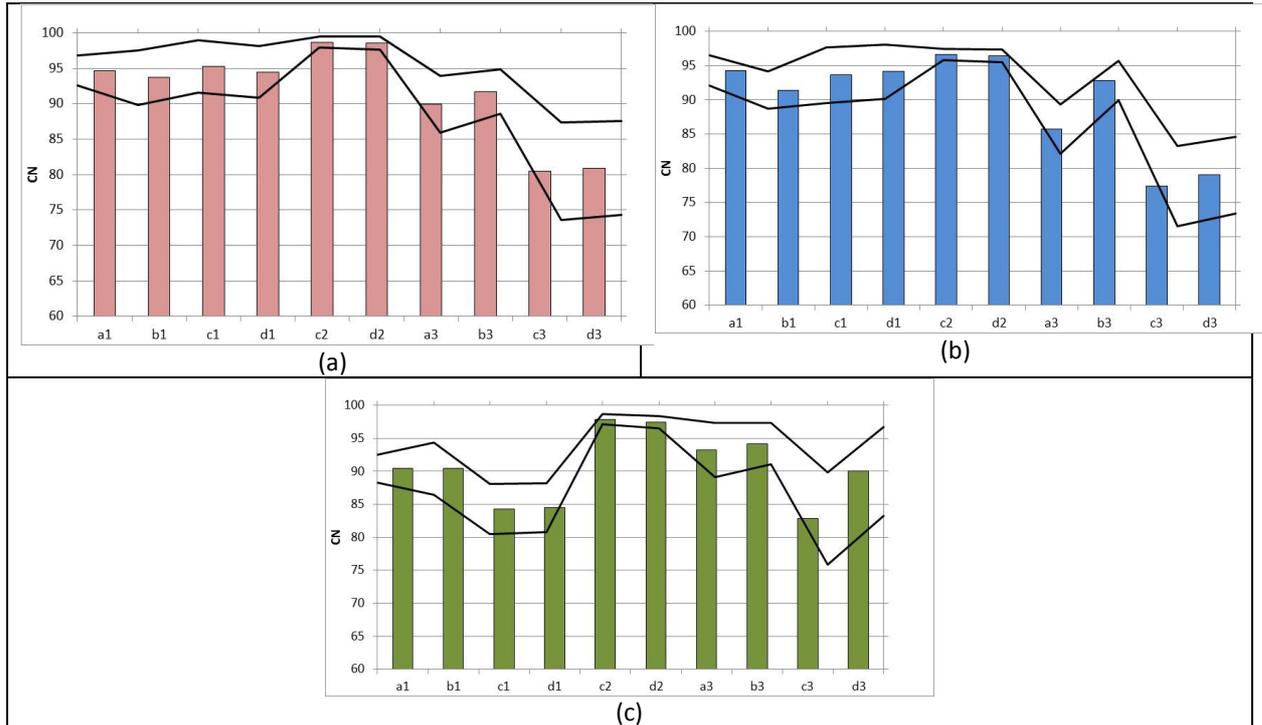


Figura 33 – Valores médios de CN para a AMC I (a), AMC II (b) e AMC III (c), com respectivos limites inferiores e superiores para um nível de significância de 5%.

Os valores de CN para o sistema modular com galocha apresentaram-se como os menores em qualquer AMC considerada, sendo que o sistema reciclável continuou apresentando os maiores valores em qualquer AMC.

Os resultados mostram que, em geral, o comportamento do CN encontrado para os eventos monitorados não corresponde aquele normalmente considerado pelo método em superfícies cujos valores já se encontram tabelado. De acordo com o método, o valor de CN deve aumentar à medida que a AMC passa de I para III, sendo que esse comportamento não foi observado. Em geral, os valores médios encontrados para o CN na AMC I foram superiores aos encontrados para a AMC II, que também apresentou valores superiores aos encontrados para a AMC III em alguns casos (sistemas a1, b1, c1 e d1). Possivelmente a maior representatividade de eventos na AMC I tenha provocado maior variabilidade nos resultados.

De acordo com valores tabelados (NRCS), CNs da magnitude de 80 estão associados a superfícies como ruas em terra com certa permeabilidade, ou terrenos com pastagem, por exemplo. Assim, sistemas como o modular com galocha reproduz aproximadamente estas condições. Por outro lado, CNs próximos a 98 correspondem a superfícies com elevada

impermeabilidade, a exemplo de asfaltos, telhados convencionais, estacionamentos, entre outros. Portanto, os módulos recicláveis seriam equivalentes a este tipo de superfície.

