



**Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico do Agreste
Programa de Pós-graduação em Engenharia
Civil e Ambiental**



GLENDIA CORDEIRO DE OLIVEIRA LIMA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE TELHADOS VERDES:
CAPACIDADE DE RETENÇÃO HÍDRICA E QUALIDADE DA ÁGUA
ESCOADA**

**Caruaru
2013**

GLEND A CORDEIRO DE OLIVEIRA LIMA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE TELHADOS VERDES:
CAPACIDADE DE RETENÇÃO HÍDRICA E QUALIDADE DA ÁGUA
ESCOADA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental. Área de concentração: Tecnologia Ambiental. Linha de Pesquisa: Desenvolvimento do semiárido.

Orientadora: D.Sc. Sylvana Melo dos Santos
Co-orientador: D.Sc. Flávio Eduardo Gomes Diniz

Caruaru
2013

Catálogo na fonte
Bibliotecária Simone Xavier CRB4 - 1242

- L732a Lima, Glenda Cordeiro de Oliveira.
Avaliação do desempenho de telhados verdes: capacidade de retenção hídrica e qualidade da água escoada. / Glenda Cordeiro de Oliveira Lima. - Caruaru: O autor, 2013.
128f.: il. ; 30 cm.
- Orientadora: Sylvana Melo dos Santos
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2013.
Inclui referências bibliográficas.
1. Telhados verdes. 2. Controle de qualidade da água. 3. Escoamento. I. Santos, Sylvana Melo dos (orientadora). II. Título.
- 620 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2013-110)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL

A comissão examinadora da Defesa de Dissertação de Mestrado

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE TELHADOS VERDES: CAPACIDADE
DE RETENÇÃO HÍDRICA E QUALIDADE DA ÁGUA ESCOADA**

Defendida por

GLENDIA CORDEIRO DE OLIVEIRA LIMA

Considera a candidata APROVADA

Caruaru, 20 de agosto de 2013

SYLVANA MELO DOS SANTOS – PPGECAM/UFPE
(presidente da banca examinadora)

ANDERSON LUIZ RIBEIRO DE PAIVA – PPGECAM/UFPE
(examinador interno)

KENIA KELLY BARROS DA SILVA – Núcleo de Tecnologia/UFPE
(examinadora externa)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos os meus familiares, em especial aos meus pais Getúlio Cordeiro Lima e Francisca Canindé de Oliveira pela compreensão, apoio e paciência.

Ao meu namorado Thiago César de Oliveira Barreto, pelo companheirismo, apoio, confiança e dedicação.

Aos meus amigos que sempre acreditaram na minha vitória.

E a todos que colaboraram direta ou indiretamente para sua realização e conclusão.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado forças para ultrapassar todos os obstáculos que apareceram em meu caminho, e por me cercar de anjos em terra, pessoas valiosas que me ajudaram no caminho para a vitória.

Aos meus pais, Francisca Canindé de Oliveira e Getúlio Cordeiro Lima, por todo apoio em diversas situações, compreensão, conselhos nos momentos difíceis e suporte emocional e financeiro sempre que necessário.

Ao meu namorado Thiago Barreto, pelo companheirismo ao longo do período do mestrado, não permitindo que a distância interferisse em nosso relacionamento.

À minha orientadora, professora D.Sc. Sylvana Melo dos Santos, pelos ensinamentos passados, apoio e por não desistir de mim mesmo nos momentos mais críticos e desestimulantes do projeto de pesquisa.

Ao meu co-orientador D.Sc. Flávio Eduardo Gomes Diniz, pelos conselhos dados durante o desenvolvimento da pesquisa.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa de pós-graduação no nível de Mestrado Acadêmico.

A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do estado de Pernambuco – FACEPE, pela bolsa auxílio de finalização de mestrado cedida no período de prorrogação da pesquisa.

A professora Érika Marinho, coordenadora do Laboratório de Química – LQ, por fazer o que muitos não são capazes, cedendo seu carro pessoal para que eu pudesse ir à zona rural local do projeto, no momento em que eu mais precisei e me encontrava sem alternativa alguma de transporte para poder ir a campo. Posso dizer que foi a esperança para um novo começo quando tudo estava dando errado. E por permitir o uso do laboratório para a realização das análises físico-químicas.

A Amanda e Claudete, técnicas do laboratório de química que sempre me ajudaram em tudo que fosse possível, seja de ordem laboratorial, administrativa ou emocional, posso dizer que foram amigas valorosas que ganhei durante o período do mestrado.

A professora Sávia Gavazza, coordenadora do Laboratório de Engenharia Ambiental - LEA do Centro Acadêmico do Agreste respectivamente, pelo suporte proporcionado permitindo a utilização do laboratório e equipamentos para a realização das análises microbiológicas e bacteriológicas de qualidade da água, e uso do veículo do LEA nos momentos em que este não estivesse sendo utilizado por outras atividades de pesquisa do laboratório.

A professora Kenia Kelly Barros da Silva, por acreditar que tudo iria dar certo e que eu iria vencer todas as provações e obstáculos que apareceram no meu mestrado, e por concordar que bichinhos fofos dão vontade de apertar até fazer puff.

Ao professor Saulo de Tarso pela oportunidade dada para realizar o estágio em docência, o qual me acrescentou muito conhecimento e crescimento profissional.

Aos técnicos Luís, Henrique, Gilles e Fillipe pelo apoio técnico nas atividades laboratoriais e de campo sempre que era necessário.

Ao técnico Samuel pelo apoio nas questões administrativas sempre que necessário, nunca negando esforços para auxiliar no meu desenvolvimento científico.

A Fred, Pedro e Edson, motoristas do CAA, por toda ajuda e apoio prestados no desenvolvimento da pesquisa, em especial a Fred por sempre estar presente como amigo se dispondo a ajudar no que fosse possível acompanhando minha jornada e dando força sempre.

Ao Sr. Ivan Ferraz, Zé Ramos e Sr. Miguel, gestores do Instituto de Pesquisa Agronômica de Pernambuco, e aos demais colaboradores da instituição, por cederem seus telhados para instalação do experimento, por serem pacientes perante os transtornos que as atividades de reforma dos telhados ocasionaram.

Ao pedreiro Preá, pela mão de obra fornecida na etapa de reforma dos telhados.

Aos colegas de Mestrado: Denise, Ramona, Ivanildo, Mariah, Alex, Manu, Manoel, Valdemir e Davi, por compartilharmos momentos difíceis, como também momentos de grande descontração.

Em especial a Denise minha amiga de longa data, colega, irmã, companheira de vida e de apartamento, pelos memoráveis momentos de alegria, descontração e problemas domésticos que proporcionaram grandes gargalhadas, que compartilhamos no período em que tivemos a oportunidade de morar juntas. Pelos conselhos, pelos incentivos em nunca desistir e por continuar me apoiando mesmo distante. Ah, os momentos ruins a gente esquece rs.

A Manoel por inúmeras vezes parar o que estava fazendo para ajudar no que fosse preciso, seja indo comprar material de construção conosco ou levar-nos no local do projeto quando não tínhamos como ir. Meu muito obrigado.

Aos companheiros de pesquisa: Everton Barros (vulgo Anão) e Wedja Maria por acompanhar sempre nas pesquisas, resolução de problemas do projeto, coletas de amostras em campo, realização de análises laboratoriais e lavagem de vidrarias.

Agradeço em especial a Everton, posso dizer que foi meus braços e pernas no projeto, sem sua inestimável ajuda física, espiritual e psicológica eu dificilmente teria alcançado a vitória. Como citei anteriormente que Deus havia me cercado de anjos em terra, posso dizer com toda certeza que Everton foi e é um desse anjos, não foi apenas o bolsista de graduação, foi mais que isso, foi um amigo, um irmão com quem eu pude contar sempre para resolução de problemas do projeto ou não. Agradeço muito a Deus, e vou ser-lhe sempre grata por sua presença nessa etapa da minha vida me disponibilizando sua ajuda, amizade e companheirismo.

Aos companheiros do LEA: Natana, Fabiana, José Roberto, Gleydson, Manu, Jadson, Bruna, Evanilly e Jéssica.

E por fim, a todos que ajudaram direta ou indiretamente para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

Com o crescimento acelerado da urbanização, o homem começou a conviver em grandes comunidades, e a alterar a natureza de forma a assegurar a própria sobrevivência e lhe proporcionar conforto. Dentre as problemáticas ambientais resultantes dessas ações antrópicas pode-se destacar: perda de áreas verdes; impermeabilização do solo desencadeando enchentes e aumento na temperatura local. Deste modo, a aplicação de telhados verdes constitui uma alternativa tecnológica para mitigação dessas problemáticas com consequente redução do impacto ambiental ocasionado pelas atividades antrópicas. Sendo assim, esse trabalho, teve como objetivo avaliar o desempenho dos telhados verdes no semiárido pernambucano, no que se refere à capacidade de retenção de águas pluviais com uso de vegetações e substratos distintos, avaliar a influência de diferentes substratos sobre a qualidade da água escoada dos telhados verdes e caracterizar a qualidade da água escoada por essas coberturas vegetadas, em relação: à NBR 13.969/1997 (Projeto, construção e operação de unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos de tanques sépticos); aos parâmetros de qualidade de água para irrigação pela EMBRAPA; à Portaria MS nº 2.914/2011 (Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade); e à NBR 15.527/2007 (Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos). O trabalho foi desenvolvido na zona rural da cidade de Caruaru-PE, Agreste Pernambucano, entre os anos de 2011 a 2013, onde foram realizadas ações de reparo nas instalações de telhados verdes já existentes, coletas semanais de amostras da água escoada através dos telhados verdes e controle; amostras de água de chuva; e amostras de água percolada separadamente por cada parcela do substrato, para realização de análises laboratoriais (físico-químicas, bacteriológicas e microbiológicas) e visitas semanais às instalações do projeto para quantificação do volume escoado pelos telhados em estudo. Com os resultados obtidos pode-se afirmar que telhados verdes apresentam boa retenção hídrica em comparação com os telhados convencionais, e que o percentual de retenção está diretamente relacionado ao conjunto solo-vegetação; e que a água que esco das coberturas ajardinadas apresenta grandes alterações nos parâmetros estudados em comparação aos valores encontrados para o telhado controle, estando estas alterações relacionadas aos materiais utilizados na camada de substrato, o que torna esta água não potável.

Palavras-chave: telhados verdes, capacidade de retenção hídrica, qualidade da água.

ABSTRACT

With the rapid growth of urbanization, the man began to live in large communities, and change the nature to ensure the survival and provide your comfort. Among the environmental problems resulting from these human activities can be highlighted: loss of green areas, soil sealing triggering floods and increase in local temperature. Thus, the application of green roofs is an alternative technology to mitigate these problems with a consequent reduction of the environmental impact caused by human activities. Therefore, this study aimed to evaluate the performance of green roofs in semi-arid Pernambuco, with regard to the retention capacity of stormwater with vegetation and use of different substrates, the influence of different substrates on the quality of runoff from green roofs and characterize the quality of water drained by these vegetated roofs, in relation to: NBR 13.969/1997 (design, construction and operation of additional treatment units and disposal of liquid waste from septic tanks), the parameters of water quality for irrigation by EMBRAPA, the MS Ordinance N°. 2.914/2011 (control and monitoring procedures of water quality for human consumption and its potability standards) and the NBR 15.527/2007 (Rainwater - Harnessing coverage in urban areas for non-potable purposes - Requirements). This research was carried out in a rural area of Caruaru-PE, Agreste region of Pernambuco, during the period between 2011-2013, which were performed repair actions on green roofs already installed, weekly collections of samples of runoff through green roofs and control; samples of rainwater, and water samples percolated separately for each portion of the substrate, to perform laboratory tests (physical-chemical, bacteriological and microbiological) and weekly visits to the premises of the project to quantify the volume sold by the roofs in the study. With these results we can say that green roofs have good water retention compared to conventional roofs, and the retention percentage is directly related to the both vegetation and soil, and the water that drains from roofs presents major changes in the parameters studied in comparison to that found for the control roof; these changes related to materials used in the substrate layer, which makes the water non-potable.

Keywords: green roofs, water retention capacity, water quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Telhados verdes em edifícios.....	20
Figura 2- Telhados verdes com diferentes tipologias.....	20
Figura 3- Esquema da estruturação de implantação de um telhado verde.....	22
Figura 4- Esquema comparativo de escoamento superficial, infiltração e evapotranspiração.	34
Figura 5- Intensidade da chuva e <i>runoff</i> : telhado tradicional x telhado verde.	34
Figura 6- Mapa do estado de Pernambuco (em contorno amarelo), com destaque para a localização do município de Caruaru.	44
Figura 7- Esquema dos telhados implantados no IPA em Caruaru.	47
Figura 8- Vegetação utilizada nos telhados verdes.	47
Figura 9- Esquema de instalação do sistema de drenagem.	48
Figura 10- Fluxograma das ações de recuperação dos telhados estudados.	49
Figura 11- Vegetação existente nos telhados verdes em estado de decomposição.	50
Figura 12- Vegetação invasora encontrada no telhado verde, <i>Portulaca oleracea</i>	50
Figura 13- Etapas do replantio dos exemplares de Coroa-de-Frade.....	51
Figura 14- Retirada da manta e da camada de drenagem dos telhados verdes.....	52
Figura 15- Situação da manta de filtragem retirada dos telhados verdes.	52
Figura 16- Situação da manta filtrante retirada dos telhados verdes.	53
Figura 17- Aracnídeo encontrado na camada drenante: <i>Lasiadora sp.</i>	53
Figura 18- Situação da laje.	54
Figura 19- Impermeabilização da laje.	55
Figura 20- Aplicação do adesivo estrutural nas trincas e fissuras.	55
Figura 21- Manta MacDrain.	56
Figura 22- Esquema de corte da manta, com borda de camada filtrante de 0,10 m nas laterais da manta, após retirada de parte da camada drenante (valores em m).	57
Figura 23- Fixação da manta nas áreas já impermeabilizadas dos telhados verdes.	57
Figura 24- Corte e colagem da manta.....	58
Figura 25- Espécies pré-selecionadas para plantio nos telhados verdes.	60
Figura 26- Estufa existente no Instituto de Pesquisas Agropecuárias (Caruaru-PE).	61
Figura 27- Plantio das vegetações.	62
Figura 28- Rega das vegetações no período seco.	62
Figura 29- Babosa no período chuvoso.	62
Figura 30- Plantio concluído dos telhados verdes.	63
Figura 31- Plataforma de coleta de dados localizada no IPA, em Caruaru.	64
Figura 32- Sensores da PCD do INPE localizada em Caruaru.....	66
Figura 33- Sistema de captação e armazenamento dos telhados verdes e telhado controle.	67
Figura 34- Realização de análises bacteriológicas.	70
Figura 35- Esquema do sistema montado para caracterização do percolado pelo substrato.	72
Figura 36- Microscópio utilizado nas análises microbiológicas.	74
Figura 37- Determinação dos parâmetros de qualidade d'água.	75

Figura 38- Precipitação, em mm, obtidos do <i>site</i> do INPE, com as datas das coletas (PCD 32567).....	77
Figura 39- Volumes armazenados nos tonéis em cada coleta.	78
Figura 40- Percentual de precipitação retido nos telhados verdes.....	79
Figura 41- Valores obtidos de cor aparente, em Pt-Co/L, para cada coleta dos telhados controle e vegetados.	87
Figura 42- Valores obtidos de turbidez, em NTU, para cada coleta dos telhados controle e vegetados.	89
Figura 43- Valores obtidos de sólidos dissolvidos totais, em mg/L, para cada coleta dos telhados controle e vegetados.....	90
Figura 44- Valores obtidos de condutividade elétrica, em dS/m, para cada coleta dos telhados controle e vegetados.	91
Figura 45- Valores obtidos de pH para cada coleta dos telhados controle e vegetado.....	92
Figura 46- Valores obtidos de OD, em mg/L, para cada coleta dos telhados controle e vegetados.....	93
Figura 47- Valores obtidos de Cloretos, em mg/L, para cada coleta dos telhados controle e vegetados.	94
Figura 48- Valores obtidos de Dureza Total, em mg/L, para cada coleta dos telhados controle e vegetados.	94
Figura 49- Valores de Fosfato, em mg/L, em cada coleta dos telhados controle e vegetados.	95
Figura 50- Valores obtidos de Amônia (NH ₃), em mg/L, para cada coleta dos telhados controle e vegetados.	96
Figura 51- Valores obtidos de N-NH ₃ , em mg/L, para cada coleta dos telhados controle e vegetados.	97
Figura 52- Valores obtidos de Nitrito, em mg/L, para cada coleta dos telhados controle e vegetados.....	97
Figura 53- Valores obtidos de Nitrato, em mg/L, para cada coleta dos telhados controle e vegetados.	98
Figura 54- Valores obtidos de Cloro residual livre, em mg/L, para cada coleta dos telhados controle e vegetados.	100
Figura 55- Valores obtidos de Ferro total, em mg/L, para cada coleta dos telhados controle e vegetados.	101
Figura 56- Quantidade de microrganismos na água captada de cada telhado para cada coleta.	104
Figura 57- Diversidade de microrganismos na água captada de cada telhado para cada coleta.	105
Figura 58- Quantidade de bactérias na água captada de cada telhado para cada coleta.....	111
Figura 59- Relação da queda no quantitativo de bactérias com o crescimento do número de micro-organismos predadores na água escoada dos telhados verdes e controle.	113
Figura 60- Microrganismos predadores de bactérias	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Comparação entre as características ambientais do telhado verde e convencional..	43
Tabela 2- Exemplares da flora do bioma Caatinga.....	45
Tabela 3- Características dos parâmetros obtidos da PCD do INPE localizada em Caruaru.	64
Tabela 4- Parâmetros analisados nas amostras de água de chuva; de percolado captadas pelos telhados verdes e controle; e do percolado por cada parcela do substrato separadamente.	69
Tabela 5- Parâmetros analisados com <i>kits</i> da Alfakit.....	69
Tabela 6- Espessura, em cm, de cada camada dos componentes utilizados nos substratos.	71
Tabela 7- Quantitativos – componentes dos substratos e volumes de água a percolar.	73
Tabela 8- Parâmetros determinados para a água de chuva e limites estabelecidos na legislação.	82
Tabela 9- Parâmetros determinados para o percolado de cada parcela utilizada nos substratos e limites estabelecidos na legislação.	83
Tabela 10- Valores obtidos para os parâmetros analisados em todas as amostras da água excedente do telhado controle.	84
Tabela 11- Quantitativo de espécimes por grupo em cada coleta dos telhados controle e vegetados.	102
Tabela 12- Diversidade de espécies por grupo em cada coleta dos telhados controle e vegetados.	106
Tabela 13- Espécies de relevância médica encontradas nas amostras da água escoada dos telhados.....	107
Tabela 14- Espécies de relevância médica encontradas nas amostras da água percolada de cada parcela do substrato.....	109
Tabela 15- Quantidade de bactérias/100 mL nas amostras de água escoada dos telhados verdes e convencional.....	110
Tabela 16- Quantidade de bactérias nas amostras de água de cada parcela que compõe o substrato.....	115

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C	Grau Celsius
%	Percentual
ΔS	Variação do armazenamento de água no sistema
μS	Microsiemens
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAA	Centro Acadêmico do Agreste
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CE	Condutividade elétrica
cm	Centímetros
Cl ₂	Cloro residual livre
CO ₂	Dióxido de carbono
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
dS/m	deciSiemenes por metro
e	Pressão de vapor do ar
e*	Pressão de vapor de equilíbrio / Pressão de vapor de saturação
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ET	Evapotranspiração
EUA	Estados Unidos da América
FACEPE	Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPA	Instituto de Pesquisa Agrônômica de Pernambuco
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
L	Litro, Comprimento (dimensão)
LAB	Lodo ativado por batelada
LEA	Laboratório de Engenharia Ambiental
LQ	Laboratório de Química
m	Metros
M	Massa (unidade), Massa (dimensão)
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
meq/L	Miliequivalência por litro
mg	Miligramas
mg/L	Miligramas por litro
mm	Milímetros
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MS	Ministério da Saúde
NBR	Norma Brasileira de Regulamentação
NH ₃	Amônia
NO ₂ ⁻	Nitrito
NO ₃ ⁻	Nitrato
NMP	Número mais provável
NTU	<i>Nephelometric turbidity units</i>
OD	Oxigênio dissolvido
O ₂	Oxigênio
P	Precipitação

PCD	Plataforma de Coleta de Dados
PE	Pernambuco
pH	Potencial hidrogeniônico
Pt/Co	Platina/Cobalto
Qs	Escoamento da água para fora do sistema
Qe	Escoamento da água para dentro do sistema
ρ	Massa específica do material
SDT	Sólidos dissolvidos totais
T	Tempo (dimensão)
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFC	Unidade formadora de colônia
uH	Unidade de Hazen
UNT	Unidade nefelométrica de turbidez
UR	Umidade relativa do ar
uT	Unidade de turbidez
V	Volume
WHO	<i>World Health Organization</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1. Problemática e justificativa	15
1.2 Desafios e benefícios da implantação dos telhados verdes	17
1.2.1 Desafios	17
1.2.2 Benefícios	18
1.3 Objetivos	19
1.3.1 Objetivo geral	19
1.3.2 Objetivos específicos	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1 Telhados verdes	19
2.1.1 Características	19
2.1.2 Abordagem legal	22
2.2 Indicadores físico-químicos de qualidade da água	23
2.3 Indicadores microbiológicos e bacteriológicos de qualidade da água	29
2.4 Dados climáticos	30
2.4.1 Precipitação	30
2.4.2 Umidade do ar	31
2.4.3 Temperatura do ar	32
2.5 Benefícios do telhado verde	33
2.5.1 Capacidade de retenção	33
2.5.2 Possibilidade de reúso	35
2.5.3 Agricultura urbana	37
2.5.4 Redução de impostos	38
2.5.5 Outros benefícios	40
3 MATERIAIS E MÉTODOS	44
3.1 Descrição da área de estudo	44
3.2 Descrição da estrutura existente e ações de recuperação	46

3.3	Definição de critérios de seleção e manutenção da vegetação.....	59
3.4	Aquisição das variáveis hidrológicas	63
3.5	Determinação do volume escoado dos telhados.....	66
3.6	Determinação dos parâmetros de qualidade d'água	68
3.6.1	Análise da água da chuva	68
3.6.2	Análise da água percolada das parcelas do substrato.....	70
3.6.3	Análise da água escoada dos telhados.....	74
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
4.1	Precipitação e capacidade de retenção dos telhados	76
4.2	Qualidade da água	79
4.2.1	Análises dos parâmetros físico-químicos da água de chuva	79
4.2.2	Análises dos parâmetros físico-químicos da água percolada por cada parcela do substrato.....	80
4.2.3	Análises dos parâmetros físico-químicos da água percolada pelos telhados verdes e da escoada pelo telhado controle.....	81
4.2.4	Análises dos parâmetros microbiológicos da água escoada dos telhados e do substrato.....	101
4.2.5	Análises dos parâmetros bacteriológicos da água escoada dos telhados e do substrato.....	110
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	116
5.1	Conclusões	116
5.2	Sugestões para futuras pesquisas	120
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE TELHADOS VERDES: CAPACIDADE DE RETENÇÃO HÍDRICA E QUALIDADE DA ÁGUA ESCOADA

1 INTRODUÇÃO

1.1. Problemática e justificativa

Com o crescimento acelerado da urbanização, o homem começou a conviver em grandes comunidades, e a alterar a natureza de forma a assegurar a própria sobrevivência e lhe proporcionar conforto. A agricultura, a pecuária, o desenvolvimento e a urbanização modificam diretamente a natureza, transformando características biológicas e geográficas como vegetação, fauna, permeabilidade do solo, absorvidade e refletividade da superfície terrestre, além de alterar as características do clima, ar atmosférico, solo e das águas, tanto pluviais, fluviais como subterrâneas. Dentre as problemáticas ambientais resultantes dessas ações antrópicas podem-se destacar como as mais presentes no meio urbano: perda de áreas verdes para construções civis; impermeabilização do solo, o que impede que o ciclo hidrológico ocorra naturalmente desencadeando inundações e alagamentos no meio urbano, em períodos chuvosos, ao mesmo tempo que proporciona aumento na temperatura local, ocasionada pela capacidade de absorção de calor pelo asfalto e refletividade deste; verticalização das cidades, que favorece a formação de ilhas de calor; e aceleração do efeito estufa através de emissões de CO₂ pelos veículos motorizados.

Tecnologias ambientais são empregadas para mitigação dessa problemática através do complexo ajuste entre a necessidade de realização das diversas atividades econômicas e sociais e a busca pelo uso dos recursos naturais, renováveis ou não, de maneira racional e sustentável. Neste contexto, tais tecnologias devem visar o uso de práticas que garantam a conservação e a preservação do meio ambiente, a reciclagem e uso racional das matérias-primas, para a consequente redução do impacto ambiental devido às atividades humanas sobre os recursos naturais. De uma forma geral, o desenvolvimento destas tecnologias visam tanto a minimização dos desastres naturais, como o bem estar das atuais e futuras gerações. No âmbito dessas ações, a aplicação de telhados verdes constitui uma alternativa tecnológica difundida entre engenheiros e arquitetos e vem ganhando o mercado no gosto dos consumidores que se preocupam com o meio ambiente e que valorizam uma boa aparência em suas residências.

Segundo Rola & Ugalde (2009), a cobertura viva ou telhado verde é uma aplicação de vegetação sobre construções que, de acordo com diretrizes da Agenda 21, tem o objetivo de mitigar os impactos do crescimento urbano, buscando soluções às questões ambientais, na tentativa de transformar a área urbana em uma cidade sustentável, criando uma interação entre natureza, cidadão e zona urbana, seja com a instalação de grama, flores, arbustos ou até mesmo hortaliças e plantas medicinais sobre os telhados, caracterizando um tipo de agricultura urbana que está em crescimento, principalmente em residências com limitação de espaço.

Por outro lado, o semiárido brasileiro, região onde esta pesquisa se encontra em andamento, se diferencia de outras áreas não só pelas especificidades físico-climáticas como pelas condições sócio-econômicas da sua população. Esta região, há muito tempo, vem sofrendo com problemas ambientais, muitas vezes agravados pelos processos de ocupação, tais como: desmatamento, erosão, desertificação, aumento de temperatura e escassez de água. Assim sendo e considerando que a região é um ecossistema frágil, com escassez de recursos hídricos, justifica-se a importância da implantação de técnicas e ferramentas ambientais que venham a auxiliar na preservação desses recursos naturais. Adicionalmente à situação de escassez hídrica que culmina com a necessidade de água potável, dois outros cenários merecem destaque na região do semiárido: a concentração de eventos pluviométricos de alta magnitude em curtos períodos de tempo que comumente resultam em enchentes, e o desconforto térmico, mesmo no interior das habitações, devido às altas temperaturas típicas da região.

No que se refere ao excedente dos eventos pluviométricos responsável pelas enchentes, nas áreas urbanas o armazenamento deste montante, quando não destinado ao consumo humano, pode ser empregado em usos menos nobres, como a rega de plantas nas épocas de estiagem, podendo diminuir e retardar a chegada de águas pluviais nas ruas e no sistema de drenagem. Com o emprego de telhados verdes, além da capacidade de retenção deste excedente hídrico, pode-se contribuir para o ganho de conforto térmico no interior e exterior das construções, possibilitando, inclusive, a minimização das ilhas de calor nas zonas urbanas.

No intuito de se alcançar esse desenvolvimento sustentável urbano com a mitigação dos impactos ambientais proporcionados pela ação antrópica e melhoria da qualidade de vida das comunidades locais, é que se faz necessário o trabalho contínuo na avaliação do uso dos telhados verdes, para ratificar seus benefícios conhecidos, adicionar melhorias na sua

implantação, e explorar novos usos sustentáveis no ecossistema semiárido para essa ferramenta da tecnologia ambiental.

1.2 Desafios e benefícios da implantação dos telhados verdes

1.2.1 Desafios

Apesar de bastante difundidos em diversos países (Alemanha, Espanha, Suíça, entre outros), no Brasil, os telhados verdes são comumente considerados desnecessários por algumas comunidades e apenas de valor estético para classes financeiras altas. Esta ideia é reforçada pela ausência de apoio e/ou incentivo do poder público para sua implantação nas áreas urbanas como ferramenta de gestão ambiental nos grandes centros. Por outro lado, é crescente o interesse pela implantação desse sistema sobre algumas construções civis e empresariais, principalmente pela possibilidade de redução de casos de enchentes, ganho de conforto térmico, e de aclimatização urbana. Porém, o custo de implantação do sistema se torna superior ao de implantação de telhados tradicionais, visto que os telhados verdes necessitam de um conjunto de camadas de drenagem, impermeabilização, substrato e vegetação e que, dependendo do tipo de cobertura vegetal escolhido pode ter preços maiores ou menores; esta variação de preço justifica-se pelo tipo de reforço que pode ser necessário à estrutura da cobertura. Sendo assim, esta pode ser maior e mais onerosa caso seja adotada vegetação de médio a grande porte. Outro fato relevante é a necessidade de manutenção periódica que, dependendo da espécie vegetal adotada pode se dar em menores intervalos de tempo, realizando-se atividades como poda, rega e replantio, além do mais, a estrutura como um todo dos telhados verdes necessita de outras atividades de manutenção como a desobstrução de calhas e o cuidado com o acúmulo de finos na camada drenante, podendo comprometer sua funcionalidade e favorecendo o acúmulo indesejado de água na parte superior da cobertura.

O valor considerado para instalação e manutenção dessas coberturas ecológicas pode ser entendido como uma relação custo-benefício, onde o gasto financeiro inicial (custo) será reembolsado com a diminuição no valor de contas de energia (benefício). De acordo com alguns autores (MORAIS, 2004; ANDRADE, 2007; e OLIVEIRA, 2009), os telhados verdes proporcionam amenização da temperatura no verão e isolamento térmico no inverno, possibilitando a redução nos gastos de energia com condicionadores de ar no verão e aquecedores no inverno. Além do custo adicional, outra questão que suscita preocupações é a

maior susceptibilidade à ocorrência de infiltração de água e umidade no interior da edificação sob os telhados verdes, sendo que esta situação está comumente relacionada à má instalação das camadas impermeabilizantes, drenantes ou de barreira contra as raízes. Este “problema” pode ser solucionado, portanto, com o emprego de mão de obra qualificada e uso de material adequado para este fim.

1.2.2 Benefícios

Os benefícios proporcionados pelo uso dos telhados verdes são de ampla magnitude e diversidade, atingindo tanto o ambiente particular como a área urbana como um todo. Segundo Wong (2002), o telhado verde atua positivamente no clima da cidade e da região mitigando os efeitos das ilhas de calor e efeito estufa; proporciona o aumento de áreas verdes urbanas com finalidades de lazer e estética, que desencadeia bem estar psicológico nas comunidades locais através do paisagismo na edificação; captação de CO₂ e produção de O₂ (LAAR, 2001); além de possibilitar o uso do substrato para desenvolvimento de agricultura urbana (NOWAK, 2004).

A área verde do telhado também age positivamente na retenção de poeira e substâncias suspensas no ar; aclimatização no ambiente interior e exterior ao telhado verde, proporcionado pela evapotranspiração das plantas e diminuição das perdas de calor no inverno, funcionando como isolante térmico; absorção de ruídos pela barreira vegetal; prolongamento da vida útil da cobertura sob o telhado ecológico em relação às coberturas tradicionais; elevação do grau de umidade relativa do ar nas proximidades do telhado, o que pode afetar diretamente na saúde da população residente no local; redução das cargas d’água nas canalizações urbanas (PALLA *et al.*, 2008), visto que o telhado verde retém água pluvial para o metabolismo das plantas, diminuindo a água que esco dos telhados, além de aumentar a disponibilidade de *habitats* para a fauna antes existente no local e que havia sido afugentada pelo desmatamento para a instalação das zonas urbanas.

De acordo com Heneine (2008), telhados verdes extensivos, isolados da presença humana, portanto não apresentando tráfego de pessoas, têm grande potencial para servir de *habitat* para espécies (plantas, aves, insetos e outros) que possam ou não estar em risco de extinção na região ao qual estão inseridos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho de telhados verdes implementados no semiárido pernambucano, no que se refere à capacidade de retenção de águas pluviais com uso de vegetações e substratos distintos, e caracterizar a qualidade da água escoada por essas coberturas vegetadas.

