

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em ENGENHARIA AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA DAS PARCELAS ESCOADAS,
PERCOLADAS E ARMAZENADAS EM INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL
PILOTO DE TELHADO VERDE EXTENSIVO COM DIFERENTES
INCLINAÇÕES**

Cinthia Cristine de Moura

Rio Claro (SP)

2012

CINTHIA CRISTINE DE MOURA

**AVALIAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA DAS PARCELAS
ESCOADAS, PERCOLADAS E ARMAZENADAS EM
INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL PILOTO DE TELHADO VERDE
EXTENSIVO COM DIFERENTES INCLINAÇÕES**

*Trabalho de Formatura apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências
Exatas, Campus de Rio Claro (SP), da
Universidade Estadual Paulista Júlio
de Mesquita Filho, para obtenção do
grau de Engenheiro Ambiental.*

Orientador: Rodrigo Braga Moruzzi

Rio Claro (SP)
2012

CINTHIA CRISTINE DE MOURA

AVALIAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA DAS PARCELAS ESCOADAS,
PERCOLADAS E ARMAZENADAS EM INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL
PILOTO DE TELHADO VERDE EXTENSIVO COM DIFERENTES
INCLINAÇÕES

*Trabalho de Formatura apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências
Exatas, Campus de Rio Claro (SP), da
Universidade Estadual Paulista Júlio
de Mesquita Filho, para obtenção do
grau de Engenheiro Ambiental.*

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Rodrigo Braga Moruzzi (orientador)
Ma. Lorena A. R. Gutierrez
Me. Alessandro Hirata
Rio Claro, 11 de junho de 2012.

Cinthia Cristine de Moura

Prof. Dr. Rodrigo Braga Moruzzi

*À Júlio César Trevisan de Moura,
Sandra Regina Giovanni Pires de Moura,
Douglas de Moura e
Gabriel Ziegler Trintinália.*

AGRADECIMENTOS

Primeiro, agradeço a Deus por ter me guiado nessa jornada, me dando forças, proporcionando o convívio com pessoas maravilhosas e, sobretudo por me ensinar que diante das adversidades é preciso ter humildade, força e fé, por que coisas boas virão.

Agradeço aos meus pais pelo suporte, tanto material quanto emocional, por sempre acreditarem em mim e nunca me deixarem cair, mesmo quando me senti derrotada.

Ao meu querido irmão pelo apoio ao longo desses cinco anos, por ser meu amigo, meu conselheiro, sempre disposto a me ajudar em todos os momentos.

Agradeço profundamente ao meu namorado, Gabriel, por caminhar ao meu lado, por me permitir, por vezes, apoiar em seu ombro, por junto comigo construir esse projeto e nunca me deixar desanimar.

Agradeço também a toda minha família, aos meus avós, tios, tias, meus primos e primas, especialmente minha prima Nathália que sempre ouviu minhas reclamações.

À querida amiga Nathália que sempre esteve comigo, participando dessa caminhada, sempre me ouvindo. À Yaliana, amiga e companheira de casa que me ensinou pacientemente estatística, muito obrigada! À amiga distante, mas sempre presente, Thalita, por seus sábios conselhos. À Denise, amiga pra vida inteira, por ter me apoiado, por ter compartilhado longas conversas, sempre ouvindo e sempre partilhando dos meus pensamentos.

Ao Didier Gastmans, pelo apoio, compreensão e confiança.

Por fim, ao meu orientador Rodrigo Braga Moruzzi, pela oportunidade, pelos ensinamentos acadêmicos e pela lição de vida.

RESUMO

Avaliação quali-quantitativa das parcelas escoadas, percoladas e armazenadas em instalação experimental piloto de telhado verde extensivo com diferentes inclinações

Investigou-se nesse trabalho o efeito da inclinação e umidade antecedente do solo nas lâminas escoadas, armazenadas e percoladas em telhados verdes extensivos construídos em escala piloto. Para tal, foram investigadas inclinações de 10, 20 e 30%. A umidade foi medida antes e após cada ensaio, a fim de determinar o diferencial de umidade (ΔU). Um simulador de chuva foi concebido e testado, o melhor arranjo apresenta um coeficiente de uniformidade de Christiansen de 56%. Os resultados demonstraram que a inclinação de 10% apresentou os maiores valores de lâmina armazenada (59,88%), e lâmina percolada (77,15%), enquanto que a inclinação de 30% apresentou os maiores valores de lâmina escoada (48,22%). Não houve correlação entre a inclinação, lâmina percolada, lâmina armazenada e ΔU . Verificou-se o efeito da diluição nos módulos i10% entre lâmina percolada e cor aparente (0,71%), em i20% entre lâmina escoada e cor aparente (-0,74%) e para o módulo i30% entre lâmina escoada e turbidez (-0,76%) e lâmina escoada e cor aparente (-0,93%). Em i10% verificou-se alta correlação entre lâmina percolada e pH (0,92%) e entre lâmina escoada e pH (0,71%). Os dados indicam que o módulo i10% apresenta maior diminuição do escoamento superficial.

Palavras-chave: telhado-verde, drenagem, aproveitamento, técnica compensatória, simulação de chuva.

ABSTRACT

Quali-quantitative evaluation of the runoff, of the percolated and of the retained stormwater fractions from extensive green-roof pilot plant with different slopes

This study investigated the effect of slope and antecedent soil moisture on the water depth stored and percolated on extensive green roofs built in pilot scale. For this purpose, slopes of 10, 20 and 30% were investigated. Moisture was measured before and after each test to determine the differential moisture (ΔU). A rainfall simulator was designed and tested; the best arrangement presents a Christiansen Uniformity Coefficient of 56%. The results yielded that the slopes of 10% presented the highest values of water depth stored (59,88%), water depth percolated (77,15%), the slope of 30% presented the highest water depth drained (48,22%.) and there was no correlation between slope, water depth stored, water depth percolated and ΔU . It was verified the effect of dilution on the modules i10% between water depth percolated and apparent color (0.71%) in i20% between water depth drained and apparent color (-0.748%) and in the module i30% between water depth drained and turbidity (-0.76%) and water depth drained and apparent color (-0.93%). In i10% there was high correlation between pH and water depth percolated (0.94%) and between water depth drained and pH (0.71%). The data indicate that the module i10% had a greater reduction of runoff.

Keywords: roof-green, drainage, utilization, compensatory technical, rainfall simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Comparação entre um telhado verde e um telhado normal.....	20
Figura 2 - Camadas típicas de um telhado verde.	23
Figura 3 - Telhado verde extensivo	24
Figura 4 - Telhado verde semi-intensivo.	24
Figura 5 - Telhado verde intensivo	24
Figura 6 - Fluxograma da metodologia utilizada na fase de montagem experimental e análise laboratorial	26
Figura 7 - Mapa de localização da área de estudo.	27
Figura 8 - Detalhe das camadas dos módulos construídos, cada um com inclinações diferentes, de 10, 20 e 30%.	28
Figura 9 - Detalhe da calha de Gürlach (a) Vista lateral. (b) Vista de cima (c) Vista frontal.	28
Figura 10 - Vista Frontal dos módulos-pilotos de telhado verde.....	29
Figura 11 - Vista Lateral dos módulos-pilotos de telhado verde.....	29
Figura 12 - Reservatório de 200L	29
Figura 13 - Detalhe dentro do reservatório.....	29
Figura 14 - Detalhe tubo de PVC	29
Figura 15 - Tubo de PVC com micro aspersor	30
Figura 16 - Marcação das distâncias entre os béqueres a 0,225cm de distância	32
Figura 17 - Teste do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen.....	32
Figura 18 - Variáveis consideradas para obter o CUC.	32
Figura 19 - Gráfico comparativo entre Lâmina Percolada e Escoada e Umidade Antecedente para o módulo com inclinação de 10%.....	40
Figura 20 - Gráfico comparativo entre Lâmina Percolada e Escoada e Umidade Antecedente para o módulo com inclinação de 20%.....	40
Figura 21 - Gráfico comparativo entre Lâmina Percolada e Escoada e Umidade Antecedente para o módulo com inclinação de 30%.....	41
Figura 22 - Gráfico comparativo entre lâmina percolada, escoada e armazenada com a umidade antecedente para cada ensaio e para as diferentes inclinações do módulo piloto (10, 20 e 30%).	42

Figura 23 - Gráfico comparativo entre Δu e lâmina armazenada para as diferentes inclinações do módulo piloto (10, 20 e 30%).	43
Figura 24 - Gráfico comparativo entre Δu e umidade antecedente para as diferentes inclinações do módulo piloto (10, 20 e 30%).	44
Figura 25 - Gráfico comparativo entre lâmina armazenada e umidade antecedente para as diferentes inclinações do módulo piloto (10, 20 e 30%).	45
Figura 26 - Fluxograma da correlação entre Lâmina Percolada, Lâmina Armazenada, Umidade Armazenada e Δu para i10%. As linhas indicam correlação forte, o sinal (+) indicam relações positivas e o sinal (-) relações inversas.	46
Figura 27 - Fluxograma da correlação entre Lâmina Escoadada, Lâmina Armazenada, Umidade Armazenada e Δu para i20%. As linhas indicam correlação forte, o sinal (+) indicam relações positivas e o sinal (-) relações inversas.	46
Figura 28 - Fluxograma da correlação entre Lâmina Escoadada, Lâmina Armazenada, Umidade Armazenada e Δu para i30%. As linhas indicam correlação forte, o sinal (+) indicam relações positivas e o sinal (-) relações inversas.	46
Figura 29 – Gráfico da regressão multilinear utilizando lâmina armazenada como dado dependente e utilizando inclinação e diferencial de umidade como variáveis independentes	47
Figura 30 – Gráfico da regressão multilinear utilizando lâmina escoada como dado dependente e utilizando inclinação e diferencial de umidade como variáveis independentes	47
Figura 31 - Gráfico comparativo entre sólidos dissolvidos totais, sólidos dissolvidos suspensos e lâmina percolada para as diferentes inclinações dos módulos pilotos (10%, 20% e 30%).	48
Figura 32 - Gráfico comparativo entre sólidos dissolvidos totais, sólidos dissolvidos suspensos e lâmina escoada para as diferentes inclinações dos módulos pilotos (10%, 20% e 30%).	49
Figura 33 - Gráfico comparativo entre sólidos dissolvidos totais em lâminas percolada e escoada para diferentes inclinações do módulo piloto (10%, 20% e 30%)	49
Figura 34 - Gráfico comparativo entre pH, Cor aparente e Turbidez em lâmina percolada para diferentes inclinações dos módulos pilotos (10%, 20% e 30%).	51

Figura 35 - Gráfico comparativo entre pH, Cor aparente e Turbidez em lâmina escoada para diferentes inclinações dos módulos pilotos (10%, 20% e 30%). 52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Taxa de crescimento anual da população urbana	16
Tabela 2 - Demanda média para abastecimento urbano	18
Tabela 3- Parâmetros entre os quais foram realizados o cálculo o do coeficiente de correlação de Pearson. O X indica que houve o cálculo do coeficiente.	34
Tabela 4 - Ensaios realizados para calibração do Simulador de Chuva.	37
Tabela 5 - Estimativa do intervalo de intensidade de chuva utilizada, a partir da Intensidade medida nos ensaios com torneira	37
Tabela 6 - Cálculo do Δu , com base na diferença entre umidade posterior e antecedente. Os dados foram colhidos no aparelho da Solotest, para cada ensaio realizado nos módulos com inclinações de 10, 20 e 30%.	38
Tabela 7 - Teste de significância ANOVA entre inclinações e lâmina escoada.	39
Tabela 8 – Coeficiente de Correlação de Pearson entre a soma das Lâminas Escoadas e as Inclinações (10, 20 e 30%) para os diferentes módulos pilotos.	39
Tabela 9 - Matriz de Correlação entre Umidade Antecedente e Lâminas Percolada e Escoada.	41
Tabela 10 - Coeficiente de Correlação entre Lâmina Armazenada e Lâmina Percolada e Escoada.	42
Tabela 11 - Coeficiente de Correlação entre Δu e Lâmina Armazenada.....	44
Tabela 12- Matriz de Correlação entre Umidade Antecedente e Δu	44
Tabela 13 - Matriz de Correlação de Pearson ente lâmina armazenada e umidade antecedente, para as diferentes inclinações (10, 20 e 30%) dos módulos.	45
Tabela 14- Matriz de Correlação entre Correlação entre Sólidos Dissolvidos e Suspensos Totais e Lâmina Percolada e Escoada.....	50
Tabela 15 - Matriz de Correlação entre pH. Turbidez e Cor aparente e Lâmina Percolada e Escoada.	52

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1. A urbanização e os impactos sobre a drenagem urbana	16
2.2. Evolução do Sistema de Drenagem	17
2.3. Demanda Hídrica no Brasil	18
2.4. Bioarquitetura	18
2.5. Histórico	19
2.6.1. Retenção de água pluvial	20
2.6.2. Melhoria na qualidade da água	21
2.6.3. Atenuação dos efeitos da ilha de calor.....	21
2.6.4. Isolamento acústico	21
2.6.5. Melhoria da qualidade do ar	22
2.6.6. Criação de habitat	22
2.7. Estrutura.....	22
2.8. Tipos de Telhado verde	23
3. OBJETIVOS	25
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
4.1. Montagem Experimental	26
4.1.1. Plantio das mudas	30
4.1.2. Arranjo dos aspersores do simulador de chuva	30
4.2. Ensaios nos módulos pilotos de telhado verde extensivo	33
4.3. Análise laboratorial.....	33
4.4. Tratamento dos dados	34
4.4.1. Determinação da diferencial de umidade nos módulos pilotos	34
4.4.2. Matriz dos coeficientes de correlação de Pearson	34
4.4.3. Análise de variância, para determinação da influência da inclinação na lâmina escoada.....	35
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
5.1. Arranjo dos aspersores do simulador de chuva	36
5.2. Módulos Pilotos	38
5.2.1 Variação da umidade armazenada no módulo piloto (Δu).....	38
5.2.2. Influência da Inclinação na Lâmina Escoada	38
5.2.3. Correlação entre umidade Antecedente e Lâmina Percolada e Escoada.....	39
5.2.4. Diferencial de umidade (ΔU).....	43
5.2.5. Sólidos Dissolvidos Totais e Suspensos Totais	48
5.2.6. Análise da correlação entre pH, turbidez e cor aparente em lâmina escoada e percolada	50
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
6.1. Simulador de chuva	54
6.2. Eficiência dos Módulos Piloto.....	54

7. CONCLUSÕES	55
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
APÊNDICE A	59

1 INTRODUÇÃO

Cobertura verde leve ou ecotelhado também conhecido como teto jardim, tornou-se uma ferramenta poderosa, nos últimos 30 anos, contra os impactos negativos causados pelo desenvolvimento urbano e consequente perda de espaço aberto. O telhado verde consiste na aplicação e uso de vegetação sobre a cobertura de edificações, planas ou inclinadas, com impermeabilização e drenagem adequadas, proporcionando melhorias nas condições de conforto termo acústico e paisagismo das edificações, reduzindo a poluição ambiental comum em grandes centros urbanos. A Associação Internacional de telhado verde (*International Green Roof Association* , IGRA) os divide em três categorias:

- 1) Extensiva: para telhados com pouca capacidade e custos mais baixos;
- 2) Semi-Intensiva: maior e custos medianos para a manutenção; e
- 3) Intensivo: qualidade de manutenção, irrigação permanente e adubação constante devem ser garantidos.