Alguns trabalhos conduzidos por alguns autores também buscaram a determinação deste parâmetro, por exemplo, o de Carter e Rasmussen (2005) e de Lorenzini Neto *et al.* (2013), que encontraram o valor de 86 para um sistema equivalente ao modular com galocha. Os resultados encontrados neste estudo para esse tipo de sistema indicam que, de fato, a faixa de valores encontrada como limite mais provável para o valor de CN compreende o valor de 86.

6- CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

De acordo com os resultados obtidos, o sistema de telhado verde mais eficiente foi o sistema modular com galocha com substrato com argila expandida, onde foi possível reduzir, em média, 88,1% do escoamento pluvial. Para o mesmo sistema sem a argila expandida, a redução média foi de 82,8%. Este sistema também foi o que apresentou uma maior capacidade de armazenamento de água da chuva, com capacidade média de armazenar entre 14,2 e 13,3 mm/m² para o substrato com argila e sem argila, respectivamente. O sistema do tipo modular com galocha também foi o que apresentou menor perda de eficiência à medida que os volumes de chuva aumentaram.

O sistema hexagonal foi o segundo melhor sistema, com redução média no escoamento que variou entre 79,8% e 60,7%, para o substrato com argila e sem argila, respectivamente. Na mesma ordem, a capacidade de armazenamento média foi de 9,5 e 8,2 mm/m².

Os sistemas alveolares simples e grelhado produziram resultados muito semelhantes, com reduções médias no escoamento que variaram de 61 a 59% para o sistema com argila e sem argila. Embora a redução nos dois sistemas seja bem próxima, a capacidade de armazenamento mostrou-se superior no sistema alveolar simples com a adição de argila (9,3 mm/m²). Para o substrato sem argila, o sistema alveolar grelhado apresentou maior capacidade média de armazenamento (8,7 mm/m²), quando comparada àquela do sistema alveolar simples (7,6 mm/m²).

O sistema reciclável, conforme confeccionado, neste estudo foi o menos eficiente, com redução do escoamento da ordem de 22%, e baixa capacidade de armazenamento de água de água quando comparado aos demais (cerca de 4,5 mm/m²).

Em todos os sistemas, verificou-se que a adição de argila expandida ao substrato proporcionou uma melhor eficiência na capacidade de retenção das águas pluviais.

A análise conduzida no sentido de verificar como as chuvas antecedentes, e consequente umidade no solo, podem interferir na capacidade dos telhados verdes armazenarem água da chuva não produziu os resultados esperados para os diferentes sistemas modulares, no entanto, o sistema modular com galocha reproduziu valores aceitáveis para os parâmetros de CN-SCS. Possivelmente uma maior representatividade de dados, e uma análise considerando outras variáveis, a exemplo da intensidade do evento chuvoso, pudessem conduzir a resultados mais conclusivos em relação à umidade antecedente.

Verificou-se que o sistema modular com galocha e substrato com argila produziu os menores valores de CN, no intervalo compreendido entre 71,5 e 89,8, com uma significância de 5%. Portanto, telhados verdes com estas características comportam-se como estradas de terra, pastagens, entre outros, que possuem uma permeabilidade relativamente alta. O sistema hexagonal contendo substrato com argila, segundo melhor nesta análise, produziu valores na faixa entre 88,6 e 97,3, mostrando que o valor mínimo mais provável já se encontra muito próximo ao limite superior obtido para o melhor sistema.

Recomenda-se que futuros estudos conduzidos neste mesmo sentido incorporem aspectos relacionados com a qualidade da água, visto que durante o monitoramento verificou-se forte coloração da água pluvial drenada, possivelmente devido ao carregamento do material do substrato. Nesse sentido, uma análise qualitativa poderia revelar também qual o sistema para adequado, buscando uma compatibilização entre benefícios quali-quantitativos.

Outro fator de extrema importância para o desenvolvimento de um novo estudo seria uma avaliação quanto aos aspectos fitossanitários da cobertura vegetal utilizadas no telhado verde, que consequentemente podem contribuir com a eficiência quali-quantitativa da água pluvial.