1.3.2 Objetivos específicos

- i) Verificar o desempenho das coberturas vegetadas, no que se refere à capacidade de retenção da água, considerando as características pluviométricas da área de estudo.
- ii) Avaliar a influência de diferentes substratos e vegetações sobre a qualidade da água escoada dos telhados.
- iii) Discutir, para a água de chuva captada pelos telhados verdes, os parâmetros de qualidade da água em relação: à NBR 13.969/1997 (Projeto, construção e operação de unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos de tanques sépticos); à documentação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA sobre a “Qualidade da Água de Irrigação”; e à Portaria MS nº 2.914/2011 (Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade);
- iv) Discutir, para a água de chuva captada de cada uma das superfícies estudadas, os possíveis usos, com base na NBR 15.527/2007 (Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Telhados verdes

2.1.1 Características

Os telhados verdes também chamados de cobertura vegetal e tetos verdes (Figura 1) consistem na aplicação e uso de vegetação plantada em cima do solo tratado com compostos orgânicos, argila e areia, sobre camadas com impermeabilização e drenagem adequadas, na cobertura de residências, e outras edificações, tornando-se uma alternativa viável e sustentável perante os telhados e lajes tradicionais, por facilitar o gerenciamento de grandes cargas de águas pluviais, proporcionar melhoria térmica, dentre outros serviços ambientais. Peck *et al.*

(1999) definem o telhado verde como “toda estrutura de telhado ou cobertura que agrega em sua composição, uma camada de solo e outra de vegetação, uma vez que seu sistema construtivo se baseia em uma técnica de aplicação de camadas”.

Figura 1- Telhados verdes em edifícios.



Fonte: <http://ecobriefing.wordpress.com/2009/06/14/telhado-verde-das-babilnias-aos-dias-atuais/>

Os telhados verdes podem ser classificados em intensivos (Figura 2a) e extensivos (Figura 2b), sendo diferenciados pela espessura do substrato, estatura da vegetação plantada e manutenção. Os telhados verdes intensivos caracterizam-se por ter uma camada mais espessa de solo, podendo estas ser maiores que 20 cm, vegetação com estatura de médio a grande porte e necessitam de uma manutenção mais rigorosa. Os telhados verdes extensivos se caracterizam pelas finas camadas de solo entre 8 e 12 cm, vegetação de pequeno porte, e alta resistência às variações climáticas e pluviais, necessitando de pouca a nenhuma manutenção.

Figura 2- Telhados verdes com diferentes tipologias.

(a) Telhado verde intensivo na Sede da Prefeitura de São Paulo.



Fonte: <http://www1.folha.uol.com.br/paineldoleitor/1018227-leitor-questiona-cobica-de-candidatos-a-prefeitura-de-sao-paulo.shtml>

(b) Telhado verde extensivo.

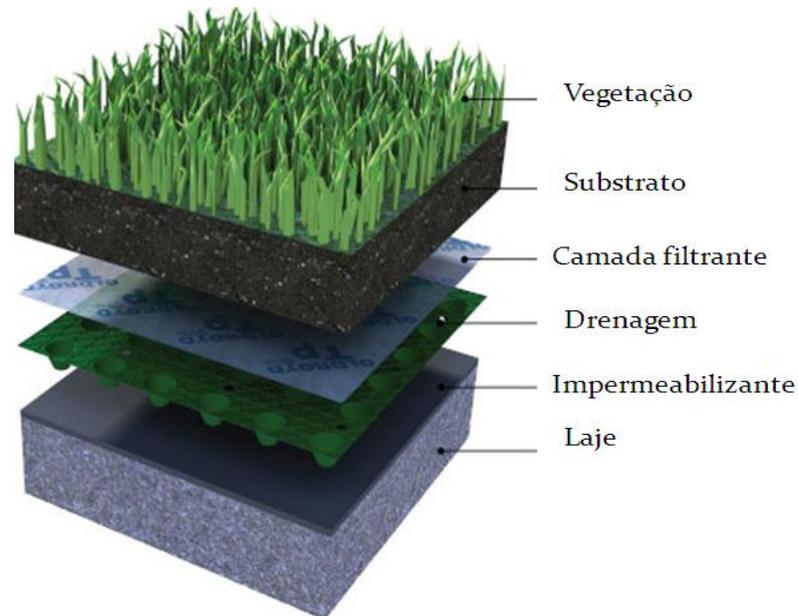


Fonte: <http://eupossoajudarfazendominhaparte.blogspot.com/2011/03/telhado-ecologico-ecotelhado.html>

De uma forma geral, a crescente aplicação dos telhados verdes extensivos parece indicar que esta é uma alternativa eficiente no aumento de áreas verdes nas zonas urbanas. Dimoudi & Nikolopoulou (2003) destacam o desempenho térmico dessa tecnologia e afirmam que a vegetação atua aclimatizando o ambiente no seu entorno, reduzindo a amplitude térmica e absorvendo a energia, favorecendo desta forma a manutenção do ciclo gás carbônico - oxigênio através da fotossíntese, que é um fator importantíssimo para a renovação do ar atmosférico.

A estrutura dos telhados verdes, assim como nos telhados convencionais, no sentido laje-vegetação, é composta pela laje, e em seguida por uma camada impermeabilizante, para impedir a infiltração de água na laje. As telhas nos telhados convencionais são substituídas no caso dos telhados verdes pelas seguintes camadas, Figura 3: uma camada de proteção para impedir que raízes causem danos à camada impermeabilizante, essa camada é composta geralmente por aditivos que podem ser incorporados ao material impermeabilizante como, por exemplo, PVC e Betume-polímero, ou pode ser utilizado, ainda, um impermeabilizante que já possua essa característica sendo necessário, neste caso, a escolha dentre os produtos disponíveis no mercado; logo após tem uma camada de drenagem cuja função é dar vazão ao excesso de água no solo, que pode ser constituída por material graúdo como britas ou seixos, a fim de aumentar o número de vazios e permitir o maior escoamento da água pluvial; segundo Borga (2012), nos dias atuais, é muito comum a utilização de placas nervuradas de poliestireno expandido, isso devido ao seu baixo peso quando comparado com as demais opções; acima dessa camada, deve ser colocado um meio filtrante, para impedir a passagem dos substratos para a camada de drenagem o que prejudicaria a circulação do ar e drenagem; e por último vem o conjunto substrato e vegetação. Esta camada de substrato irá reter e absorver a água, e nela se encontram os nutrientes que darão suporte à vegetação escolhida. A espessura e o tipo de substrato variam de acordo com o tipo de telhado, ou seja os materiais a serem escolhidos para a camada de substrato podem ser diversos, desde que atendam bem às necessidades de sobrevivência da vegetação utilizada; de uma maneira geral podem ser empregados, entre outros, areia grossa, argila e algum tipo de fertilizante. Ao final, a camada de vegetação, que irá depender do tipo de telhado escolhido e melhor adaptação ao clima local (MARY *et al.*, 2008).

Figura 3- Esquema da estruturação de implantação de um telhado verde.



Fonte: <http://naturezaartehumana-.blogspot.com/>

2.1.2 Abordagem legal

Figura na forma da lei um elemento ambiental chamado Área Livre Permeável que, segundo o Art. 1º, para fins da Instrução Nº 22 (BRASIL, 2007), considerando o *caput* do Art. 225 da Constituição Federal de 1988, é:

“...a parcela de terreno mantida sem acréscimo de qualquer pavimento ou elemento construtivo impermeável, vegetada, não podendo estar sob a projeção da edificação ou sobre o subsolo, destinada a assegurar a valorização da paisagem urbana, a qualificação do microclima, a recarga do aquífero, e a redução da contribuição superficial da água da chuva”.

Visto desta maneira os telhados verdes não se caracterizariam como áreas livres pelo fato de não assegurar a recarga do aquífero. Porém, no Art. 7º desta mesma Instrução são apresentadas medidas alternativas para área livre que não puder ser mantida no lote, como “terraços e coberturas vegetadas, desde que haja manutenção de área descoberta, em estrutura permanente e fixa, totalmente vegetada com uma camada de substrato (terra)”. Diz-se ainda que essa área de terraço ou cobertura vegetada deverá ser de, no mínimo, o dobro da área livre não atendida no terreno. Observa-se, portanto, que telhados verdes podem ser considerados como áreas livres permeáveis à precipitação, respeitando um planejamento sustentável ao desenvolvimento urbano, mostrando-se como uma condição indispensável à qualidade de vida

humana, requisito observado no Capítulo VI, Art. 225 da Constituição Federal (BRASIL, 1988) que diz:

“Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.

Deste modo, pode-se enquadrar as coberturas ajardinadas como uma forma de preservar e reciclar as diversas funções do ecossistema, que abrangem da renovação do oxigênio à permeabilizações de água de chuva consideradas de grande importância a qualidade de vida em áreas urbanizadas evitando sobrecargas na drenagem urbana.

2.2 Indicadores físico-químicos de qualidade da água

A discussão sobre as possibilidades de reúso da água escoada dos telhados verdes deve estar embasada na legislação pertinente vigente. Sendo assim com vistas a investigar possibilidades de reúso da água, existem algumas regulamentações/recomendações que discorrem sobre os padrões de qualidade de água a serem atendidos para fins potáveis e não potáveis. Neste contexto, destacam-se a :

- NBR 15.527 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), cujo tema é: Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos (ABNT, 2007).
- NBR 13.969 da ABNT, cujo tema é: Tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação (ABNT,1997).
- Anexo VII da Portaria do Ministério da Saúde 2.914 (BRASIL, 2011) que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.
- Documento “Qualidade da água para irrigação” da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (ALMEIDA, 2010), que tem como objetivo impor limites para parâmetros físico-químicos de um efluente para posterior uso dessa água em irrigação.

Sendo assim, os parâmetros físico-químicos analisados foram os mesmos considerados por Farias (2012) e seus limites, estando apresentados no Quadro 1, bem como algumas características.

O valor máximo de cloretos permitido para a água segundo a publicação da EMBRAPA sobre a “Qualidade da água para irrigação” (ALMEIDA, 2010) está limitado a 30 meq/L, que multiplicando pelo peso químico equivalente dos íons, baseado nos Pesos Atômicos Internacionais de 1957 (COSTA FILHO, 1997) de, neste caso, 35,46, equivale a 1.063,80 mg/L.

Quadro 1- Parâmetros físico-químicos e biológicos estabelecidos na legislação e investigados nesta pesquisa (continua).

Parâmetro	Limites estabelecidos				Investigado	Descrição (apenas parâmetros investigados)
	NBR 15.527 (Tabela 1)	NBR 13.969	Portaria MS 2.914	Embrapa		
Alcalinidade	-	-	-	-	Sim	Capacidade de reagir quantitativamente com um ácido forte até um valor definido de pH e se deve principalmente à presença de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. De acordo com Maia & Rodrigues (2012), o acúmulo de (bi) carbonato pela água de irrigação, pode provocar o processo de cimentação no solo que dificulta a penetração da água de irrigação e das raízes.
Alumínio	-	-	0,2 mg/L*	-	Não	-
Amônia	-	-	1,5 mg/L*	5 mg/L	Sim	O nitrogênio pode ser encontrado no meio aquático nas formas de nitrogênio molecular (N ₂), amônia (NH ₃ ou NH ₄ ⁺), nitrito (NO ₂ ⁻) e nitrato (NO ₃ ⁻). A forma predominante indica o estágio de poluição, principalmente em relação à contaminação de aquíferos por NO ₃ ⁻ .
Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	-	-	-	10 meq/L	Não	-
Boro	-	-	-	2 mg/L	Não	-
Cálcio	-	-	-	20 meq/L	Não	-
Carbonatos (CO ₃ ²⁻)	-	-	-	0,1 meq/L	Não	-
Cloreto	-	-	250 mg/L*	30 meq/L	Sim	A origem do ânion cloreto (Cl ⁻) pode ser natural (dissolução de minerais e a intrusão de águas salinas) ou antrópica (despejos domésticos e industriais e retorno de águas de irrigação). Segundo Ayers & Westcot (1999), o cloreto está ligado a problemas de salinidade do solo e toxicidade de plantas. Segundo Antas (2011), caso sua concentração exceda a tolerância da planta, produzem-se danos como necroses e queimaduras em folhas.
Cloro residual livre	0,5 a 3,0 mg/L	< 0,5 mg/L ⁵ 0,5 a 1,5 mg/L ¹ > 0,5 mg/L ²	-	-	Sim	A presença de cloro residual livre está relacionada a resíduos na água deste componente vastamente usado como desinfetante na eliminação de bactérias e outros microrganismos patógenos.
Coliformes fecais	-	200 NMP/100mL ¹ 500 NMP/100mL ^{2,3} 5000 NMP/100mL ⁴	-	-	Não	-

^aNo caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado | ^bPara usos menos nobres | *Anexo X/**Anexo VII - Portaria MS 2.914

¹Classe 1 | ²Classe 2 | ³Classe 3 | ⁴Classe 4 | ⁵Tabela 5 | CE = Condutividade Elétrica; Coliformes term. = Coliformes termotolerantes; OD = Oxigênio dissolvido; SDT = Sólidos dissolvidos totais; Sol. Não FT = Sólidos não filtráveis totais; Sólidos sedim. = Sólidos sedimentáveis; Sulfeto de hidrog. = Sulfeto de hidrogênio.

Fonte: Adaptado de Farias (2012).

Quadro 2- Parâmetros físico-químicos e biológicos estabelecidos na legislação e investigados nesta pesquisa (continua).

Parâmetro	Limites estabelecidos				Investigado	Descrição (apenas parâmetros investigados)
	NBR 15.527 (Tabela 1)	NBR 13.969	Portaria MS 2.914	Embrapa		
Coliformes term.	-/100mL	-	-	-	Não	-
Coliformes totais	-/100 mL	-	-100ml	-	Sim	Grupo de bactérias gram-negativas, que podem ser anaeróbias ou aeróbias e que estão associadas à contaminação de origem fecal, por fezes de animais por exemplo.
Condutividade elétrica (CE)	-	-	-	3,0 dS/m	Sim	Capacidade que a água tem de conduzir corrente elétrica e está associada à presença de íons. Segundo Bernardo, Soares & Mantovani (2006), em virtude de sua facilidade e rapidez de determinação, a CE tornou-se o procedimento padrão a fim de expressar a concentração total de sais para classificação e diagnose das águas destinadas à irrigação.
Cor aparente	15 uH	-	15uH*	-	Sim	Parâmetro associado à presença de sólidos dissolvidos, sendo um indicativo da presença de matéria orgânica.
DBO _{5,20}	-	60 mg/L ⁵	-	-	Não	-
DQO	-	150 mg/L ⁵	-	-	Não	-
1,2 diclorobenzeno	-	-	0,01 mg/L*	-	Não	-
1,4 diclorobenzeno	-	-	0,03 mg/L*	-	Não	-
Dureza total	-	-	500 mg/L*	-	Sim	Parâmetro associado à presença de cátions, principalmente os bivalentes cálcio e magnésio (Ca ⁺² e Mg ⁺²), sendo que a principal fonte de dureza nas águas é a passagem da mesma pelo solo, devido à dissolução de minerais.
Etilbenzeno	-	-	0,2 mg/L*	-	Não	-
Ferro	-	-	0,3 mg/L*	-	Sim	Pode ser encontrado na forma solúvel e insolúvel, sendo a principal origem a passagem da água pelo solo, provocando a dissolução de compostos (VON SPERLING, 2005).

^aNo caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado | ^bPara usos menos nobres | *Anexo X/**Anexo VII - Portaria MS 2.914

¹Classe 1 | ²Classe 2 | ³Classe 3 | ⁴Classe 4 | ⁵Tabela 5 | CE = Condutividade Elétrica; Coliformes term. = Coliformes termotolerantes; OD = Oxigênio dissolvido; SDT = Sólidos dissolvidos totais; Sol. Não FT = Sólidos não filtráveis totais; Sólidos sedim. = Sólidos sedimentáveis; Sulfeto de hidrog. = Sulfeto de hidrogênio.

Fonte: Adaptado de Farias (2012).

Quadro 3- Parâmetros físico-químicos e biológicos estabelecidos na legislação e investigados nesta pesquisa (continua).

Parâmetro	Limites estabelecidos				Investigado	Descrição (apenas parâmetros investigados)
	NBR 15.527 (Tabela 1)	NBR 13.969	Portaria MS 2.914	Embrapa		
Fósforo - Fosfato	-	-	-	2 mg/L	Sim	Segundo Pellegrini (2005), o sistema de cultivo adotado influencia grandemente nas quantidades de sedimento e fósforo transferidos aos sistemas aquáticos. Segundo o autor, nos sistemas de produção agrícola que utilizam aplicações maciças e frequentes de fertilizantes fosfatados ocorre acúmulo de fósforo na superfície do solo.o solo.
Gosto e odor	-	-	6 intensidade*	-	Não	-
Magnésio	-	-	-	5 meq/L	Não	-
Manganês	-	-	0,1 mg/L*	-	Não	-
Monoclorobenzeno	-	-	0,12 mg/L*	-	Não	-
Nitrogênio - Nitrato	-	-	10 mg/L**	10 mg/L	Sim	Os nitratos (NO ₃ ⁻) servem como adubos para as plantas, no entanto não é adsorvido pelo solo e quando excesso, pode ser lixiviado para os corpos d'água, ocasionando um problema ambiental. Já os nitritos (NO ₂ ⁻) são um indicativo de que o corpo d'água foi poluído; as águas com alta concentração de nitrito apresentam um caráter questionável.
Nitrogênio - Nitrito	-	-	1 mg/L**	-	Sim	
OD	-	> 1,0 mg/L ⁵ > 2,0 mg/L ⁴	-	-	Sim	Indicador do grau de poluição da água, ou seja, a ocorrência de baixas concentrações de OD na água indica que a mesma está poluída, pois está havendo o consumo do oxigênio por processos químicos e/ou biológicos de oxidação da matéria orgânica.
Óleos e graxas	-	50 mg/L ⁵	-	-	Não	-
pH	6,0 a 8,0 ^a	6,0 a 9,0 ⁵ /6,0 a 8,0 ¹	-	6,0 a 8,5	Sim	Representa a concentração de íons hidrogênio H ⁺ resultante inicialmente da dissociação da própria molécula da água. Valores de pH podem limitar o uso da água na irrigação pois interfere no crescimento da planta devido ao seu efeito na disponibilidade de nutrientes (WALLER & WILSON, 1984; BAILEY, NELSON & FONTENO, 2000; HANDRECK & BLACK, 1999).

^aNo caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado | ^bPara usos menos nobres | *Anexo X/**Anexo VII - Portaria MS 2.914

¹Classe 1 | ²Classe 2 | ³Classe 3 | ⁴Classe 4 | ⁵Tabela 5 | CE = Condutividade Elétrica; Coliformes term. = Coliformes termotolerantes; OD = Oxigênio dissolvido; SDT = Sólidos dissolvidos totais; Sol. Não FT = Sólidos não filtráveis totais; Sólidos sedim. = Sólidos sedimentáveis; Sulfeto de hidrog. = Sulfeto de hidrogênio.

Fonte: Adaptado de Farias (2012).

Quadro 4- Parâmetros físico-químicos estabelecidos na legislação e investigados nesta pesquisa (finalização).

Parâmetro	Limites estabelecidos				Investigado	Descrição (apenas parâmetros investigados)
	NBR 15.527 (Tabela 1)	NBR 13.969	Portaria MS 2.914	Embrapa		
Potássio	-	-	-	2 mg/L	Não	-
Sódio	-	-	200 mg/L*	40 meq/L	Não	-
Sólidos dissolvidos totais (SDT)	-	200 mg/L ¹	1000 mg/L*	2000 mg/L	Sim	Incluem os coloides e os efetivamente dissolvidos. Em águas utilizadas para irrigação, pode gerar problemas de salinização do solo. Sendo a cor verdadeira causada por sólidos dissolvidos, não é possível ter-se cor verdadeira elevada e baixa concentração de sólidos dissolvidos.
Sol. Não FT	-	50 mg/L ⁵	-	-	Não	-
Sólidos sedim.	-	0,5 mg/L ⁵	-	-	Não	-
Sulfato	-	-	250 mg/L*	20 meq/L	Não	-
Sulfeto de hidrog.	-	-	0,1 mg/L*	-	Não	-
Surfactantes	-	-	0,5 mg/L*	-	Não	-
Temperatura	-	40°C ⁵	-	-	Sim	Variações na mesma podem interferir nas reações físicas, químicas e biológicas.
Tolueno	-	-	0,15 mg/L*	-	Não	-
Turbidez	2 uT ^b / 5 uT	5 uT ^{1,2} / 10 uT ³	5 uT*	-	Sim	Parâmetro relacionado com a presença de sólidos em suspensão. Segundo a FUNASA (2009), no caso de desinfecção, esta pode ser dificultada pela proteção que a turbidez pode dar aos micro-organismos no contato direto com os desinfetantes.
Zinco	-	-	5 mg/L*	-	Não	-
Xilenos	-	-	0,3 mg/L*	-	Não	-

^aNo caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado | ^bPara usos menos nobres | *Anexo X/**Anexo VII - Portaria MS 2.914

¹Classe 1 | ²Classe 2 | ³Classe 3 | ⁴Classe 4 | ⁵Tabela 5 | CE = Condutividade Elétrica; Coliformes term. = Coliformes termotolerantes; OD = Oxigênio dissolvido; SDT = Sólidos dissolvidos totais; Sol. Não FT = Sólidos não filtráveis totais; Sólidos sedim. = Sólidos sedimentáveis; Sulfeto de hidrog. = Sulfeto de hidrogênio.

Fonte: Adaptado de Farias (2012).

2.3 Indicadores microbiológicos e bacteriológicos de qualidade da água

A presença e concentração de microrganismos patogênicos na água estão intimamente ligadas à sua qualidade. As espécies de protozoários ou bactérias encontrados na água indicam a origem da contaminação, desta forma, esses seres funcionam como bioindicadores da qualidade da água. Para Callisto & Gonçalves (2002), os bioindicadores são espécies, grupos de espécies ou comunidades biológicas, nas quais a presença, quantidade e distribuição indicam a gravidade de impactos ambientais em um ecossistema aquático, sendo extremamente úteis na investigação de impactos ocasionados por descargas de esgotos domésticos e industriais em corpos hídricos.

Microrganismos como rotíferos, tardígrados, ciliados, helmintos e algas, quando fora do seu meio natural, apresentam formas de resistência (ovos, cistos e esporos) que suportam longos períodos sem a presença de umidade, eclodindo e retomando seu metabolismo normal quando em presença de água, ou quando dentro do organismo de um hospedeiro.

Para Callisto, Gonçalves & Moreno (2005), o uso de bioindicadores (bactérias, protozoários, algas, ovos de helmintos e cistos) para avaliar a qualidade da água é mais eficiente do que as análises de parâmetros físicos-químicos como nitrogênio, ferro, temperatura, pH, oxigênio dissolvido, dentre outras.

Segundo Karanis, Kourenti & Smith (2007), a contaminação dos corpos hídricos por protozoários patogênicos tem ocorrido em todo o mundo, sendo as espécies *Giardia sp.* e *Cryptosporidium sp.* as responsáveis por cerca 90% dos surtos de gastroenterite ocorridos nos últimos 25 anos em países como os Estados Unidos, Canadá e Japão. Ressaltando-se que esses gêneros (*Giardia* e *Cryptosporidium*) são organismos reconhecidamente resistentes à cloração (HELLER *et al.*, 2004). No Brasil a Portaria 2914/2011 admite que deva haver ausência desses patógenos na água com vistas a obter padrões de potabilidade da mesma, o que demonstra uma preocupação em relação a doenças provocadas por esses agentes.

Considerando que a maioria dos agentes patogênicos de veiculação hídrica tem em comum sua origem nas fezes de humanos ou animais de sangue quente, outra condição para a avaliação da qualidade microbiológica da água é o exame de indicadores de contaminação fecal, sendo a bactéria *Escherichia coli* a melhor representante de contaminação por fezes (AMARAL *et al.*, 2003), bem como a presença de ovos de helmintos e nematelmintos (*Áscaris lumbricóides*, *Schistosoma mansoni*, *Ancilostoma duodenale*), que são vermes parasitas do intestino humano e que são liberados nas fezes.

Segundo a Portaria 2.914/2011, vigente para água de consumo humano, deve ser realizado monitoramento das bactérias heterotróficas como um dos parâmetros para avaliar a integridade da água quanto à presença de bactérias degradadoras de matéria orgânica, estando incluídas nesse grupo bactérias patogênicas e aquelas pertencentes ao grupo dos Coliformes Totais, onde sua concentração deve ser determinada em 20% das amostras analisadas e seu valor não deve ultrapassar 500 UFC/mL.

Dentre as doenças ocasionadas pela bactéria *E. coli*, podem ser citadas as infecções urinárias, pneumonias, meningites e infecções intestinais. No caso dos helmintos e nematódeos, geralmente as doenças estão relacionadas a febres, diarreias, dores abdominais, desnutrição, e aumento do tamanho de órgãos como fígado e baço por exemplo.

A investigação e identificação dos diversos grupos de microrganismos presentes no ambiente (água ou solo) exigem metodologias diferentes, e a existência ou não de um patógeno não exclui a presença de outros. Deste modo, é de fundamental importância a avaliação da qualidade da água do ponto de vista microbiológico (protozoários, helmintos, nematódeos) e bacteriológico (coliformes e *E.coli*), para melhor estimar a qualidade da água em estudo, e os tratamentos de desinfecção mais adequados a serem realizados.

2.4 Dados climáticos

2.4.1 Precipitação

A precipitação é o componente do ciclo da água considerado um elo entre os diversos fenômenos hidrológicos, tendo sua magnitude descrita pela relação duração/intensidade, sendo a intensidade de grande importância para a determinação do escoamento de água dos telhados verdes. De acordo com Tucci (2009), na análise de um evento chuvoso de uma dada área, não se deve levar em consideração apenas o total precipitado, mas também a duração do evento e sua distribuição espacial e temporal. O autor ainda exemplifica esta afirmação dizendo que uma chuva de 100 mm pode ser considerada pouca para o intervalo de tempo de um mês, mas, essa quantidade é considerada muito alta se for referente ao intervalo de tempo de um dia.

Os elementos necessários para a formação das precipitações são a umidade atmosférica, proporcionada pela evapotranspiração, mecanismos de resfriamento do ar com a ascensão do ar úmido, presença de núcleos higroscópios e mecanismos de crescimento das gotas (TUCCI, 2009). A quantidade de chuva precipitada é dada pela altura da lâmina d'água depositada em um receptáculo impermeável durante o evento chuvoso. Sendo assim, com

base neste entendimento, utiliza-se para determinação dessa variável equipamentos, pluviômetros e pluviógrafos, que devem estar devidamente instalados em locais estratégicos para captação da água precipitada sobre uma determinada área.

Os pluviômetros são dotados de uma superfície de captação horizontal conectada a um depósito para acumulação da água precipitada, de onde é retirada, com uma torneira no fundo do mesmo, para medição do volume captado. Os pluviógrafos, por outro lado, permitem o conhecimento de chuvas com intervalos menores que um dia e os registros dos pluviógrafos são realizados em forma de gráficos em que as abscissas correspondem às horas do dia e as ordenadas à altura precipitada até aquele instante, sendo a intensidade da chuva a inclinação do gráfico em relação à abscissa, o qual é conhecido por pluviograma. A medição de uma precipitação sobre uma bacia é de grande importância para investigação quanto ao escoamento superficial, infiltração no solo e evapotranspiração, sendo que esses dados também estão presentes nos cálculos de determinação do balanço hídrico de uma região. Considerando um sistema delimitado, como uma bacia ou mesmo um telhado verde, o balanço hídrico, a ser verificado no período de tempo, pode ser realizado aplicando-se a Equação 1, com suas variáveis expressas em altura de lâmina d'água [L].

$$P = Q_s - Q_e + ET + \Delta S \quad (1)$$

Onde:

P é a precipitação [L]; Q_s , o escoamento da água para fora do sistema [L]; Q_e , o escoamento da água para dentro do sistema [L]; ET , a evapotranspiração [L]; e ΔS , a variação do armazenamento de água no sistema [L].

2.4.2 Umidade do ar

De acordo com Lide (1997), o ar seco tem em sua composição não só o oxigênio, como também o nitrogênio, argônio, dióxido de carbono, hidrogênio, hélio, néon e outros. Destes, o oxigênio, nitrogênio e o argônio são os que apresentam maiores porcentagens, além de quantidades de vapor d'água que variam de acordo com a temperatura, região e estação do ano. O vapor d'água que caracteriza a umidade do ar é resultado de processos de evaporação de reservatórios de água, rios, lagos e mares da superfície terrestre, bem como da transpiração da superfície foliar das plantas através dos estômatos.

A umidade do ar representa a quantidade de água no estado de vapor existente na atmosfera, determinando se o ar é seco ou úmido. A alta quantidade de vapor de água na

atmosfera, juntamente com faixas de massas de ar em baixas temperaturas favorecem a ocorrência da precipitação.

Quanto ao termo umidade relativa do ar, este se refere à umidade real do ar que pode ser verificada com o auxílio de aparelhos como os higrômetros, que dão valores que variam de 0% (ausência de vapor de água no ar) a 100% (ar saturado, com quantidade máxima de vapor d'água). Para Tucci (2009), a umidade relativa do ar pode ser representada pela relação entre o teor de umidade real na atmosfera e a quantidade máxima de umidade que a atmosfera pode reter. Tradicionalmente a umidade relativa do ar está associada à relação entre a pressão de vapor do ar e a pressão de vapor do ar obtida em condições de equilíbrio ou saturação sobre uma superfície de água líquida ou gelo. Sendo assim, com base no que foi apresentado, emprega-se usualmente a Equação 2 para sua determinação.

$$UR = 100 \cdot \frac{e}{e^*} \quad (2)$$

Onde:

UR é a umidade relativa do ar [%]; e , pressão de vapor do ar [$ML^{-1}T^{-2}$]; e^* , pressão de vapor nas condições de equilíbrio ou pressão de vapor de saturação [$ML^{-1}T^{-2}$].

2.4.3 Temperatura do ar

A temperatura do ar é uma variável climatológica que influencia diretamente a umidade relativa do ar, visto que quanto maior a temperatura do ar, maior será a quantidade de vapor d'água (umidade relativa) que esta massa de ar poderá conter. Tucci (2009) afirma que para uma dada temperatura existe uma quantidade máxima de vapor de água que o ar pode conter, e que, quando esse máximo à certa temperatura é atingido, o vapor de água é considerado saturante. Sendo assim, a temperatura também influencia nas precipitações, fato observado quando massas de ar em baixas temperaturas entram em contato com massas de vapor d'água ocasionando eventos chuvosos.

É importante lembrar que a alteração neste parâmetro em paralelo com a elevação da umidade relativa do ar, acaba afetando direta ou indiretamente outras parcelas do ciclo hidrológico: evaporação, evapotranspiração e infiltração; visto que elevadas temperaturas favorecem o aumento da taxa de evaporação local, em contrapartida, quando a umidade do ar atinge valores elevados, próximos à saturação, os processos de evaporação e evapotranspiração acabam sendo dificultados. Com o aumento, ainda, da umidade do ar, as

plantas tendem a perder menos água para a atmosfera, na forma de transpiração, sendo que dessa forma, segundo Tucci (2009), as plantas tendem a captar menos água do solo, favorecendo com que o mesmo fique mais úmido e conseqüentemente, mais próximo do seu ponto de saturação, o que acaba por dificultar o processo de infiltração, favorecendo o escoamento superficial.

O crescente aumento do processo de urbanização favorece, também, a ocorrência dos fatores citados acima. Assim pode-se concluir que acaba por ocasionar alterações significativas no balanço hídrico de uma dada região. Considerando-se essa região como um sistema, esse processo pode ser compreendido pela Equação 1.