Alguns Benefícios do telhado verde estão listados abaixo (*WHOLE BUILDING DESIGN GUIDE*).

- Telhados verdes podem ser considerados como adicionais de isolamento térmico;
- Controla o escoamento da água da chuva. Podem ser projetados para atingir níveis específicos de controle de escoamento da água de chuva, incluindo reduções no volume do escoamento total anual (reduções de 50 a 60 por cento são comuns) e as taxas de pico de escoamento;
- Melhoria da qualidade da água. Através do controle do *run-off* em cidade com esgoto misto;
- O telhado verde reduz a contaminação na água quando atuado como dispositivo de filtração. Em áreas urbanas até 30% do nitrogênio e do fósforo total descarregados em corpos d'água são derivados de poeira que se acumula sobre os telhados.

As origens do telhado verde começaram há milhares de anos. A primeira referência histórica conhecida sobre jardins artificiais suspensos foram os zigurates (pedras piramidais sobrepostas em torres) da antiga Mesopotâmia, construídos a partir do quarto milênio antes de Cristo até por volta de 600 aC. Os telhados verdes mais

famosos foram os Jardins Suspensos da Babilônia, considerados uma das Sete Maravilhas do Mundo Antigo, construídos a cerca de 500 aC.

Na França, os jardins plantados no século XIII prosperam em cima de uma abadia beneditina. Noruegueses há séculos colocam gramas em cima de seus telhados como um meio de obter isolamento térmico. Na verdade, casas com esse tipo de telhado ainda são usadas como proteção contra invernos extremamente frios na Noruega e nos Estados Unidos (GREEN ROOFS).

A nova tecnologia dos Telhados Verdes foi desenvolvida na Alemanha, na década de 1960, e se espalhou para vários países. Os telhados verdes também estão se tornando cada vez mais populares nos Estados Unidos, e na Europa, principalmente devido à seu impacto ambiental positivo. Uma pesquisa de opinião da Comunidade Econômica Europeia, publicada em *La Libre Belgique*, mostra o meio ambiente como a principal preocupação dos europeus, mesmo à frente de desemprego, pobreza e insegurança (GREEN ROOFS).

No México o governo estuda a criação de leis que regulamentam a “naturação” em grande escala dos Telhados Verdes. Na Universidade de Humboldt de Berlim, foi criada uma rede de cooperação entre Alemanha, Brasil, Espanha, Grécia, Bolívia, Cuba, México e Equador voltada para a pesquisa sobre o melhor tipo de vegetação a ser utilizado em cada telhado verde. Através de experimentos práticos, os especialistas dessas universidades trocam informações constantes (ABREU, 2009).

A inclinação do telhado e a umidade antecedente são fatores decisivos para o desempenho do telhado verde extensivo, todavia poucos trabalhos apresentam resultados de avaliação de lâminas para essas variáveis.

Dessa forma, esse trabalho visou investigar o efeito da inclinação e da umidade nas lâminas escoadas, percoladas e armazenadas em telhado verde, construído em escala piloto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A urbanização e os impactos sobre a drenagem urbana

Durante muitos anos no Brasil como em outros países, a drenagem urbana das grandes metrópoles foi abordada de maneira acessória, dentro do contexto do parcelamento do solo para usos urbanos. Na maior parte dessas grandes metrópoles, o crescimento das áreas urbanizadas se processou de forma acelerada e somente em algumas a drenagem urbana foi considerada fator preponderante no planejamento da sua expansão.[...] O aumento das áreas urbanizadas, e consequentemente impermeabilizadas, ocorreu, em geral, a partir de zonas mais baixas, próximas às várzeas dos rios ou à beira mar, em direção às colinas e morros, em face da necessária interação da população com corpos hídricos, utilizados como fonte de alimento e dessedentação, além de via de transporte. [...] A frequência e a gravidade das inundações em algumas cidades como, por exemplo, São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Campinas e Recife, demonstram a necessidade de procurar soluções alternativas estruturais e não estruturais [...] (CANHOLI, 2005, p.15-16).

No Brasil o conceito de drenagem urbana baseia-se em drenar águas pluviais o mais rápido possível da área urbana, para desaguar em corpos receptores. Essa metodologia apenas transfere para jusante o problema, pois concentra grande volume d'água causando impactos. A partir da década de 60 o país começa a presenciar uma intensa urbanização. Segundo o IBGE essa taxa alcançou 67,6% na década de 80, e entre 1991 e 1996 atingiu 78,4%, representando 12,1 milhões de habitantes na área urbana. Em 2009, o número de domicílios particulares permanentes foi estimado em 58,6 milhões de unidades e a população brasileira chegou a 191,8 milhões de pessoas, sendo que as mulheres representavam 51,3% e os homens, 48,7% do total (PESQUISA NACIONAL POR AMOSTRAS DE DOMICÍLIO- PNAD, 2009).

Tabela 1 - Taxa de crescimento anual da população urbana

Período	Taxa de crescimento anual da população urbana
1950	3,91
1960	5,15
1970	5,22
1980	4,44
1990	2,97
2000	2,47

Fonte: Adaptado de Anuário Estatístico (2003)

Esse processo de urbanização tem ocorrido de maneira acelerada e desorganizada, sem uma política adequada de uso e ocupação do solo. A impermeabilização do solo diminui sua capacidade natural de retenção. Uma das consequências é a ocorrência de enchentes e inundações. No Brasil seu controle quantitativo ainda é a maior preocupação das grandes cidades. Córregos são transformados em coletores de esgoto a céu aberto, que, durante as enchentes provocam doenças tais como leptospirose. Planejar ou gerenciar sistemas de drenagem envolve tipicamente administrar um problema de alocação de espaço (SHEAFFER e WRIGHT, 1982 *apud* CANHOLI, 2005, p.21).

2.2. Evolução do Sistema de Drenagem

Durante muito tempo, tentou-se solucionar o problema da drenagem urbana aumentando a velocidade dos escoamentos com obras de canalização. Isso transferiu para jusante o problema de redução de espaços naturais, ou seja, a várzea utilizada pelo rio ou córrego nas cheias, que fora suprimida pela urbanização, será requerida a jusante. Visto que, a ocupação em vales se dá na direção da jusante para montante, áreas que anteriormente não tinham problemas com inundações podem apresentá-los, isso deve-se ao fato de que, quanto menor o tempo de concentração, maior o pico da vazão a jusante. (BRAGA, 1994 *apud* CANHOLI, 2005, p.22).

Hoje, como um novo parâmetro de eficiência da drenagem, diz-se que a melhor drenagem é aquela cujas ações propostas asseguram que o escoamento não produza impactos nem no local nem a jusante. Este novo parâmetro implica na manutenção das condições de pré-desenvolvimento, trabalhando na fonte da geração do desenvolvimento, utilizando, para isto, procedimentos que viabilizem o acréscimo da infiltração e o aumento do retardo do escoamento (ARAUJO, *et al.*, 2000 *apud* ANDRADE FILHO, BRONDANI, 2000, p.02).

A falha de incorporar a drenagem pluvial na fase inicial do desenvolvimento urbano em geral resulta em projetos muito dispendiosos ou mesmo, em estágios mais avançados, na sua inviabilidade técnico-econômica. (BRAGA, 1994 *apud* CANHOLI, 2005, p.22).

Para tentar minimizar a crise no sistema de drenagem pluvial, algumas técnicas inovadoras, como estacionamentos permeáveis, estão sendo adotadas. Essas visam à atenuação das vazões de pico, ajudam no controle de enchente, além de promoverem a

redução de concentração de poluentes nas áreas urbanas (ANDRADE FILHO, BRONDANI, 2000, p.02).

2.3. Demanda Hídrica no Brasil

As demandas hídricas médias e máximas para abastecimento populacional urbano alcançaram valores totais para o país, respectivamente, de 630 m³/s e 695m³/s, no ano de 2025 (Tabela 2), com destaque às Regiões Sudeste e Nordeste, seguidas pelas Regiões Sul, Norte e Centro-Oeste. As Regiões Sudeste e Nordeste, juntas respondem por 71% de toda a demanda projetada para o ano de 2025, concentrando 62% de todos os municípios do país. (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2010).

Tabela 2 - Demanda média para abastecimento urbano						
Ano	Demanda por Região Geográfica (m ³ /s)					Total Brasil (m ³ /s)
	Norte	Nordeste	Centro – Oeste	Sudeste	Sul	
2005	34	115	33	247	65	479
2015	45	136	39	275	75	570
2025	54	151	44	298	83	630

Fonte: Adaptado de Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional (2010)

Um dos grandes desafios do ponto de vista do abastecimento de água consiste no fato da população brasileira estar concentrada justamente nas regiões em que a oferta de água é mais desfavorável. A avaliação da oferta/demanda indica que, dos 5.565 municípios brasileiros, 45% possuem abastecimento satisfatório, o que equivale a dizer que 52 milhões de habitantes terão garantia de oferta de água para o abastecimento urbano até o ano de 2015 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2010).

Uma alternativa para reduzir a demanda por água e assim não sobrecarregar o abastecimento público é a captação de água de chuva e seu reaproveitamento para usos menos nobres.

2.4. Bioarquitetura

O conceito de Bioarquitetura surgiu nos anos 60, e os adeptos usam técnicas com baixo impacto ambiental e custo operacional reduzido (tijolo adobe, cimento queimado, etc). A utilização dessas técnicas traz benefícios com o aumento da permeabilidade

urbana, o que auxilia a drenagem urbana, diminuindo riscos hidrológicos e alimenta o lençol freático. Um elemento da bioarquitetura é o telhado verde, que tem como objetivo substituir a vegetação destruída pelo processo de urbanização.

2.5. Histórico

Os telhados verdes mais famosos do mundo, são os Jardins Suspensos da Babilônia, construídos cerca de 500 a.C., considerados uma das Sete Maravilhas do Mundo Antigo, são uma majestosa estrutura construída pelo rei Nabucodonosor I para sua esposa Amyitis, sobre vigas de pedras arqueadas e impermeabilizadas com espessas camadas de junco e piche.

A inspiração para o telhado verde contemporâneo veio da Islândia, onde os telhados e as paredes de grama têm sido usados por centenas de anos. Isso se iniciou devido à falta de recursos, obrigando a população a se contentar com os materiais locais, tais como, grama e pedra (GREENROOFS *apud* MUGSSON, 1987).

O conceito de telhado verde foi criado por *Le Corbusier* na década de 20, com a intenção de recuperar o espaço ocupado pela construção de cobertura do edifício (POTOLANO, 2007). A tecnologia dos telhados verdes surgiu na Alemanha, e tornaram-se bastante popular em toda a Europa, principalmente devido aos seus impactos ambientais positivos. Até 1970, os telhados verdes eram considerados luxo, até que, Hans Luz, um arquiteto alemão, propôs o uso de telhados verdes como forma de melhorar a qualidade do ambiente urbano. Em 1977 com a criação da *First Lego League* (FLL), começaram os estudos formais a respeito da tecnologia do telhado verde e suas aplicações juntamente com universidades alemãs. Foram estudados desde o desenvolvimento urbano de habitats ecológicos, balanço de energia, sistemas de impermeabilização e drenagem, até o *design* e planejamento.

Os telhados verdes também estão se tornando cada vez mais popular nos Estados Unidos, embora eles não sejam tão comuns quanto na Europa. No Brasil o Telhado verde teve como grande defensor o paisagista Burle Marx, com obras de inegável qualidade e reconhecimento mundial, embora Marx não tivesse a oportunidade de trabalhar com muitos telhados verdes ao longo da sua carreira, destacam-se os executados sobre a sala de exposições do Ministério de Educação e Saúde (atual Ministério de Educação e Cultura – MEC, 1938 e 1942-44) e Instituto de Resseguros do Brasil (IRB - 1938).

2.6. Vantagens

2.6.1. Retenção de água pluvial

Telhados verdes são importantes instrumentos no controle de escoamento superficial. Segundo a *International Green Roof Association* dependendo do sistema e da profundidade do substrato, o escoamento pode ser reduzido entre 50 e 90%. Eles podem ser projetados para atingir níveis específicos, no controle do *run-off* de precipitações de grandes intensidades, incluindo redução no volume do escoamento total anual (redução entre 50 e 60%) como nas taxas de escoamento de pico (*WHOLE BUILD DESIGN GUIDE*, 2010). A água armazenada pelo substrato e absorvida pelas plantas volta à atmosfera através de sua evapotranspiração. O excesso é filtrado e drenado, esse processo reduz o estresse sobre o sistema de esgoto, principalmente em períodos de pico.

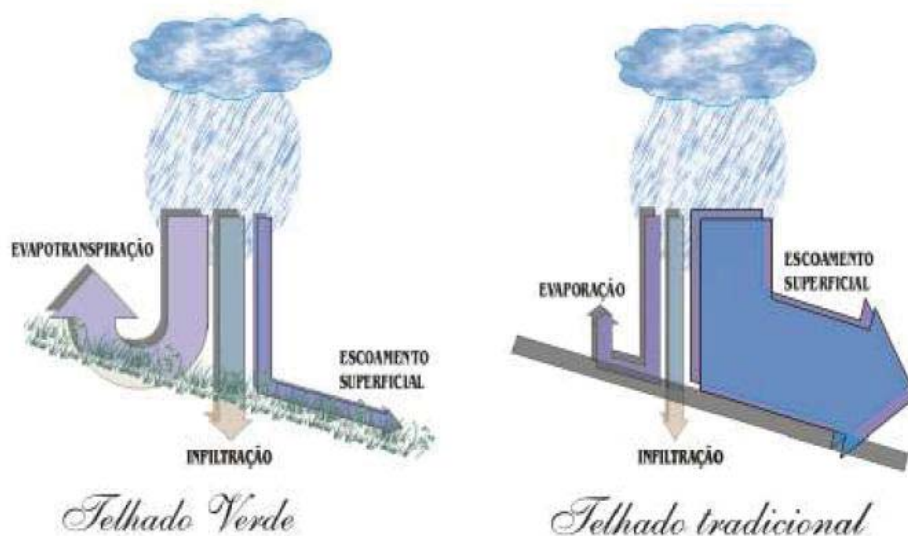


Figura 1- Comparação entre um telhado verde e um telhado normal.