Nesta pesquisa foi realizada a avaliação de duas configurações de substrato em cada sistema. Trabalhos futuros podem ser realizados considerando a adição de outros elementos no substrato, a exemplo da vermiculita e sílica, além da variação na espessura das camadas.

REFERÊNCIAS

ALLASIA, D. G.; VILLANUEVA, A. O. N. (2006). **Custo da Incerteza na Macrodrenagem Urbana I: Determinação dos Parâmetros mais Sensíveis na Modelagem de Macrodrenagem Urbana**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. V.12, n. 1, pp. 65-77.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D. et al. *Cropevapotranspiration*. Rome: FAO, 1998. 297p (FAO **Irrigation and Drainage Paper, 56**).

ARAÚJO, S.R. **As Funções dos Telhados Verdes no Meio Urbano, na Gestão e no Planejamento de Recursos Hídricos**. Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, ao Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio Janeiro, 2007, p.3 e 5.

BASS, B; B. BASKARAN. **Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Areas**. National Research Council Canada, Report No. NRCC-46737, Toronto - Canada, 2003.

BELTRAME, L. F. S.; LOUZADA, J. A. S.; LANNA, A. E. L. et al. **Evapotranspiração potencial do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 1994. 49 p. (Recursos hídricos, 31).

BRITO, N. **Efeito do Escoamento da Água de Chuva em Diferentes Coberturas**, 2001.

CARTER, T.; RASMUSSEN, T. C. (2005). **Use of green roofs for ultra-urban stream restoration in the Georgia Piedmont (USA)**. In *Proceedings of the Georgia Water Resources Conference*, Athens, Estados Unidos, 2005.

CASTRO S. A.; GOLDENFUM A. J. **Uso de telhado verdes no controle quali-quantitativo do escoamento superficial urbano**. 2008, 2p.

CHICAGO. Department of Environment. **Chicago City Hall green roof project**. 2007. from <<http://egov.cityofchicago.org>>.

CORREA B. C. **Telhados verdes: a cobertura ecológica**. Revista CREA-RS, ano 3 n° 3, de Junho de 2007. p.34.

CORREA, C.B.; GONZALEZ, F.J.N. **O uso de coberturas ecológicas na restauração de coberturas planas**. In: NÚCLEO DE PESQUISA EM TECNOLOGIA DE ARQUITETURA E URBANISMO-NUTAU. **Anais...** São Paulo: Pró-reitoria de Pesquisa, Universidade de São Paulo, 2002.

CUNHA , A. R.; MEDIONDO, E. M. **Experimento hidrológico para aproveitamento de águas de chuva usando coberturas verdes leves (CVL)**. São Carlos. USP/SHS – Processo FAPESP 03/06580-7 – SP, 2004

DAVIS G. “Use of Green Roofs to Meet New Development Runoff Requirements”. Nov. 2007. 8. DC WASA Long Term Control Plan.

DA SILVA, D. T. **Instalação e avaliação de um telhado verde em relação à utilização das espécies *Gazaniarigens* e *Kalanchoeblossfeldiana* na cidade de Santa Maria-RS**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria.

DIMOUD, A.; NIKOLOPOULOU, M. Vegetation an urban environmet: Micro climatic analysis and benefits. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 1, p. 69-73, 2003.

ECOTELHADO. “**Ecotelhado**”, 2010. Disponível em: <<http://www.ecotelhado.com.br>>. Acesso: 10 set. 2011.

EPA. (US Environmental Protection Agency). “**Reducing Urban Heat Islands: Compendium Strategies**”, 2010. Disponível em: <<http://www.epa.gov/heatisd/resources/pdf/GreenRoofsCompendium.pdf>>. Acesso: 15 ago 2011.

FRISER, D. “**Benefit-Cost Analysis of a Green Roof on Crerar or Prairies Gone to Sedum**”, 2007. Global Engineering Economics 4th Edition.

FERREIRA, F. M. “**O uso de coberturas vegetais em edificações.**” 2007. (FLL) FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU. Guideline for the planning execution and upkeep of green-roof sites. Bonn, Germany, 2002.

GREEN ROOF SERVICE LLC. “**Green Roof Service LLC**”, 2010. Disponível em: <<http://www.greenroofservice.com/>>. Acesso: 20 ago. 2011.

HENEINE S. A. C. M. “**Cobertura Verde**”. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia, UFMG. 2008, p.34.