2.5 Benefícios do telhado verde

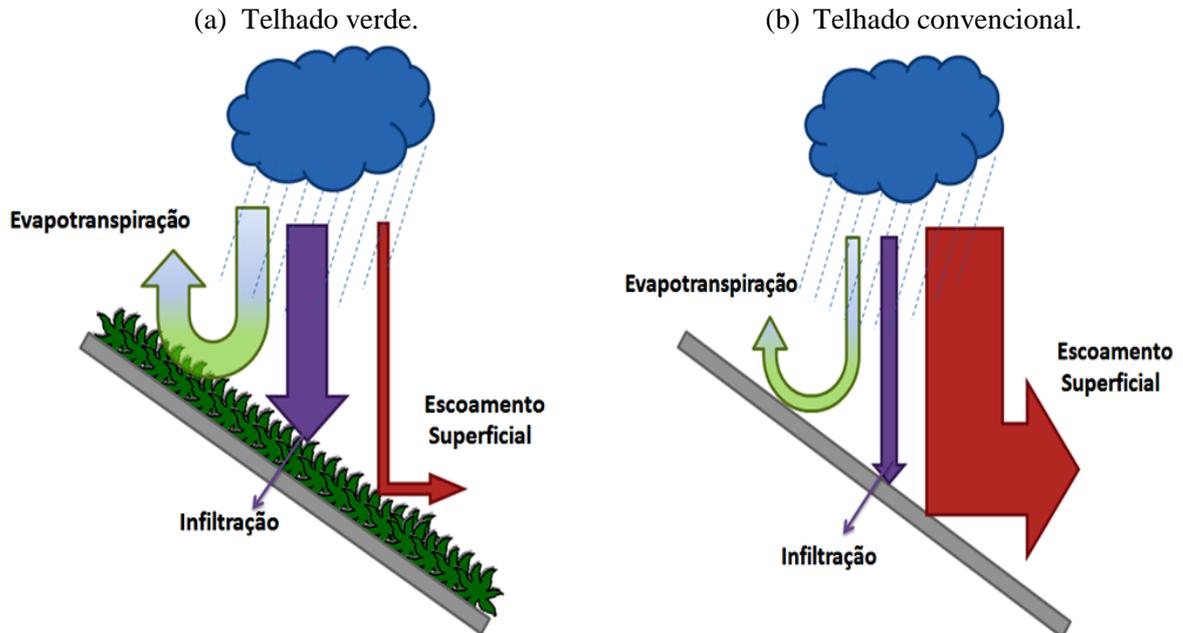
2.5.1 Capacidade de retenção

A diminuição de áreas verdes e o aumento de áreas impermeabilizadas e de solos compactados, resultantes do crescimento urbano atingem diretamente o ciclo hidrológico, decaindo a taxa de infiltração da água de chuva no solo, proporcionando maiores cargas pluviais nas canalizações urbanas e conseqüentes riscos de enchentes. Neste cenário, as coberturas ajardinadas são uma ótima alternativa para o acréscimo de áreas verdes permeáveis em zonas urbanas, visto que estas apresentam capacidade de retenção de água por conta da presença do substrato e vegetais, em relação aos telhados convencionais (Figura 4), amenizando, portanto, a pressão pluvial nos ductos de drenagem em épocas chuvosas.

Mentens, Raes & Hermy (2006) analisaram os escoamentos superficiais (*runoff*) de um telhado tradicional e de um telhado verde durante uma precipitação de 24 horas de duração, e mostraram, através de um hidrograma (gráfico que representa o volume escoado, em mm, em relação ao tempo em horas), os diferenciais de vazão entre a cobertura vegetada e a tradicional (Figura 5). O volume de água retido pelo telhado verde durante uma precipitação depende da capacidade de retenção da camada de substrato, do tipo de telhado verde (intensivo ou extensivo), do tipo de vegetação utilizado, da permeabilidade e da altura do sistema utilizado. De acordo com Palla *et al.* (2008), além da significativa diminuição do escoamento responsável pelas enchentes urbanas, os telhados verdes também proporcionam um efeito de retardo no escoamento superficial, contribuindo com um tempo de defasagem (efeito de detenção) logo após o início da precipitação, o que não ocorre com os telhados convencionais. Esse fato pode ser observado no gráfico de Mentens, Raes & Hermy (2006), Figura 5, onde o escoamento do telhado verde apenas aconteceu algum tempo depois de

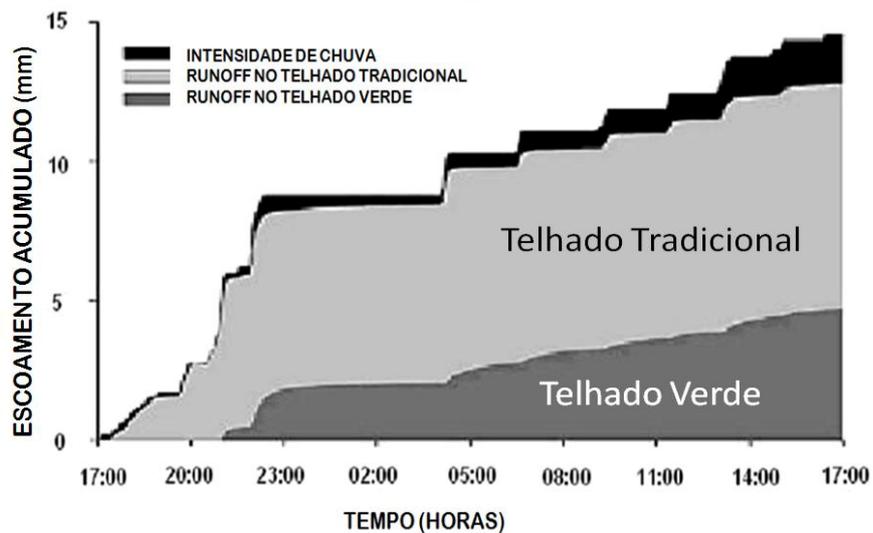
iniciada a chuva. Tal defasagem ocorre devido, em menor quantidade, à água retida pela folhagem, e, em maior quantidade, ao percurso da água que sai do sistema apenas depois da água infiltrada ter saturado todos os poros da matriz de solo do substrato.

Figura 4- Esquema comparativo de escoamento superficial, infiltração e evapotranspiração.



Fonte: Adaptado de Cunha (2004).

Figura 5- Intensidade da chuva e runoff: telhado tradicional x telhado verde.



Fonte: Adaptado de Mentens, Raes & Hermy (2006).

Neste contexto, uma ferramenta muito útil é o balanço hídrico do telhado verde cuja área se encontra delimitada pela laje impermeável e pelas muretas que separam as coberturas a serem analisadas. Deste modo, o volume de água precipitada que escoar e é retida no

sistema de cobertura ecológica e tradicional pode ser calculado pela Equação 3 e pela Equação 4.

$$V_{rt} = \sum V_e - \sum V_s \quad (3)$$

$$V_s = \sum V_e - \sum V_{rt} \quad (4)$$

Onde:

V_{rt} é o volume de água retido pelo telhado [L]; V_e , volume de água que entra no sistema dos telhados [L]; V_s , volume de água escoado pelo telhado.

Considerando, então, que uma parcela da água precipitada sobre um telhado verde fica retida no substrato e o excedente deste montante se acumula em reservatórios específicos, os telhados verdes constituem importantes aliados em localidades onde a ocorrência de inundações é recorrente. Resultados apresentados por Laar & Grimme (2006), de um experimento realizado no Rio de Janeiro, indicam uma redução média do escoamento superficial de cerca de 60% em um período de 9 meses, com precipitação total acumulada de 556 mm.

2.5.2 Possibilidade de reúso

De acordo com Castro (2011), a qualidade do fluxo de água percolado pela cobertura vegetada, referente aos contaminantes e suas possíveis concentrações, depende de vários fatores relacionados à estrutura instalada. Neste contexto, o autor destaca os seguintes fatores: profundidade e composição da camada de solo, tipo de vegetação e existência de camada de drenagem, realização de ações de manutenção, características do meio ambiente onde se encontra instalado o telhado verde (áreas residenciais ou industriais), presença de fontes locais de poluentes próximo ao telhado, e idade da cobertura vegetada.

Existem poucas informações a respeito do impacto dos telhados verdes na qualidade da água de chuva percolada pelo meio suporte (HUTCHINSON *et al.*, 2003). De acordo com Hutchinson *et al.* (2003), a cobertura ajardinada, assim como a cobertura convencional, funciona como uma camada de deposição de contaminantes atmosféricos e de detritos de pequenos animais que transitam pela área dos telhados, além dos contaminantes que venham a existir nas matrizes utilizadas na composição da camada de substrato. O autor explica que, na

ocorrência de eventos chuvosos esses contaminantes são lixiviados pelas camadas do telhado ecológico, e carreados até o ponto de coleta, de forma que, quanto maior for à intensidade da precipitação, maior será a concentração de contaminantes carreados pelo solo, até o momento em que o substrato se encontre, praticamente, “lavado” pela alta repetição de eventos chuvosos, passando a apresentar um limiar com baixos níveis de contaminantes na água percolada proveniente dos telhados verdes.

A NBR 13.969/97 determina diferentes classificações e possibilidades de uso não potável, de acordo com os respectivos valores de parâmetros destinados a cada classe de uso (Quadro 5).

Quadro 5- Padrões estabelecidos na NBR 13.969/97.

CLASSES	USOS	PARÂMETROS	COMENTÁRIOS
Classe 1	Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador incluindo chafarizes.	. Turbidez - < 5 UNT. . Coliformes fecais – inferior a 200 NMP/100ml. . Sólidos dissolvidos totais < 200mg/l. . pH entre 6,0 e 8,0. . Cloro residual entre 0,5 mg/l e 1,5 mg/l.	Nesse nível, serão geralmente necessários tratamentos aeróbios (filtro aeróbio submerso ou LAB) seguidos por filtração convencional (areia e carvão ativado) e, finalmente, cloração. Pode-se substituir a filtração convencional por membrana filtrante.
Classe 2	Lavagens de pisos, calçadas e irrigação de jardins; e manutenção de lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes.	. Turbidez - < 5 UNT. . Coliformes fecais – inferior a 500 NMP/100ml. . Cloro residual superior a 0,5mg/l.	Nesse nível é satisfatório um tratamento biológico aeróbio (filtro aeróbio submerso ou LAB*) seguido de filtração de areia e desinfecção. Pode-se também substituir a filtração por membranas filtrantes.
Classe 3	Reúso nas descargas das bacias sanitárias.	. Turbidez - < 10 UNT; . Coliformes fecais – inferior a 500 NMP/100ml.	Normalmente as águas de enxágue das máquinas de lavar roupa satisfazem a este padrão, sendo necessário apenas uma cloração. Para casos gerais, um tratamento aeróbio seguido de filtração e desinfecção satisfaz este padrão.
Classe 4	Reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gado e outros cultivos através do escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.	. Coliformes fecais – inferior a 5.000 NMP/100ml. . Oxigênio dissolvido acima de 2,0 mg/l.	As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita.

Fonte: ABNT (1997).

Quanto às modificações nos parâmetros físico-químicos, estes estão relacionados principalmente ao crescimento da vegetação e com a interação entre o sistema radicular e o substrato, garantindo maior ou menor absorção de componentes orgânicos. Portanto, o aproveitamento da água proveniente dessas estruturas deve ser feita de forma mais criteriosa.

Segundo Castro (2011), o cuidado deve ser ainda maior quando o aproveitamento da água percolada é feito após aplicação de nutrientes para o desenvolvimento das plantas. Nesta situação o composto que possa vir a ser fonte de nutrientes, também pode ser fonte de diversos microrganismos patogênicos, a depender da sua origem.

2.5.3 Agricultura urbana

Diversos autores (LAAR, 2001; ISLAM, 2004; NOWAK, 2004; ARRUDA, 2006; SILVA *et al.*, 2008; FRANÇA, 2012) têm destacado o emprego dos telhados verdes como alternativa para a viabilidade da agricultura em áreas urbanas. França (2012) destacou a importância na divulgação dos benefícios do uso dos telhados verdes e apresentou a tecnologia como “uma possibilidade real tanto de minimização dos impactos causados por vários fatores, quanto para produção de alimentos, tendência que evidencia na atualidade”.

De fato, com a existência do substrato, há disponibilidade de área de solo para cultivo de vegetais, plantas medicinais ou ornamentais, ou mesmo para uma pequena produção de alimentos para consumo próprio das famílias. Quanto aos gastos investidos para a implantação da agricultura urbana sobre construções civis, Correa & Gonzalez (2002), explicam que estes podem ser recuperados com a venda dos produtos produzidos, além de possibilitar a auto-sustentação dos gastos com manutenção desses telhados (irrigação, replantio e jardinagem), podendo proporcionar, nestes casos, obtenção de renda extra.

A agricultura urbana é definida pela agricultura desenvolvida dentro das zonas urbanas, com o cultivo de plantas e a criação de animais com objetivo de produção de alimentos e outras fontes de renda (hortaliças, ervas medicinais e aromáticas, mudas de árvores, plantas ornamentais, flores, leite, ovos, frangos, peixes, entre outros), caracterizando uma importante forma de suprir os sistemas de alimentação urbanos, relacionando-se com a segurança alimentar, desenvolvimento da biodiversidade, melhor aproveitamento dos espaços, contribuindo para o manejo adequado dos recursos de solo e da água (MOUGEOT, 2000), ao mesmo modo que gera fontes de renda, desenvolvimento econômico local e aumento de áreas verdes na zona urbana e conseqüente minimização das problemáticas ambientais encontradas em grandes centros urbanos. O cultivo de hortaliças em telhados verdes no Estado do Rio de Janeiro é um exemplo descrito como uma ferramenta tecnológica para melhorias na qualidade de vida e geração de renda para os cidadãos (SILVA *et al.*, 2008). Segundo Arruda (2006), a agricultura urbana está se destacando mundialmente como uma forma de resgatar a cidadania das populações locais e proporcionar sustentabilidade do ecossistema urbano.

O emprego de telhados verdes para produção agrícola em áreas urbanas já existe há algum tempo, em locais como Estados Unidos (Nova York) e Canadá (Toronto), lugares em que as prefeituras apoiam o desenvolvimento da política de telhados verdes com usos diversos, assim como para uso da agricultura urbana (NOWAK, 2004), seja sobre construções civis de grande porte como grandes hotéis e restaurantes que produzem suas próprias ervas, verduras e hortaliças, como sobre residências civis, que procuram cultivar parte de seus próprios alimentos de consumo. Islam (2004), inclusive, considera que o cultivo de horta em telhados pode ser um método efetivo para garantir o suprimento de comida e satisfazer as necessidades nutricionais dos moradores.

2.5.4 Redução de impostos

O impacto negativo da urbanização sobre a qualidade de vida dos moradores das áreas que experimentam este crescimento é amplamente discutido na literatura, inclusive na científica (BERNARDES & MENDES, 2012; GOMES & SILVA, 2012; FRANÇA, 2012, entre outros). De fato, como bem explicado por Laar & Grimme (2006), devido à alta taxa de impermeabilização do solo, a água da chuva não pode infiltrar, escoando para áreas baixas e gerando zonas de inundação.

Os autores destacam ainda outro problema, que é redução na capacidade de resfriamento do ambiente. Isto porque a redução das áreas verdes com aumento de áreas impermeáveis favorece o aumento na velocidade do escoamento superficial, fazendo com que a água seja deslocada do ambiente o mais rápido possível, sem que ocorra a evaporação da mesma suficiente a fim de amenizar a sensação térmica. A existência de áreas permeáveis atua, portanto, na minimização dos dois problemas citados à medida que funcionam como esponjas, absorvendo as águas pluviais. A água que precipita, infiltra no solo contribuindo, inclusive, para a formação e recarga dos aquíferos subterrâneos (MOTA, 1999). Deste modo, quanto maior for a área permeável para infiltração, menor será o escoamento superficial das águas pluviais, diminuindo assim os casos de inundações e alagamentos e melhorando o clima da região.

Sendo assim, com o objetivo de incentivar o crescimento de ferramentas sustentáveis no meio urbano, alguns municípios, como São Vicente, Sorocaba, Araraquara e Guarulhos no estado de São Paulo, Curitiba no Paraná, entre outros, estão implantando benefícios que favorecem o cidadão que investe em boas práticas ambientais em sua propriedade urbana,

como, por exemplo, a redução do IPTU (Imposto Predial e Territorial Urbano). Neste contexto, o referido imposto tem sido comumente chamado de IPTU Verde.

Jahnke, Willani & Araújo (2013) esclarecem que o IPTU é um imposto previsto no artigo 156 da Constituição Federal de 1988, cuja competência municipal é instituir impostos sobre a propriedade urbana, como um apartamento, sala comercial ou uma casa. Os autores destacam o surgimento de alguns projetos de leis municipais que, com o intuito de incentivar o modelo sustentável, versam sobre a possível redução do IPTU quando forem constatadas práticas sustentáveis ou que promovam ações benéficas ao meio ambiente, e citam como exemplos: Lei Municipal de Guarulhos Nº 6.793 (GUARULHOS, 2010), Lei Municipal de Curitiba Nº 9.806 (CURITIBA, 2000), Lei Municipal de Sorocaba Nº 9.571 (SOROCABA, 2011), Lei Municipal de Araraquara Nº 7.152 (ARARAQUARA, 2009), Lei Municipal de São Vicente Nº 634 (SÃO VICENTE, 2010).

No caso da cidade de São Vicente (SP), segundo Palestra (2011), a Lei Nº 634 garante o desconto de 0,07% no IPTU quando constatado a existência dessas Áreas Livres. Mas, de acordo com o autor, este desconto pode chegar a cerca de 20% quando várias práticas sustentáveis forem encontradas na mesma propriedade urbana. Na cidade de Guarulhos (SP), o artigo 61 da Lei 6.793, prevê que construções que apresentem captação de água de chuva, implantação de telhados verdes, sistemas de reúso de água dentre outras práticas sustentáveis, possam ser somadas para garantir valores acumulativos de descontos na fatura do IPTU do imóvel (PALESTRA, 2011).

O estado de Pernambuco ainda não possui o programa IPTU Verde, porém em sessão legislativa datada de 04/02/2013, a Câmara Municipal do Recife em discussão única acatou o requerimento de nº 2325/2012 da vereadora Marília Arraes dirigindo indicação ao Exmo. Sr. Prefeito do Recife, Sr. Geraldo Júlio de Mello Filho, no sentido de enviar a essa Casa Legislativa um projeto de lei que institua o Programa IPTU Verde na cidade de Recife/PE, com intuito de criar incentivos fiscais para ampliação e conservação das áreas arborizadas da cidade. A característica deste projeto é conceder isenção parcial do IPTU para proprietários que possuam áreas verdes em suas edificações, sendo que essa isenção é baseada na porcentagem de área verde existente (CÂMARA MUNICIPAL DO RECIFE, 2013).

Segundo Berlim (2007 *apud* VALASKI, 2010), a Alemanha apresenta grande interesse na preservação e introdução de áreas verdes na zona urbana, seja em lotes ou sobre edificações, sendo essas áreas classificadas quanto ao tipo de superfície em que a vegetação se

encontra. Cada tipo de superfície apresenta um fator de multiplicação que é utilizado em cálculos para definir descontos no imposto urbano.

Perante esse novo modelo de gestão urbana em prol do meio ambiente, Moraes (2008) salienta que preservação, conservação, defesa, melhoria, recuperação, uso sustentável dos recursos naturais e controle do meio ambiente proporciona uma melhora na qualidade de vida dos indivíduos, incentivados pela redução no valor do imposto, com base nas práticas de sustentabilidade. Jahnke, Willani & Araújo (2013) afirmam que:

“o incentivo da redução no valor do imposto pode servir de estímulo para a efetivação da cultura de equilíbrio entre meio ambiente e meio social, que a preservação ambiental se faz necessária para poder alcançar o equilíbrio entre meio ambiente e meio social, não prejudicando o primeiro, mas aliando-o as necessidades do segundo e que deste modo, proporciona-se-à uma melhora na qualidade de sobrevivência de ambos.”

2.5.5 Outros benefícios

Apesar de sua construção estar associada, normalmente, às razões estéticas, diversos autores (VAN WOERT *et al.*, 2005; SNODGRASS & McINTYRE, 2010; LAAR & GRIMME, 2006) destacam outros benefícios, além dos citados acima, advindos da implantação de um telhado verde. Neste contexto, além dos benefícios já citados, destacaram: aumento da vida útil da superfície exposta do telhado (laje), redução nas ilhas de calor, criação de *habitat* para pequenos animais urbanos, e ganho de conforto térmico nos ambientes abaixo das coberturas verdes com consequentes benefícios econômicos gerados pela redução de energia gasta com climatizadores de ambientes. Ferreira & Morruzi (2007) citaram ainda outros benefícios: mitigação da vazão de pico, melhoria da qualidade da água, entre outros.

No que se refere ao aumento da vida útil da superfície exposta do telhado, Snodgrass & McIntyre (2010) explicaram que os efeitos do sol são maiores no topo de uma construção que no nível do terreno e, sendo assim, as plantas e os demais componentes dos telhados verdes contribuem para diminuir a temperatura na laje bem como para reduzir os efeitos degradantes das temperaturas extremas e dos raios ultravioletas sobre a camada de impermeabilização, fundamental para a saúde do telhado.

De acordo com Snodgrass & McIntyre (2010), alguns estudos têm mostrado que o calor extremo é uma das causas da mortalidade associada ao perigo natural nos Estados Unidos e pesquisas sugerem que os telhados verdes, se amplamente implementados, podem ter um impacto significativo nos efeitos das ilhas de calor urbanas.

A criação de *habitats*, com a implementação de telhados verdes, constitui um benefício apresentado por diversos autores, como Snodgrass & McIntyre (2010) e Ferreira & Moruzzi (2007), principalmente quando se consideram insetos e pássaros. Em relação a extensas áreas verdes, essa contribuição é evidente, por outro lado, Snodgrass & McIntyre (2010) destacam que não está claro a contribuição de fragmentos de *habitat*, como é o caso dos telhados verdes, devido aos poucos dados disponíveis.

De acordo com a pesquisa realizada por Van Woert *et al.* (2005) na Universidade de Michigan na cidade de Detroit, os telhados verdes proporcionam a diminuição do consumo de energia por estabelecerem conforto térmico no interior das edificações sob a estrutura implantada, proporcionando decréscimo na temperatura interna dessas construções nas estações de verão e isolamento térmico no inverno. Segundo Velazquez (2005), o desempenho térmico de uma cobertura com telhado verde em comparação com uma tradicional pode ser analisado através das medições do fluxo de energia nos dois sistemas de cobertura, considerando a temperatura do ar, temperatura de superfície do telhado, velocidade e sentido do vento e a umidade relativa do ar. No que se refere à legislação pertinente, a norma brasileira NBR 15220 (ABNT, 2003) prevê que em regiões quentes e secas, a sensação térmica no período do verão pode ser amenizada através da evaporação da água. Sendo assim, o resfriamento evaporativo pode ser obtido através do uso de vegetação, fontes de água ou outros recursos que permitam a evaporação da água no ambiente que se deseja resfriar, promovendo o aumento da umidade do ar.

O ganho de conforto térmico é um dos aspectos mais estudados e discutidos quando se observa os telhados verdes. O processo físico relacionado não é de difícil entendimento: a camada de vegetação do telhado verde funciona como um sistema estratificado de assimilação da radiação solar e proporcionam sombra sobre a construção diminuindo a sua temperatura superficial. Adicionalmente, a filotaxia (distribuição das folhas ao longo do caule da planta) da vegetação escolhida, com folhas intercaladas, e de posições e alturas diferenciadas, captam a incidência solar em níveis diferenciados, fazendo com que a incidência que chega à camada de solo seja minimizada. Além disso, a energia solar recebida pela área foliar é utilizada em funções metabólicas das plantas, que proporcionam o resfriamento de suas estruturas através da evapotranspiração, mas para que esta ocorra eficientemente com elevada taxa transpiracional, a planta precisa estar bem abastecida de água e o ambiente com baixas condições de umidade do ar, para que sejam formados baixos gradientes sobre a área foliar, facilitando a abertura dos estômatos e trocas gasosas entre a planta e o ambiente.

Andrade (2007) afirmou que, em uma cobertura ajardinada, a distância entre as plantas e a densidade da cobertura vegetal são fatores determinantes da atenuação da radiação solar sobre a camada de solo. Logo, o controle do espaçamento entre as plantas pode resultar numa absorção da radiação mais uniforme pela camada de vegetação. De acordo com Wong (2002), em uma análise comparativa quanto à proteção térmica proporcionada por diferentes tipos de coberturas, com plantas (relva, arbustos e árvores), apenas com a camada de solo, e de cobertura com apenas laje tradicional, as coberturas vegetadas foram as que mais apresentaram conforto térmico sob suas instalações.

Ferreira & Moruzzi (2007) sintetizaram as características ambientais dos telhados verdes e convencionais considerando diversos aspectos (Tabela 1), onde se explicita diversos benefícios obtidos com o uso dos telhados verdes. A comparação apresentada pelos autores foi baseada na experiência de Portland (EUA) extraída de Liptan & Strecker (SD *apud* FERREIRA & MORUZZI, 2007).

Tabela 1- Comparação entre as características ambientais do telhado verde e convencional.

Assunto referente à água de chuva	Telhado verde	Telhado convencional
Retenção de volume	10-35% durante a época chuvosa, 65-100% durante a época seca.	Nenhuma
Mitigação da vazão de pico	Redução dos picos de escoamento de chuvas intensas.	Nenhuma
Mitigação da temperatura	Todas as chuvas.	Nenhuma
Melhoria da qualidade da água	Retém a deposição atmosférica e retarda a degradação dos materiais que compõem o telhado, menores volumes menor carreamento de poluentes.	Não
Qualidade do ar	Filtra o ar, previne o aumento de temperatura, armazena carbono.	Nenhuma
Conservação de energia	Isolamento das construções, redução dos impactos das ilhas de calor urbanas.	Nenhuma
Vegetação	Permite evapotranspiração sazonal, promove a fotossíntese, o oxigênio, o balanço hídrico.	Nenhuma
Espaço verde	Realoca espaços verdes perdidos com as edificações, no entanto não equivalente a uma floresta.	Nenhuma
Bônus no zoneamento de área de piso	0,3 m ² de coeficiente de área de pavimento adicional para cada 0,09 m ² de telhado ecológico quando a construção cobrir mais de 60%.	Nenhuma
Redução das taxas de drenagens urbanas	Pode chegar a 45%.	Nenhuma
Aprovado como medida de gestão de água de chuva	Para todas as necessidades atuais das cidades.	Não
Habitat	Para insetos e pássaros.	Nenhuma
Habitabilidade	Amortece ruídos, elimina luzes ofuscantes, alternativa estética, oferece recreação passiva.	Nenhuma
Custos	Altamente variável entre 54-130 US\$/m ² para novas construções e 75-215 US\$/m ² para reforma	Altamente variável: entre 22-107 US\$/m ² para novas construções e 43-161 US\$/m ² para reforma.
Custos compensáveis	Redução dos equipamentos de água de chuva, economia de energia, aumento do valor do aluguel e da propriedade, redução da necessidade do uso de materiais isolantes, redução do volume de esgoto, criação de indústrias e empregos.	Nenhum
Durabilidade	Membrana impermeável protegida da ação da temperatura e da exposição solar dura mais de 36 anos.	Pouca proteção, exposição aos elementos, dura menos de 20 anos.

Fonte: Ferreira & Moruzzi (2007).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Descrição da área de estudo

A estrutura física do projeto foi implantada no Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, cujas coordenadas geográficas são 8°14'18.00" S e 35°55'20.00" O, e que localiza-se na zona rural de Caruaru (Figura 6), região do Estado de Pernambuco (mais precisamente no Agreste Pernambucano). A parte da edificação estudada compreende um telhado com duas águas, sendo que uma das águas foi dividida em três partes aproximadamente iguais. Por simplificação, essas partes serão chamadas nesse trabalho de “telhados”. Sendo assim, foram implantados dois telhados verdes (com vegetações distintas, conforme será melhor explicitado posteriormente) e um telhado convencional (telha cerâmica). Esses três telhados encontram-se instalados sobre distintos ambientes da estrutura física do IPA, e foram implantados entre os anos de 2007 e 2008 (possui cerca de 6 anos) e durante este período foram desenvolvidos os projetos “Estimativa do Balanço Hídrico para determinação do Telhado Verde como superfície de controle” e “Manejo Sustentável de Águas Pluviais Urbanas”, com fomento do seguintes órgãos, respectivamente: Propesq/UFPE e MCT/Finep, conforme explicitado por Santos *et al.* (2009).

Figura 6- Mapa do estado de Pernambuco (em contorno amarelo), com destaque para a localização do município de Caruaru.



Fonte: Adaptado de Google Earth.

De acordo com os resultados do censo do IBGE (2010), o município de Caruaru conta com 314.951 habitantes, estando 36.853 em zona rural, e a grande maioria 278.098, situados na zona urbana do município. Situado na região do agreste, a 130 km de distância de Recife (capital de Pernambuco), Caruaru consta de uma área de 921 km², e encontra-se na área

geográfica de abrangência do semiárido brasileiro, por apresentar índice pluviométrico abaixo de 800 mm, risco de seca maior que 60% e taxa de aridez de até 0,5 (MEDEIROS et al. 2012).

O relevo da região apresenta-se de forma suave ondulado, com solo argiloso/pedregoso, com altitude média por volta de 550 m acima do nível do mar, relevo característico do Planalto da Borborema, unidade geoambiental na qual o município de Caruaru se encontra. O clima é semiárido, com temperatura média anual de 24°C (FIDEM, 2003), e precipitação média anual de cerca de 634 mm, com períodos chuvosos mais presentes nos meses de abril a julho (SOUZA, 2006), podendo ocorrer precipitações atípicas que chegam a ultrapassar 1.000 mm, (MOURA et al. 2007).

Do ponto de vista das características pluviométricas da região, Tucci (2001) define esse regime pluviométrico como sendo de baixas precipitações, porém com chuvas concentradas em parte restrita do ano; informação que está em conformidade com o que já foi mencionado anteriormente. Nesse mesmo período, os centros urbanos acabam tornando-se passíveis de ocorrência de inundações e alagamentos que culminam em trazer prejuízos diversos à população.

O bioma dominante na região é a caatinga, com vegetação hipoxerófila (PRADO, 2003) constituída de espécies subcaducifólica e caducifólica, existem ainda na região espécimes de floresta tropical (mata atlântica subperenifólia) em áreas de altitude superior a 700 m que fazem divisa com a microrregião do Brejo Pernambucano. Na Tabela 2 encontra-se um sucinto inventário de espécies da flora encontradas no município de Caruaru.

Tabela 2- Exemplares da flora do bioma Caatinga.

Nome Popular	Família	Espécie
Juazeiro	Rhamnaceae	<i>Ziziphus joazeiro</i>
Algaroba	Fabaceae	<i>Prosopis juliflora</i>
Baraúna	Anacardiaceae	<i>Schinopsis brasiliensis</i>
Imburana	Burseraceae	<i>Commiphora leptophloeos</i>
Marmeleiro	Euphorbiaceae	<i>Croton sonderianus</i>
Macambira	Bromeliaceae	<i>Bromelia laciniosa</i>
Jurema-preta	Mimosaceae	<i>Mimosa hostilis</i>
Facheiro		<i>Pilosocereus pachycladus</i>
Xique-xique	Cactaceae	<i>Pilosocereus gounellei</i>
Mandacaru		<i>Cereus jamacaru</i>
Coroa-de-Frade		<i>Melocactus zehntneri</i>
Palmatória		<i>Tacinga palmadora</i>

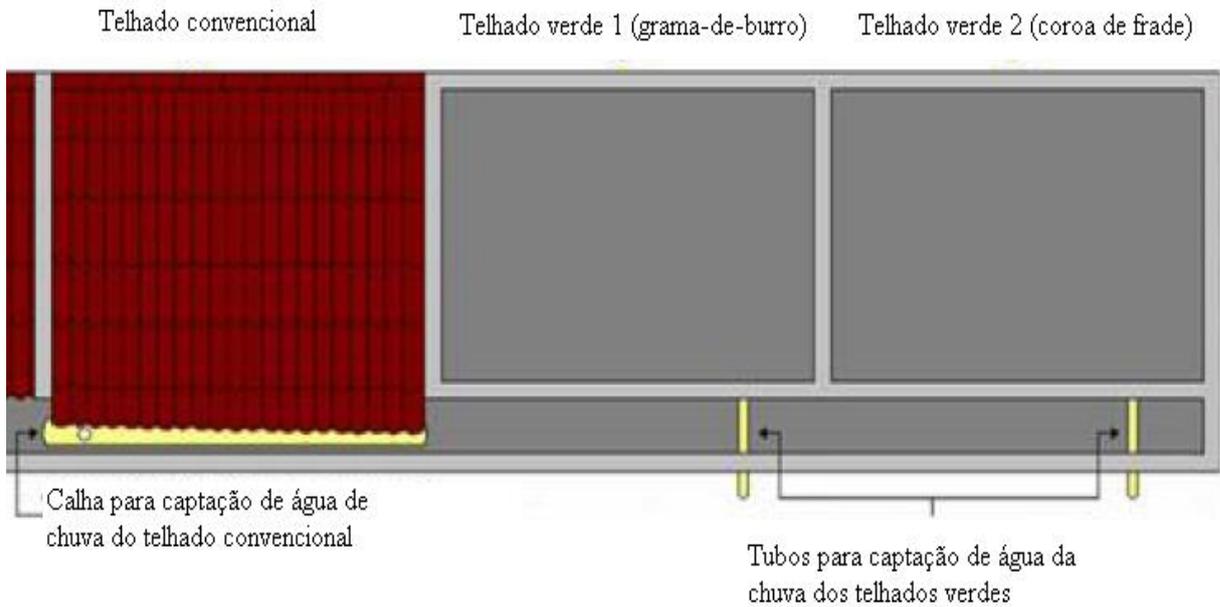
Com o crescimento populacional e avanço da urbanização, grande parte dessa vegetação de caatinga hipoxerófila foi devastada para criação de áreas para pastagens e fazendas agrícolas, bem como para a produção de lenha para uso doméstico e industrial. Deste modo, grande número de espécies nativas se encontra na lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção do Ministério do Meio Ambiente, segundo a Instrução Normativa Nº 6, de 23 de setembro de 2008 (MMA, 2008). Segundo o MMA (2002), a Caatinga é um dos biomas brasileiros mais alterados pelas atividades humanas. É nesta região, por exemplo, que estão localizadas as maiores áreas brasileiras que passam hoje por processo de desertificação. Estas áreas são regiões de clima semiárido e estendem-se por grande parte da região nordeste e norte do Estado de Minas Gerais, que sofrem além da escassez hídrica com o desconforto térmico. Estando a cidade de Caruaru localizada nessa região e considerando sua proximidade com o campus da UFPE optou-se pela realização da pesquisa nessa localidade. Sendo assim, justifica-se o uso de telhados verdes nesse cenário por sua contribuição, na área urbana como um dispositivo que auxilie no conforto térmico das edificações e por servir, também, como uma extensão da terra destinada ao plantio nas residências, que pode ter, inclusive, finalidades agrícolas de consumo e comercialização.