Na Alemanha, grandes empreendimentos com taxa zero de descarga, que dependem fortemente de telhados verdes, estão operando. Por exemplo, o centro de Bondorf em Sindelfingen, atinge zero de *run-off*, através da utilização de uma área de 11,8 hectares de telhado verde (*WHOLE BUILD DESIGN GUIDE*, 2010)

2.6.2. Melhoria na qualidade da água

Ao reduzir a taxa de escoamento superficial direto das águas pluviais, telhados verdes beneficiam cidades com excesso de esgoto combinado. Nessas cidades, a água pluvial dilui o esgoto sanitário, tonando o tratamento menos eficiente. Durante chuvas intensas esses sistemas tendem a transbordar, descarregando o esgoto bruto junto com o *run-off* em córregos, o que acarreta danos ecológicos e a saúde humana.

Outro aspecto importante refere-se ao nitrogênio e ao fósforo total. E em áreas urbanas são derivados de poeira que se acumula sobre os telhados. Atuando como dispositivos de filtração natural, telhados verdes reduzem a contaminação da água por esses elementos. Em Potsdamer Platz, distrito de Berlim, telhado verdes extensivos, tem sido empregados em larga escala num esforço para reduzir a poluição no rio Spree. Este programa demonstrou que telhados verdes extensivos podem alcançar grandes reduções na emissão de nutrientes (*WHOLE BUILD DESIGN GUIDE*, 2010).

2.6.3. Atenuação dos efeitos da ilha de calor

Através do orvalho e do ciclo de evapotranspiração, plantas em superfícies horizontais e verticais são capazes de esfriar cidades quentes durante os meses de verão. No processo de evapotranspiração, plantas usam energia do calor a sua volta (aproximadamente 592 Kcal por litro de água). Um metro quadrado de folhagem pode evaporar acima de 0,5 litros de água em um dia quente. Esse processo diminui os efeitos da Ilha de Calor no verão (*GREEN ROOFS FOR HEALTH CITIES*, 2009).

2.6.4. Isolamento acústico

As ondas sonoras podem ser absorvidas, refletidas ou desviadas pelo solo, pelas plantas e pela camada de ar aprisionada. O substrato tende a bloquear as altas frequências e as plantas mais altas.

Um telhado verde com 12 cm de substrato pode reduzir o som de 40 decibéis, enquanto que um de 20 cm pode reduzir um som entre 40 e 50 decibéis (*GREEN ROOFS FOR HEALTH CITIES*, 2009).

2.6.5. Melhoria da qualidade do ar

Um telhado verde não absorve apenas o calor, diminuindo as térmicas (movimento de ar ascendente), mas também filtra o ar que se move através dele. Um metro quadrado de telhado pode filtrar cerca de 0,2 Kg de pó e partículas de aerossóis da poluição atmosférica por ano. Além disso, nitratos e outras substâncias nocivas no ar são depositados pelas chuvas no substrato (*INTERNATIONAL GREEN ROOF ASSOCIATION*).

2.6.6. Criação de habitat

A destruição da paisagem pelas atividades humanas tem vários efeitos negativos sobre o ecossistema e o habitat. Telhados verdes podem compensar a perda de árvores criando refúgios para a flora e a fauna dentro de centros urbanos. Telhados Verdes em especial, promovem a biodiversidade de abelhas selvagens, borboletas e besouros, ali encontram abrigo e comida (PORTOLANO, 2007).

2.7. Estrutura

Segundo o *Toronto's Green Roof Bylaw* e o *Eco-Roof Incentive Program*, o telhado verde é uma extensão do teto para cima de seu nível, construído em cima de uma estrutura feita pelo homem, que permite a vegetação crescer em um meio projetado, construído e mantido de acordo com o (*TORONTO GREEN ROOF CONSTRUCTION STANDARD*). Segundo o qual, a montagem de um telhado verde inclui, no mínimo:

- Sistema de impermeabilização: protege a edificação da infiltração da água;
- Sistema barreira antirraíz: protege a camada de impermeabilização de danos;
- Sistema de drenagem: regula a retenção de água, permitindo que o excesso escoe para os drenos. As camadas de drenagem podem ser compostas por borracha, plástico, cascalho, argila expandida, brita ou seixos;

- Sistema camada de filtragem (opcional): impede o arraste do substrato para a camada de drenagem, por manta geotêxtil.
- Camada de substrato: deve possuir boa drenagem, de preferência um solo não argiloso que apresente boa composição mineral de nutrientes para o sucesso do crescimento das plantas (ARAÚJO, 2007). Os principais critérios dos sistemas de substratos são o tamanho dos grãos, a proporção do material orgânico, a resistência ao frio ou à geada, a estabilidade estrutural, a resistência à erosão pelo vento, a permeabilidade de água, a máxima capacidade de retenção de água, nutrientes satisfatórios, aeração e um bom pH. Materiais minerais leves com alta capacidade de retenção de água e boa permeabilidade como: pedra pome, argila expandida e cacos de argila, têm comprovado ser seguros por muitos anos (HENEINE, 2008).
- Camada de vegetação: depende do tipo de telhado, bem como das condições locais, manutenção disponível, etc.



Figura 2 - Camadas típicas de um telhado verde.
 Fonte: <http://www.toronto.ca/greenroofs/what.htm>

2.8. Tipos de Telhado verde

Segundo a *International Green Roof Association* (2010), os telhados verdes podem ser de três tipos:

Extensivo - Utilizados em telhados com pouca capacidade de carga. São menos caros que os Intensivos, uma vez que são mais leves ($60 - 150 \text{ Kg/m}^2$) e exigem menos apoio estrutural e precisam de manutenção menos frequente. A camada de substrato não é muito profunda, contem pouco nutrientes, no entanto, é adequada para comunidades menos exigentes e de baixo crescimento (Figura 3).

Semi-Intensivo - Em comparação com o tipo extensivo, possui custos mais elevados, é mais pesado ($120 - 200 \text{ Kg/m}^2$) e possui um substrato mais profundo. Permitindo o cultivo de várias gramíneas, pequenos arbustos e plantas herbáceas, como lavanda (Figura4).

Intensivo – Gramados, plantas perenes, arbustos e árvores são indicados para este tipo de telhado. Suporta uma variedade de projetos paisagísticos, são acessíveis e utilizados como espaço de lazer; com passarelas, bancos, parques ou lagoas podem ser características adicionais sobre o telhado. Demandando um alto custo de manutenção a irrigação e a adubação deve ser constante, além de um peso elevado, $180 - 500 \text{ Kg/m}^2$ (Figura 5).



Figura 3 - Telhado verde extensivo
Fonte: http://www.igraworld.com/types_of_green_roofs/index.php



Figura 4 - Telhado verde semi-intensivo.
Fonte: http://www.igraworld.com/types_of_green_roofs/index.php



Figura 5 - Telhado verde intensivo
Fonte: http://www.igra-world.com/types_of_green_roofs/index.php

3. OBJETIVOS

Avaliar as parcelas escoadas, percoladas e armazenadas e analisar os parâmetros de qualidade em instalações experimentais de telhado verde extensivo construído em escala piloto com diferentes inclinações.

Tem como objetivos específicos:

- Verificar o melhor arranjo de aspersores com a finalidade de obter a melhor distribuição espacial da chuva simulada.
- Avaliar o efeito da inclinação e da umidade do solo sobre as lâminas escoadas, percoladas e armazenadas.
- Avaliar as lâminas percolada e escoada e sua relação com os parâmetros de qualidade de água.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizadas instalações montadas com os recursos provenientes dos seguintes processos: FINEP nº2198/07, intitulado: “QTAP – QUANTIDADE, QUALIDADE, TRATAMENTO E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS” e CNPq 477881/2006 intitulado: “Estratégias simplificadas de tratamento de água pluvial em áreas urbanas”. As unidades foram instaladas na área pertencente ao Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento – DEPLAN da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de Rio Claro. O local possui infra-estrutura de laboratório e área disponível para as instalações experimentais.

4.1. Montagem Experimental

Os procedimentos metodológicos descritos neste capítulo (4.2 e 4.3) estão apresentados no fluxograma da Figura 6

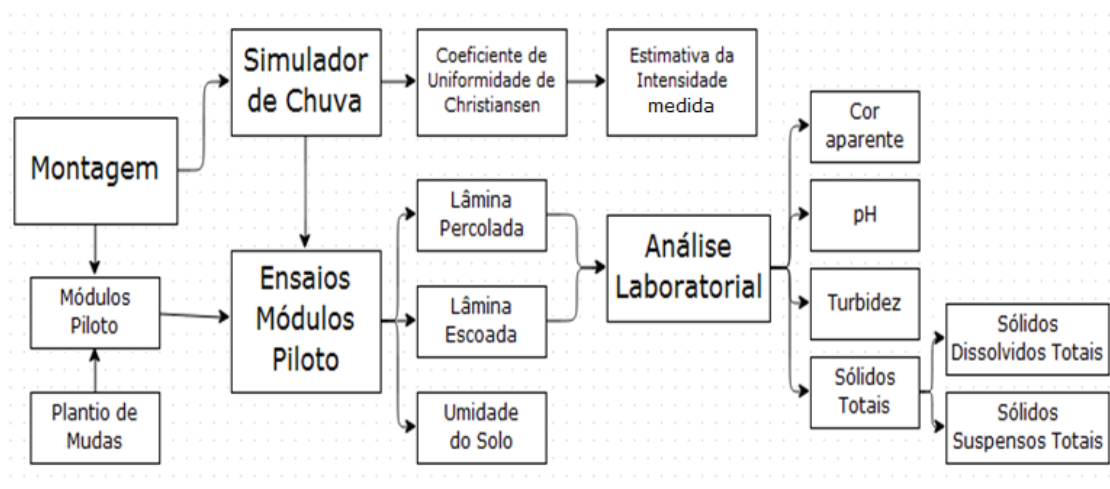


Figura 6 - Fluxograma da metodologia utilizada na fase de montagem experimental e análise laboratorial

A montagem dos protótipos foi realizada nas dependências do Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento (DEPLAN), localizado na Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus de Rio Claro.

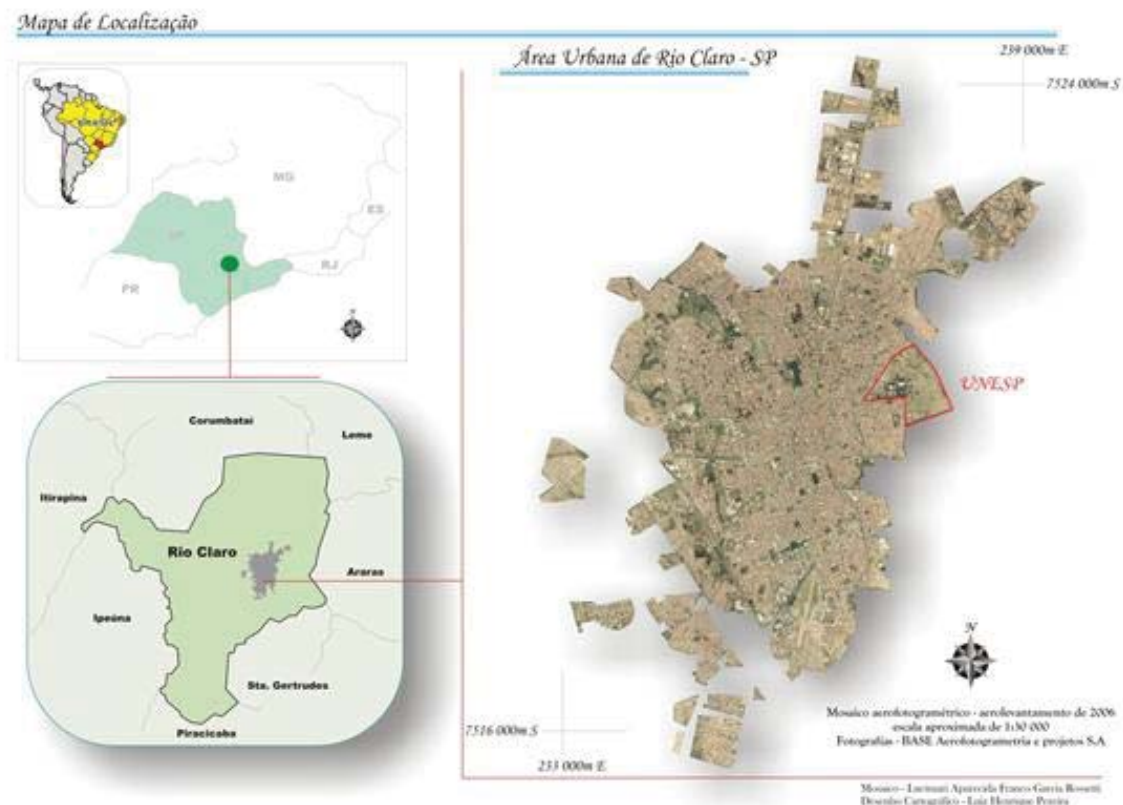


Figura 7 - Mapa de localização da área de estudo.

Fonte :http://www.rc.unesp.br/igce/planejamento/gpapt/dados%20e%20imagens/mapa_Localizacao_Rio%20Claro%20_SP.jpg

Os protótipos consistem em 3 caixas d'água de 1000 L cortadas a 18 cm a partir da base. As caixas foram furadas para a passagem de um dreno constituído por um tubo de PVC perfurado, permitindo o escoamento da água percolada para o exterior das caixas. Na extremidade da caixa, onde está localizado o tubo de escoamento, foi preenchida com brita (900 mm de largura e 100 mm de altura) que tem a finalidade de servir de camada suporte do solo, evitando seu carreamento e facilitando a drenagem da água. Sobre o restante da caixa foi adicionada uma camada de 130 mm de solo.

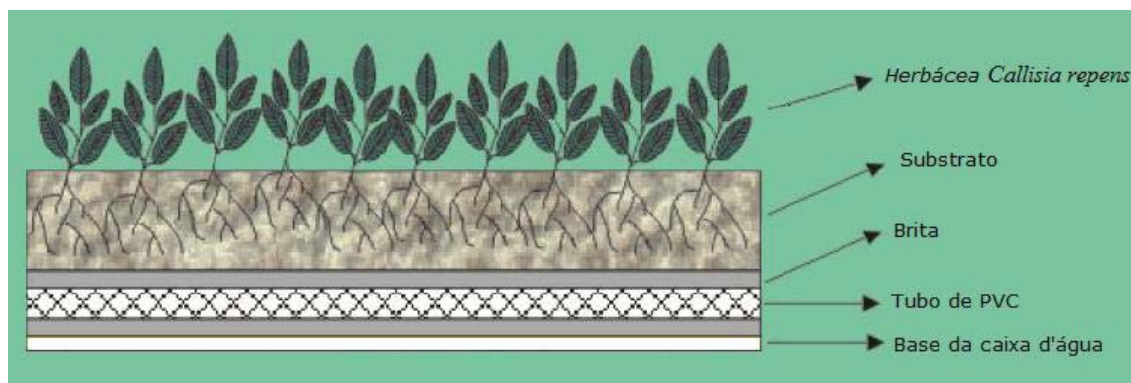


Figura 8 - Detalhe das camadas dos módulos construídos, cada um com inclinações diferentes, de 10, 20 e 30%.