IBGE. **Folha SH. 22 Porto Alegre e parte das folhas SH.22 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: IBGE, 1986.

IBGE. **Censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro, Brasil. Disponível em:<http://www.ibge.gov.br/home/>. Acesso: 3 jun. 2011.

IDHEA, “Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica”. **Telhado Verde IDHEA**. São Paulo- SP. 2010. Disponível em: <<http://www.idhea.com.br/>>. Acesso: 22 abr. 2011.

INGRA. (Internacional Green Roofs Association). **A Quick Guide to Green Roofs**, 2010. Disponível em: <<http://www.igra-world.com/>>. Acesso: 15 jul. 2011.

INMET, “Instituto Nacional de Meteorologia”. **Rede de Estações Meteorológicas**. Brasil. Disponível em : http://www.inmet.gov.br/html/rede_obs.php>. Acesso: 25 de jul. 2011.

JARDIM, (Instituto Cidade Jardim). “Informativo Técnico 01-2009: **Sistema BIOTELHADO Cidade Jardim com reservatório interno de água**. 2009.

JENNINGS, G., MORAN.A., HUNT,B. “**A North Carolina Field Study to Evaluate Green roof Runoff Quantity, Runoff Quality and Plant Growth**”. Department of biological and agricultural Engineering, North Carolina State University. 2003.

KADAS, G. “Rare Invertebrates Colonizing Green Roofs in London.” **Urban habitats**, Vol 4, n 1. University College, London, England. 2006.

KOLB, W. “**Telhados de cobertura verde e manejo de águas pluviais**”. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, v.4, 2003. Juazeiro.

LANZA, L.G. “**Hydrologic Restoration in the Urban Environment Using Green Roofs**”. Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering, University of Genova. 2010.

LOHMANN A. “**Desempenho Higrotérmico de Cobertura Vegetal Inclínada em Dois Protótipos Construídos na Região de Florianópolis**”. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo. 2008, p. 50 e 52.

LORENZINI NETO, F., TASSI, R., TASSINARI, L. C. DA S., BASSO, R.. **Calibração e simulação hidrológica de um telhado verde utilizando o método da curva-número do SCS**. . Artigo aceito para o XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2013.

MACCAFERRI. “Grupo Maccaferri”. **Serviços de Engenharia**. 2010. Disponível em: <<http://www.maccaferri.com.br>>. Acesso em: 20 ago. 2011.

MARTIN, K. B. “**The Dinamic Stormwater Response of a GrennRoof**.”, Tese apresentada a Universidade de Guelph em Ontario, Canadá, para obtenção para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura Paisagista, 2008, p.35.

MARY, W. Et al. **Telhado verdes: Ferramenta potencial para geração de renda em áreas de fragilidade social**. In. ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUIDO – ENEPEA, 9. **Anais...** Curitiba, Paraná, 2008.

MORAIS, C; RORIZ, M. “Temperatura em protótipo de edificação com cobertura ajardinada: São Carlos, SP. In ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO / ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENCAC/ELACAC. *Anais...* Maceió, Alagoas, 2005, p.1258.

MORGADO, J. M. **Coberturas Verdes: Expectativas e Experiências Brasileiras.** São Paulo, 2010.

MOTA, F.S.; GOEDERT, C.O.; LOPES, N.F.; GARCEZ, J.R.B.; GOMES, A.S. Balanço hídrico no Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.5, p.1-27, 1970.

OHNUMA, A. A. **Medidas não convencionais de reservatório d’água e controle da poluição hídrica em lotes domiciliares.** Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental. 2008, p.34, 39 e 40.

OLIVEIRA, Eric Watson Neto de Oliveira. **Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico.** Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 2009 p. 65 a 69.

PECK, S; KUHN, M. “**Design Guidelines for Green Roofs**”. Environment Canada. Toronto. Vancouver Public Library Green Roof, 2000. p 6, 7 e 8.

PECK, S.W; CALLAGHAN, C. “**Greenbacks from green roofs: forging a new industry in Canada**”, 1999, p.12 e 13. Disponível em:<<http://ohio.sierraclub.org/miami/images/files/Greenbacks.pdf>>. Acesso em: 11 de jun. 2011.

PEREIRA. M. F. **Teto verde: o uso de coberturas vegetais em edificações.** Rio de Janeiro. 2007, p.1 a 11. Disponível em: <http://www.pucRio.br/pibic/relatorio_resumo2007/relatorio/art/art_Manoela_de_freitas_ferreira.pdf> Acesso em: 20 jan.2012.