3.2 Descrição da estrutura existente e ações de recuperação

A estrutura utilizada nesta pesquisa foi implantada em projetos anteriores e compreende três telhados (Figura 7): o tradicional, composto por telha cerâmica (telhado controle), com 220 cm x 213 cm, e dois telhados verdes, com as dimensões de 195 cm x 223 cm (telhado verde 1) e 195 cm x 177 cm (telhado verde 2).

As vegetações encontradas nos telhados verdes, no início desta pesquisa, são as mesmas do projeto original e foram plantadas em meados de 2008. No caso do telhado verde 1, estava plantado a espécie Grama-de-Burro (*Cynodon dactylon*) e no telhado verde 2, estava plantado a espécie Coroa-de-Frade (*Melocactus zehntneri*), Figura 8.

Figura 7- Esquema dos telhados implantados no IPA em Caruaru.



Fonte: Santos *et al.* (2009).

Figura 8- Vegetação utilizada nos telhados verdes.

(a) Grama-de-Burro (*Cynodon dactylon*).



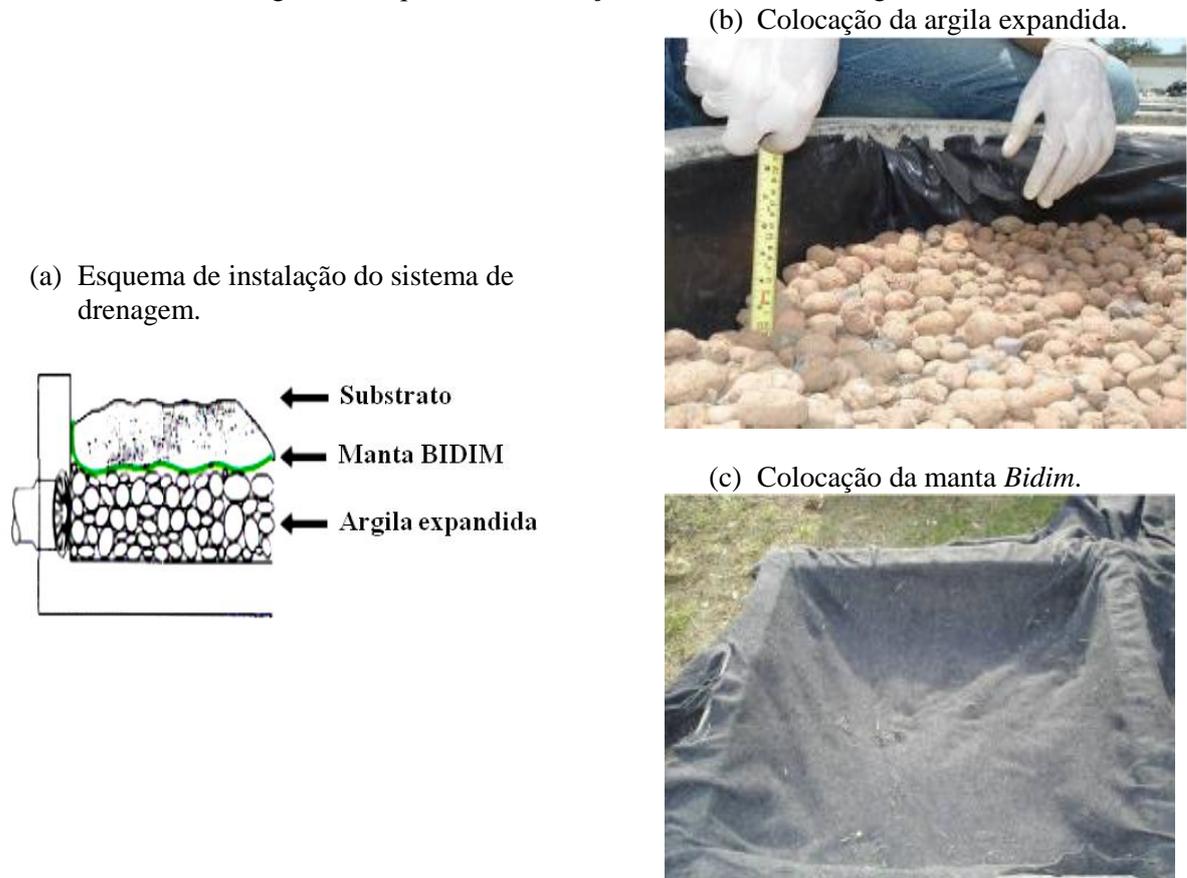
(b) Coroa-de-Frade (*Melocactus zehntneri*).



Os componentes encontrados na estrutura, sobre a laje já impermeabilizada, dos dois telhados verdes utilizados por pesquisas anteriores seguem na sequência descrita na Figura 9a. Em ambos os telhados verdes utilizou-se argila expandida (Figura 9b), que é um agregado leve, como material drenante para remoção dos excessos de água das superfícies e do subsolo, e a separação entre o solo e a camada drenante foi possível com o uso de manta *Bidim Drennage* (PRODUTO RT 07), Figura 9c, que impede a passagem dos grãos sólidos do substrato para a camada de drenagem, conforme metodologia descrita por Santos *et al.* (2009). Segundo os autores, a camada de substrato tem 10 cm de espessura e é constituída de

uma mistura que tem como base a terra vegetal (substrato propriamente dito, para fornecimento de nutrientes) e acima desta camada encontram-se as duas espécies vegetais.

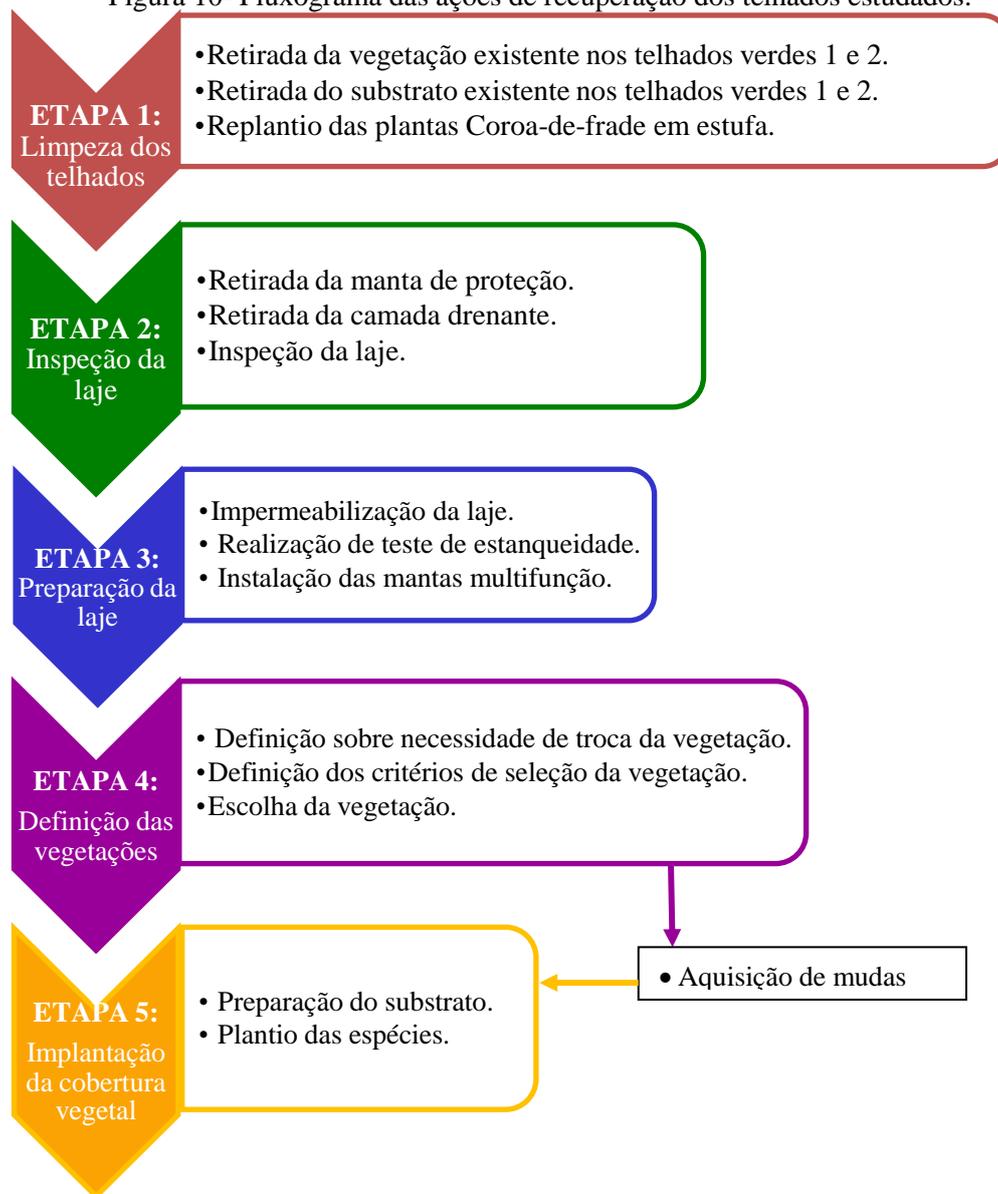
Figura 9- Esquema de instalação do sistema de drenagem.



Fonte: Santos *et al.* (2009)

Como etapa preliminar às medições, foi realizada uma investigação da situação estrutural do objeto de pesquisa (edificação), em que foram identificadas algumas patologias que precisaram ser imediatamente sanadas. Na Figura 10 apresenta-se um fluxograma com a sequência de ações de recuperação dos telhados que foram realizadas nesta etapa e estão descritas sucintamente a seguir.

Figura 10- Fluxograma das ações de recuperação dos telhados estudados.



Os períodos de realização de cada etapa foram os seguintes: etapas 1, 2 e 3- ocorreram entre os meses de abril a setembro do ano de 2012; etapa 4- outubro e novembro de 2012; etapa 5- final de novembro e janeiro de 2013. Cada etapa é descrita a seguir.

Na Etapa 1, limpeza dos telhados, foi retirada toda vegetação existente (Figura 11), bem como o substrato, para serem substituídos por nova vegetação e nova camada de solo. No que se refere ao telhado verde 1 com Grama-de-Burro (*Cynodon dactylon*), toda a vegetação retirada foi descartada, visto que 100% estava morta, Figura 11a, ou populada pela espécie *Portulaca oleracea* (Figura 12), popularmente conhecida como Beldoeira, planta medicinal que apresenta boas características relacionadas à resistência climática e à capacidade de

retenção hídrica, sendo uma espécie suculenta e, portanto, possível alternativa para futuras camadas de vegetação dos telhados verdes.

Em estudos acerca de vegetações para telhados verdes extensivos, Laar (2001) destaca a *Portulaca grandiflora*, outra espécie do mesmo gênero citado anteriormente, como uma planta bastante resistente a climas tropicais. No telhado verde com Coroa-de-Frade (*Melocactus zehntneri*), cerca de 10 exemplares foram descartados por se apresentarem em estado de decomposição ou infestado por fungos, Figura 11b, e os demais, por estarem em bom estado, foram replantados em estufa (Figura 13) para posterior reaproveitamento dos exemplares na nova camada de vegetação, a ser colocada após a conclusão de todas as ações de recuperação dos telhados.

Figura 11- Vegetação existente nos telhados verdes em estado de decomposição.

a) Grama-de-Burro (*Cynodon dactylon*)



b) Coroa-de-Frade (*Melocactus zehntneri*).



Figura 12- Vegetação invasora encontrada no telhado verde, *Portulaca oleracea*.



Fonte: <http://www.ansci.cornell.edu/plants/medicinal/portula.html>

Figura 13- Etapas do replantio dos exemplares de Coroa-de-Frade.

(a) Retirada das espécies em bom estado.



(b) Balde para transporte das espécies.



(c) Retirada das espécies do telhado.



(d) Replântio na estufa.



(e) Sistema de irrigação.



(f) Exemplar replantado na estufa.



Na Etapa 2 foi realizada a preparação da laje e o reparo das camadas da estrutura dos telhados verdes, que compreendeu a retirada da manta e da camada de drenagem (Figura 14) e inspeção da situação da laje.

Figura 14- Retirada da manta e da camada de drenagem dos telhados verdes.



Com a retirada da manta de drenagem foi possível observar que esta apresentava diversos furos, alguns, inclusive, chegavam a medir 5 a 6 cm de diâmetro (Figura 15). Além disso, observou-se um grande comprometimento da manta quanto à sua função de filtragem devido ao entupimento dos poros da mesma pela grande concentração de raízes da camada de vegetação (Figura 16). Diante disto, é evidente a necessidade de cuidadosa investigação sobre o tipo de planta que será adotada em função da ação do seu sistema radicular para evitar situações como estas que comprometem o adequado funcionamento do sistema.

Figura 15- Situação da manta de filtragem retirada dos telhados verdes.

(a) Substrato, argila expandida.



(b) Manta retirada com furos.



Figura 16- Situação da manta filtrante retirada dos telhados verdes.
 (a) Perfuração pelas raízes. (b) Furos e invasão pelas raízes.



As raízes da vegetação utilizada estavam ultrapassando a camada de proteção e atingindo a laje da construção provocando fissuras na camada impermeabilizante da mesma. Na camada drenante, além da argila expandida, verificou-se a presença de grande quantidade de areia, provavelmente oriunda da camada de substrato, e a presença de alguns aracnídeos de grande porte como a *Lasiadora SP* (Figura 17).

Figura 17- Aracnídeo encontrado na camada drenante: *Lasiadora sp.*



Com a retirada de toda a camada que estava sobre a laje foi possível realizar a inspeção da mesma em busca da origem dos problemas observados de infiltração. Neste momento, verificou-se a ocorrência de fissuras e trincas, Figura 18a, nas proximidades das muretas de delimitação da área de captação. No momento da inspeção, verificou-se a ocorrência de algumas fissuras, sendo que a de maior porte foi da ordem de 1,30 m, ao longo do comprimento em cada laje dos telhados verdes em estudo (Figura 18b), bem como as pequenas fissuras próximas aos canos de drenagem.

Figura 18- Situação da laje.

(a) Fissura, de poucos centímetros, verificada próxima à uma das muretas de contenção.



(b) Fissura de maior porte, com cerca de 1,30 m de extensão.



A Etapa 3 foi destinada à preparação da laje para recebimento do substrato e da vegetação, sendo realizada, neste momento, nova impermeabilização e a instalação de mantas multifuncionais. As fissuras e trincas observadas na laje foram reparadas com argamassa, Figura 19a e 19b, sendo toda a laje impermeabilizada com um revestimento impermeável da marca Vedacit, do tipo Vedajá, específico para uso contra infiltrações, Figura 19c. Na junção do cano de drenagem com a parede da mureta, além da utilização da argamassa e do revestimento, também foi utilizado massa epóxi visando garantir maior vedação nesta área.

Para assegurar que as ações de impermeabilização atendiam satisfatoriamente às necessidades da estrutura implantada, foi realizado um teste de estanqueidade, conforme a NBR 15.575-3 que estabelece que a superfície da face inferior e os encontros com as paredes e pisos adjacentes devem permanecer secos quando submetidos a uma lâmina d'água de no mínimo 10 mm em seu ponto mais alto, durante 72 horas. Após este período, verificou-se o reaparecimento das fissuras de maior porte, Figura 19d, tendo-se optado, então, pelo uso de um adesivo estrutural à base de resina epóxi de média viscosidade da marca Sika, do tipo Sikadur, Figura 20. Como esse adesivo estrutural é fluido, verificou-se que o mesmo apresentou maior penetração e preenchimento das fissuras.

Figura 19- Impermeabilização da laje.

(a) Aplicação de argamassa diretamente sobre a laje.



(b) Acabamento da argamassa aplicada.



(c) Aplicação de revestimento impermeável sobre a camada de argamassa.



(d) Fissuras ressurgidas após o 1º teste de estanqueidade.



Figura 20- Aplicação do adesivo estrutural nas trincas e fissuras.

(a) Ao longo da fissura de maior porte.



(b) Nas junções das muretas de delimitação.



As mantas utilizadas nesta pesquisa diferem das que foram utilizadas anteriormente, pois estas além de impedir a passagem dos resíduos finos, também realizam a função de camada drenante. Deste modo, foi empregada a manta específica para jardins suspensos da marca Maccaferri, do tipo *MacDrain* (Figura 21a), que, segundo o fabricante, compreende um elemento geocomposto capaz de realizar três funções: drenante, pois capta e conduz as águas de infiltração/percolação; filtrante, uma vez que impede o carreamento das partículas de solo/substrato; e coletor, pois conduz a água drenada para a saída do sistema, que neste caso compreende o conjunto ducto-calha que conduz a água para o tonel de armazenamento. Devido às suas dimensões (9,80 m de comprimento x 0,90 m de largura), Figura 21b, para preencher toda a área da laje de cada um dos telhados verdes, foi necessário cortar a manta em dimensões reais de corte para garantir um perfeito ajuste. Neste momento, tomou-se cuidado para que as partes recortadas mantivessem uma faixa de 0,10 m de largura nas laterais, Figura 22, apenas da parte filtrante da manta, possibilitando assim, que posteriormente, estas fossem coladas em sobreposição ou coladas à mureta do telhado verde para fixação das mesmas. O comprimento longitudinal foi sempre variável, dependendo da região da laje onde seria colada a manta.

Figura 21- Manta MacDrain.

(a) Recorte da manta.

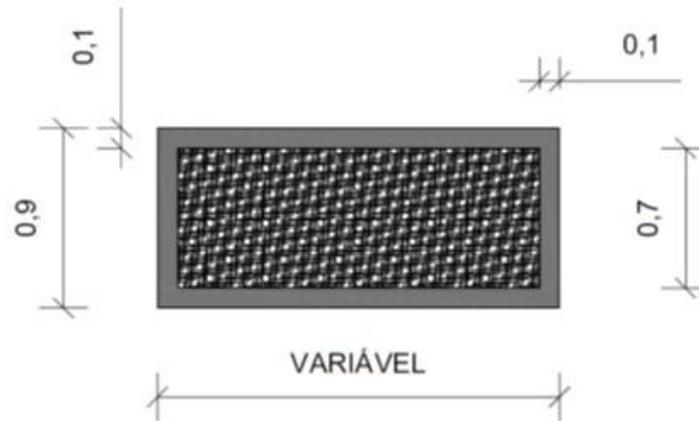


(b) Manta aberta ao longo do comprimento.



Fonte: <http://www.maccaferri.com.br/>.

Figura 22- Esquema de corte da manta, com borda de camada filtrante de 0,10 m nas laterais da manta, após retirada de parte da camada drenante (valores em m).



A colagem das partes da manta, entre si, foi realizada com cola de silicone aplicada em pistolas de cola quente e a colagem das mesmas na laje foi realizada com cola fórmica (Figura 23a). A Figura 23b mostra a colagem de cada parte da manta, recortada e sobreposta. Nas quinas das muretas dos telhados, para não cortar a manta e criar um ponto vulnerável à infiltração, foi recortada parte da camada drenante, e a parte filtrante foi dobrada e colada sobreposta, como mostrado na Figura 24.

Figura 23- Fixação da manta nas áreas já impermeabilizadas dos telhados verdes.

a) Colagem da manta nas muretas.



b) Esquema de sobreposição das mantas na laje, medidas em m.

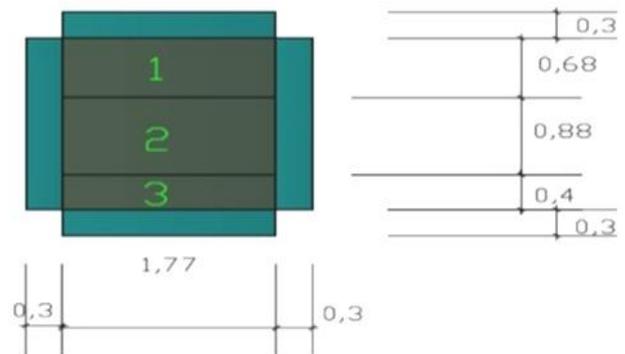


Figura 24- Corte e colagem da manta.

(a) Corte de parte da camada drenante nas
quinas da manta.



(b) Manta finalizada.



(c) Colagem da manta na laje com dobradura
da camada filtrante da quina.



(d) Colagem da camada filtrante dobrada da
quina.



Considerando que a espécie plantada anteriormente em um dos telhados verdes, Grama-de-Burro, não resistiu ao último período de estiagem ocorrido no início desta pesquisa, optou-se por utilizar uma nova espécie no lugar desta. Por outro lado, como as mudas do cacto Coroa-de-Frade apresentaram um bom desenvolvimento no tratamento realizado na estufa, optou-se por mantê-la como uma das espécies a serem utilizadas. Daí, a Etapa 4 foi destinada à definição da nova espécie a ser plantada. Os critérios adotados na definição da espécie estão descritos no próximo item.

Com a Etapa 5 foram concluídas as ações de recuperação dos telhados, tendo sido realizada a aquisição das mudas, a preparação do substrato (areia, argila e húmus/esterco) e aplicação dos mesmos sobre os telhados já impermeabilizados e com as devidas mantas. As camadas de substrato foram preparadas utilizando fertilizantes diferentes para cada cobertura ajardinada para possibilitar a avaliação da influência desses na qualidade da água escoada

pelos telhados verdes. Deste modo, foi utilizada areia e argila para ambos os telhados, sendo que no telhado com Coroa-de-Frade o fertilizante utilizado foi uma mistura de terra preparada com esterco bovino.

3.3 Definição de critérios de seleção e manutenção da vegetação

O município de Caruaru apresenta um clima semiárido seco, com chuvas escassas, irregulares e mal distribuídas, deste modo é de grande importância que a vegetação seja capaz de suportar e se adaptar ao clima da região, sem necessitar de grandes atividades de manutenção. No contexto em que se insere esta pesquisa, adéqua-se satisfatoriamente a afirmação de Heneine (2008) sobre as características das vegetações a serem empregadas na aplicação dessa tecnologia. Segundo a autora, as variedades adequadas de plantas são aquelas que crescem em severas localizações com pouca umidade e suprimentos de nutrientes, como ambientes de montanha seca, costas, semidesertos ou secos prados. A autora diz ainda que as principais variedades que se adéquam a estas características são aquelas pertencentes à família das suculentas.

Como foi possível utilizar as mudas de cacto cultivadas na estufa, foi necessário apenas definir a vegetação a ser plantada no telhado verde 1, onde anteriormente foi vegetado por Grama-de-Burro. No caso do cacto (*Melocactus zehntneri*), as características positivas que mantiveram a opção de seu uso foram: boa adaptação ao clima, mesmo sujeito à escassez de água, e boa retenção hídrica, como apresentado por Farias (2012), além de ser uma espécie bastante comercializada nas feiras locais e empresas de jardinagem.

Como 100% da Grama-de-Burro, plantada originalmente no primeiro telhado verde não resistiu ao extenso período de estiagem, optou-se por utilizar, neste caso, outra vegetação mais resistente. Desta forma, seguiu-se com a definição dos critérios de seleção da vegetação que, após a realização de pesquisa na literatura científica e com base em conhecimentos técnicos, esses critérios ficaram assim definidos: popularidade (espécie de fácil localização), resistência e adaptação ao clima local (poder suportar longos períodos de seca sem a necessidade de rega), capacidade de absorção de água (potencializando a característica de retenção hídrica do telhado verde) e potencial de comercialização (podendo ser fonte de renda aos moradores). Neste último critério foi realizada pesquisa, através de entrevista, junto às sementeiras, feiras populares locais e lojas de comercialização de plantas.

Desta forma, após as comparações entre diversos gêneros e espécies, optou-se pelo emprego de um gênero da família Liliaceae (*Aloe*) e por manter o da família Cactaceae

(*Melocactus*), Figura 25a e Figura 25b, respectivamente. A nova vegetação escolhida, a *Aloe vera* (Babosa), é uma planta suculenta e medicinal, e apresenta boas características de resistência ao clima, capacidade de retenção hídrica e comercialização. Logo, ambas as espécimes citadas apresentam grande adaptação a ambientes de clima seco e com pouca disponibilidade de água.

Figura 25- Espécies pré-selecionadas para plantio nos telhados verdes.

(a) *Aloe vera*.



(b) *Melocactus zehntneri*.



Fonte: Porse (2006).

A *Aloe vera* é uma espécie bastante resistente a climas secos e tem grande cunho econômico, sendo que há muitos anos vem sendo utilizada por indústrias de cosméticos, alimentos e medicamentos fitoterápicos. O cacto *Melocactus zehntneri*, espécie nativa de regiões de clima seco como a Caatinga, além de usado na medicina popular, também tem seu valor econômico como planta ornamental. Além disso, ambas as espécies citadas são resistentes ao estresse hídrico recuperando-se facilmente dos períodos de seca, e apresentam boa retenção da água escoada pelos telhados, visto que estas têm capacidade de armazenar muita quantidade de água em sua anatomia.

Segundo Almeida & Albuquerque (2002), a Babosa (*Aloe*) e o cacto Coroa-de-Frade (*Melocactus*) são algumas das plantas fitoterápicas mais comercializadas na feira de Caruaru que está situada geograficamente em uma área que atrai pessoas de mais de 30 municípios, fazendo dessa feira um grande pólo de distribuição de diversas plantas medicinais, inclusive as citadas. Segundo os autores, as barracas de venda de plantas medicinais representam 1/3 do total das barracas de alimentos da feira de Caruaru, sendo comercializado um total de 114 espécies diferentes de plantas medicinais que, em sua grande maioria, foram extraídas de

populações naturais do ecossistema da região semiárida. Sendo assim, pode-se esperar uma tendência ao declínio dessas espécies no ambiente natural, daí ser necessário preocupar-se com a conservação dessas plantas de importância econômica e fitoterápica para a população de Caruaru e cidades vizinhas.

Visando evitar a extração de espécimes da vegetação local, foi utilizada a estufa existente dentro das instalações do IPA, Figura 26, para manutenção de canteiros de mudas das espécies escolhidas e replantio sempre que necessário. No que se refere à preparação do substrato, assim como realizado para o telhado com cacto, utilizou-se uma combinação de areia e argila, sendo que, neste caso, foi utilizado, adicionalmente, húmus de minhoca como fertilizante. As mudas de *Aloe vera* utilizadas no projeto foram doadas por uma família da cidade de Gravatá – PE. Na Figura 27 apresenta-se as vegetações plantadas nos dois telhados verdes.

Figura 26- Estufa existente no Instituto de Pesquisas Agropecuárias (Caruaru-PE).
(a) Localização em relação aos telhados verdes. (b) Vista frontal da estufa.



Após o plantio da nova camada de vegetação sobre os telhados, estes foram regados semanalmente, Figura 28, com utilização de uma mangueira de jardim conectada a uma torneira das instalações do IPA, para garantir a “pega” e sobrevivência das espécimes visto que o plantio fora realizado em dezembro de 2012, época de grande estiagem no local de estudo.

Apesar dos exemplares de Babosa apresentarem coloração verde (característica da clorofila presente nos cloroplastos responsáveis pela fotossíntese) no momento do plantio, ao longo do período de rega as mesmas se encontravam com coloração escura, folhas delgadas e aparência de morta, mas, essa coloração escura nas folhas da Babosa é um mecanismo natural de adaptação e sobrevivência a climas secos e se deve a uma camada de cera, para proteção, que recobre a área foliar sobre os estômatos diminuindo desta forma a taxa transpiracional da

planta, decaindo seu metabolismo, evitando a perda excessiva de água, garantindo portanto sua sobrevivência durante a época de estiagem.

Figura 27- Plantio das vegetações.

(a) Vegetação Babosa.



(b) Vegetação Cacto Coroa-de-Frade.



No mês de maio 2013, com o início das chuvas, os exemplares de Babosa perderam a camada de cera que recobria as folhas, deixando os estômatos livres para retomar as atividades de trocas gasosas com o meio, voltando ao metabolismo normal das plantas, e tornando as folhas verdes e turgidas (Figura 29) pela capacidade que têm em armazenar água na sua anatomia foliar.

Figura 28- Rega das vegetações no período seco.

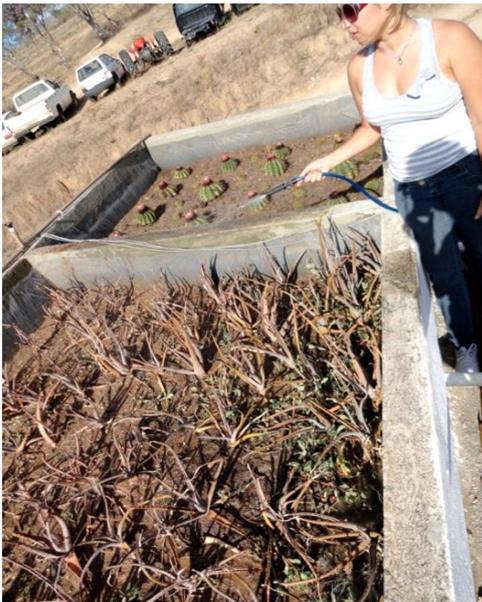


Figura 29- Babosa no período chuvoso.



Juntamente com o início das chuvas, apareceram também diversos exemplares de plantas invasoras nos telhados verdes, resultando na necessidade de retirada dessas espécies invasoras, Figura 30a e 30b, para que fosse possível garantir a nulidade de concorrência por nutrientes e água das invasoras com as espécies escolhidas para a pesquisa. Após a retirada das espécies invasoras é possível visualizar os telhados verdes prontos para funcionamento, Figura 30c. Essa atividade de manutenção foi repetida sempre que necessário, tendo sido realizadas, durante o período de realização desta pesquisa, três podas das espécies invasoras, uma a cada mês do período analisado.

Figura 30- Plantio concluído dos telhados verdes.

(a) Com a presença de plantas invasoras.



(b) Retirada das plantas invasoras.



(c) Telhados verdes finalizados.



3.4 Aquisição das variáveis hidrológicas

Os dados climáticos utilizados nesse estudo foram obtidos do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, que disponibiliza os dados obtidos do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados. O Sistema de

Coleta de Dados é constituído pela constelação de satélites e pelas diversas redes de plataformas de coleta de dados espalhadas pelo território nacional. No estado de Pernambuco existem 34 plataformas ativas e em funcionamento, dentre elas a Plataforma de Coleta de Dados – PCD, Figura 31, localizada em Caruaru dentro da área de atuação do IPA e nas proximidades da edificação onde estão implantados os telhados verdes estudados nesta pesquisa.

Figura 31- Plataforma de coleta de dados localizada no IPA, em Caruaru.

(a) Vista completa dos sensores.



(b) Detalhe da identificação.



A PCD compreende vários sensores, entre eles: sensor ultrassônico de vento, sensores de temperatura e umidade relativa do ar, sensores de radiação solar global e de radiação fotossintética ativa, sensor de precipitação ou pluviômetro, sensor de pressão atmosférica ou barômetro, sensor de radiação total líquida ou saldo radiômetro, sensor de temperatura do solo e sensor de fluxo de calor no solo (INPE, 2012). Desses parâmetros, estão sendo observados e analisados continuamente: temperatura do ar, temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar, umidade relativa do ar e precipitação, cujas características de armazenamento dos dados estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3- Características dos parâmetros obtidos da PCD do INPE localizada em Caruaru.

Parâmetro	Unidade	Descrição
Temperatura do ar	°C	Valor instantâneo a cada 3 h.
Temperatura máxima do ar		Valor máximo - últimas 24 h, amostragem a cada 1 minuto.
Temperatura mínima do ar		Valor mínimo - últimas 24 h, amostragem a cada 1 minuto.
Umidade relativa do ar	%	Valor instantâneo a cada 3 h.
Precipitação acumulada	Mm	Valor acumulado mensal a cada 3 h*

* Zera o acumulado automaticamente no dia 01 de cada mês.

Fonte: Santos *et al.* (2009).