Fonte: Modificado de Cunha, 2004

A 170 mm da base da caixa foi instalada a calha de Gürlach (Figura 8), que tem como finalidade a captação do escoamento superficial direto (ESD). Na saída do dreno e da calha de Gürlach Figura 8 (c), foram posicionados galoes de 20L para a coleta da água escoada e percolada.



Figura 9 - Detalhe da calha de Gürlach (a) Vista lateral. (b) Vista de cima (c) Vista frontal.

A fim de avaliar o desempenho do telhado verde para diferentes inclinações, as caixas foram apoiadas sobre uma base fixa de 580 mm e uma base móvel, que varia de 10, 20 e 30% em relação à altura da base fixa. Para que o volume d'água que irriga as plantas fosse controlado e fixado, as três caixas foram cobertas com telhas translúcidas de 2,44 m de comprimento, 1,1 m de largura.



Figura 10 - Vista Frontal dos módulos-pilotos de telhado verde



Figura 11 - Vista Lateral dos módulos-pilotos de telhado verde

A irrigação dos módulos pilotos foi realizada com volume controlado proveniente de um reservatório de 200L. Esse situa-se em um talude, acima do nível dos protótipos, afim de conferir pressão disponível suficiente para os microaspersores. Os três registros esferas laterais tem como finalidade, manter o nível constante para não haver variação na pressão (Figura 11). Desse modo, o reservatório funcionou, com uma alimentação constante de água pela mangueira externa, e com saída de água constante por um dos registros esfera lateral e pela flange inferior. A flange é ligada a um tubo de PVC de $\frac{3}{4}$ (Figura 13) que é conduzido até os protótipos. Em sua extremidade existe outro registro esfera, ligado a uma mangueira e a ela um simulador de chuva. A mangueira tem em suas extremidades engates rápidos para facilitar a mudança do simulador entre os protótipos.



Figura 12 - Reservatório de 200L



Figura 13 - Detalhe dentro do reservatório



Figura 14 - Detalhe tubo de PVC

4.1.1. Plantio das mudas

Sobre a caixa foi adicionada uma camada de 130 mm de solo, onde foi plantada a herbácea. Esse solo é da formação Rio Claro, apresenta, em sua maioria, solo arenoso (8 a 12 m), arenitos com variações de granulometria e intercalações de camadas de conglomerados e lentes argilosas. Possui espessura média entre 25 e 30 m e máxima de 40 m (BORTOLIN e MALAGUTTI FILHO).

A herbácea escolhida para o plantio foi a *Callisia repens*, conhecida popularmente pelo nome “*Dinheiro em penca*”, baseado na tese de conclusão de concurso de Portolano (2007), a qual determina que essa é a melhor espécie para ser usada em telhados verdes em Rio Claro.

4.1.2. Arranjo dos aspersores do simulador de chuva

Equipamentos, tipos simuladores de chuva, foram desenvolvidos, inicialmente, para serem utilizados em estudos de infiltração (alternativamente á utilização de infiltrômetros de duplo-anel) e, posteriormente para estudos de erosão do solo e estudos hidrológicos (SILVA *apud* WONG, 2003).

Experimentos com chuvas artificiais permitem a aplicação de forma controlada, ou seja, intensidade e duração conhecidas, sobre parcelas devidamente instrumentadas. (Silva, 2006).

O desenvolvimento do simulador deve contemplar duas condições, o equipamento deveria produzir precipitações uniformes sobre a área de referência de 1m x 1m (parcela avaliada nesse trabalho) e deveria permitir estimar a intensidade de precipitação.

Primeiramente definiu-se o dispositivo responsável pela geração de precipitação, optando-se pelo microaspersor do tipo M50, devido à produção de microgotículas.



Figura 15 - Tubo de PVC com micro aspersor

O passo seguinte consistiu em estimar através de ensaios o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen. (CUC)

4.1.2.1 Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC)

O coeficiente que estima a uniformidade espacial da precipitação é apresentado na equação (1), conforme Silva (2006):

$$CUC (\%) = 100 \left(1 - \frac{S_x}{\bar{X}}\right) \quad (1)$$

Onde $\bar{X}$ e S_x representam a média e o desvio padrão dos volumes precipitados em todos os recipientes. Diversos pesquisadores consideram que valores de CUC acima de 80 são aceitáveis para a uniformidade de distribuição em simuladores de chuva (SILVA *apud* MONTEBELLER *et al*, 2001)

Os testes para estimar o CUC consistiram em simular precipitações sobre uma plataforma de 1m x 1m, com recipientes posicionados a cada 0,225m (Figura15). Dispostos conforme uma malha quadrada, a alimentação dos microaspersores foi realizada por meio de uma mangueira comum (Figura 16).

Para cada ensaio foi calculada a intensidade de entrada, a partir da equação abaixo:

$$I = \sum \frac{Vb}{Ab * t} \quad (2)$$

Onde: Vb é o volume do béquer, Ab é a área do béquer e t é de 2 min, o tempo que o simulador funcionou.

Para o cálculo do período de retorno utilizou-se a equação obtida por Moruzzi e Oliveira (2009), para a cidade de Rio Claro:

$$I = \frac{560,9.T^{0,141}}{(7,4+d)^{0,65}} \quad (3)$$

onde:

I= intensidade de chuva (mm.h⁻¹)

T= período de retorno (anos)

d= duração da chuva (minutos)



Figura 16 - Marcação das distâncias entre os béqueres a 0,225cm de distância



Figura 17 - Teste do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen

Para estimar o coeficiente os ensaios se basearam nas seguintes variáveis: o número e a distância dos aspersores no tubo, o número de tubos de PVC e a distância entre eles.

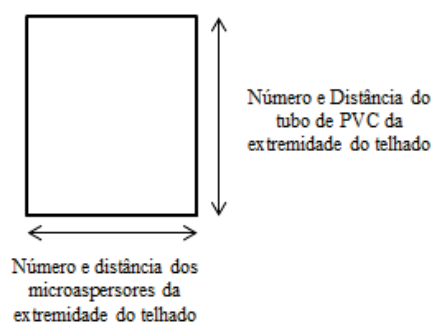


Figura 18 - Variáveis consideradas para obter o CUC.

4.2. Ensaios nos módulos pilotos de telhado verde extensivo

Os ensaios foram realizados no mês de janeiro de 2012 entre os dias 10 e 31, no ano hidrológico 2011/2012, sendo realizados a cada cinco dias, totalizando seis ensaios. A escolha desse intervalo deu-se a ao fato de não ser nem muito longo, nem muito curto, podendo o estudo se desenvolver em uma situação intermediária. Durante o procedimento, procurou-se adotar um padrão que consistia em; cobrir em torno do telhado com lona plástica, para minimizar a interferência do vento durante o funcionamento do simulador de chuva, visando diminuir a perda de água.

Para assegurar que o desnível no reservatório da torneira não interferisse, a vazão na torneira foi medida antes e após os ensaios. A umidade porcentual no solo também foi aferida em cada um dos protótipos antes do início dos ensaios e depois do funcionamento do simulador de chuva sobre os mesmos. Para essa medição, foi utilizado o equipamento Medidor de Umidade Tipo Speedy da Solotest. Também foi medido o volume total percolado e escoado de cada módulo piloto ao final de cada ensaio e de cada um foi coletado uma amostra de 500mL para utilizar em análises laboratoriais.

4.3. Análise laboratorial

As análises físico-químicas foram realizadas nas dependências do Laboratório de Geoquímica Ambiental - LAGEA, pertencente ao Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento e no Laboratório de Tratamento e Reuso de Água e Efluentes – LATARE, pertencente ao Centro de Estudos Ambientais. Os ensaios em laboratório foram conduzidos após a coleta de água em cada um dos 3 protótipos investigados. A análise da qualidade da água do percolado e do escoamento superficial direto (ESD), foi feita a partir de hidrogramas efluentes.

Os ensaios para a determinação dos Sólidos Totais (ST), dos Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) e dos Sólidos Suspensos Totais (SST), foram conduzidos de acordo com a NBR 10664/1989. Para os parâmetros pH, cor aparente e turbidez, foram utilizados os aparelhos específicos para isso do LATARE.

4.4. Tratamento dos dados

4.4.1. Determinação da diferencial de umidade nos módulos pilotos

O diferencial de umidade (Δu) foi calculado através da diferença entre umidade posterior e umidade antecedente para cada ensaio. Assim, tem-se uma estimativa da umidade retida no solo ao final de cada ensaio, para cada módulo piloto.

4.4.2. Matriz dos coeficientes de correlação de Pearson

Para a análise da correlação entre os parâmetros, utilizou-se o coeficiente de Pearson que mostra em que grau as variáveis se relacionam umas com as outras e em qual direção. Varia de 1 a -1, o sinal indica a direção positiva ou negativa e o valor sugere a intensidade do relacionamento entre as variáveis. Segundo os autores Dancey e Reidy (2006) coeficientes entre $\pm 0,7$ e $\pm 0,9$ sugerem uma correlação forte, sendo que ± 1 indica uma correlação perfeita. Para o presente estudo utilizou-se o intervalo de $\pm 0,67$ a $\pm 0,9$, as matrizes foram geradas no programa BioEstat.

Para o cálculo dos coeficientes de Pearson, foram feitas as seguintes correlações:

Tabela 3- Parâmetros entre os quais foram realizados o cálculo o do coeficiente de correlação de Pearson.
O X indica que houve o cálculo do coeficiente.

	Lâmina Percolada	Lâmina Escoada	Lâmina Armazena da	Umidade Anteceden te	Δu	Sólidos Dissolvid os Totais	Sólidos Suspensos Totais	pH	Cor aparente	Turbidez
Lâmina Percolada			X	X		X	X	X	X	X
Lâmina Escoada			X	X		X	X	X	X	X
Lâmina Armazena da	X	X		X	X					
Umidade Anteceden te	X	X	X		X					
Δu			X	X						
Sólidos Dissolvid os Totais	X	X								

	Lâmina Percolada	Lâmina Escoadada	Lâmina Armazena da	Umidade Antecedente	Δu	Sólidos Dissolvidos Totais	Sólidos Suspensos Totais	pH	Cor aparente	Turbidez
Sólidos Suspensos Totais	X	X								
pH	X	X								
Cor aparente	X	X								
Turbidez	X	X								

4.4.3. Análise de variância, para determinação da influência da inclinação na lâmina escoada

Como a inclinação é um parâmetro fixo e independente, para demonstrar sua influência sobre a lâmina escoada, utilizou-se o teste de significância da Análise de Variância (ANOVA). É um teste estatístico que visa fundamentalmente verificar se existe uma diferença significativa entre as médias e se os fatores exercem influência em alguma variável dependente. O teste consiste em determinar se um valor observado difere suficientemente da hipótese nula (todos os valores reais médios são iguais). Se a probabilidade for menor ou igual ao nível de significância, então a hipótese nula é rejeitada e o resultado é dito estatisticamente significativo. Tradicionalmente, tem-se utilizado valores de 0,05 (chamado de nível de 5%). Quanto mais baixo o nível de significância, mais os dados devem divergir da hipótese nula para serem significantes. Para o estudo da análise de variância utilizou-se o programa *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Arranjo dos aspersores do simulador de chuva

Foram realizados 14 ensaios (Tabela 3), com 30 minutos de duração cada. Os 06 primeiros ensaios foram efetuados com o tubo de PVC de bitola $\frac{3}{4}$. O valor do CUC foi estimado a partir da equação (1), cujo máximo valor foi de 38,62%. A fim de tentar aumentar a velocidade do jato no microaspersor, optou-se por diminuir a bitola para $\frac{1}{2}$, (ensaios 7, 8 e 9). No entanto o CUC resultante foi de 32,50%. A pressão disponível dada pelo reservatório era insuficiente para uma maior abertura do leque d'água e, consequentemente melhor espaçamento das gotículas.

Diante disso, a alternativa foi utilizar a torneira, próxima do local, como fonte de abastecimento. Percebe-se que os coeficientes atingidos são mais altos do que quando se utilizou do reservatório, sendo a maior porcentagem obtida a de 56,20%. Para assegurar que o desnível no reservatório da torneira não interfira, a vazão na torneira foi medida antes e após os ensaios.

A melhor configuração foi obtida com 2 tubos de PVC de $\frac{3}{4}$, com distância de 0,30m da extremidade do telhado, e cada um com 3 microaspersores com distância de 0,15m da extremidade do tubo.

A Tabela 3 apresenta os dados obtidos durante os ensaios para definir a melhor configuração dos microaspersores para o simulador de chuva.

Tabela 4 - Ensaios realizados para calibração do Simulador de Chuva.

Ensaio	Número de Aspersores por tubo de PVC	Distância dos aspersores da extremidade do Tubo de PVC (m)	Bitola do TUDO de PVC (pol.)	Número de Tubos de PVC	Distância do tubo de PVC da extremidade do telhado (m)	Pressão disponível no Reservatórios	CUC (%)
1	5	0,15	¾	3	0,275	P1	2,5
2	5	0,15	¾	3	0,275	P3	2,03
3	3	0,225	¾	3	0,275	P3	16,25
4	2	0,3	¾	3	0,2	P3	14,35
5	2	0,3	¾	3	0,2	P3	32,5
6	3	0,225	¾	3	0,2	P3	38,62
7	3	0,15	½	3	0,2	P3	6,5
8	3	0,15	½	3	0,2	P3	10,9
9	3	0,15	½	4	0,1	P3	32,5
10	3	0,15	¾	3	0,2	Torneira	48,35
11	3	0,15	¾	2	0,3	Torneira	56,2
12	3	0,3	¾	2	0,3	Torneira	39,6
13	3	0,3	¾	2	0,3	Torneira	48,08
14	3	0,3	¾	3	0,2	Torneira	51,24

A partir dos valores de I_{medido} , calculados a partir da equação (2), foram estimados o desvio padrão, o intervalo de confiança de 95% e a média das intensidades. Assim, foi possível delimitar o intervalo da intensidade utilizada. A Tabela 4 apresenta os valores calculados para os ensaios de 10 a 14, realizados utilizando a torneira.