PERSCH, C.G.; TASSI, R.; ALLASIA, D.. Análise da eficiência de um telhado verde como alternativa para o controle quali-quantitativo das águas pluviais em Santa Maria – RS. In: SIMPÓSIO DE HIDRAULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LINGUA OFICIAL PORTUGUESA, 2011, Porto de Galinhas. 10ª edição.

PERSCH, C. G. ; TASSI, R. ; ALLASIA, D. . **Análise da eficiência de um telhado verde como alternativa para o controle quali-quantitativo das águas pluviais em Santa Maria-RS**. In: Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos países de Língua Oficial Portuguesa, 2011, Porto de Galinhas. 10ª edição do Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa.

RIVERO, Roberto. Arquitetura e clima: **condicionamento térmico natural**, editora Da Universidade, Porto Alegre 1986, p. 157 a 160.

RIVERO, R. Arquitetura e clima: **condicionamento térmico natural**. Porto Alegre: D. C. Luzzatto Editores: Ed.da Universidade, UFRGS, 1985. ROOF PORTLAND. “**Roof Portland**”. Disponível em: <<http://www.roofportland.com>>. Acesso: 25 jun. 2011.

ROSSETI C. A. K. **Estudo do Desempenho de Coberturas Verdes como Estratégia Passiva de Condicionamento Térmico**. Dissertação apresentada junto ao programa de pós-graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Física Ambiental. 2009, p 50.

ROSENZWEIG, C.; GAFFIN, S.; PARSHALL, L. (Eds.), **Green Roofs in the New York Metropolitan Region: Research Report**. New York. Columbia University Center for Climate Systems Research and NASA Goddard Institute for Space Studies. 2006. p 5, 15.

SAILOR J. D. “ **Energy Performance of Green Roofs: the role of the roof in affecting building energy and the urban atmospheric environment**”. EPA HeatIsland Reduction Program Webcast, 2010.

SILVA, A. S.; BRITO, L. T. L.; ROCHA, H. M. **Captação e conservação de água de chuva no semi-árido brasileiro: Cisternas rurais II, água para consumo humano**. Petrolina, PE,

EMBRAPA-CPATSA/MINTER-SUDENE, 1988. 80 p. il. (EMBRAPA-CPATSA. Circular técnica, 16).

SPANGENBERG, Jörg. **Melhoria do clima urbano nas metrópoles tropicais - Estudo de caso**. Disponível em: < [http:// www.basis id.de /site2006/ science/01 _ Spangenberg _](http://www.basis-id.de/site2006/science/01_Spangenberg) Site traduzido. Acesso: 30 mai. 2011.

TACLA, Z. **O livro da arte de construir**. São Paulo: Unipress Editorial Lda. , 1984.

TOMAZ P. “BMP’s (**Best Management Practices**)”, São Paulo: Livro Digital. Capítulo 10- Telhado verde, 2005, p. 10-4 e 10-7.

TASSI, R.; ALLASIA, D. G.; MELLER, A.; MIRANDA, T.; HOLZ, J.; SILVEIRA, A. L. L. **Determinação do Parâmetro CN Para Sub-Bacias Urbanas do Arroio Dilúvio – Porto Alegre/RS**. In *Anais...* do 1º Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste, Curitiba, 2006.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

USDA. United States Department of Agriculture. **Urban hydrology for small watersheds**. Technical Release 55 (TR-55) (Second Edition ed.). Natural Resources Conservation Service, Conservation Engineering Division. 1986.

VECCHIA F. “**Cobertura verde leve (CVL): Ensaio Experimental**.”. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO / ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENCAC/ELACAC. *Anais...*Maceió, Alagoas, 2005, p. 2154. Disponível em: <http://www.eesc.usp.br/shs/attachments/121_COBERTURA_VERDE_LEVE_ENSAIO_EXPERIMENTAL.pdf>. Acesso: 3 ago. 2011.

ZINCO. “**Zinco Green Roof Systems**”, 2007, p.4, 7, 8 e 9. Disponível em: <http://www.ecobuild.co.uk/var/uploads/exhibitor/19/green_roof_brochure_dec_07_low_res_2.pdf>. Acesso: 19 ago. 2011.