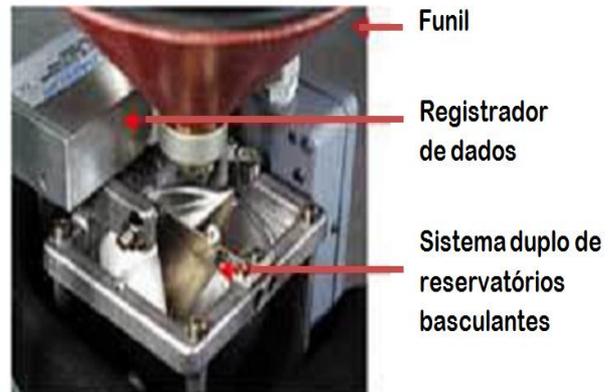
Na coleta dos dados climatológicos, segundo Santos *et al.* (2009), a PCD do INPE faz uso dos seguintes sensores:

- Sensores de temperatura e umidade relativa do ar: localizados dentro de um único invólucro, o qual garante que ambos estejam amostrando nas mesmas condições e protegidos contra poeira e água. Para evitar exposição direta dos elementos sensores à chuva e aos raios solares e também garantir que os mesmos recebam adequada ventilação para permitir o equilíbrio com a atmosfera a sua volta, o conjunto é protegido por uma espécie de chapéu que pode ser de plástico ou alumínio (Figura 32a). O elemento sensor de temperatura do ar é um resistor de platina que possui uma relação bem calibrada e estável entre resistência elétrica e temperatura. O elemento sensor de umidade relativa do ar é um filme higroscópico posicionado entre dois eletrodos, constituindo um capacitor. A capacitância depende da umidade absorvida pelo filme higroscópico (o dielétrico do capacitor) e representa a umidade relativa do ar. A capacitância medida é convertida numa tensão contínua com correção automática para a temperatura. A saída de tensão é 0,0 Volt para 0% de umidade relativa e 1,0 Volt para 100% de umidade relativa.
- Sensor de precipitação ou pluviômetro: constituído de um pluviômetro de balança (Figura 32b), que consiste de um funil com 200 mm de diâmetro de abertura o qual recolhe a chuva e a encaminha para um sistema de balanças alternadas que é constituído de uma haste apoiada em seu centro com conchas nas extremidades. Quando a quantidade de chuva acumulada em uma balança ou concha atinge 0,25 mm, o peso desta quantidade de líquido aciona o mecanismo, fechando um relé magnético, descartando o líquido e preparando a outra balança ou concha para receber nova quantidade de líquido. O fechamento do relé magnético produz um pulso que é encaminhado a uma entrada contadora de pulsos da PCD que é programada para reportar a precipitação acumulada na unidade apropriada. A capacidade do pluviômetro é ilimitada, pois o líquido é descartado imediatamente após a medida. O pluviômetro possui um “nível de bolha” em sua base que é utilizado para o correto nivelamento do instrumento.

Os dados dos sensores listados acima e disponibilizados pelo INPE não foram submetidos a nenhum tipo de tratamento.

Figura 32- Sensores da PCD do INPE localizada em Caruaru.

(a) Sensor de umidade e temperatura do ar. (b) Pluviógrafo de balança.



Fonte: Adaptado de Santos *et al.* (2009).

3.5 Determinação do volume escoado dos telhados

As atividades de reforma dos telhados e o longo período de estiagem no local de estudo, inviabilizou a realização das atividades do projeto por um longo período, promovendo grande atraso no início das análises, deste modo as coletas só tiveram início no mês de maio de 2013, início do período chuvoso da região, e foram realizadas até julho de 2013, resultando em um total de 11 (onze) coletas, que foram realizadas semanalmente.

Para investigação da capacidade de retenção dos telhados verdes com respectiva coleta de amostras para análises laboratoriais, foi implantado junto aos telhados estudados um sistema receptor do percolado, Figura 33a, composto das seguintes unidades:

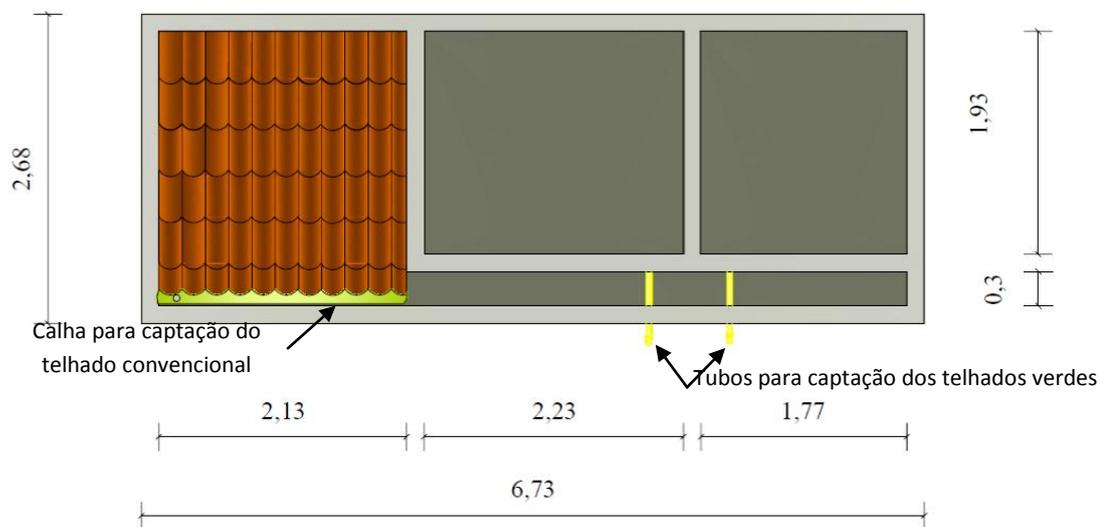
- 1) Área de captação: composta pelos telhados independentes, em que a água coletada em cada telhado não se mistura e é direcionada para seus respectivos tonéis de armazenamento.
- 2) Calhas e tubos coletores: utilizados para direcionar a água coletada de cada telhado aos condutos verticais que conduzem a mesma para o respectivo tonel.
- 3) Tonéis: com capacidade volumétrica de 240 L para armazenamento da água escoada dos telhados.

A Figura 33b mostra um esquema geral em vista superior de funcionamento do sistema de captação.

Figura 33- Sistema de captação e armazenamento dos telhados verdes e telhado controle.
a) Identificação das partes do sistema de captação e dos reservatórios de água.



b) Esquema, em vista superior, do sistema de captação. Dimensões em metros.



A capacidade de retenção dos telhados verdes foi avaliada a partir dos montantes escoados das três estruturas instaladas (os dois telhados verdes e o telhado controle) com o volume real precipitado, que segundo a Equação 4 citada anteriormente, irá resultar no volume que ficou retido pelo telhado, diminuindo a quantidade de água de chuva que chegará aos dutos de drenagem urbana. Os volumes precipitados foram obtidos a partir dos medidores de precipitação instalados do INPE e os volumes escoados pelos telhados foram estimados pelos respectivos volumes armazenados nos tonéis. É importante ressaltar que não foi

identificado do volume de água que não escoou para os tonéis, qual a proporção relativa a evapotranspiração, bem como o teor de umidade do solo.

3.6 Determinação dos parâmetros de qualidade d'água

3.6.1 Análise da água da chuva

Foram realizadas coletas de água de chuva para avaliação da qualidade da água dentro do sistema telhados verde e controle. Dessa forma, caracterizou-se qualitativamente as águas de chuvas da região (entrada nos sistemas), águas percoladas pelo sistema telhados verdes (saída dos sistemas de telhados verdes) e águas escoadas pelo telhado controle (saída do sistema de telhado controle). Isto foi feito porque é esperado que alguns parâmetros da água de chuva resultem em valores baixos, ou mesmo nulos, e com a percolação ou escoamento, a qualidade da água provavelmente será modificada.

Durante o período do experimento foram realizadas três coletas de água de chuva em períodos não igualmente espaçados. Todas as análises foram realizadas em triplicata para maior precisão dos valores obtidos. Desta forma as coletas foram realizadas nos dias 03/06, 04/07 e 12/07.

Para realização das coletas de água de chuva, nas três ocasiões, foi utilizado um frasco de coletas com capacidade para 2 L, que foi adaptado, com um funil, para melhor captar a água da chuva, e este conjunto (frasco + funil) foi colocado próximo às instalações dos telhados em estudo. Tanto os frascos quanto os funis foram envolvidos em papel alumínio, autoclavados e devidamente guardados em estufa fechada para evitar contaminação dos frascos e, conseqüentemente, das amostras. Estes procedimentos foram previamente tomados, para que se pudesse aproveitar os eventos de chuva que poderiam ocorrer a qualquer momento.

No momento das coletas, os frascos e os funis foram retirados da estufa, abertos e colocados dentro de uma bacia plástica devidamente esterilizada com álcool, a concentração 70%. A bacia foi adotada para que se pudesse isolar os frascos dos respingos do chão, coletando assim, unicamente a água da chuva.

Após a coleta, as amostras foram transportadas aos laboratórios de Engenharia Ambiental (LEA) e Química (LQ), localizados no Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco (CAA/UFPE), para realização das análises de qualidade da água (físico-químicas e bacteriológicas). As metodologias utilizadas para análise de parâmetros físico-químicos seguem apresentadas na Tabela 4 (análises *in loco* e de bancada) e

Tabela 5 (*kits*). Não foram realizadas análises microbiológicas para a água de chuva, visto que em investigações preliminares não foi encontrado nenhum microrganismo nesta água, apenas fragmentos vegetais e pequenas partículas que compõe a poeira, provindas da lavagem da atmosfera.

Tabela 4- Parâmetros analisados nas amostras de água de chuva; de percolado captadas pelos telhados verdes e controle; e do percolado por cada parcela do substrato separadamente.

Parâmetro	Precisão	Equipamento/Técnica	Informações sobre a determinação
Oxigênio dissolvido	+/- 0,01	Sonda multiparâmetro (Modelo HI9828 – Hanna Instruments)	Determinação <i>in loco</i>
Temperatura	+/- 0,01°C		
pH	+/- 0,01 mg.L ⁻¹		
Condutividade elétrica	+/- 0,01 mg.L ⁻¹		
Salinidade	+/-1 µS/cm		
Turbidez	+/- 0,01 NTU	Turbidímetro (Modelo 98703 – Hanna Instruments)	
Cor (aparente e real)	+/- 5%	Espectrofotômetro (Modelo Pharo 300 - Spectroquant)	Determinação em laboratório, conforme metodologia de referência no <i>Standard Methods</i> (APHA, 2005).
Alcalinidade	+/-5 mg CaCO ₃ /L	Método volumétrico com detecção potenciométrica	
Sólidos totais	+/-6 mg/L	Método gravimétrico	
Cloretos	5%	Titulação com Nitrato de Prata	
Dureza	2,9%	Titulação com EDTA	

Fonte: Santos *et al.* (2011).

Tabela 5- Parâmetros analisados com *kits* da Alfakit.

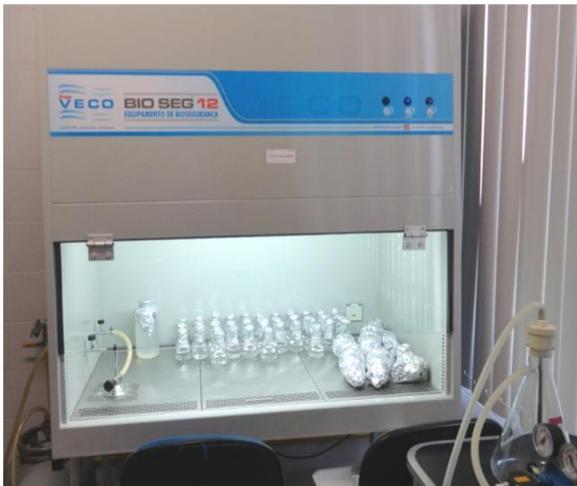
Parâmetro	Método	Fotocolorímetro			Unidade	Espectro λ (nm)
		LQI*	LQS*	Sensib.*		
Ferro total	Tiocianato	0,10	5,00	-	mg L ⁻¹ Fe	480
Fósforo	Vanadomolibdico	0,10	5,00	0,01959	mg L ⁻¹ P	415
Nitrito	Alfaftilamina	0,02	0,30	-	mg L ⁻¹ N-NO ₂	520
Nitrato	Brucina	0,10	15,00	0,0361	mg L ⁻¹ N-NO ₃	415
Amônia	Nessler	0,10	5,00	0,1126	mg L ⁻¹ N-NH ₃	450

*LQI: Limite de quantificação inferior. LQS: Limite de quantificação superior. Sensib.: Sensibilidade.
Fonte: <http://www.alfakit.com.br/>

Quanto às análises bacteriológicas, estas foram realizadas no LEA em capela de fluxo laminar (Figura 34a e 34b) e todo material (frascos de coletas, pipetas, suporte de filtração holder e demais previstos nas metodologias) foi previamente esterilizado em autoclave, fazendo-se uso de *kits* CHROMOCULT de membranas filtrantes da empresa Sartorius para investigação da presença de bactérias da espécie *Escherichia coli* (pontos azuis) e coliformes totais (pontos vermelhos) (Figura 34c), bem como as análises para verificação da presença de bactérias heterotróficas, grupo utilizado como indicador da qualidade da água através da metodologia de *Pour Plate*, Figura 34d.

Figura 34- Realização de análises bacteriológicas.

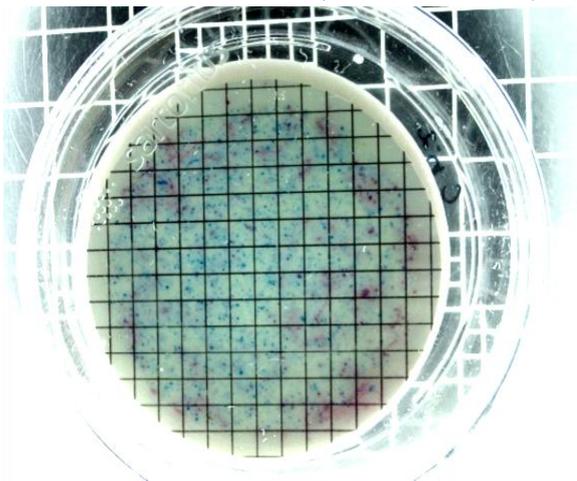
(a) Capela de fluxo laminar e material esterilizado.



(b) Realização de análises.



(c) Placa Sartorius com colônias de *E. coli* e coliformes totais (CHROMOCULT)



(d) Placas petri com Agar (*Pour Plate*)



3.6.2 Análise da água percolada das parcelas do substrato

Para maior entendimento dos parâmetros analisados na água percolada pelos telhados verdes (*output* do sistema), foram feitas análises utilizando água destilada, previamente esterilizada, a ser percolada por amostras dos componentes utilizados para compor as camadas de substrato (areia, argila, húmus de minhoca e terra preparada com esterco bovino), tendo sido adotadas duas composições de substrato, uma para cada tipo de vegetação. As composições adotadas diferenciaram-se apenas pelo tipo de fertilizante adotado: húmus de minhoca para o telhado com Babosa e terra preparada à base de esterco bovino para o telhado com Coroa-de-Frade. Optou-se pela terra preparada por ter sido o fertilizante utilizado na

pesquisa anterior, desenvolvida por Farias (2012), a fim de comparar seus resultados com os obtidos pelo fertilizante húmus de minhoca. No caso da terra preparada, está dito na embalagem da mesma que há em seu conteúdo uma pequena porcentagem de areia lavada e argila, mas o percentual não foi informado pelo fornecedor. Em ambos os substratos foram adicionados areia lavada, por possuir granulometria maior que permite uma melhor aeração nas raízes das vegetações, e argila, por possuir ferro que é um importante nutriente para as plantas, em sua composição química. As espessuras de cada camada dos componentes dos substratos são apresentadas na Tabela 6.

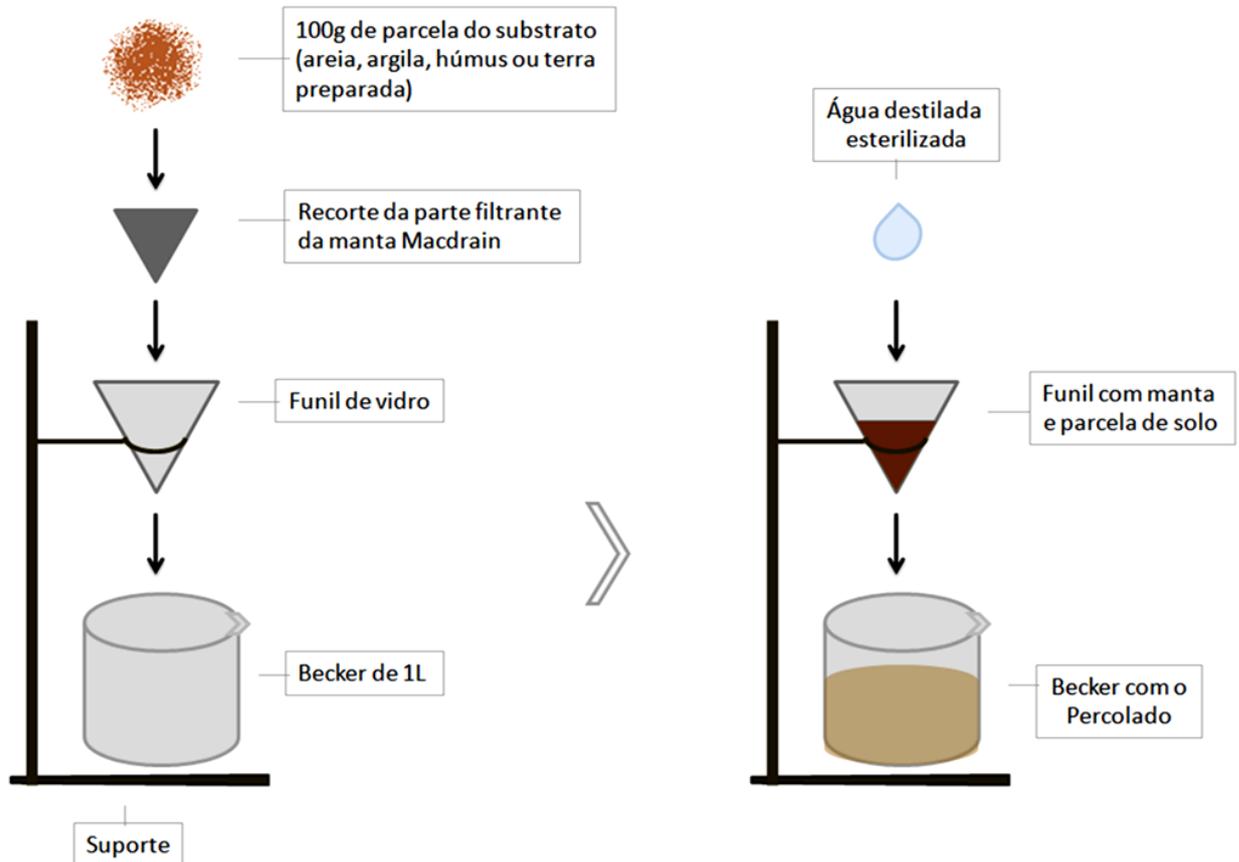
Tabela 6- Espessura, em cm, de cada camada dos componentes utilizados nos substratos.

Material	Teto com Babosa	Teto com Coroa-de-Frade
Húmus	2	0
Argila	5	3
Areia lavada	5	3
Terra preparada	0	6

Para a caracterização dos substratos utilizados nos telhados verdes, foram pesados 100g de cada componente (areia lavada, argila, húmus de minhoca e terra preparada com esterco bovino), conforme esquema ilustrativo na Figura 35. Separadas as amostras de cada parcela, estas foram então colocadas em funis (individuais) recobertos com a mesma manta filtrante utilizada na composição da estrutura dos telhados verdes. Esses funis ficaram apoiados (com ajuda de suportes) sobre beakers de 1 L, utilizados para coletar a água percolada.

Então, foi verificado qual o valor médio das precipitações, que ocorreram antes de cada coleta; com este valor, foi possível verificar qual o volume médio, em litros, que escoou por cada um dos telhados verdes, e posteriormente este valor foi corrigido proporcionalmente para a quantidade das parcelas componente do substrato utilizada na caracterização separadamente (100g de cada parcela), para que fosse possível determinar a quantidade de água à percolar através das parcelas em estudo.

Figura 35- Esquema do sistema montado para caracterização do percolado pelo substrato.



Na determinação do volume de água à percolar foi realizado o seguinte procedimento:

- 1º) Cálculo do volume precipitado entre cada coleta: com base nas informações de precipitação medidas pela PCD (INPE, 2012) localizada próxima ao experimento.
- 2º) Identificação do volume médio precipitado entre as coletas: através da média aritmética dos volumes determinados anteriormente, tendo sido obtido 17,33 mm.
- 3º) Determinação do volume médio de água que atingiu cada telhado: considerando a respectiva área de captação. Assim sendo, os valores encontrados foram: 75,4 m³ para o telhado com Babosa e 59,8 m³ para o telhado com Grama-de-Burro.
- 4º) Determinação do volume de água a percolar por cada componente do substrato através de duas considerações:

- Sendo a massa específica obtida pela relação massa por volume, Equação 5.

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (5)$$

Onde:

ρ é a massa específica do material [M/L³]; M, total de massa de material [M], e V, volume de material [L³].

- Existe proporcionalidade entre a quantidade de massa de cada substrato e o volume de água precipitado sobre o mesmo, e a quantidade de massa de cada componente e a água a percolar sobre a mesma, conforme explicitado na Equação 6.

$$v = \frac{m * Vmed}{M} \quad (6)$$

Onde:

v é o volume de água a ser percolado para uma massa ‘ m ’ qualquer [L^3]; m , massa de material do substrato [M], e $Vmed$, volume médio precipitado [L^3].

De acordo com as espessuras verificadas na Tabela 6 e com a área dos telhados, foram identificados os volumes totais de cada material empregado na composição dos substratos (para os dois telhados verdes). Com os volumes conhecidos e de posse dos pesos específicos dos materiais (que foram informados pelo fornecedor) foi possível calcular o peso total de cada componente utilizado nos dois telhados. Os valores obtidos são informados na Tabela 7.

Tabela 7- Quantitativos – componentes dos substratos e volumes de água a percolar.

Material	Massa de material (kg)			Volume água a percolar (ml)
	Babosa	Coroa-de-Frade	Total	
Húmus	99,49	0,00	99,49	75,74
Argila	252,21	100,09	352,31	89,64
Areia lavada	295,70	176,03	471,72	59,47
Terra preparada	0,00	368,60	368,60	66,23

Feitos esses procedimentos, foi derramado o volume determinado de água destilada esterilizada sobre as porções de substrato contidas nos 4 conjuntos de funis e beakers utilizados. Esperou-se, então, 2 horas para que a água pudesse escoar totalmente pelo substrato sendo depositadas nos beakers, com isso, pôde-se então realizar as análises com a água percolada. É importante salientar que tanto o beakers quanto o funil foram devidamente esterilizados em autoclave antes da realização desses procedimentos.

As amostras do percolado por cada material da camada de substrato foram analisadas em triplicata quanto aos parâmetros físico-químicos (Quadro 1), bacteriológicos (coliformes totais, *Escherichia coli* e bactérias heterotróficas) e microbiológicos (protozoários, cianobactérias, ovos de helmintos, nematódeos e cistos) nos laboratórios de Engenharia Ambiental e Química da UFPE/CAA. Para a investigação dos parâmetros físico-químicos fez-

se uso das metodologias já apresentadas na Tabela 4 e Tabela 5; exceto para os parâmetros OD e Temperatura que não foram investigados para estas amostras.

Quanto às análises bacteriológicas, estas foram realizadas utilizando as mesmas metodologias adotadas para água de chuva, mencionadas no item anterior e representadas pela Figura 34a, 34b, 34c e 34d. Já a investigação referente aos microrganismos nas amostras de água percolada através das parcelas individuais de substrato, esta foi realizada no LEA com o uso de Microscópio Trinocular Mod. 50I Main Body fornecido pela Silver Star/Feldmann com câmera Nikon *Eclipse 50i* acoplada (Figura 36), com o qual foi realizada busca ativa, onde as amostras eram colocadas em lâminas, cobertas por lamínulas, visualizadas com lentes de 10x, 40x e 100x (este último fazendo-se uso de óleo de imersão) e coradas com lugol 1% quando necessário para investigação de ovos de helmintos e cistos. Os microrganismos encontrados foram classificados por grupos e identificados quanto ao gênero e espécie quando possível, destacando-se apenas aqueles que apresentam risco a saúde humana.

Figura 36- Microscópio utilizado nas análises microbiológicas.

(a) Microscópio Trinocular com câmera.



(b) Leitura de lâminas e registro fotográfico.



3.6.3 Análise da água escoada dos telhados

Os dados de OD, temperatura, pH, salinidade e condutividade elétrica foram obtidos em campo com o uso da Sonda Multiparâmetros (Modelo HI9828 – *Hanna Instruments*), Figura 37a. Após a calibração, a sonda era empregada na obtenção direta dos dados e este procedimento consistia nas seguintes ações: lavagem dos eletrodos com água destilada e imersão da sonda no reservatório com a amostra de água a ser analisada para leitura dos dados (que são armazenados no receptor de dados, próprio da sonda). Após o armazenamento dos dados a sonda é novamente lavada com água destilada e guardada ou utilizada em outra

amostra. Neste período de análises de dados, a sonda foi calibrada com soluções específicas para cada sensor, na primeira coleta e depois em intervalos de 15 dias.

Logo após, foram feitas as medições do volume acumulado nos toneis, e as amostras de água percolada pelos telhados (verdes e controle) eram coletadas e armazenadas em frascos de 1 L, Figura 37b, e imediatamente transportadas aos laboratórios de Química e de Engenharia Ambiental do CAA/UFPE, para realização das análises físico-químicas, bacteriológicas (análise de coliformes, *E.coli* e de bactérias heterotróficas) e microbiológicas para investigação de protozoários, cianobactérias, helmintos e nematódeos patogênicos. Os parâmetros físico-químicos de qualidade da água e as respectivas metodologias utilizadas estão explicitadas na Tabela 4. As análises de nitrito, nitrato, ferro total e fósforo foram realizadas com o uso de *kits* e fotolorímetro, ambos da Alfakit, com especificações apresentadas na Tabela 5. As análises realizadas com tais *kits* consistem em condicionar amostra da água coletada em tubos de ensaio, adicionar reagentes e realizar a leitura dos resultados de concentração diretamente no fotolorímetro.

Figura 37- Determinação dos parâmetros de qualidade d'água.

(a) Uso da sonda multiparâmetro.



(b) Coleta de amostras.



Para as análises bacteriológicas das águas escoadas pelos telhados verdes e controle foi feito uso das mesmas metodologias já citadas anteriormente para água de chuva e percolado das parcelas de substrato, *kit* de membrana filtrante CHROMOCULT da Sartorius foi usado para investigação de *E.coli* e coliformes totais, e *Pour Plate Count Agar* para análise de bactérias heterotróficas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

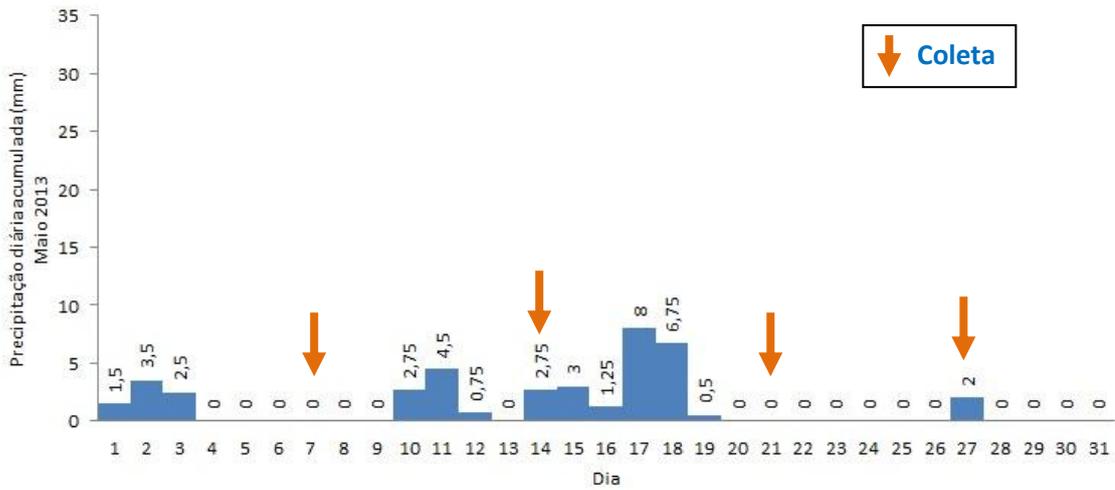
4.1 Precipitação e capacidade de retenção dos telhados

Após longo período de estiagem no segundo semestre do ano de 2012 e início do primeiro semestre de 2013, teve início no final do mês de abril, o período chuvoso na região de Caruaru e entorno, tornando-se possível o início das análises quanto à capacidade de retenção da água da chuva pelas coberturas investigadas.

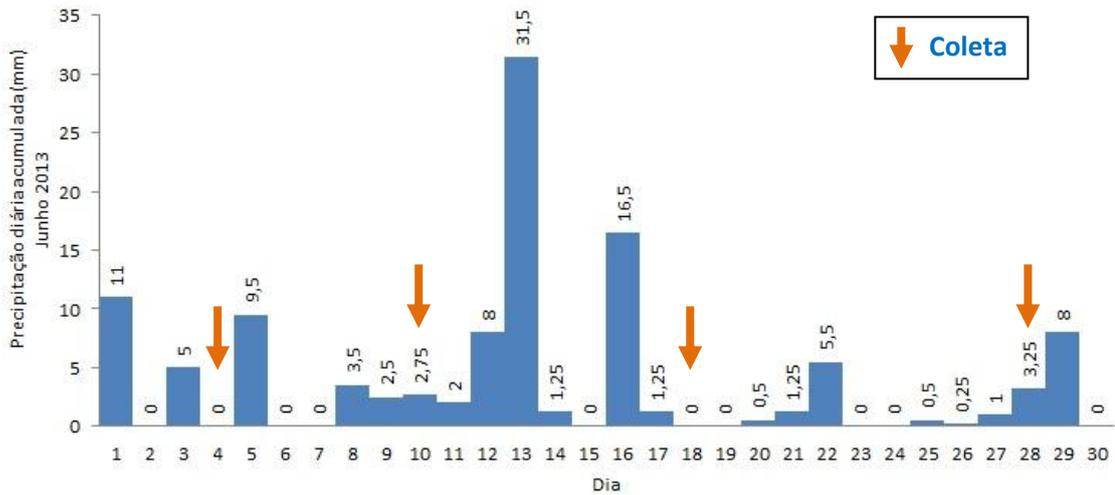
Na Figura 37 são apresentados os hietogramas do período analisado (maio, junho e julho de 2013) e quando foram realizadas às visitas e consequentes coletas de amostras de água para análise em laboratório e medições de parâmetros com a sonda. Neste período, também foram medidos os volumes armazenados nos tonéis que recebem a precipitação excedente dos telhados. Pode-se observar que o mês de junho, foi o que apresentou melhor distribuição dos eventos chuvosos e em maior quantidade, chegando atingir 31,5 mm no dia 13 de junho de 2013, o que proporcionou maior taxa de escoamento e armazenagem nos tonéis do telhado controle e em proporções diferenciadas nos telhados verdes. O oposito foi observado na coleta realizada em 27 de maio de 2013, onde o único escoamento acumulado nos tonéis foi referente à precipitação que ocorreu horas antes da realização da coleta.

A verificação do volume armazenado pelos tonéis dos distintos telhados foi realizada semanalmente, onde ao término desta medição e coleta de amostras para análises laboratoriais, era realizada descarga hidráulica dos mesmos para que esses apresentassem volume inicial igual a zero para o armazenamento do novo volume escoado, referente aos próximos eventos chuvosos. Na Figura 38 é possível verificar que os maiores volumes retidos nos tonéis foram no dia 18 de junho e 18 de julho tanto para o telhado controle como para cada uma das coberturas ajardinadas, com os períodos de maior precipitação acumulada, do dia 10 a 18 de junho, Figura 38b, o que chegou a atingir a capacidade máxima de 240 L do tonel referente ao telhado controle, tendo possivelmente transbordado, e do dia 10 a 18 de julho, Figura 38c, com segundo maior volume armazenado nos tonéis. Já para a coleta realizada no dia 27 de maio, foram observados os menores volumes armazenados, chegando a zero no tonel referente ao telhado de Coroa-de-Frade, tendo esse telhado absorvido todo volume precipitado sobre o mesmo, o que também aconteceu com Farias (2012), situação que a autora explicou da seguinte forma: “se o período sem chuvas se prolonga, o solo e a vegetação perdem água para o meio através da evapotranspiração, aumentando a sua capacidade de reter a água quando da ocorrência de um evento chuvoso”.