Tabela 5 - Estimativa do intervalo de intensidade de chuva utilizada, a partir da Intensidade medida nos ensaios com torneira

Ensaio	I_{medido}
10	117,71
11	81,23
12	104,46
13	111,79
14	102,43
desvpad	13,86240167
int95%	12,15068954
média	103,524

Nota: Os valores de I_{medido} foram calculado a partir da equação 2.

Assim, tem-se que: $91.37331 \leq I(\text{mm/h}) \leq 115.6747$

Assumindo $\bar{I}$ como o I_{entrada} , para todos os ensaios, tem-se 51,75 mm. Utilizando a equação (3), pode-se calcular o período de retorno dessa chuva para a cidade de Rio Claro, assim $T=0,81\text{anos}$, ou 297 dias.

5.2. Módulos Pilotos

5.2.1 Variação da umidade armazenada no módulo piloto (Δu)

O cálculo do Δu seguiu conforme a metodologia apresentada em 4.4.1, e está representado na tabela abaixo. Os dados foram utilizados para posteriores correlações.

Tabela 6 - Cálculo do Δu , com base na diferença entre umidade posterior e antecedente. Os dados foram colhidos no aparelho da Solotest, para cada ensaio realizado nos módulos com inclinações de 10, 20 e 30%.

Módulos	Umidade Antecedente (%)	Umidade Posterior (%)	Δu
i10%	1,1	18,8	17,7
	18,4	20,4	2
	18	20,8	2,8
	19,6	24	4,4
	21,2	28,8	7,6
i20%	1,1	17,6	16,5
	15,2	19,6	4,4
	12,4	13,6	1,2
	17,2	20,4	3,2
	18,4	26	7,6
i30%	1,1	20,12	19,02
	19,6	20,4	0,8
	13,6	14,4	0,8
	16	18,8	2,8
	17,6	20	2,4

5.2.2. Influência da Inclinação na Lâmina Escoda

Para determinar se há efetivamente diferença entre a lâmina escoada entre os módulos e suas diferentes inclinações de 10, 20 e 30%, utilizou-se o teste de significância ANOVA. Os resultados são exibidos na Tabela 6.

Tabela 7 - Teste de significância ANOVA entre inclinações e lâmina escoada

(I) Inclinação	(J) Inclinação	Diferença de medias (I-J)	Erro típico	Significância	Intervalo de confiança 95%	
		Limite inferior	Limite superior	Limite inferior	Limite superior	Limite inferior
Lâmina Escoada i10%	Lâmina Escoada i20%	-14,82 (*)	3,96	0,007	-25,39	-4,24
	Lâmina Escoada i30%	-16,82 (*)	3,96	0,003	-27,39	-6,24
Lâmina Escoada i20%	Lâmina Escoada i10%	14,82 (*)	3,96	0,007	4,24	25,39
	Lâmina Escoada i30%	-2,00	3,96	0,870	-12,57	8,57
Lâmina Escoada i30%	Lâmina Escoada i10%	16,82 (*)	3,96	0,003	6,24	27,39
	Lâmina Escoada i20%	2,00	3,96	0,870	-8,57	12,57

Observou-se que existe significância entre as lâminas escoadas do módulo i10%, i20% e i30%, ou seja, a hipótese nula foi descartada.

Para avaliar a correlação existente entre as lâminas dos módulos, foi utilizada a matriz de correlação de Pearson para as inclinações e a soma das lâminas escoadas relativas a cada módulo e suas inclinações (Tabela 7).

Tabela 8 – Coeficiente de Correlação de Pearson entre a soma das Lâminas Escoadas e as Inclinações (10, 20 e 30%) para os diferentes módulos pilotos.

	Inclinação
Soma das Lâminas Escoadas	0,9153

A lâmina escoada e a inclinação tem uma correlação positiva alta, ou seja, quanto maior a inclinação maior a lâmina que escoar.

5.2.3. Correlação entre umidade Antecedente e Lâmina Percolada e Escoada

As Figuras 18, 19 e 20 representam a variação das lâminas percolada e escoada em função da umidade antecedente para cada ensaio e para cada protótipo com inclinações de 10, 20 e 30%.

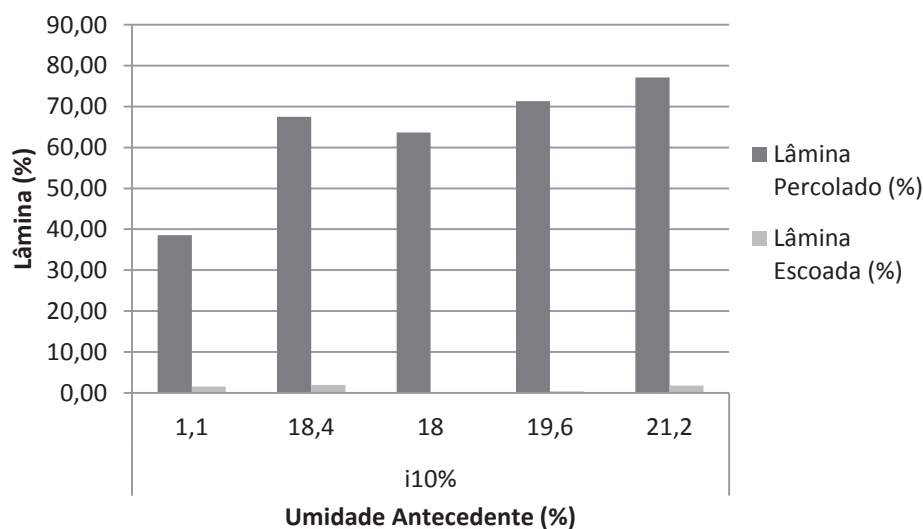


Figura 19 - Gráfico comparativo entre Lâmina Percolada e Escoda e Umidade Antecedente para o módulo com inclinação de 10%.
Nota: Para uma lâmina de 51,75mm.

O maior valor alcançado para a lâmina percolada foi de 77,15% para a umidade antecedente de 21,2, a lâmina escoada atingiu baixos valores, sendo o máximo de 1,93% para a umidade antecedente de 18,4%.

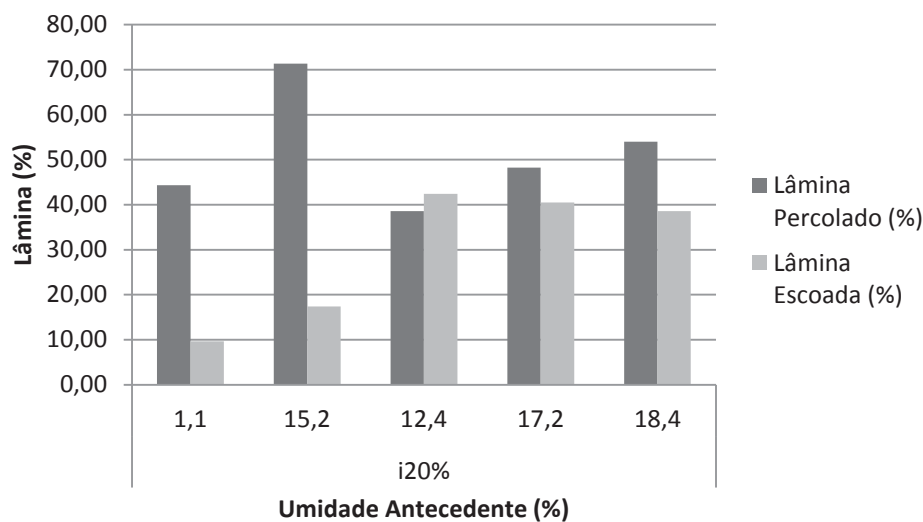


Figura 20 - Gráfico comparativo entre Lâmina Percolada e Escoda e Umidade Antecedente para o módulo com inclinação de 20%.
Nota: Para uma lâmina de 51,75mm.

No módulo de i20% o maior valor alcançado de lâmina percolada foi de 71,36% para a umidade antecedente de 15,2%. A lâmina escoada atingiu o máximo valor de 42,43% para a umidade antecedente de 12,4%.

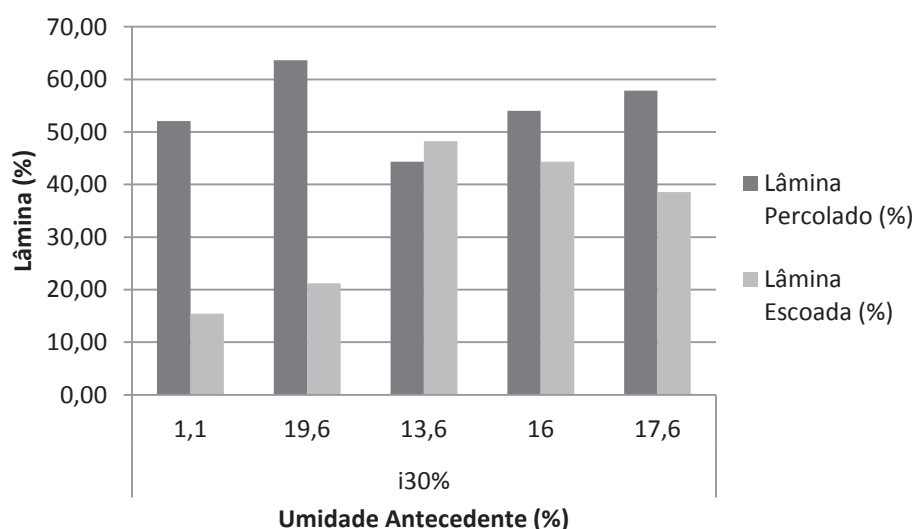


Figura 21 - Gráfico comparativo entre Lâmina Percolada e Escoada e Umidade Antecedente para o módulo com inclinação de 30%.
Nota: Para uma lâmina de 51,75mm.

No módulo de i30% o maior valor encontrado para a lâmina percolada foi de 63,65% para a umidade antecedente de 19,6%. A lâmina escoada atingiu o máximo valor de 48,22% para a umidade antecedente de 13,6%.

Analisando os três módulos em conjunto nota-se que houve a predominância da lâmina percolada, atingindo valores de pico máximo de 71,36% para i10% e valor mínimo de 38,57% para i20%. Para os módulos i20% e 30% verifica-se um comportamento similar da lâmina.

A lâmina escoada atingiu valores máximos de 48,22% para i30% e o valor 0 para i10%. Para os módulos i20% e i30% observou-se um comportamento similar da lâmina, com um ponto de pico no terceiro ensaio.

A Tabela 8 foi elaborada para averiguar a relação entre as lâminas escoadas e percoladas com a umidade antecedente. Para tanto, utilizou-se a matriz de correlação de Pearson.

Tabela 9 - Matriz de Correlação entre Umidade Antecedente e Lâminas Percolada e Escoada.						
Umidade Antecedente (%)	Lâmina Percolada (%)			Lâmina Escoada (%)		
	i10%	i20%	i30%	i10%	i20%	i30%
	0,98	0,39	0,47	-0,21	0,71	0,47

Para o módulo i10%, tem-se que a umidade antecedente tem uma alta correlação com a lâmina percolada e uma baixa correlação negativa com a lâmina escoada, isso porque nesse módulo há uma maior dependência da inclinação, portanto um

favorecimento da percolação. Os módulos i20% e i30% apresentam baixas correlações entre a lâmina percolada e a umidade antecedente. Para o i20% há grande correlação positiva com a lâmina escoada, pois quanto maior a umidade antecedente, maior a lâmina escoada.

Para uma melhor comparação entre as lâminas percolada, escoada e armazenada, foi gerado o gráfico da Figura 21.

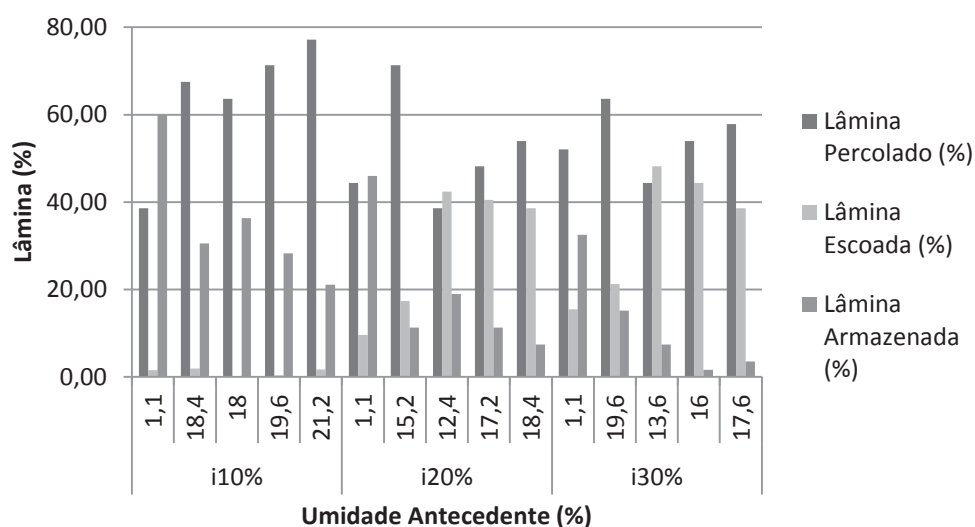


Figura 22 - Gráfico comparativo entre lâmina percolada, escoada e armazenada com a umidade antecedente para cada ensaio e para as diferentes inclinações do módulo piloto (10, 20 e 30%).
Nota: Para uma lâmina de 51,75mm.

Observou-se que maiores valores de lâmina armazenada foram atingidos no módulo com inclinação 10%, atingindo valores de 59,88 % para a menor umidade antecedente de 1,1%. O menor valor alcançado (1,64%) foi no módulo com inclinação 30%, para a umidade antecedente de 16%.

Diante disso, avaliou-se a relação entre lâmina escoada e percolada e a lâmina armazenada (Tabela 9) a partir dos resultados da correlação de Pearson.

Tabela 10 - Coeficiente de Correlação entre Lâmina Armazenada e Lâmina Percolada e Escoada.						
Lâmina Armazenada (%)	Lâmina Percolada (%)			Lâmina Escoada (%)		
	i10%	i20%	i30%	i10%	i20%	i30%
	-0,99	-0,44	0,01	0,03	-0,67	-0,87

Para o módulo i10% há uma alta correlação negativa com a lâmina armazenada, pois quanto maior a lâmina percolada, menor o armazenamento. Nota-se que para a lâmina escoada o coeficiente é muito baixo, quase zero, ou seja, não há uma correlação

com a lâmina escoada. Em i30%, observou-se o contrário, um coeficiente quase nulo, entre lâmina armazenada e percolada, mas uma alta correlação negativa com a lâmina escoada. Para i20% nota-se uma correlação inversa forte ente as lâminas.