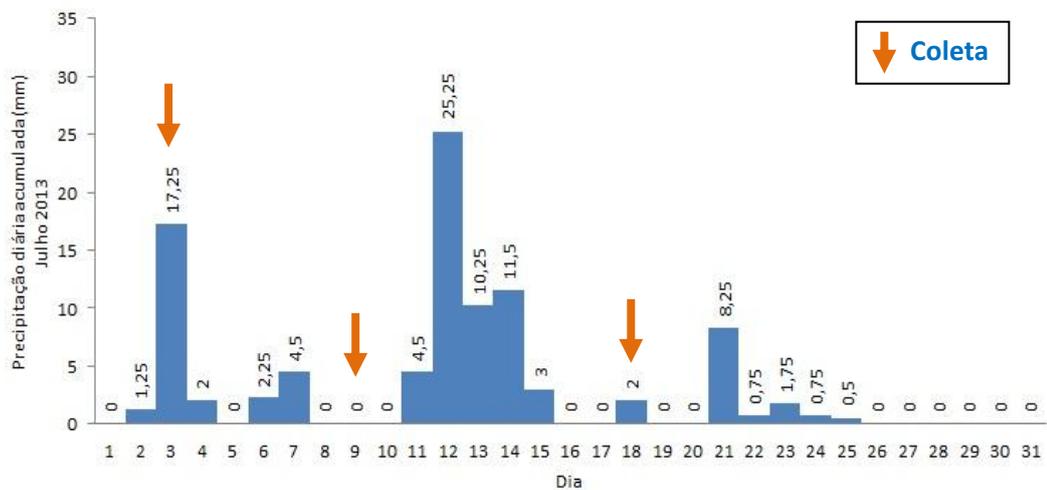
Figura 38- Precipitação, em mm, obtidos do *site* do INPE, com as datas das coletas (PCD 32567).
 (a) Dados referentes ao mês de maio de 2013.



(b) Dados referentes ao mês de junho de 2013.

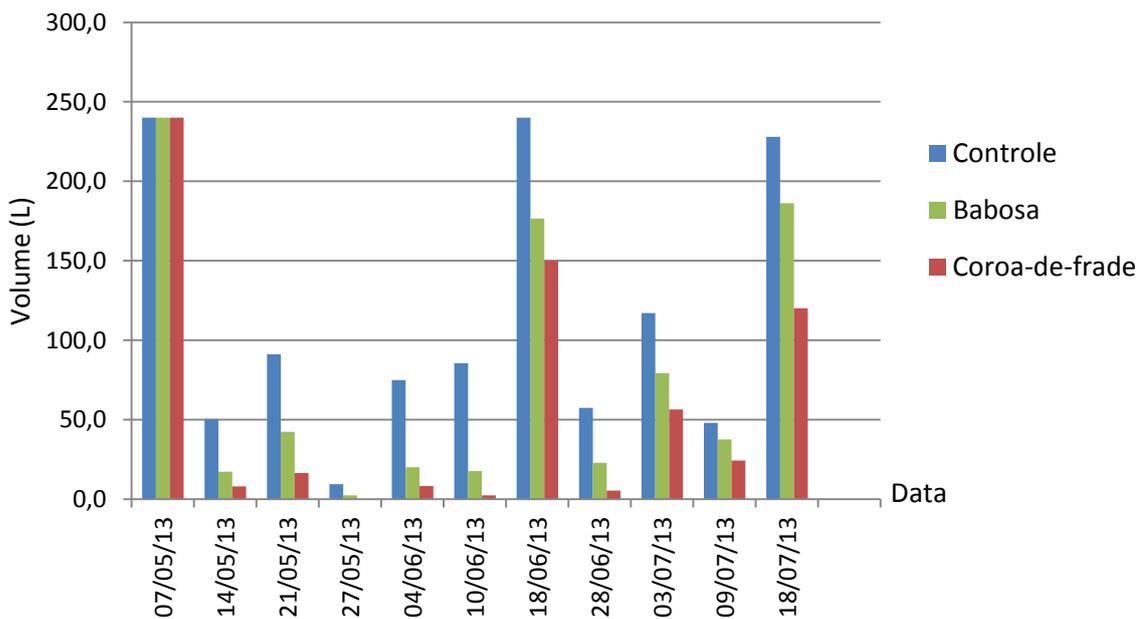


(c) Dados referentes ao mês de julho de 2013.



Os valores de volume retido nos tonéis dos telhados verdes e controle referentes à coleta no dia 07 de maio de 2013 não foram considerados para a análise da capacidade de retenção dos telhados, visto que esta foi a data da primeira coleta, e ao chegar ao local os tonéis se encontravam em sua capacidade máxima, e não havia sido realizada a descarga hidráulica com o respectivo esvaziamento dos tonéis anteriormente à chuva ocorrida (Figura 39).

Figura 39- Volumes armazenados nos tonéis em cada coleta.

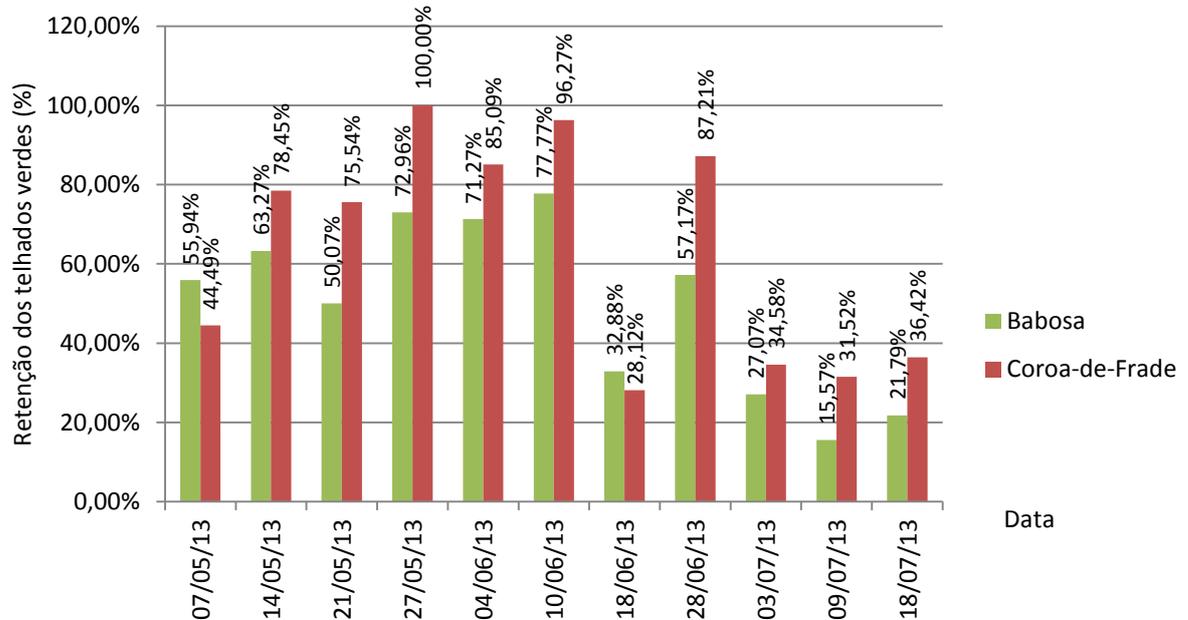


Na Figura 40 é possível observar os percentuais retidos por cada estrutura em comparação com volume máximo captável, calculado em função da área da superfície de captação e da precipitação acumulada. Verifica-se, portanto, que o telhado com vegetação Coroa-de-Frade foi o que apresentou maior percentual de retenção, chegando a atingir 100% no dia 27 de maio de 2013, coincidindo com o período de menor precipitação acumulada no mês de maio entre as coletas realizadas. Deste modo, na semana anterior à coleta, não houve presença de chuva, ocorrendo evaporação da umidade que existia no solo referente às precipitações anteriores. Sendo assim no dia em que ocorreu a precipitação de 27 de maio, Figura 38a, o solo estava seco, retendo 72,9% da chuva no telhado com vegetação Babosa e 100% no telhado com vegetação Coroa-de-Frade. No caso desta última vegetação, segundo Farias (2012), que utilizou a mesma espécie de cactácea em seu estudo, tal fato se deve à estrutura da vegetação, que é capaz de armazenar água em seu interior. Porém, se compararmos os resultados obtidos com a vegetação Babosa, com a segunda vegetação (Gramma-de-Burro) utilizada pela autora, é possível destacar a Babosa como vegetação com

melhor capacidade de absorção e retenção de água, visto que, ao se comparar dados do mesmo período, maio e junho de 2011, a vegetação Grama-de-Burro apresentou 51% e 67% de capacidade de retenção respectivamente.

Já nos resultados obtidos no âmbito deste trabalho, nos meses de maio e junho de 2013, a camada de vegetação Babosa chegou a atingir 72,96% e 77,7%, respectivamente, de retenção do volume precipitado sobre os telhados, caracterizando a babosa como uma melhor escolha para a camada de vegetação do telhado verde com relação à retenção hídrica, do que a espécie Grama-de-Burro. Conforme já mencionado anteriormente, nesta pesquisa não foram realizadas análises de umidade do substrato para investigar a influência da umidade do substrato no escoamento da água pluvial.

Figura 40- Percentual de precipitação retido nos telhados verdes.



4.2 Qualidade da água

4.2.1 Análises dos parâmetros físico-químicos da água de chuva

Com relação aos valores dos parâmetros físico-químicos da água de chuva, pôde-se destacar que os valores verificados após o primeiro evento chuvoso (04/06) foram os mais elevados, principalmente em relação aos parâmetros que estão relacionados com sólidos em suspensão nas amostras, podendo isto estar associado à lavagem de compostos suspensos presentes na atmosfera após longo período de estiagem (Tabela 8). Entretanto, apesar de se

observar valores distintos entre a primeira amostra de chuva e as duas seguintes, como era de se esperar, os valores se enquadraram nos limites permitidos para todas as legislações investigadas nesta pesquisa (Portaria do Ministério da Saúde Nº 2.914, NBR 15.527 e NBR 13.969) e as recomendações da EMBRAPA para irrigação.

4.2.2 Análises dos parâmetros físico-químicos da água percolada por cada parcela do substrato

Para Moran, Hunt & Jennings (2004), o maior fator responsável pela qualidade da água percolada pelo telhado verde se dá pela composição do substrato, que muitas vezes está rico em contaminantes. Isto pode ser observado na Tabela 9, onde são apresentados, em valores, o desempenho do percolado frente a cada parâmetro analisado. As parcelas analisadas compõem o substrato da cobertura ajardinada com Babosa (areia, argila e húmus de minhoca) e da vegetada com Coroa-de-Frade (areia, argila e terra preparada com esterco bovino).

Comparando-se os valores obtidos para a água percolada, em cada uma das parcelas separadas (areia lavada, húmus, argila e terra preparada), com os limites previstos na Portaria do Ministério da Saúde Nº 2.914 (BRASIL, 2011). Verificou-se que os parâmetros dureza total, nitrito e pH estiveram dentro dos limites estabelecidos, em todas as parcelas estudadas. Por outro lado, os resultados obtidos para amônia, cor aparente, ferro e turbidez estiveram fora dos limites em todas as parcelas. Além desses, estiveram fora dos limites, Tabela 9, o parâmetro cloretos no caso da parcela de argila; o parâmetro nitrato nos casos das parcelas argila, terra preparada e húmus de minhoca; e sólidos totais no caso das parcelas de argila, húmus e terra preparada.

No que se refere à NBR 15.527 (ABNT, 2007), observa-se que apenas os parâmetros cor aparente, pH e turbidez têm seus limites estabelecidos nesta norma. Os resultados obtidos para cor aparente e turbidez estiveram fora dos limites para todas as parcelas, e o parâmetro pH no caso da parcela argila e terra preparada. Com relação à NBR 13.969 (ABNT, 1997), e considerando apenas os resultados de pH e turbidez, verificou-se o mesmo comportamento.

Com relação às recomendações da EMBRAPA (ALMEIDA, 2010), verificou-se que os parâmetros cloreto e condutividade elétrica estiveram dentro do limite estabelecido para todas as parcelas estudadas. Por outro lado, os resultados obtidos para fosfato estiveram fora dos limites para todas as parcelas. Além desses, estiveram fora dos limites, Tabela 9, no caso da parcela de húmus, os parâmetros amônia e nitrato, no caso da terra preparada, os parâmetros amônia e nitrato, e no caso da argila, os parâmetros amônia, nitrato e pH.

4.2.3 Análises dos parâmetros físico-químicos da água percolada pelos telhados verdes e da escoada pelo telhado controle.

Os valores obtidos para esses parâmetros, neste experimento, estão descritos nas Tabelas 10a, 10b e 10c.

Neste caso, verifica-se a ausência de dados referentes à coleta do dia 27 de maio, na Tabela 10c, devido à não existência de volume retido no tonel, destinado a receber a água escoada pelo substrato suporte da espécie Coroa-de-Frade, para que fosse possível coletar uma amostra representativa para análises, visto que a precipitação no período entre a coleta anterior (20 de maio) e esta foi totalmente retida pelo telhado com *Melocactus zehntneri*.

O trabalho realizado por Farias (2012) mostrou que a água dos telhados verdes, no período analisado, não é potável, porém como o substrato, manta e vegetação foram trocados, repetiram-se as análises feitas pela autora para avaliar se houve mudança na qualidade da água. Feito isto, foram analisadas apenas os parâmetros pertinentes às normas usadas como referência e esta continuou não atingindo os limites estabelecidos pela Portaria Nº 2.914 de água potável, sendo determinada como água não potável.

Os parâmetros explicitados nas Tabelas 10a, 10b e 10c estão discutidos separadamente a seguir.

Tabela 8- Parâmetros determinados para a água de chuva e limites estabelecidos na legislação.

Parâmetros	Unidades	Chuva (data da coleta)			NBR 15.527 (Tabela 1)	NBR 13.969	Portaria MS 2.914	Embrapa
		1 (03/06/13)	2 (03/07/13)	3 (12/07/13)				
Alcalinidade Total	mg CaCO ₃ /L	6,00	3,00	2,00	-	-	-	-
Amônia (NH ₃)	mg/L	0,02	0,00	0,01	-	-	1,5 mg/L*	5 mg/L
Coliformes totais	UFC/100ml	0,00	0,00	0,00	- /100ml	-	- /100ml	-
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100ml	0,00	0,00	0,00	-	-	- /100ml	-
Bactérias Heterotróficas	UFC/100ml	0,00	0,00	0,00	-	-	500/ml	-
Cloreto	mg Cl/L	3,54	3,54	4,73	-	-	250 mg/L*	30 meq/L ou 1.063,80 mg/L
Condutividade Elétrica (CE)	dS/m	0,01	0,00	0,01	-	-	-	3,0 dS/m
Cor aparente	Pt/Co	3,00	2,00	3,00	15 uH	-	15uH*	-
Cor verdadeira	Pt/Co	1,00	1,00	1,00	-	-	-	-
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	8,10	6,07	8,10	-	-	500 mg/L*	-
Ferro total	mg/L	0,00	0,03	0,00	-	-	0,3 mg/L*	-
Fósforo – Fosfato (PO ₄)	mg/L	0,31	0,61	0,37	-	-	-	2 mg/L
Nitrogênio – Nitrato (NO ₃)	mg/L	0,00	0,00	0,00	-	-	10 mg/L**	10 mg/L
Nitrogênio – Nitrito (NO ₂)	mg/L	0,03	0,00	0,00	-	-	1 mg/L**	-
Oxigênio Dissolvido (OD)	mg/L	7,35	8,22	7,78	-	> 1,0 mg/L ⁵ > 2,0 mg/L ⁴	-	-
pH	-	7,34	6,97	6,88	6,0 a 8,0 ^a	6,0 a 9,0 ⁵ /6,0 a 8,0 ¹	-	6,0 a 8,5
SDT	mg/L	28,00	18,00	6,00	-	200 mg/L ¹	1000 mg/L*	2000 mg/L
Temperatura	°C	24,80	22,20	23,40	-	40°C ⁵	-	-
Turbidez	NTU	2,32	0,50	0,37	2 uT ^b / 5 uT	5 uT ^{1,2} / 10 uT ³	5 uT*	-

^aNo caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado | ^bPara usos menos nobres | *Anexo X | **Anexo VII.

¹Classe 1 | ²Classe 2 | ³Classe 3 | ⁴Classe 4 | ⁵Tabela 5 | CE = Condutividade Elétrica; Coliformes term. = Coliformes termotolerantes; OD = Oxigênio dissolvido; SDT = Sólidos dissolvidos totais; Sol. Não FT = Sólidos não filtráveis totais; Sólidos sedim. = Sólidos sedimentáveis; Sulfeto de hidrog. = Sulfeto de hidrogênio.

Tabela 9- Parâmetros determinados para o percolado de cada parcela utilizada nos substratos e limites estabelecidos na legislação.

Parâmetros	Unidades	Parcela				NBR 15.527 (Tabela 1)	NBR 13.969	Portaria MS 2.914	Embrapa
		Areia Lavada	Húmus	Argila	Terra Preparada				
Alcalinidade Total	mg CaCO ₃ /L	8,99	39,97	4,00	34,97	-	-	-	-
Amônia (NH ₃)	mg/L	2,31	12,87	29,01	19,55	-	-	1,5 mg/L*	5 mg/L
Coliformes totais	UFC/100ml	1230.000	3.000	11.000	4380.000	- /100ml	-	- /100ml	-
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100ml	778.800	20,00	30,00	841.000	-	-	- /100ml	-
Bactérias Heterotróficas	UFC/100ml	2976.000	11.700	431.000	10240.000	-	500/ml	-	-
Cloreto	mg Cl/L	56,13	271,77	47,26	227,46	-	-	250 mg/L*	30 meq/L ou 1.063,80 mg/L
Condutividade Elétrica (CE)	dS/m	0,09	1,07	0,06	0,01	-	-	-	3,0 dS/m
Cor aparente	Pt/Co	2670,00	2640,00	4650,00	5220,00	15 uH	-	15uH*	-
Cor verdadeira	Pt/Co	62,00	320,00	470,00	450,00	-	-	-	-
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	18,22	165,99	24,29	72,87	-	-	500 mg/L*	-
Ferro Total	mg/L	2,70	6,70	43,60	33,60	-	-	0,3 mg/L*	-
Fósforo – Fosfato (PO ₄)	mg/L	8,28	20,54	133,68	103,02	-	-	-	2 mg/L
Nitrogênio – Nitrato (NO ₃)	mg/L	6,20	115,23	27,45	181,99	-	-	10 mg/L**	10 mg/L
Nitrogênio – Nitrito (NO ₂)	mg/L	0,00	0,50	0,70	0,50	-	-	1 mg/L**	-
Oxigênio Dissolvido (OD)	mg/L	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	-	> 1,0 mg/L ⁵ > 2,0 mg/L ⁴	-	-
pH	-	6,61	7,21	5,80	6,88	6,0 a 8,0 ^a	6,0 a 9,0 ⁵ /6,0 a 8,0 ¹	-	6,0 a 8,5
SDT	mg/L	624,00	1262,00	1126,00	1708,00	-	200 mg/L ¹	1000 mg/L*	2000 mg/L
Temperatura	°C	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	-	40°C ⁵	-	-
Turbidez	NTU	324,00	171,00	973,00	923,00	2 uT ^b / 5 uT	5 uT ^{1,2} / 10 uT ³	5 uT*	-

^aNo caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado | ^bPara usos menos nobres | *Anexo X | **Anexo VII.

¹Classe 1 | ²Classe 2 | ³Classe 3 | ⁴Classe 4 | ⁵Tabela 5 | CE = Condutividade Elétrica; Coliformes term. = Coliformes termotolerantes; OD = Oxigênio dissolvido; SDT = Sólidos dissolvidos totais; Sol. Não FT = Sólidos não filtráveis totais; Sólidos sedim. = Sólidos sedimentáveis; Sulfeto de hidrog. = Sulfeto de hidrogênio.

N.R = análise não realizada.

Tabela 10a- Valores obtidos para os parâmetros analisados em todas as amostras da água excedente do telhado controle.

Parâmetros	Unidade	Controle										
		07/05/2013	14/05/2013	21/05/2013	27/05/2013	04/06/2013	10/06/2013	18/06/2013	28/06/2013	03/07/2013	09/07/2013	18/07/2013
Alcalinidade Total	mg CaCO ₃ /L	23,98	6,00	6,00	105,92	10,99	199,84	51,25	67,02	6,00	6,00	14,00
Cl ₂	mg/L	0,00	0,00	0,51	0,40	0,58	0,09	0,22	0,22	0,00	0,00	0,00
Cloretos	mg Cl ⁻ /L	13,59	10,04	4,73	38,40	5,91	6,50	12,40	8,12	7,68	5,32	6,50
Condut. Elétrica	dS/m	0,19	0,07	0,04	0,05	0,04	0,03	0,07	0,05	0,07	0,04	0,04
Cor Aparente	Pt/Co	23,00	21,00	43,00	53,50	135,00	23,00	44,50	53,80	13,00	11,00	10,00
Cor Verdadeira	Pt/Co	16,00	17,00	15,80	15,45	20,00	17,00	16,00	15,50	9,00	10,00	8,00
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	52,63	40,49	32,39	68,83	24,29	12,15	34,70	20,82	12,15	16,90	20,24
Ferro total	mg/L	0,00	0,03	0,02	0,04	0,02	0,08	0,05	0,07	0,15	0,19	0,00
NH ₃	mg/L	0,61	0,00	0,15	1,36	0,58	0,53	0,50	0,47	0,28	0,41	0,00
Nitrato	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,48	1,08	2,16	0,09	0,12	8,46
Nitrito	mg/L	0,03	0,13	0,03	0,00	0,10	0,00	0,04	0,03	0,00	0,05	0,00
N-NH ₃	mg/L	0,50	0,00	0,12	1,12	0,48	0,44	0,42	0,39	0,23	0,34	0,00
Oxigênio Dissolvido	mg/L	3,40	5,46	5,70	3,99	7,61	5,80	5,30	5,73	3,80	8,10	7,10
pH	-	6,74	6,53	6,70	7,12	6,63	6,41	6,62	6,47	6,23	7,60	7,20
PO ₄	mg/L	0,31	0,00	0,18	0,00	0,80	0,00	0,32	0,52	0,98	1,01	0,80
Salinidade	mg/L	0,09	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02
SDT	mg/L	208,00	225,00	230,70	174,00	420,00	98,00	226,00	248,00	90,00	118,00	80,00
Temperatura	°C	23,10	23,80	26,10	24,60	22,70	22,80	23,80	23,40	24,30	22,80	23,20
Turbidez	NTU	1,36	1,55	3,90	5,13	14,07	1,85	4,06	5,17	0,69	0,92	1,30
Volume	L	240,00	50,30	91,30	9,40	74,90	85,60	240,00	57,40	117,10	48,00	228,00

Tabela 10b- Valores obtidos para os parâmetros analisados em todas as amostras da água excedente do telhado verde com Babosa.

Parâmetros	Unidade	Babosa										
		07/05/2013	14/05/2013	21/05/2013	27/05/2013	04/06/2013	10/06/2013	18/06/2013	28/06/2013	03/07/2013	09/07/2013	18/07/2013
Alcalinidade Total	mg CaCO ₃ /L	129,90	101,92	155,88	4,00	83,93	179,86	113,30	128,75	137,89	131,89	128,56
Cl ₂	mg/L	0,78	2,10	4,10	8,50	6,40	0,51	3,50	2,90	1,40	0,70	0,00
Cloretos	mg Cl/L	55,83	162,47	128,50	50,22	31,02	48,74	70,64	42,03	17,72	23,63	22,16
Condut. Elétrica	dS/m	1,34	0,45	0,01	0,01	0,35	0,55	0,43	0,41	0,30	0,32	0,32
Cor Aparente	Pt/Co	1340,00	2380,00	2780,00	3240,00	4080,00	3720,00	2844,00	1990,00	2380,00	1800,00	1720,00
Cor Verdadeira	Pt/Co	750,00	1140,00	1491,00	1764,00	1900,00	1517,00	1530,00	1580,00	1620,00	1310,00	1380,00
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	319,84	147,77	176,11	216,60	91,09	186,23	189,13	163,20	186,23	141,70	121,46
Ferro total	mg/L	1,92	0,39	1,27	2,81	1,44	5,10	2,30	3,00	3,20	3,50	0,0
NH ₃	mg/L	2,43	0,00	10,93	21,12	8,26	103,19	21,50	34,30	4,25	4,61	2,49
Nitrato	mg/L	49,82	104,06	202,36	104,50	0,00	65,98	83,00	50,86	54,46	55,32	9,08
Nitrito	mg/L	0,46	0,16	1,31	1,64	0,98	0,98	0,86	0,79	0,33	0,29	0,16
N-NH ₃	mg/L	2,00	0,00	9,00	17,40	6,80	85,00	17,60	28,20	3,50	3,80	2,05
Oxigênio Dissolvido	mg/L	3,33	3,20	3,00	3,20	6,40	5,20	4,60	4,10	3,70	6,00	4,20
pH	-	7,72	7,90	8,08	6,40	7,27	7,62	7,60	7,56	7,78	8,14	7,92
PO ₄	mg/L	44,00	3,96	72,51	68,68	66,84	51,82	55,05	62,80	77,57	81,43	61,17
Salinidade	mg/L	0,67	0,34	0,28	0,28	0,17	0,27	0,32	0,25	0,18	0,15	0,17
SDT	mg/L	1384,00	2262,50	2555,30	4060,00	1568,00	2038,00	2311,30	1972,40	1206,00	1020,00	702,00
Temperatura	°C	21,60	23,20	25,20	23,91	23,30	22,80	23,30	23,20	23,10	22,70	22,90
Turbidez	NTU	116,00	289,00	182,00	172,00	327,00	295,00	182,00	175,00	177,00	97,50	58,30
Volume	L	240,00	17,20	42,30	2,40	20,00	17,60	176,60	22,80	79,30	37,60	186,20

Tabela 10c- Valores obtidos para os parâmetros analisados em todas as amostras da água excedente do telhado verde com Coroa-de-Frade.

Parâmetros	Unidade	Coroa-de-Frade										
		07/05/2013	14/05/2013	21/05/2013	27/05/2013	04/06/2013	10/06/2013	18/06/2013	28/06/2013	03/07/2013	09/07/2013	18/07/2013
Alcalinidade Total	mg CaCO ₃ /L	189,85	35,97	79,94	-	155,88	53,96	104,80	104,90	125,90	7,99	82,64
Cl ₂	mg/L	0,01	3,50	0,60	-	2,30	0,31	1,69	1,43	0,10	1,20	0,34
Cloretos	mg Cl/L	129,68	177,24	168,38	-	35,45	26,59	101,30	54,50	41,36	22,16	20,68
Condut. Elétrica	dS/m	1,99	0,83	0,87	-	0,33	0,52	0,83	0,56	0,43	0,60	0,60
Cor Aparente	Pt/Co	461,00	342,00	1148,00	-	1040,00	1920,00	1292,80	1417,00	1980,00	1350,00	1278,00
Cor Verdadeira	Pt/Co	337,00	90,00	557,00	-	810,00	301,00	604,00	572,00	1250,00	1282,00	1110,00
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	514,17	178,14	230,77	-	93,12	137,65	223,80	151,50	137,65	246,96	178,14
Ferro total	mg/L	0,25	0,80	0,93	-	0,29	3,10	1,30	1,56	5,50	6,10	0,00
NH ₃	mg/L	1,21	4,66	3,92	-	4,37	48,56	14,03	22,30	2,67	8,01	10,62
Nitrato	mg/L	0,00	77,93	93,87	-	0,00	0,00	42,48	14,16	66,86	61,20	38,75
Nitrito	mg/L	0,00	0,52	0,33	-	0,33	0,66	0,45	0,48	0,33	0,30	0,00
N-NH ₃	mg/L	1,00	3,84	3,23	-	3,60	40,00	11,60	18,40	2,20	6,60	8,75
Oxigênio Dissolvido	mg/L	3,16	4,60	2,90	-	5,00	6,30	4,80	5,40	3,80	5,70	5,10
pH	-	8,08	7,56	7,77	-	7,00	7,50	7,65	7,40	7,47	8,30	7,71
PO ₄	mg/L	4,63	24,37	9,35	-	13,80	22,08	21,60	19,20	37,10	39,92	23,91
Salinidade	mg/L	1,01	0,41	0,42	-	0,16	0,25	0,43	0,28	0,21	0,29	0,26
SDT	mg/L	2004,00	1491,00	1235,00	-	820,00	1650,00	1585,00	1352,00	1414,00	1724,00	1136,00
Temperatura	°C	24,30	23,70	27,00	-	22,10	24,00	24,30	23,50	22,10	22,50	22,40
Turbidez	NTU	19,30	39,80	27,50	-	23,30	90,00	63,50	59,00	2,59	2,85	2,77
Volume	L	240,00	8,00	16,50	-	8,20	2,40	150,10	5,40	56,40	24,20	120,1

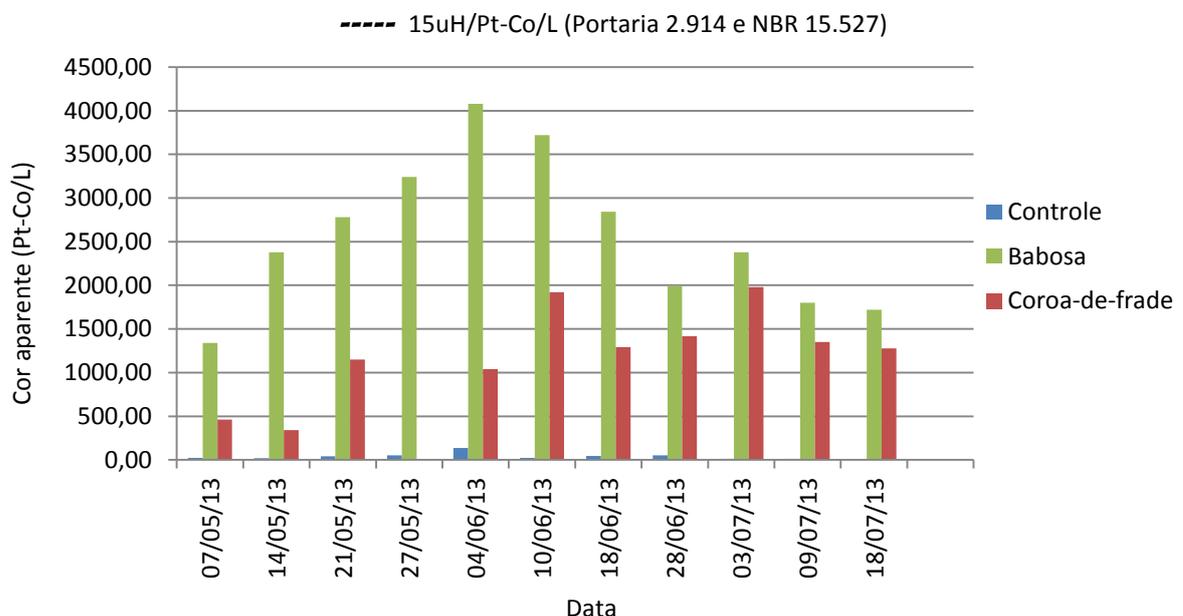
- Cor

A cor de uma água é consequência de substâncias dissolvidas ou devido à presença de partículas coloidais em suspensão (LIMA & CHAVES, 2008). As amostras de água coletadas dos tonéis dos telhados de Babosa e de Coroa-de-Frade apresentaram coloração amarelada, o que segundo os autores caracteriza águas ricas em ácidos húmicos, que são compostos orgânicos presentes na água, solo e sedimentos provenientes da decomposição de algum resíduo vegetal. Neste contexto, deve-se considerar ainda que as águas com coloração aparente a olho nu são normalmente rejeitadas pela população pelo caráter estético.

No que se refere à legislação, as amostras da água escoada do telhado controle, e dos telhados com Babosa e com Coroa-de-Frade apresentaram valores médios de cor aparente de 39,16 Pt-Co/L, 2570,36 Pt-Co/L, e 1222,88 Pt-Co/L, respectivamente, todos acima do valor máximo permitido pela Portaria N° 2.914 e pela NBR 15.527 que, em ambos os casos, é de até 15uH (Unidade Hazen – mg Pt-Co/L) (Figura 41).

A NBR 13.969 (ABNT, 1997) e o documento da EMBRAPA (ALMEIDA, 2010) não fazem restrição ao valor deste parâmetro. Com relação aos valores obtidos para os três telhados, pode verificar que em nenhuma das coletas, a cor atendeu à legislação citada. Destacam-se, entretanto, os valores obtidos para o telhado controle, nas três últimas coletas, que ficaram abaixo do máximo permitido pelas normas, isto pode ter acontecido pela minimização de sedimentos sobre as telhas de cerâmica proporcionada pelos frequentes eventos chuvosos (Figura 41).