5.2.4. Diferencial de umidade (ΔU)

A fim de comparar a lâmina armazenada com o Δu , foi construído o gráfico da Figura 22.

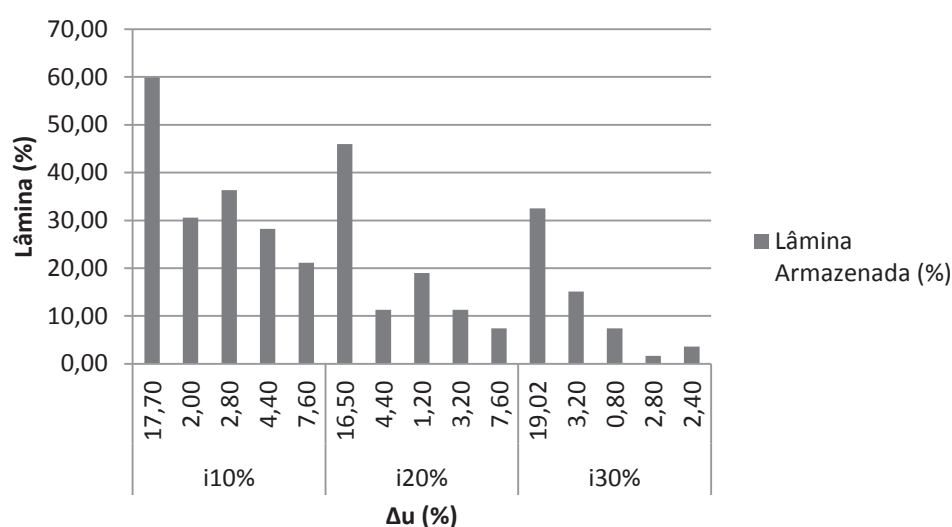


Figura 23 - Gráfico comparativo entre Δu e lâmina armazenada para as diferentes inclinações do módulo piloto (10, 20 e 30%).

Nota: Para uma lâmina de 51,75mm.

Observa-se que para o primeiro ensaio os valores de Δu foram os mais altos bem como os da lâmina armazenada. No entanto para os demais ensaios, essa relação torna-se menos expressiva. Isso ocorre por que no primeiro ensaio o solo encontrava-se muito seco, ou seja, o solo possuía uma capacidade de infiltração mais alta, fazendo com que, grande parte da água ficasse armazenada no solo. Nos demais ensaios o Δu aumenta, fazendo com que a taxa de infiltração seja menor que a taxa de precipitação, assim parte do volume escoar superficialmente.

Fazendo a matriz de correlação de Pearson, para os valores de Δu e lâmina armazenada, tem-se a Tabela 10.

Tabela 11 - Coeficiente de Correlação entre Δu e Lâmina Armazenada.

Δu (%)	Lâmina Armazena (%)		
	i10%	i20%	i30%
	0,85	0,92	0,97

A lâmina armazenada, para os três módulos apresenta correlação alta e negativa com o Δu , ou seja, quanto maior a variação, menor a umidade armazenada. Essa variabilidade tem forte correlação inversa com a umidade antecedente, ou seja, quanto maior a umidade antecedente, menor o Δu (Tabela 11).

Tabela 12- Matriz de Correlação entre Umidade Antecedente e Δu .

Umidade Antecedente (%)	Δu (%)		
	i10%	i20%	i30%
	-0,89	-0,77	-0,92

Para melhor visualizar os dados da Tabela 11, o gráfico da Figura 23 representa o que foi proposto.

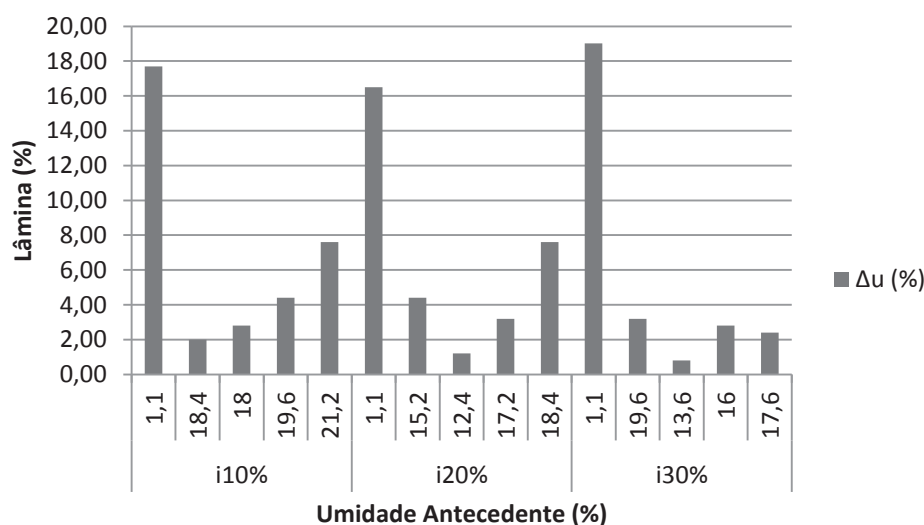


Figura 24 - Gráfico comparativo entre Δu e umidade antecedente para as diferentes inclinações do módulo piloto (10, 20 e 30%).
Nota: Para uma lâmina de 51,75mm.

A dependência entre Δu e umidade antecedente, fica visualizado no módulo com inclinação de 10%, mas nos demais a relação também se realiza.

Assim como na última análise, fez-se a matriz de correlação de Pearson entre umidade antecedente e lâmina armazenada (Tabela 12).

Tabela 13 - Matriz de Correlação de Pearson entre lâmina armazenada e umidade antecedente, para as diferentes inclinações (10, 20 e 30%) dos módulos.

Umidade Antecedente (%)	Lâmina Armazenada (%)		
	i10%	i20%	i30%
	-0,96	-0,95	-0,81

Observa-se uma forte correlação negativa entre lâmina armazenada e umidade antecedente para os módulos de diferentes inclinações, assim, tem-se o gráfico da Figura 24:

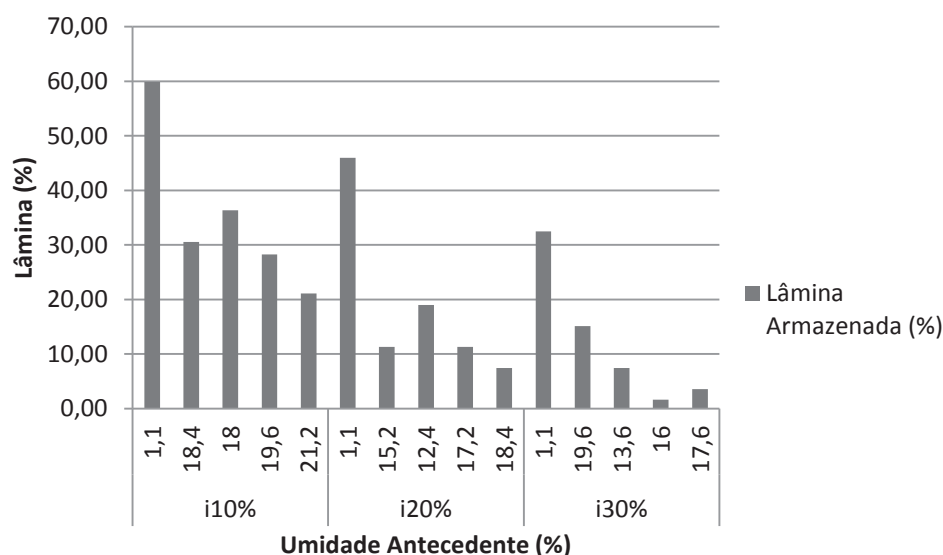


Figura 25 - Gráfico comparativo entre lâmina armazenada e umidade antecedente para as diferentes inclinações do módulo piloto (10, 20 e 30%).
Nota: Para uma lâmina de 51,75mm.

Nota-se novamente que para os primeiros ensaios (umidade antecedente de 1,1%) os valores de lâmina armazenada atingem altos índices. Isso ocorreu devido a baixa umidade do solo. Para os demais ensaios, a correlação negativa é notada. Quanto maior a umidade antecedente, menor a lâmina armazenada.

Com base nas análises anteriores pode-se apresentar os fluxogramas (Figuras 25, 26 e 27), relativos a cada módulo de diferentes inclinações. As linhas representam as correlações, o sinal (+) as relações positivas e o sinal (-) as relações inversas.

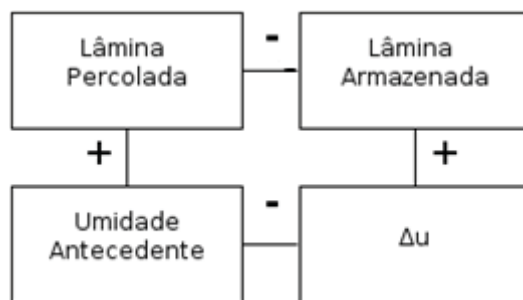


Figura 26 - Fluxograma da correlação entre Lâmina Percolada, Lâmina Armazenada, Umidade Armazenada e Δu para i10%. As linhas indicam correlação forte, o sinal (+) indicam relações positivas e o sinal (-) relações inversas.

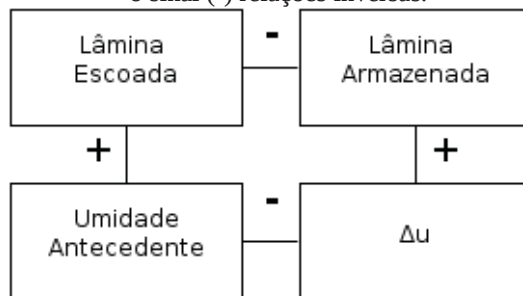


Figura 27 - Fluxograma da correlação entre Lâmina Escoadada, Lâmina Armazenada, Umidade Armazenada e Δu para i20%. As linhas indicam correlação forte, o sinal (+) indicam relações positivas e o sinal (-) relações inversas.

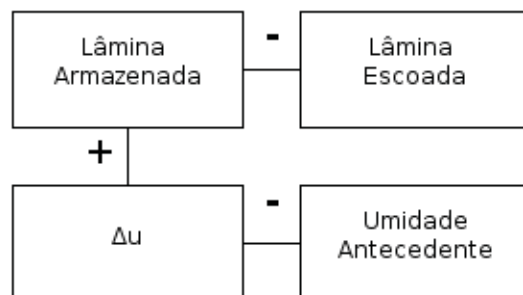


Figura 28 - Fluxograma da correlação entre Lâmina Escoadada, Lâmina Armazenada, Umidade Armazenada e Δu para i30%. As linhas indicam correlação forte, o sinal (+) indicam relações positivas e o sinal (-) relações inversas.

Para os dados de lâmina armazenada e escoada, foram feitas regressões multilíneas utilizando a inclinação e o diferencial de umidade (Δu) como variáveis independentes. Os resultados podem ser observados nas Figuras 28 e 29.

Verificou-se uma explicação ($r^2 = 0,76$) e uma relação próxima ao ajuste perfeito para a regressão obtida a partir da lâmina armazenada.

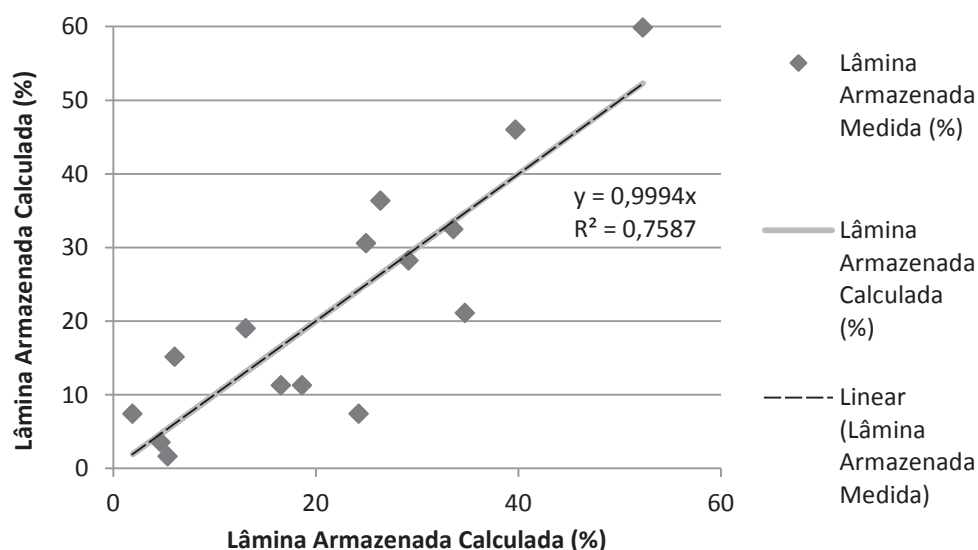


Figura 29 – Gráfico da regressão multilinear utilizando lâmina armazenada como dado dependente e utilizando inclinação e diferencial de umidade como variáveis independentes

Para a lâmina escoada verificou-se um valor de r^2 da ordem de 0,87 e uma relação de 1,05 entre lâmina escoada e as variáveis independentes.

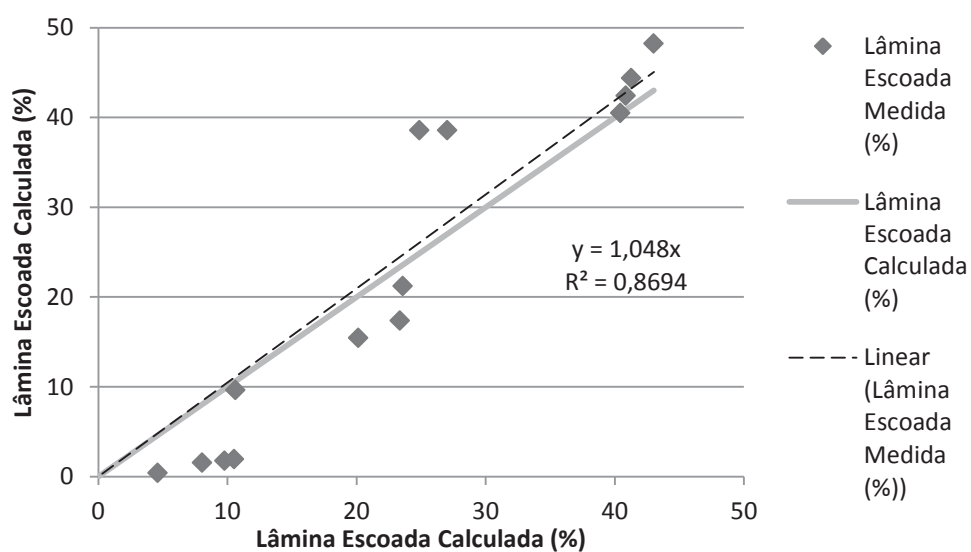


Figura 30 – Gráfico da regressão multilinear utilizando lâmina escoada como dado dependente e utilizando inclinação e diferencial de umidade como variáveis independentes

O apêndice A apresenta todos os resultados da regressão múltipla utilizada para a construção da Figura 28 e 29.

5.2.5. Sólidos Dissolvidos Totais e Suspensos Totais

Os valores de sólidos dissolvidos totais e sólidos suspensos totais foram representados em porcentagem para uma melhor visualização da porcentagem de cada um na parcela de sólidos totais (Figura 30 e 31).

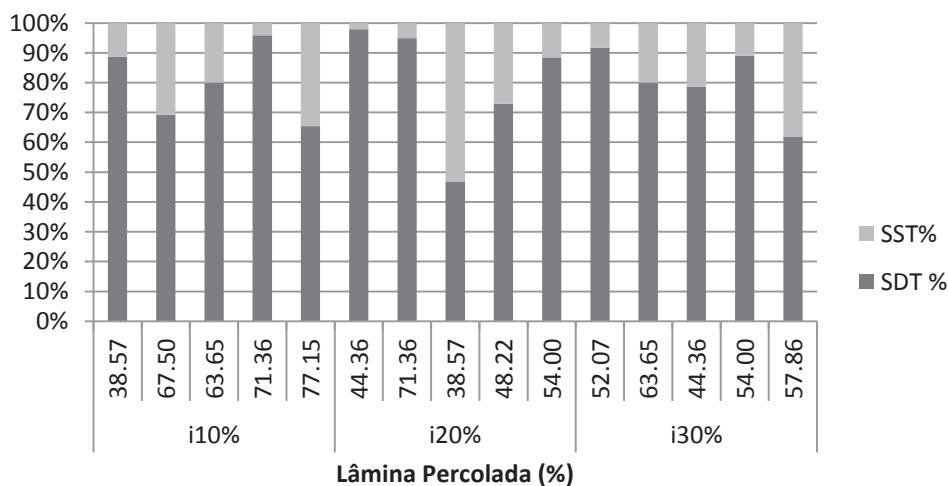


Figura 31 - Gráfico comparativo entre sólidos dissolvidos totais, sólidos dissolvidos suspensos e lâmina percolada para as diferentes inclinações dos módulos pilotos (10%, 20% e 30%).

Nota: Para uma lâmina de 51,75mm.

Nota-se que a fração de sólidos dissolvidos é maior que a de sólidos suspensos, somente no terceiro ensaio de i20% os SST superam com 53% e os SDT possui seu ponto mínimo de 47%. O ponto máximo dos SDT é de 97,96% no segundo ensaio de i20%.

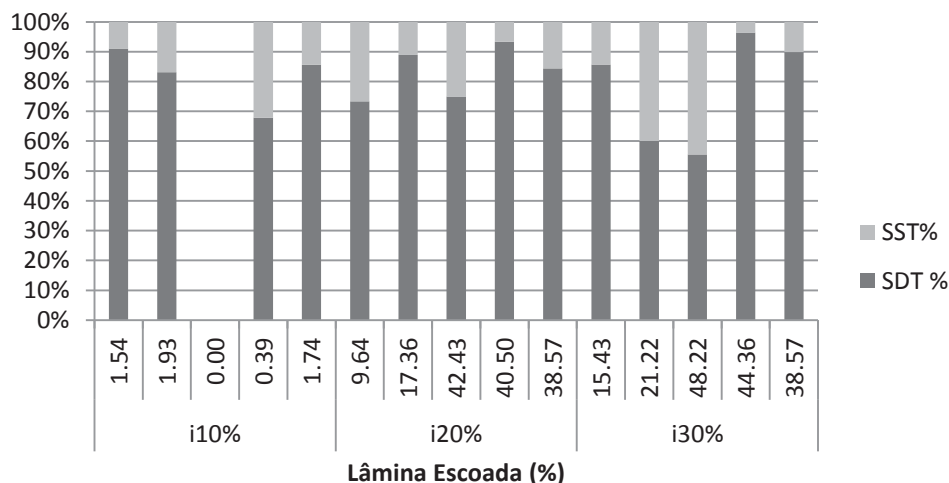


Figura 32 - Gráfico comparativo entre sólidos dissolvidos totais, sólidos dissolvidos suspensos e lâmina escoada para as diferentes inclinações dos módulos pilotos (10%, 20% e 30%).

Nota: Para uma lâmina de 51,75mm.

Percebe-se que a fração de sólidos dissolvidos é maior que a de sólidos suspensos, em todos os ensaios. O ponto máximo dos SDT é de 96,36% no quarto ensaio de i30% para o mesmo módulo, o ponto mínimo ocorre no terceiro ensaio com 44,44%. O máximo de SST é de 44,44% e o mínimo de 3,64%, ocorre no terceiro e no quarto ensaio de i30% respectivamente.

O gráfico da Figura 32 mostra mais detalhadamente a distribuição da porcentagem dos sólidos dissolvidos totais em lâmina percolada.

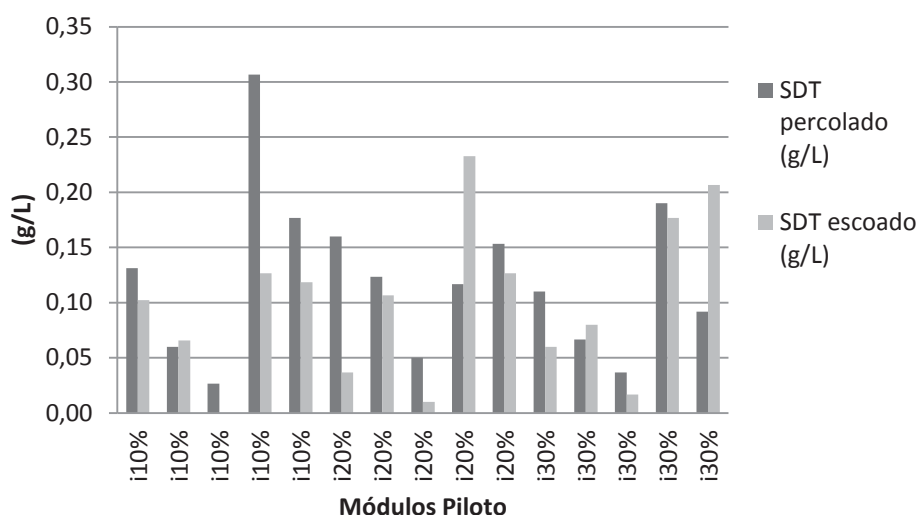


Figura 33 - Gráfico comparativo entre sólidos dissolvidos totais em lâminas percolada e escoada para diferentes inclinações do módulo piloto (10%, 20% e 30%)

Nota: Para uma lâmina de 51,75mm.

A concentração medida de sólidos dissolvidos nos ensaios é pequena, sendo o máximo de 0,31 g/L menor que o estipulado para água potável, pela portaria MS nº 2.914/11, que é de 1g/L.

A fim de compreender as relações entre sólidos suspensos totais, sólidos dissolvidos totais, lâmina percolada e escoada, foi montada a matriz de correlação de Pearson (Tabela 13).

Tabela 14- Matriz de Correlação entre Correlação entre Sólidos Dissolvidos e Suspensos Totais e Lâmina Percolada e Escoada

Lâmina Percolada (%)				Lâmina Escoada (%)			
SST - percolado	<i>i10%</i> 0.45	<i>i20%</i> -0.52	<i>i30%</i> 0.44	SST - escoado	<i>i10%</i> -0.25	<i>i20%</i> 0.14	<i>i30%</i> -0.44
SDT - percolado	<i>i10%</i> 0.27	<i>i20%</i> 0.32	<i>i30%</i> 0.14	SDT - escoado	<i>i10%</i> 0.43	<i>i20%</i> 0.31	<i>i30%</i> 0.26

Pode-se dizer que a concentração de sólidos dissolvidos e suspensos não atinge correlações significativas (entre $\pm 0,67$ e $\pm 0,9$) com a lâmina percolada e escoada. Isso provavelmente acontece em relação à lâmina percolada devido a presença da brita, que tem o papel de servir como filtro e em relação à lâmina escoada devido a calha de Gürlach que sofreu deposição de substrato, reduzindo a concentração de sólidos na água.

5.2.6. Análise da correlação entre pH, turbidez e cor aparente em lâmina escoada e percolada

As Figuras 33 e 34 apresentam os resultados das análises pH, Turbidez e Cor aparente para lâmina percolada, escoada e escoada para inclinações de 10, 20 e 30%.

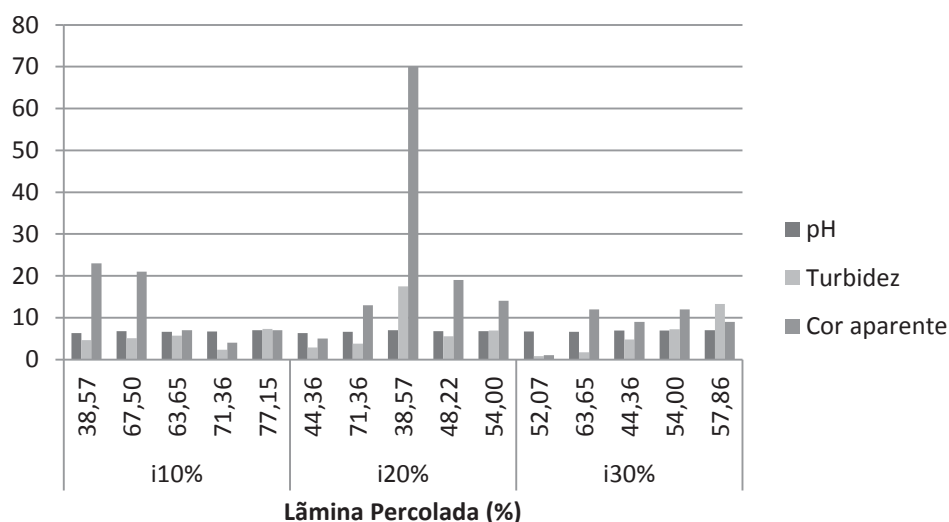


Figura 34 - Gráfico comparativo entre pH, Cor aparente e Turbidez em lâmina percolada para diferentes inclinações dos módulos pilotos (10%, 20% e 30%).
Nota: Para uma lâmina de 51,75mm.

Segundo a NBR 15527/07, intitulada “Água de chuva Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos”, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), os valores de pH da água de chuva para usos menos restritivos deve estar entre 6 e 8, a cor aparente deve ser $< 15uH$ e para a turbidez o aceitável é $< 5uT$.

Para a lâmina percolada, observa-se que, o máximo pH medido foi de 7 e o mínimo de 6,3, todos os ensaios estão dentro do limite proposto. Para cor aparente o máximo foi de 70 e o mínimo é de 1, nota-se que 7 ensaios apresentam valores acima do mínimo. E para turbidez o máximo foi de 17,5 e o mínimo de 1,75, tem-se 4 ensaios encontram-se acima do limite mínimo aceitável.

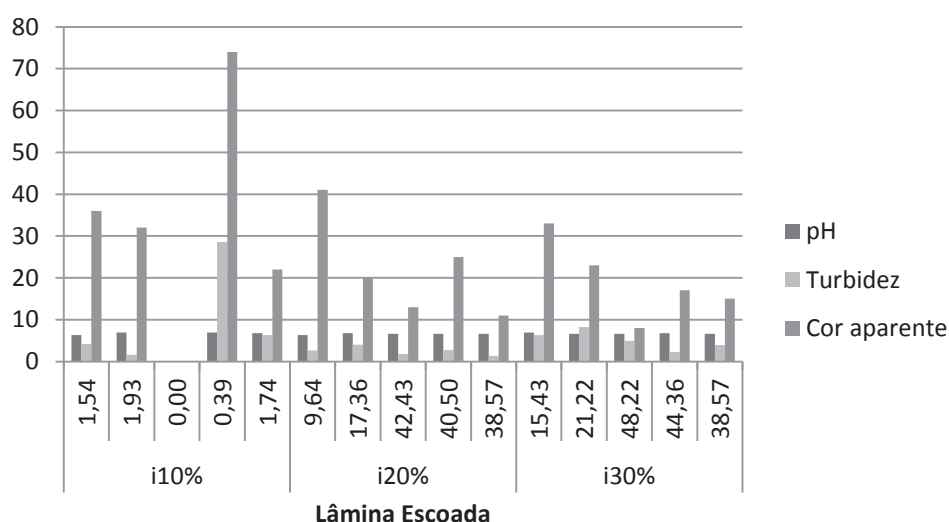


Figura 35 - Gráfico comparativo entre pH, Cor aparente e Turbidez em lâmina escoada para diferentes inclinações dos módulos pilotos (10%, 20% e 30%).
Nota: Para uma lâmina de 51,75mm.

Para a lâmina escoada tem-se que, o máximo de pH medido foi de 6,9 e o mínimo de 6,3, todos os ensaios se apresentaram dentro do intervalo. Para cor aparente o máximo foi de 74 e o mínimo de 8. Observa-se que somente em 4 ensaios esse limite foi respeitado. Para turbidez o máximo foi de 28,6 e o mínimo de 1,31. Nota-se que esse limite foi ultrapassado em apenas quatro ensaios.

A matriz de correlação de Pearson (Tabela 14) mostra as relações entre lâmina percolada, escoada, pH, cor aparente e turbidez, para os módulos de inclinações 10, 20 e 30%.

Tabela 15 - Matriz de Correlação entre pH, Turbidez e Cor aparente e Lâmina Percolada e Escoada.

Lâmina Percolada (%)				Lâmina Escoada (%)			
pH - percolado	<i>i10%</i>	<i>i20%</i>	<i>i30%</i>	pH - escoado	<i>i10%</i>	<i>i20%</i>	<i>i30%</i>
	0,94	-0,23	-0,42		0,71	0,33	-0,40
Turbidez - percolada	<i>i10%</i>	<i>i20%</i>	<i>i30%</i>	Turbidez - escoada	<i>i10%</i>	<i>i20%</i>	<i>i30%</i>
	0,18	-0,56	0,07		-0,34	-0,62	-0,76
Cor aparente - percolada	<i>i10%</i>	<i>i20%</i>	<i>i30%</i>	Cor aparente - escoada	<i>i10%</i>	<i>i20%</i>	<i>i30%</i>
	-0,70	-0,52	0,35		0,007	-0,74	-0,93

Para o módulo de *i10%* tem-se que: a lâmina percolada tem forte correlação negativa com o pH, quando a inclinação é menor o contato da água com o solo é maior, a provável dissolução do carbonato torna o pH mais alcalino. Possui uma forte correlação negativa com a cor aparente, pois o volume de água percolada causa a dissolução dos sólidos, diminuindo a cor aparente. Para a lâmina escoada também há

uma forte correlação com pH devido aos mesmos motivos anteriormente citados, no entanto a correlação não é tão forte quanto para a lâmina percolada, pois ela permanece mais tempo em contato com o substrato, reagindo mais com ele.