Figura 41- Valores obtidos de cor aparente, em Pt-Co/L, para cada coleta dos telhados controle e vegetados.



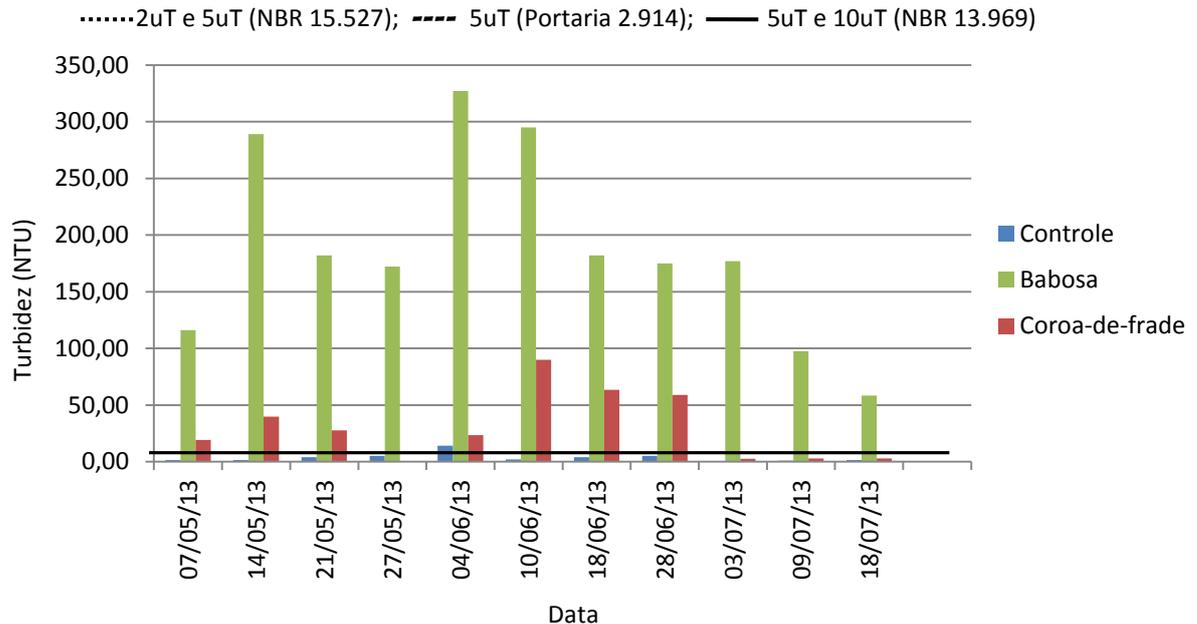
Diferentemente dos resultados obtidos por Farias (2012), o telhado que apresentou maiores valores de cor foi o vegetado por Babosa e não aquele contendo Coroa-de-Frade. Isto que pode estar relacionado ao tipo da raiz da Babosa que apresenta rizomas (caule modificado que cresce na superfície do solo, mas que também pode ser subterrâneo) com raízes adventícias (filamentos de raízes que se originam a partir do caule), o que não garante boa fixação do solo em comparação ao sistema radicular fasciculado (raiz fibrosa e ramificada, sem raiz primária) da vegetação Grama-de-Burro utilizada por Farias (2012). Deste modo, entre os telhados vegetados com Babosa e com Coroa-de-Frade (raiz primária pivotante tuberosa com sistema radicular secundário superficial), o telhado com Coroa-de-Frade, foi o que apresentou menores valores de cor no percolado por garantir maior fixação do solo e menos lixiviamento deste.

- Turbidez e Sólidos Dissolvidos Totais

A turbidez é uma característica da água relacionada com a presença de partículas sólidas em suspensão como silte, argila, areia fina, material mineral, resíduos orgânicos, plâncton e outros organismos microscópicos que impedem a passagem da luz através da água. A presença dessas partículas provoca a dispersão e absorção da luz dando a água uma aparência nebulosa e esteticamente indesejável (LIMA & CHAVES, 2008).

Os valores obtidos para o parâmetro turbidez dos três telhados estudados estão apresentados na Figura 42, para cada uma das coletas. No que se refere à legislação, os limites de turbidez previstos são de 2 uT (para usos menos nobres) e 5 uT, ambos os valores segundo os padrões da NBR 15.527, e 5 uT para a Portaria N° 2.914. Portanto, no caso do telhado controle, verifica-se que oito das onze amostras apresentaram valores de turbidez abaixo do limite estabelecido em ambos os documentos da legislação (de 5 uT). Em relação ao telhados verdes, os valores de turbidez obtidos ultrapassam muito o valor limite permitido. Com relação à NBR 13.969, esta não impõe limite de turbidez para o reúso da água para irrigação de pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual, este valor é apenas empregado na classificação da água para recomendação de reúso, de forma que valores de turbidez inferiores a 5 uT correspondem às classes 1 e 2, e valores inferiores a 10 uT correspondem à classe 3 de reúso.

Figura 42- Valores obtidos de turbidez, em NTU, para cada coleta dos telhados controle e vegetados.

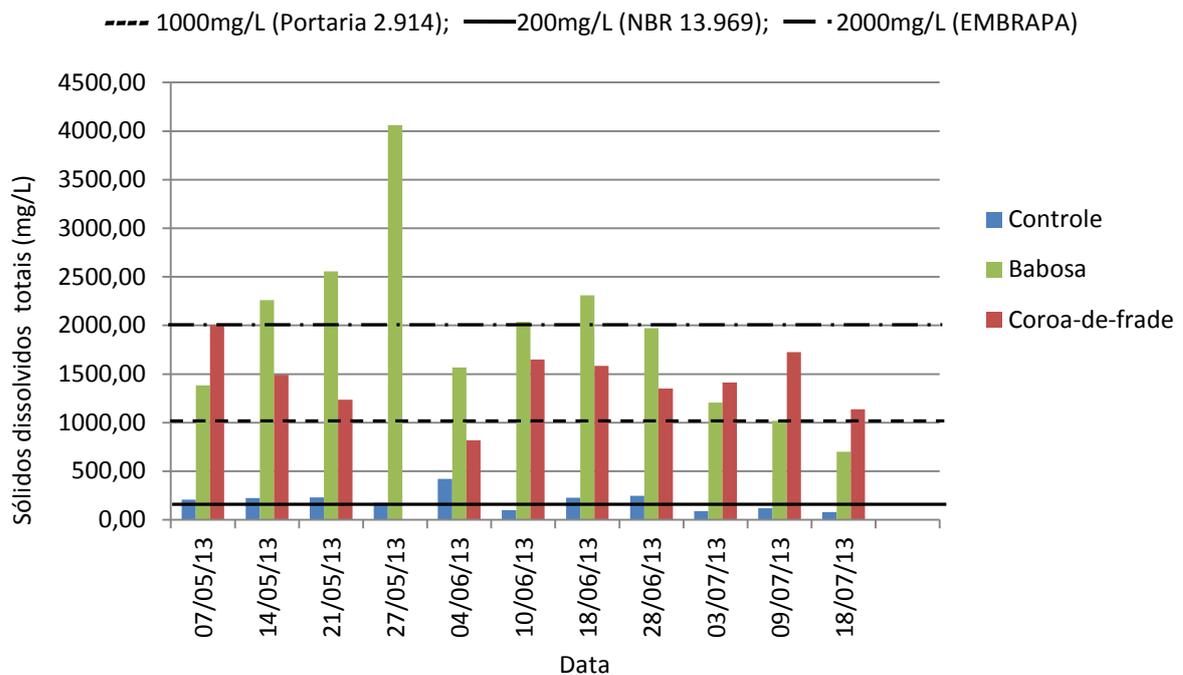


Ainda com relação aos telhados verdes, verificou-se que o telhado com Coroa-de-Frade apresentou menores valores de turbidez. Isso pode estar relacionado com a maior fixação do solo proporcionada pelas raízes do *Melocactus zehntneri* (Coroa-de-Frade), em relação ao tipo de raiz da *Aloe vera* (Babosa), e pelas raízes de espécies invasoras que apareciam em maior quantidade no telhado com Coroa-de-Frade, devido ao uso de terra preparada na camada de substrato desse telhado verde. A terra preparada é rica em esterco bovino com sementes de diversas vegetações utilizadas para alimentação desses ruminantes. Essas sementes passam pelo trato digestivo do animal (onde ocorre a quebra de dormência) e é expelida nas fezes que, comumente, são utilizadas como adubo; isto pode acarretar em futuras germinações destas.

A respeito dos valores de sólidos dissolvidos totais (SDT) (Figura 43), apenas o telhado controle se enquadrou nos limites da Portaria 2.914 de 1.000 mg/L. No caso dos telhados verdes, foram observados valores inferiores ao limite citado na coleta do dia 04 de junho para água escoada do telhado com Coroa-de-Frade, e nas coletas dos dias 09 e 18 de julho para água escoada do telhado com Babosa. No caso do limite estabelecido na NBR 13.969 para os sólidos dissolvidos totais, apenas o telhado controle apresentou valores que o atendessem (200 mg/L), e mesmo assim para apenas 5 das 11 amostras. Sendo o limite recomendado pela EMBRAPA maior que os demais (2.000 mg/L), verificou-se, para estas condições, que 6 das 11 amostras da água escoada com telhado cultivado com Babosa atenderam, e no caso do telhado com Coroa-de-Frade apenas 1 amostra não atendeu ao

estabelecido pela norma em questão. Todas as amostras do telhado controle apresentaram valores abaixo do limite estabelecido na publicação da EMBRAPA. No âmbito da NBR 15.527 não há limite especificado para SDT.

Figura 43- Valores obtidos de sólidos dissolvidos totais, em mg/L, para cada coleta dos telhados controle e vegetados.



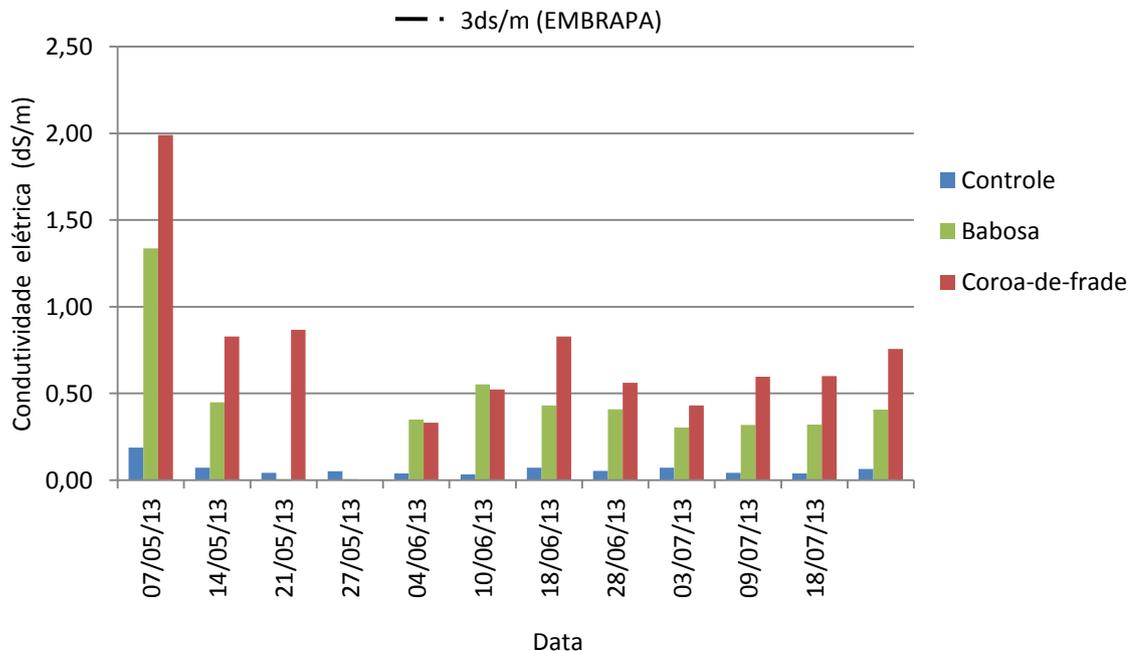
- Condutividade elétrica (CE)

No que diz respeito à condutividade elétrica (CE), a água escoada pelos tetos verdes apresentaram maiores valores que o teto convencional, sendo os maiores resultados obtidos na primeira coleta (Figura 44).

Os valores de CE mais elevados, para os dois tetos verdes, são justificados pela presença de matéria orgânica nas duas coberturas vegetadas. A matéria orgânica, quando em decomposição libera seus íons e nutrientes, que podem ser facilmente carreados pela água escoada. Entre os dois tetos verdes, o que apresentou maiores valores de CE foi o teto de Coroa-de-Frade, o que pode ser explicado pelo tipo de substrato utilizado na composição do teto verde, à base de esterco bovino. Os valores obtidos nesta pesquisa, quando comparados com a resolução CONAMA 357/2005, mostraram que a água escoada pelos telhados verdes enquadra-se na classe das águas salobras. No entanto, mesmo com a água escoada pelos tetos verdes possuindo valores sempre mais elevados, as mesmas encontram-se dentro dos padrões

para irrigação, segundo a EMBRAPA, uma vez que o limite máximo deve ser 3 dS/m, conforme pode-se verificar na Tabela 8.

Figura 44- Valores obtidos de condutividade elétrica, em dS/m, para cada coleta dos telhados controle e vegetados.

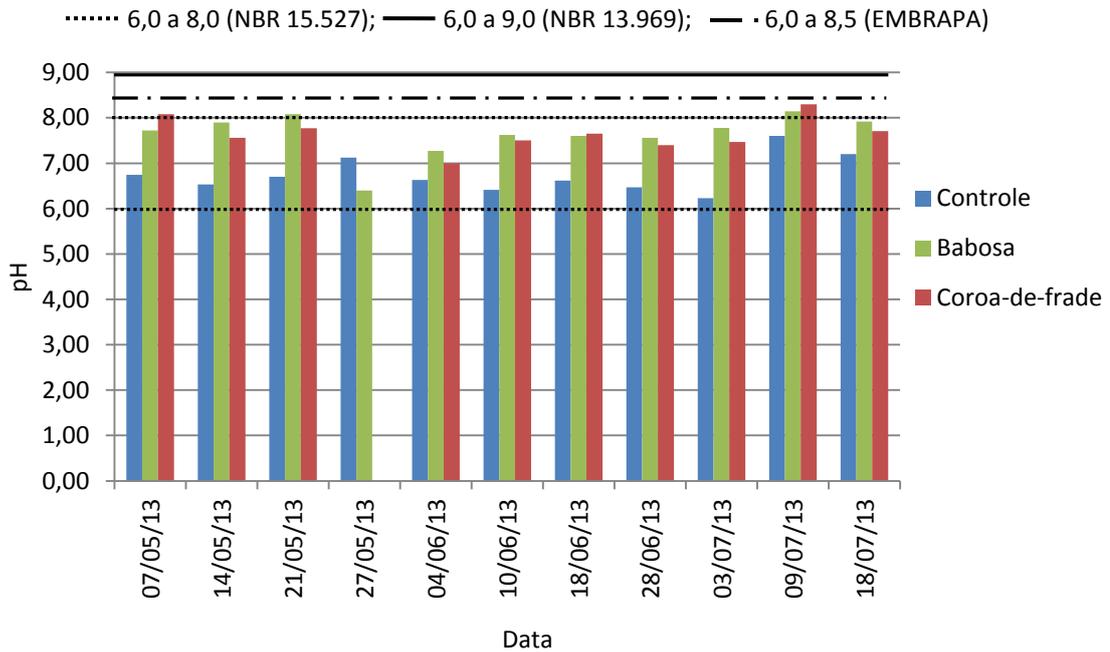


Os valores de CE verificados nesta pesquisa se apresentaram levemente mais elevados que os obtidos por Farias (2012), porém na mesma faixa de valores, entre 0 e 1, com exceção apenas da primeira coleta. Os valores mais elevados já eram esperados devido à renovação dos substratos utilizados nas duas coberturas verdes. Demais normas e portarias não abordam este parâmetro.

- pH

Ao considerar os limites estabelecidos pelas legislações/recomendações citadas nesta pesquisa (Quadro 3), observa-se que, exceto para as amostras dos dia 21/05 e 09/07, telhado vegetado com Babosa, e 07/05 e 09/07, telhado vegetado com Coroa-de-Frade (ABNT 15527/2007; ABNT 13969/1997 e EMBRAPA), que os valores obtidos para o telhado controle e os demais valores obtidos com os telhados verdes se enquadram dentro dos limites permitidos entre 6,0 e 9,0 (Figura 45). A mesma ordem de valores foi obtida por Farias (2012), o que mostra que a troca por novas camadas de substrato, manta e vegetação não teve grande influência nos valores de pH obtidos em trabalhos anteriores.

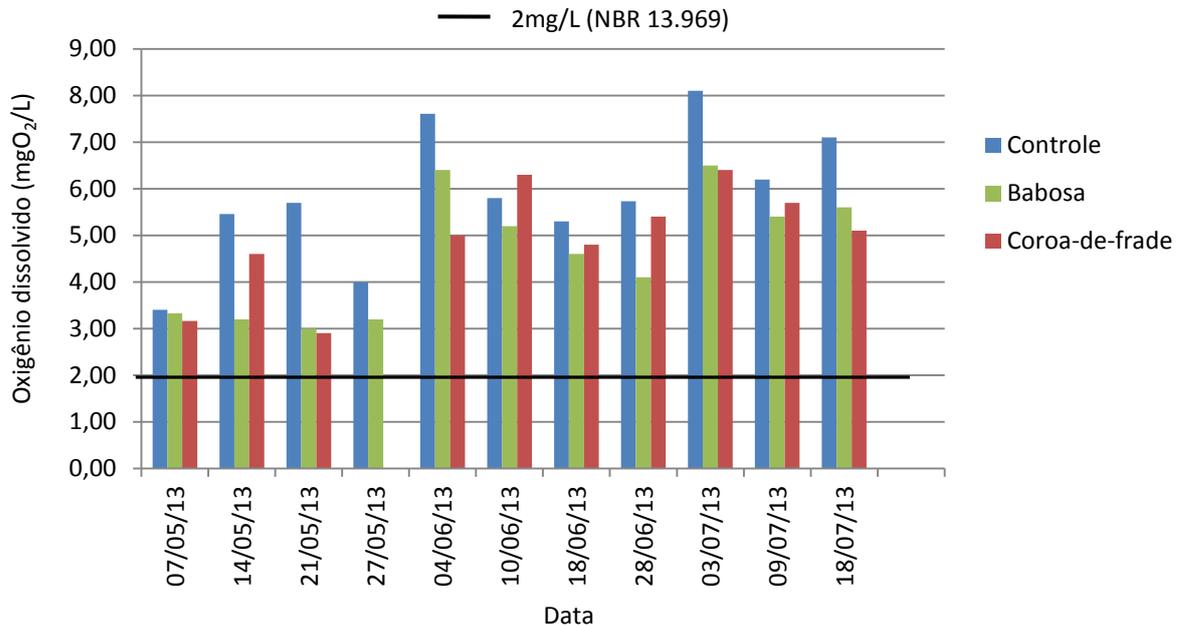
Figura 45- Valores obtidos de pH para cada coleta dos telhados controle e vegetado.



- Oxigênio Dissolvido (OD)

A investigação quanto ao oxigênio dissolvido na água é uma das mais importantes análises a realizar no monitoramento da qualidade da água, visto que este parâmetro está relacionado com a presença de matéria orgânica na amostra. Na Figura 46 verifica-se que todos os resultados obtidos, nos telhados estudados, ultrapassam o valor mínimo estabelecido na NBR 13.969 (2 mg/L), podendo, assim, serem enquadrados para reúso na classe 4, irrigação de cultivos. Os maiores valores obtidos de OD estão relacionados à aeração da água armazenada nos tonéis provocada pela queda de água proporcionada pelo escoamento de precipitações que antecederam a data da coleta.

Figura 46- Valores obtidos de OD, em mg/L, para cada coleta dos telhados controle e vegetados.



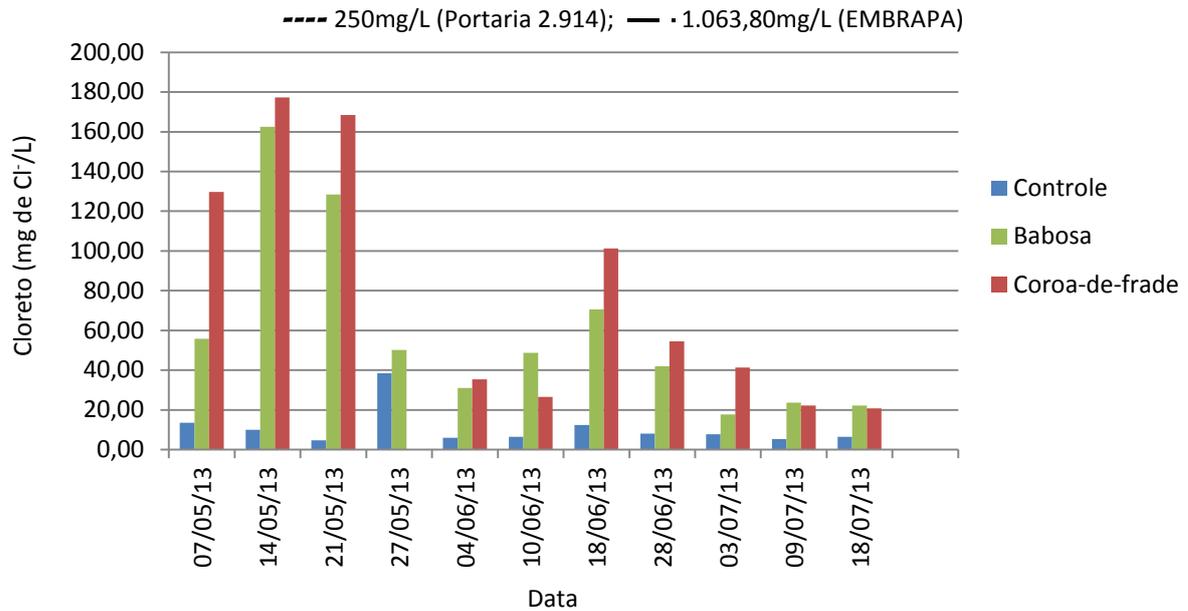
- Cloreto

Lima & Chaves (2008) afirmam que águas naturais recebem cloreto de várias maneiras, pela dissolução de cloretos presentes nos solos, pela precipitação de água com pequenos cristais de sais provindos da evaporação dos oceanos, e até por despejos de esgotos domésticos contendo urina humana.

Com relação à documentação citada, apenas a Portaria 2.914 e o documento da EMBRAPA fazem referência ao limite máximo estabelecido para este parâmetro, 250 mg/L e 1.063,80 mg/L, respectivamente. De acordo com a Figura 47, todos os valores de cloretos obtidos neste experimento atendem a essas recomendações.

É importante ressaltar que os valores encontrados no âmbito desta pesquisa foram maiores dos que encontrados por Farias (2012), tanto para os telhados verdes como o telhado controle. Este fato deve-se, provavelmente, à nova camada de substrato colocada nos telhados verdes e a troca das telhas quebradas que existiam no telhado convencional por telhas novas. Mas, logo após as primeiras chuvas as maiores concentrações de nutrientes e sais presentes nas novas instalações dos telhados foram lixiviadas, observando-se menor presença desses nas amostras seguintes.

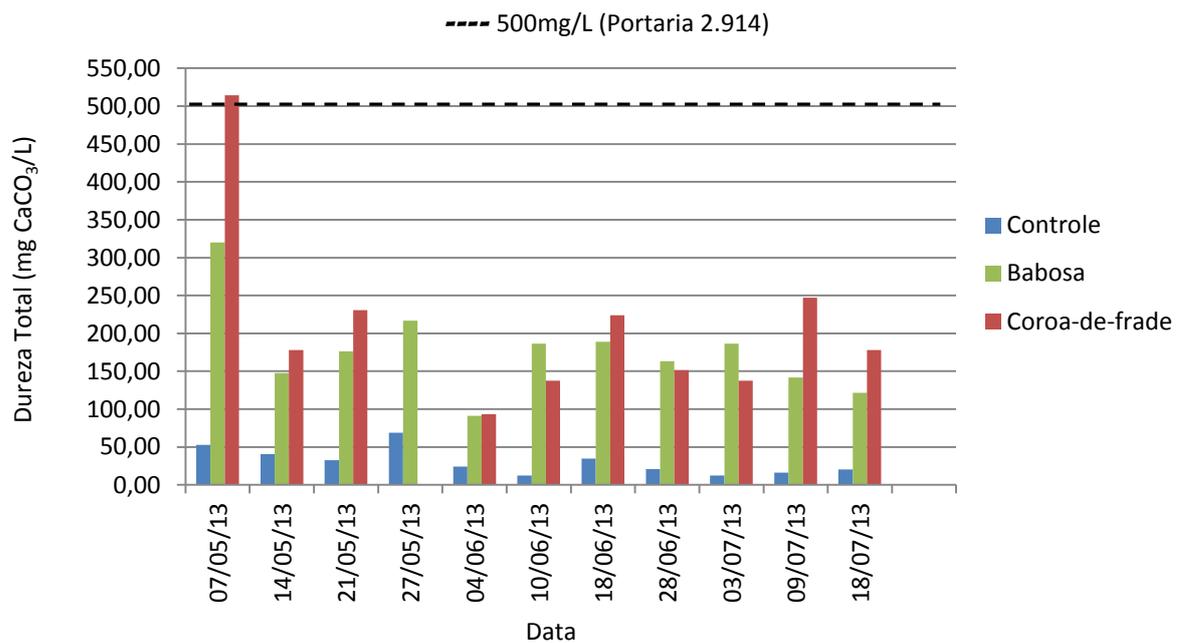
Figura 47- Valores obtidos de Cloretos, em mg/L, para cada coleta dos telhados controle e vegetados.



- Dureza total

Apenas a Portaria N° 2.914 faz referência ao limite para este parâmetro (limite de 500 mg/L). Sendo assim, exceto para a amostra da água escoada do telhado com Coroa-de-Frade, em 07/05, todas as demais amostras analisadas, para os telhados verdes e de controle, se enquadram no exigido (Figura 48).

Figura 48- Valores obtidos de Dureza Total, em mg/L, para cada coleta dos telhados controle e vegetados.

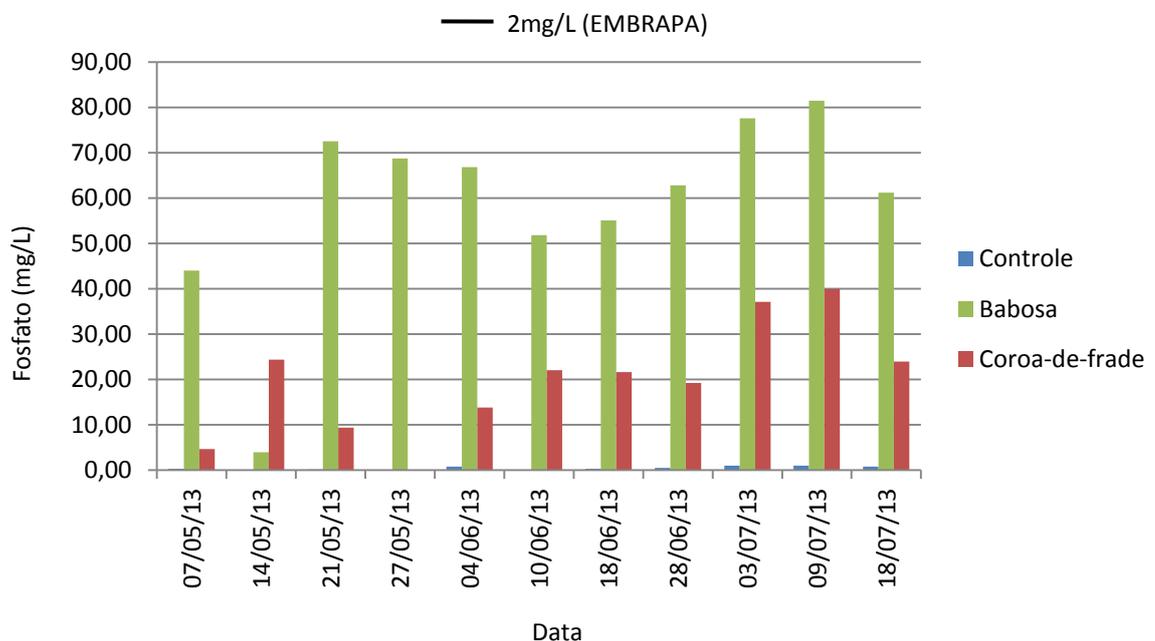


- Fosfato

Apenas a EMBRAPA faz referência a esse parâmetro, limitando a 2mg PO₄/L para o uso da água para irrigação. Os valores elevados, Figura 49, obtidos nas amostras de água escoada pelos telhados verdes são justificados devido ao tratamento dado a camada de substrato referente à parcela de fertilizantes, húmus de minhoca no telhado com Babosa e terra com esterco bovino no telhado com Coroa-de-Frade, bem como aos demais compostos em decomposição que se encontrem sobre esses telhados.

O telhado com Coroa-de-Frade apresentou maiores valores de fosfato (Figura 49), o que está relacionado à morte e decomposição de alguns exemplares dessa vegetação. Os valores obtidos são demasiadamente elevados para uso dessa água em irrigação, conforme definido pela EMBRAPA, Quadro 1. Entretanto os valores obtidos para a água escoada do telhado controle se enquadram no limite imposto pela EMBRAPA para uso em irrigação. O fosfato em excesso no solo, assim como o nitrogênio, pode causar demasiado crescimento da vegetação.

Figura 49- Valores de Fosfato, em mg/L, em cada coleta dos telhados controle e vegetados.



- Nitrogênio

A determinação do nitrogênio presente nas águas, em suas várias formas (amoniacal, nitrito e nitrato), serve como base para avaliação da qualidade das mesmas. Estudos realizados em águas residuárias e naturais mostram que a maior parte do nitrogênio encontrado nas

mesmas se apresenta na forma orgânica amoniacal, e com o passar do tempo, o nitrogênio orgânico é gradualmente convertido à amônia (NH_3), e em seguida, se houver condições aeróbicas, este é oxidado a nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-). Deste modo, águas que contêm nitrogênio nas formas orgânica e amoniacal devem ter sido poluídas há pouco tempo e, portanto, representam um grande perigo. Por outro lado, as águas, nas quais a maior parte do nitrogênio ocorre na forma de nitrato, devem ter sido poluídas há longo tempo e por isso oferecem pouco perigo à saúde pública (LIMA & CHAVES, 2008).

No caso das amostras coletadas dos telhados verdes e de controle, os contaminantes são provindos da camada de substrato com presença de fertilizantes naturais para as coberturas ajardinadas, e excrementos de aves, roedores e outros pequenos vertebrados que venham a circular sobre o telhado. Os resultados obtidos para as diversas formas de nitrogênio analisadas nas amostras coletadas seguem apresentados nas Figuras 50, 51, 52 e 53, onde é possível observar que a forma do nitrogênio encontrada, em maior quantidade nas amostras escoadas dos três telhados, é o nitrato, atingindo 202,36 mg/L para o telhado com Babosa, 93,87 mg/L para o telhado com Coroa-de-Frade e 7,48 mg/L para o telhado Controle, estando apenas este último em conformidade com a Portaria N° 2.914 e com o documento da EMBRAPA que limitam a 10 mg/L a presença de nitrato na água (Figura 53).

Figura 50- Valores obtidos de Amônia (NH_3), em mg/L, para cada coleta dos telhados controle e vegetados.

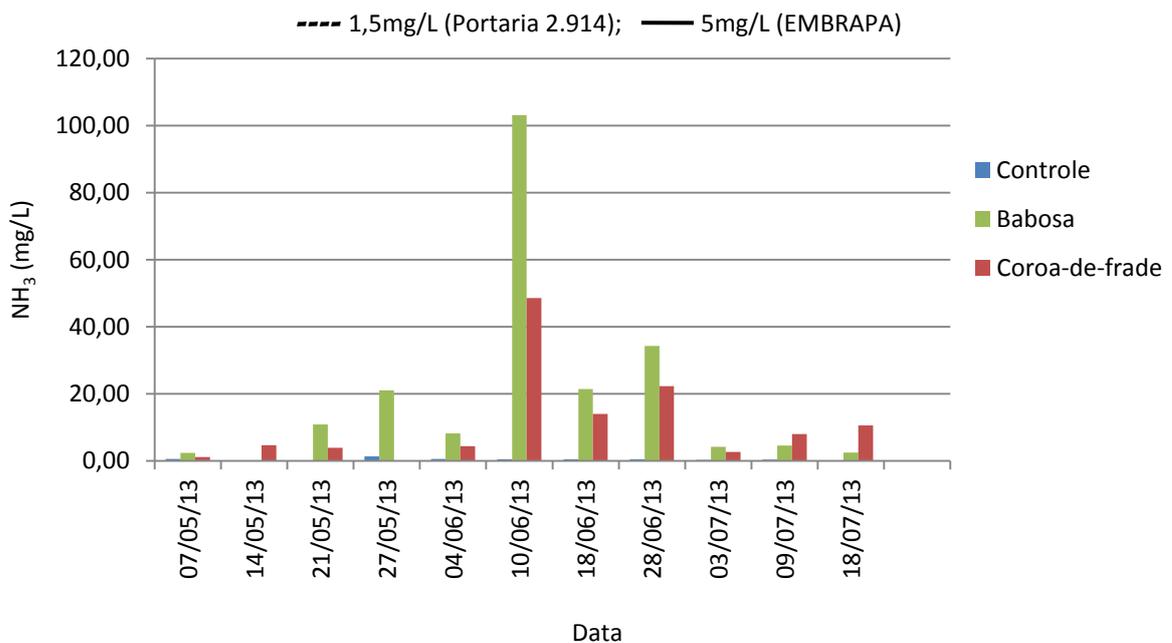


Figura 51- Valores obtidos de N-NH₃, em mg/L, para cada coleta dos telhados controle e vegetados.