Para i20% a lâmina escoada correlaciona-se negativamente com a cor aparente, pois o volume de água percolada causa a dissolução dos sólidos, diminuindo-a.

Para i30% a lâmina escoada possui forte correlação negativa com a turbidez e com a cor aparente, por causa do efeito de agregação do solo que é intensificado pela cobertura vegetal, assim menos sólido são carregados pela água.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1. Simulador de chuva

O simulador de chuva construído neste trabalho mostrou-se adequado. Aspectos como dificuldade em obter as peças necessárias para a montagem de um protótipo mecanizado levaram ao modelo simplificado. Silva (2006) conseguiu atingir um CUC de 89% utilizando um simulador mecânico, por isso, faz-se necessário o aprimoramento do equipamento para que um maior valor de CUC seja atingido. Pode-se citar, também, como principal aspecto outro tipo de aspersor que permita uma melhor distribuição espacial da água.

6.2. Eficiência dos Módulos Piloto

No módulo i10% a lâmina percolada é favorecida devido a baixa inclinação, assim, tem-se uma interdependência entre lâmina percolada e umidade antecedente Δu . Os maiores valores de umidade antecedente e lâmina armazenada foram alcançados neste módulo, por isso ele continha as plantas mais verdes e espalhadas.

No módulo i20%, nota-se que a relação de interdependência ocorre entre a lâmina escoada, lâmina armazena, umidade antecedente e Δu . Como visto na Figura 18, nesse módulo a influência da inclinação favorece a lâmina escoada.

O módulo i30% não possui uma relação de interdependência entre lâmina escoada, lâmina armazenada, umidade armazenada e Δu . Nesse módulo a lâmina escoada, devido a inclinação, é a maior, por isso ele continha as plantas menos espalhadas em cima do substrato.

Um ponto importante da pesquisa é o substrato utilizado, tipo arenoso que não possui grande capacidade de retenção de água. Uma forma de melhorar o projeto seria a mudança para um substrato mais argiloso. Outro ponto importante observado foi a deposição de substrato na calha de Gürlach, o que explicaria a baixa correlação ente sólidos e lâmina escoada.

7. CONCLUSÕES

O melhor arranjo para o simulador de chuva, que alcança um CUC de 56% foi de 2 tubos, cada um com 3 microaspersores com distância de 0,15m da extremidade do PVC de $\frac{3}{4}$, com distância de 0,30m da extremidade do telhado.

Verificou-se uma forte correlação positiva entre os valores do diferencial de umidade (ΔU) e lâmina armazenada. Não houve correlação entre ΔU e a inclinação. Os maiores valores de ΔU e lâmina armazenada foram respectivamente de 19,02% em i30% e 59,88% em i10%.

A inclinação de 10% obteve os maiores valores de lâmina armazenada (59,88%), lâmina percolada (77,15%). A lâmina escoada atingiu seu maior valor no módulo de inclinação de 30%, com 48,22%. A correlação entre lâminas escoadas e as inclinações, mostrou-se alta e positiva para os três módulos. Esse módulo foi o que mais diminuiu o escoamento superficial direto.

Para as regressões lineares foram obtidos r^2 da ordem de 0,76 em relação a lâmina armazenada e de 0,87 em relação a lâmina escoada, e uma relação de 1,05 entre lâmina escoada e as variáveis independentes (inclinação e Δu).

Não foi verificada correlação entre os sólidos dissolvidos totais e os sólidos suspensos totais em lâmina percolada e escoada. Provavelmente devido a brita que funciona como filtro e a calha de Gürlach, onde há deposição de substrato.

Verificou-se o efeito da diluição nos módulos i10% entre lâmina percolada e cor aparente (0,71%), em i20% entre lâmina escoada e cor aparente (-0,74%) e no módulo i30% entre lâmina escoada e turbidez (-0,76%) e lâmina escoada e cor aparente (-0,93%). Em i10% verificou-se alta correlação positiva entre lâmina percolada e pH (0,94%) e entre lâmina escoada e pH (0,71%).

Os módulos atingiram concentrações de pH, cor aparente e turbidez dentro do limite estipulado pela NBR 15527/07.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C. **Telhados Verdes**. 2009. Disponível em: < http://obviousmag.org/archives/2009/06/telhados_verdes.html >. Acesso em: 22 set. 2010.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **Atlas Brasil: abastecimento de água: panorama nacional**. Brasília. 2010. Vol 2. 72f. Disponível em: < <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/downloads/atlas/Resumo%20Executivo/Atlas%20Brasil%20-%20Volume%201%20-%20Panorama%20Nacional.pdf> >. Acesso em: 22 set. 2010.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **Conservação e Reuso da Água em Edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica, jun. 2005. Disponível em: < http://www.fiesp.com.br/publicacoes/pdf/ambiente/conservacao_reuso_edificacoes.pdf >. Acesso em: 22 set. 2010.
- ANDRADE FILHO, G. A; BRONDANI, B. **Estudo do Gerenciamento da Drenagem Urbana na Cidade de Ponta Grossa – PR**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23. 2005, Campo Grande. Disponível em: < www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/IX-011.pdf >. Acesso em: 24 set. 2010.
- ARAÚJO, S. R, **As Funções dos Telhados Verdes no Meio Urbano, na Gestão e no Planejamento de Recursos Hídricos**. 2007. 28f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007. Disponível em: < <http://www.ecotelhado.com.br/InformacoesInterna/Funcoes%20dos%20Telhados%20Verdes%20no%20Meio%20Urbano.pdf> >. Acesso em: 27 set. 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527: aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis – requisitos**. Rio de Janeiro, 2007. 8p. Disponível em: < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABi6gAD/abnt-nbr-15527-2007-agua-chuva> >. Acesso em: 23 set. 2010.
- BORTOLIN, J. R. M; FILHO, W. M. **Método da Eletrorresistividade Aplicado no Monitoramento Temporal da Pluma de Contaminação em Área de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos**. Engenharia Sanitária Ambiental. vol 14, Nº.4. Brasil. Out/Dez 2010. Disponível em : < <http://www.scielo.br/pdf/esa/v15n4/a09v15n4.pdf> >. Acesso em: 12 jul. 2011.

BRASIL. **Ministério da Saúde**. Portaria n. 2914 de 14 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Disponível em: <http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 19 de maio de 2012.

BRUNO, L. O. **Avaliação Experimental de Cinco Tipos de Superfícies na Redução do Escoamento Superficial em Áreas Urbanas**. 2011. 90f. Tese (Mestrado em Recursos Hídricos) - Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 320p.

CHALIE MILLER, P. E., Whole Building Design Guide. **Extensive Green Roofs**.

Disponível em: <<http://www.wbdg.org/resources/greenroofs.php>> Acesso em: 17 maio 2010

CITY OF TORONTO. **What is a Green Roof**. Disponível em: <<http://www.toronto.ca/greenroofs/what.htm>> Acesso em: 17 maio 2010.

DANCEY, C. P.; REIDY, J. **Estatística sem Matemática para Psicologia: usando SPSS para Windows**. Tradução: Lori Vali. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. p.178 – 186.

FERREIRA, C. A. **Estudo das Melhorias Proporcionadas pelo Telhado verde em Ambientes Urbanos: incorporação ao sistema de aproveitamento de água de chuva**. 2007. 54f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2007.

FERREIRA, A. L. R.; BATISTA, G. T.; FORTES NETO, P. **Áreas para captação de água de chuva**. Repositório Eletrônico Ciências Agrárias, Coleção Ciências Ambientais, <<http://www.agro.unitau.br/dspace>>. p. 1-8, 2011.

HENEINE, M. C. A. S. **Cobertura Verde**. 2008. 49f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <<http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg1/Monografia%20Maria%20Cristina%20Almeida.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2010.

INTERNATIONAL GREEN ROOF ASSOCIATION. **Green Roof Type**. Disponível em: <<http://www.igra-world.com/benefits/index.php>> Acesso em: 17 maio 2010.

INSTITUTO PARA O DESENVOLVIMENTO DA HABITAÇÃO ECOLÓGICA.

Telhado Verde. Disponível em: <[http://www.idhea.com.br/produtos/pdf/Telhado Verde.pdf](http://www.idhea.com.br/produtos/pdf/TelhadoVerde.pdf)>. Acesso em: 17 maio 2010.

INTERNATIONAL GREEN ROOF ASSOCIATION. **Global Networking for Green Roofs.** Disponível em: <<http://www.igra-world.com/index.php>>. Acesso em: 17 maio 2010.

LAWRENCE TECH. **History of Greenroofs.** Disponível em: <http://www.ltu.edu/water/greenroofs_history.asp>. Acesso em: 17 maio. 2010.

NETO, D. P. **Comparativo do Desempenho Térmico do Telhado de Fibrocimento com Tetra Pak e o Telhado Verde.** 2009. 68f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2009. Disponível em: <http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CFEQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ecotelhado.com.br%2FInformacoesInterna%2FComprovacao%2520da%2520superioridade%2520e%2520eficacia%2520do%2520Ecotelhado.pdf&ei=fF_NT62LIY3oggfTq_zTAQ&usg=AFQjCNFD0spfT75qRCPRs6x8s-sJAWdgYA>. Acesso em: 23 set. 2010.

PORTOLANO, M. G. **A ecologia na arquitetura: teto jardim.** 2007. 65f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2007.

SILVA, G. B. L. **Avaliação Experimental Sobre a Eficiência de Superfícies Permeáveis com Vistas ao Controle do Escoamento Superficial em Áreas Urbanas.** 2006. 199f. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia, Brasília, 2006. Disponível em: <<http://vsites.unb.br/ft/enc/recursoshidricos/teses-ptarh/Gustavo%20Barbosa.pdf>>. Acesso em: 16 out. 2010.

TUTOR VISTA BLOG. **Green Roof Designs.** 2010. Disponível em: <<http://blog.tutorvista.com/2010/12/green-roof-designs/#>>. Acesso em: 22 set. 2010.

WARK, C. G.; WARK, W. **Green roof specifications and standards: establishing an emerging technology** *The Construction Specifier*. vol. 56, Nº 8. Virginia, EUA. Agosto 2003. Disponível em: <http://www.greenroofs.com/pdfs/newslinks-803_construction_specifier.pdf>. Acesso em: 17 maio 2010.

APÊNDICE A - Resultados da regressão múltipla utilizada

PARA LÂMINA ARMAZENADA:

Dados de entrada

Lâmina Armazenada Medida (%)	Inclinação (i)	ΔU
1,64	0,30	2,80
3,57	0,30	2,40
7,43	0,20	7,60
7,43	0,30	0,80
11,28	0,20	4,40
11,28	0,20	3,20
15,14	0,30	3,20
19,00	0,20	1,20
21,12	0,10	7,60
28,25	0,10	4,40
30,57	0,10	2,00
32,50	0,30	19,02
36,35	0,10	2,80
46,00	0,20	16,50
59,88	0,10	17,70

Resumo dos Resultados

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,87
R-Quadrado	0,76
R-quadrado ajustado	0,72
Erro padrão	8,86
Observações	15,00

ANOVA

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	2,00	2962,45	1481,22	18,86	0,00
Resíduo	12,00	942,43	78,54		
Total	14,00	3904,87			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor- P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	32,01	6,72	4,76	0,00	17,37	46,66	17,37	46,66
Variável X 1	-104,97	28,13	-3,73	0,00	-166,26	-43,69	-166,26	-43,69
Variável X 2	1,74	0,38	4,54	0,00	0,90	2,57	0,90	2,57

Resultados de Resíduos

<i>Observação</i>	<i>Y previsto</i>	<i>Resíduos</i>	<i>Resíduos padrão</i>
1,00	52,28	7,60	0,93
2,00	24,99	5,58	0,68
3,00	26,38	9,97	1,22
4,00	29,16	-0,91	-0,11
5,00	34,72	-13,60	-1,66
6,00	39,69	6,31	0,77
7,00	18,66	-7,38	-0,90
8,00	13,10	5,90	0,72
9,00	16,58	-5,30	-0,65
10,00	24,23	-16,80	-2,05
11,00	33,58	-1,08	-0,13
12,00	6,08	9,06	1,10
13,00	1,91	5,52	0,67
14,00	5,39	-3,75	-0,46
15,00	4,69	-1,12	-0,14

A equação fica:

$$\text{Lam arm (\%)} = -104,97 \cdot i + 1,74 \cdot \Delta U + 32,01$$

PARA LÂMINA ESCOADA:**Dados de entrada**

<i>Lâmina Escuada Medida (%)</i>	<i>Inclinação (i)</i>	<i>ΔU</i>
0,00	0,10	2,80
0,39	0,10	4,40
1,54	0,10	17,70
1,74	0,10	7,60
1,93	0,10	2,00
9,64	0,20	16,50
15,43	0,30	19,02
17,36	0,20	4,40
21,22	0,30	3,20
38,57	0,20	7,60
38,57	0,30	2,40
40,50	0,20	3,20
42,43	0,20	1,20
44,36	0,30	2,80
48,22	0,30	0,80

Resumo dos Resultados

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,82
R-Quadrado	0,67
R-quadrado ajustado	0,61
Erro padrão	11,68
Observações	15,00

ANOVA

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	2,00	3254,67	1627,34	11,92	0,00
Resíduo	12,00	1638,12	136,51		
Total	14,00	4892,80			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	-2,75	8,86	-0,31	0,76	-22,06	16,56	-22,06	16,56
Variável X 1	155,43	37,08	4,19	0,00	74,63	236,22	74,63	236,22
Variável X 2	-1,08	0,50	-2,14	0,05	-2,18	0,02	-2,18	0,02

Resultados de Resíduos

<i>Observação</i>	<i>Y previsto</i>	<i>Resíduos</i>	<i>Resíduos padrão</i>
1,00	4,60	-2,86	-0,26
2,00	8,05	-7,66	-0,71
3,00	10,64	-8,71	-0,80
4,00	9,77	-9,77	-0,90
5,00	-6,30	7,84	0,72
6,00	20,14	18,43	1,70
7,00	23,59	-6,23	-0,58
8,00	24,88	15,62	1,44
9,00	27,04	15,39	1,42
10,00	10,54	-0,90	-0,08
11,00	40,86	3,50	0,32
12,00	41,29	-2,72	-0,25
13,00	43,02	5,20	0,48
14,00	40,43	-19,21	-1,78
15,00	23,36	-7,93	-0,73

A equação fica:

$$\text{Lam esc(\%)} = 155,43 \cdot i - 1,08 \cdot \Delta U - 2,75$$