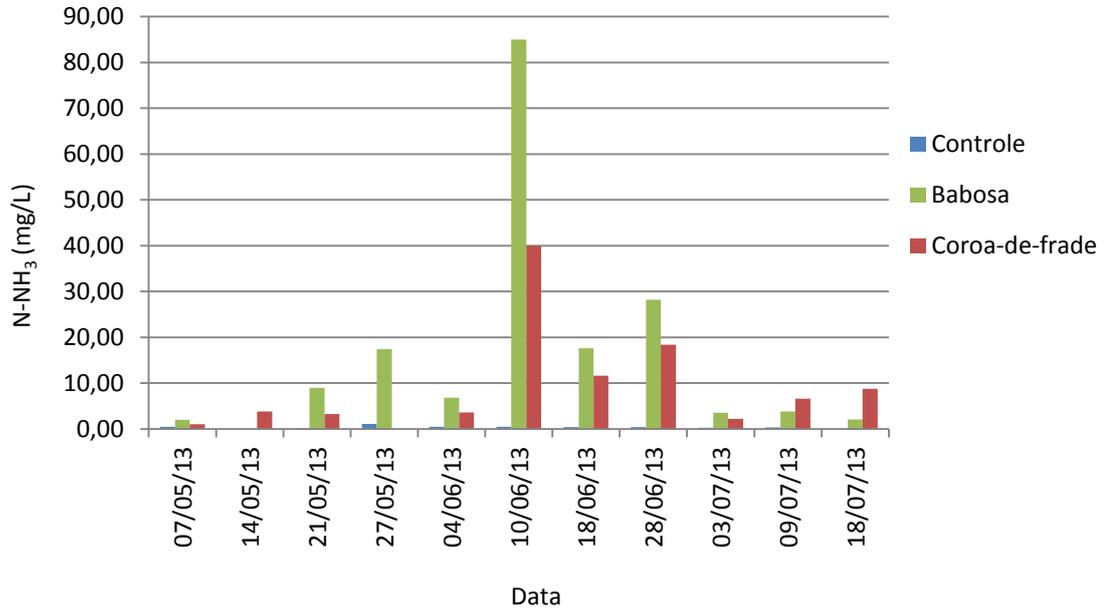


Figura 52- Valores obtidos de Nitrito, em mg/L, para cada coleta dos telhados controle e vegetados.

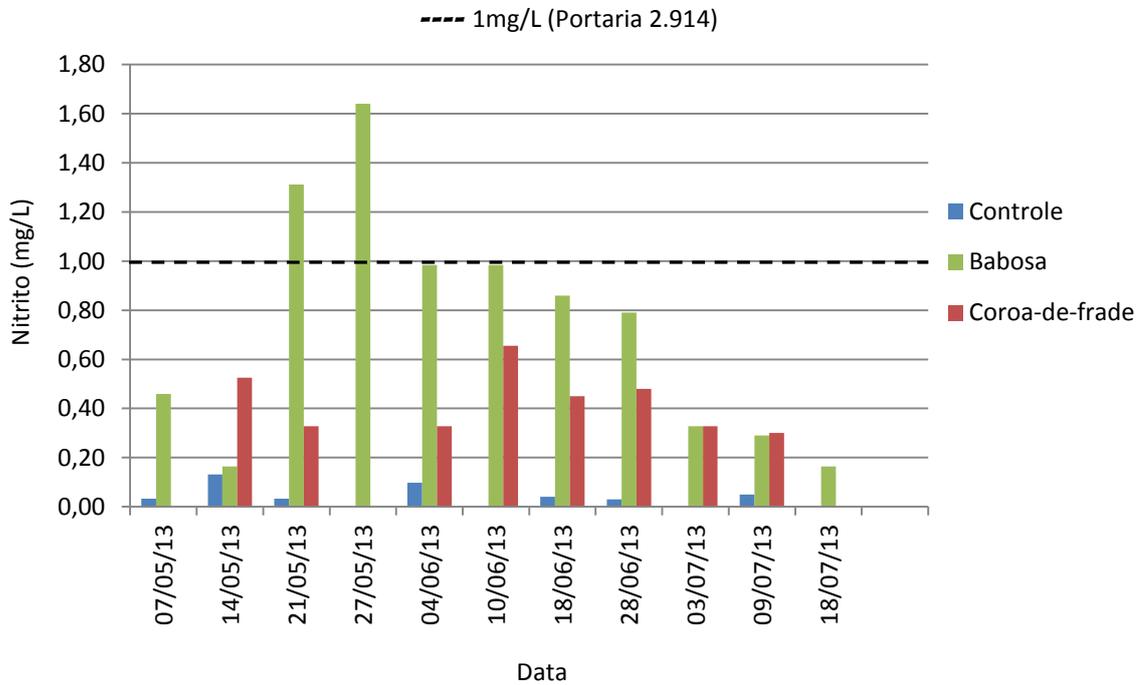
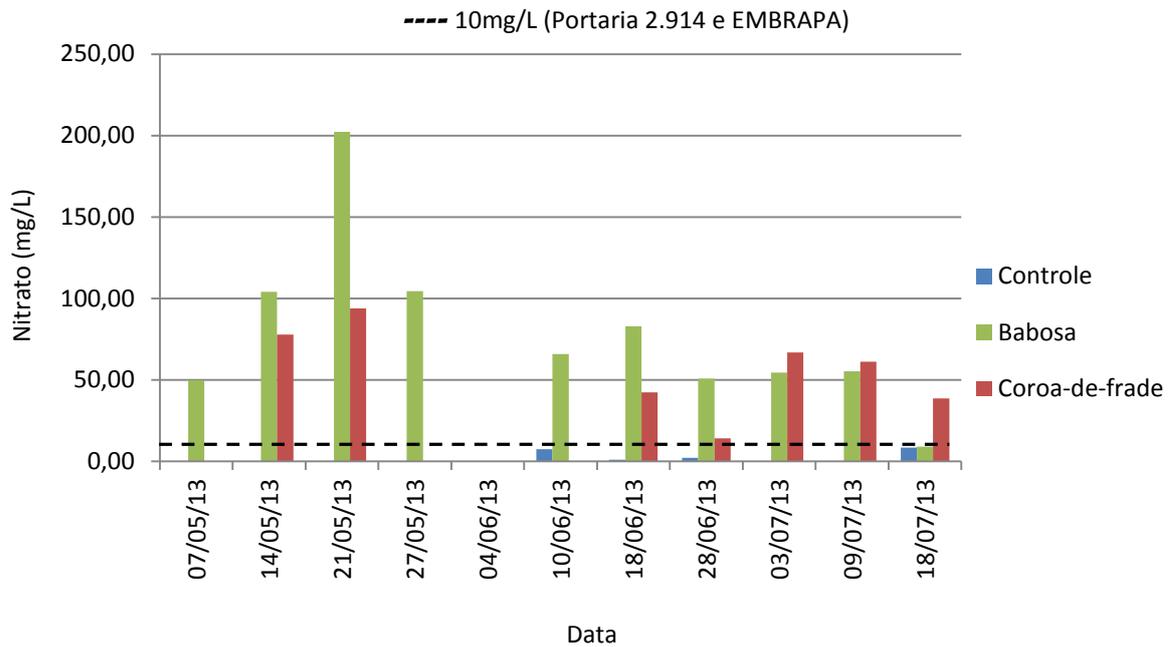


Figura 53- Valores obtidos de Nitrato, em mg/L, para cada coleta dos telhados controle e vegetados.



Com relação ao parâmetro amônia, apenas a Portaria N° 2.914 e o documento da EMBRAPA fazem referência ao limite do mesmo, que são respectivamente 1,5 mg/L e 5,0 mg/L. Assim sendo, cinco amostras captadas dos telhados com Babosa e o com Coroa-de-Frade obtiveram resultados abaixo do limite da EMBRAPA, atendendo à norma para irrigação (Figura 50). Quanto à Portaria N° 2.914, apenas 1 amostra de cada um dos telhados verdes (Babosa e Coroa-de-Frade) se enquadraram no exigido pela portaria que é de no máximo 1,5 mg/L. Os telhados vegetados apresentaram altos níveis de NH_3 , com médias de 19,37 mg/L e 12,03 mg/L para as amostras escoadas dos telhados com Babosa e com Coroa-de-Frade, respectivamente. Os valores encontrados neste experimento estão acima dos obtidos por Farias (2012) para telhados verdes, com médias de 3,14 mg/L para telhado com Grama-de-Burro e 2,82 mg/L para o com Coroa-de-Frade. Este comportamento atual pode estar relacionado às novas camadas de substrato utilizadas nessas coberturas, visto que no trabalho de Farias (2012) fez-se uso de uma camada de substrato que já havia sofrido 5 anos de lixiviação de seus componentes. Por outro lado, todas as amostras do telhado controle se mantiveram abaixo do limite de amônia estabelecido na Portaria e, conseqüentemente, no documento da EMBRAPA.

Com relação ao parâmetro nitrito, observa-se na Figura 52, que todas as amostras do telhado Controle e do telhado com Coroa-de-Frade se mantiveram abaixo do estabelecido na Portaria 2.914 (1 mg/L). No caso do telhado com Babosa este comportamento não foi

observado apenas no resultado de duas amostras (os dias 21 e 27 de maio). Nas Figuras 52 e 53 observa-se que o nitrato (NO_3^-) foi encontrado em maior quantidade, quando comparado ao nitrito (NO_2^-), esse resultado também foi encontrado por Farias (2012), o que pode estar associado à instabilidade do nitrito (GARCEZ, 2004), sendo facilmente oxidado a nitrato na presença de condições aeróbicas.

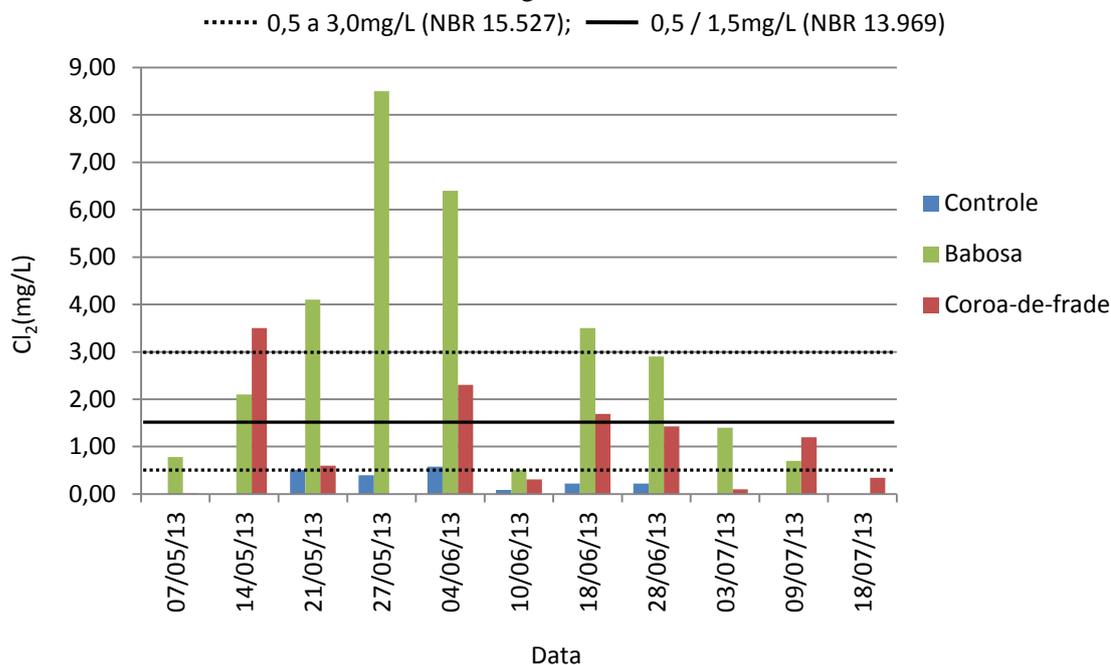
- Cloro residual livre (Cl_2)

O cloro é utilizado na potabilização das águas agindo como desinfetante na eliminação de bactérias e de outros micro-organismos patógenos. No entanto, em grande quantidade, o cloro residual confere sabor e odor desagradável a esta água podendo vir a causar danos à saúde humana.

Na Figura 54, observa-se a presença de cloro livre nas amostras dos telhados verde e controle, isso se deve aos períodos de irrigação dos telhados verdes na época de estiagem, onde a vegetação era regada com água provinda do sistema de abastecimento local, e também devido a testes com aspersores de água que simulavam chuva sobre os telhados em estudo fazendo uso de água da companhia estadual de saneamento tratada com cloro (atividades de outra pesquisa que ocorreram anteriormente ao período chuvoso e início deste trabalho). Deste modo, provavelmente ainda havia resíduos de Cloro nos tonéis de armazenamento da água, que apenas com o passar do tempo e a realização das atividades de coletas, com consequente lavagem dos tonéis, foi sendo lixiviado.

No âmbito dos limites estabelecidos, apenas às normas NBR 15.527 e 13.969 fazem referência ao cloro residual. No caso da NBR 15.527, o parâmetro é limitado à faixa entre 0,5 e 3,0 mg/L, e, sendo assim, observa-se, na Figura 54, que 50%, 40% e 15% das amostras de água escoada dos telhado com Babosa, Coroa-de-Frade e de controle, respectivamente, se enquadram dentro desse limite. Quanto à NBR 13.969, esta impõe limites apenas para o uso não potável da classe 1, que se refere ao uso para lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes, sendo o limite de cloro livre permitido entre 0,5 e 1,5 mg/l. Para os demais usos não potáveis previstos nessa mesma norma, classes 3 e 4, não existe limite padrão dessa substância na água, chamando atenção apenas para a classe 2, onde a norma pede que a quantidade de Cl_2 apresente-se superior a 0,5 mg/l.

Figura 54- Valores obtidos de Cloro residual livre, em mg/L, para cada coleta dos telhados controle e vegetados.



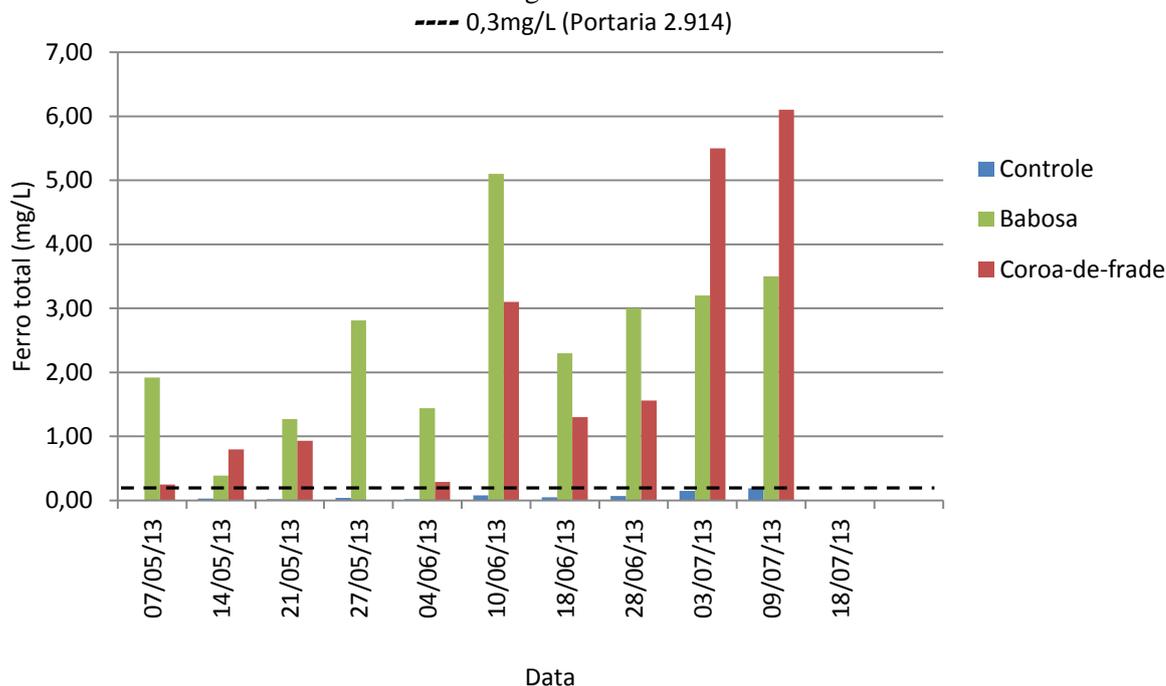
- Ferro total

Os valores de ferro encontrados nas amostras dos telhados verdes estão relacionados ao substrato utilizado nessas coberturas. Para Lima & Chaves (2008), o ferro presente em solos, em alguns locais, ocorre na forma de carbonato de ferro, o qual é ligeiramente solúvel sendo facilmente lixiviado na ocorrência de eventos chuvosos.

Dentre as regulamentações/recomendações citadas apenas a Portaria N° 2.914 estabelece limite máximo para este parâmetro que é de 0,3 mg/L. Nas amostras analisadas da água escoada dos telhados em estudo, o volume escoado do telhado controle se enquadrou no limite exigido pela Portaria N° 2.914, Figura 55. Quanto ao percolado pelos telhados vegetados com Babosa e Coroa-de-Frade, apenas 1 e 3 amostras respectivamente ficaram abaixo do limite permitido, o restante das amostras apresentaram valores de Ferro superiores ao limite da Portaria N° 2.914, não se enquadrando no padrão de potabilidade.

Os resultados obtidos para esse parâmetro mostram ainda valores superiores aos apresentados por Farias (2012), o motivo deve estar relacionado à nova camada de substrato, visto que na Tabela 7 pode-se verificar que os maiores valores de ferro estavam presentes no percolado de argila e de terra preparada, justificando os resultados apresentados na Figura 55, onde os maiores valores de ferro foram obtidos nas amostras do telhado Coroa-de-Frade, cujo substrato continha argila e terra preparada.

Figura 55- Valores obtidos de Ferro total, em mg/L, para cada coleta dos telhados controle e vegetados.



4.2.4 Análises dos parâmetros microbiológicos da água escoada dos telhados e do substrato.

A biodiversidade de micro-organismos encontrada nas amostras da água escoada pelos telhados verdes e controle é muito vasta (Tabela 11). Esses microorganismos estão representados por cianobactérias (algas), diatomáceas, cistos, amebas, flagelados, ciliados, rotíferos, ovos, helmintos, gastrotico, tardígrados e ácaros, e são característicos da microflora e microfauna da camada de solo utilizada nas coberturas ajardinadas, assim como demais microrganismos depositados sobre os telhados através de fezes de pequenos vertebrados. De um modo geral, esses organismos participam de uma cadeia cíclica no ecossistema ao qual estão inseridos, variando seu metabolismo de acordo com a temperatura, as condições de umidade, o arejamento e a disponibilidade de alimento.

Tabela 11- Quantitativo de espécimes por grupo em cada coleta dos telhados controle e vegetados (continua).

Grupo	Coleta	Controle	Coroa-de-Frade	Babosa
Substrato		-	Terra preparada + areia lavada + argila	Húmus de minhoca + areia lavada + argila
Diatomácea	07/05	0	45	0
	21/05	90	45	285
	04/06	75	60	255
	18/06	60	105	300
	02/07	30	135	270
	18/07	24	133	252
Alga	07/05	120	210	495
	21/05	4050	240	1275
	04/06	4170	735	1365
	18/06	2850	780	1470
	02/07	1725	855	1485
	18/07	1598	858	1382
Cisto	07/05	15	30	0
	21/05	0	870	60
	04/06	75	825	285
	18/06	45	900	405
	02/07	15	870	480
	18/07	11	899	487
Ameba	07/05	45	45	15
	21/05	165	210	90
	04/06	105	1140	105
	18/06	75	1230	165
	02/07	45	1365	210
	18/07	37	1405	226
Flagelado	07/05	0	0	0
	21/05	75	105	45
	04/06	60	75	60
	18/06	45	105	90
	02/07	15	135	120
	18/07	12	167	123
Ciliado	07/05	30	195	0
	21/05	75	45	360
	04/06	120	555	1680
	18/06	75	645	1845
	02/07	30	780	1965
	18/07	14	809	1998
Rotífero	07/05	15	15	0
	21/05	15	75	15
	04/06	0	330	150
	18/06	0	465	225
	02/07	0	615	315
	18/07	0	624	403
Ovo	07/05	0	150	0
	21/05	0	195	75
	04/06	0	300	105
	18/06	0	390	135
	02/07	0	345	150
	18/07	0	332	143

Tabela 11- Quantitativo de espécimes por grupo em cada coleta dos telhados controle e vegetados (finalização).

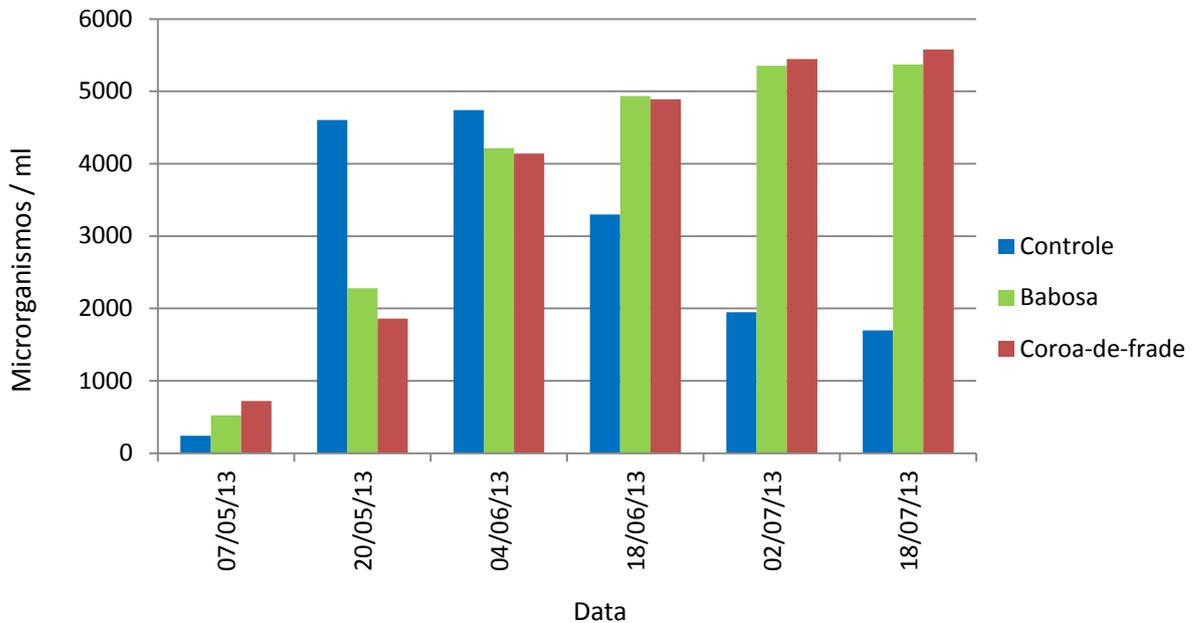
Grupo	Coleta	Controle	Coroa-de-Frade	Babosa
Substrato		-	Terra preparada + areia lavada + argila	Húmus de minhoca + areia lavada + argila
Helminto	07/05	0	30	15
	21/05	0	75	0
	04/06	0	60	90
	18/06	0	75	105
	02/07	0	90	120
	18/07	0	87	112
Gastrotico	07/05	0	0	0
	21/05	45	0	60
	04/06	0	0	0
	18/06	0	0	45
	02/07	0	0	75
	18/07	0	0	73
Tardígrado	07/05	0	0	0
	21/05	0	0	0
	04/06	0	1	0
	18/06	0	15	0
	02/07	0	18	0
	18/07	0	17	0
Ácaro	07/05	0	0	0
	21/05	0	0	15
	04/06	0	60	120
	18/06	0	180	150
	02/07	0	240	165
	18/07	0	246	174

É possível observar na Tabela 11 e na Figura 56, que houve crescimento na quantidade de microrganismos nas amostras de água de chuva escoada dos telhados verdes. Este fato deve-se ao maior carreamento dos micro-organismos provocado pela frequência contínua das chuvas no período da pesquisa, o que proporcionou umidade ótima no substrato para a ocorrência da eclosão dos diversos cistos e ovos de invertebrados inferiores (muitos patogênicos), facilmente lixiviados.

O oposto ocorreu no telhado convencional (telha cerâmica), com o início do período chuvoso os micro-organismos, ovos e cistos existentes sobre essa cobertura são carreados para os tonéis, havendo um aumento inicial na presença desses no percolado, porém, diferentemente dos telhados verdes que possuem substratos ricos em microrganismos, o telhado convencional apresentou apenas aqueles que foram carreados pelo vento e depositos sobre os telhados, ou aqueles provindos das fezes de pequenos animais (aves, insetos, aracnídeos, anfíbios e pequenos répteis) que venham a frequentar os telhados. Deste modo, em poucos eventos chuvosos, o que existia acumulado sobre o telhado foi carreado, lavando o

telhado, o que acarretou em um declive com menores quantidades desses microrganismos nas amostras seguintes de água escoada dos telhados.

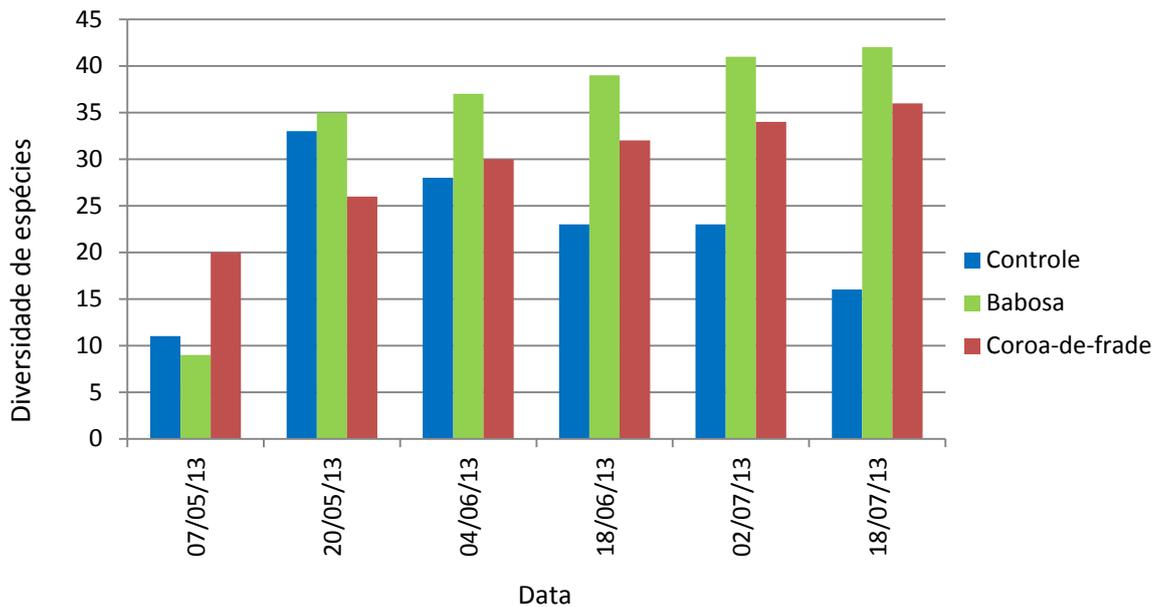
Figura 56- Quantidade de microrganismos na água captada de cada telhado para cada coleta.



Na Tabela 11 é possível observar, no intervalo entre duas coletas consecutivas, o crescimento, principalmente, do número de ciliados, amebas e rotíferos. Isto se deve ao fato de que muitos desses organismos se apresentavam no solo na forma de cistos e ovos podendo sobreviver longos períodos em solos secos, e com o início do período chuvoso, à medida que ocorre o aumento de umidade no solo, rapidamente acontece o desencistamento ou a eclosão do ovo, podendo haver uma proliferação de microrganismos capaz de rapidamente dobrar sua população em pouco tempo.

Este mesmo comportamento de crescimento e de decaimento na quantidade de microrganismos foi observado para os telhados verdes e convencional, respectivamente, quanto à diversidade de microrganismos encontrados (Figura 57 e Tabela 12).

Figura 57- Diversidade de microrganismos na água captada de cada telhado para cada coleta.



Na Tabela 12 apresenta-se o quantitativo da diversidade de espécies, por grupo, que foram encontradas nas amostras captadas em todos os telhados estudados. Como pode ser visto, as algas, amebas e ciliados são os taxos que apresentam maior diversidade de espécies e isto acontece tanto para o telhado controle como para os telhados verde ao longo das coletas analisadas. Pode-se associar este comportamento à origem dos materiais utilizados para compor o substrato, visto que a areia lavada, por exemplo, provém de rios, que são ricos em algas, e como observado nos resultados obtidos nas análises de percolado por esta parcela do substrato, a areia lavada utilizada no projeto apresentou esporos de algas que na presença de umidade rapidamente se desenvolveram.

Tabela 12- Diversidade de espécies por grupo em cada coleta dos telhados controle e vegetados (continua).

Grupo	Coleta	Controle	Coroa-de-Frade	Babosa
Diatomácea	07/05	0	3	0
	21/05	3	2	6
	04/06	3	2	3
	18/06	2	3	3
	02/07	1	3	3
	18/07	0	3	4
Alga	07/05	3	4	7
	21/05	15	3	8
	04/06	14	6	7
	18/06	12	6	7
	02/07	13	5	7
	18/07	12	5	8
Cisto	07/05	1	2	0
	21/05	3	3	2
	04/06	2	4	4
	18/06	2	4	4
	02/07	1	4	4
	18/07	0	5	4
Ameba	07/05	3	3	1
	21/05	3	7	2
	04/06	2	6	2
	18/06	2	6	3
	02/07	2	6	4
	18/07	2	6	4
Flagelado	07/05	0	0	0
	21/05	2	2	1
	04/06	1	1	1
	18/06	1	2	1
	02/07	1	3	2
	18/07	0	3	2
Ciliado	07/05	2	3	0
	21/05	1	3	8
	04/06	3	3	12
	18/06	2	3	12
	02/07	2	4	12
	18/07	2	5	11
Rotífero	07/05	1	1	0
	21/05	1	2	1
	04/06	0	2	3
	18/06	0	2	3
	02/07	0	3	3
	18/07	0	3	3
Ovo	07/05	0	2	0
	21/05	0	3	4
	04/06	0	3	2
	18/06	0	3	2
	02/07	0	3	2
	18/07	0	3	2

Tabela 12- Diversidade de espécies por grupo em cada coleta dos telhados controle e vegetados (finalização).

Grupo	Coleta	Controle	Coroa-de-Frade	Babosa
Helminto	07/05	0	2	1
	21/05	0	1	0
	04/06	0	1	2
	18/06	0	1	2
	02/07	0	1	2
	18/07	0	1	2
Gastrotico	07/05	0	0	0
	21/05	1	0	1
	04/06	0	0	0
	18/06	0	0	1
	02/07	0	0	1
	18/07	0	0	1
Tardígrado	07/05	0	0	0
	21/05	0	0	0
	04/06	0	1	0
	18/06	0	1	0
	02/07	0	1	0
	18/07	0	1	0
Ácaro	07/05	0	0	0
	21/05	0	0	1
	04/06	0	1	1
	18/06	0	1	1
	02/07	0	1	1
	18/07	0	1	1

Dentre a enorme biodiversidade encontrada nas amostras da água escoada pelos telhados analisados, destacam-se os gêneros e espécies descritos na Tabela 13, visto que esses afetam a saúde do ser humano.

Tabela 13- Espécies de relevância médica encontradas nas amostras da água escoada dos telhados.

	Alga	Cisto	Ovo
Telha	<i>Oscillatoria sp.</i>	- <i>Cryptosporidium sp.</i> - <i>Oocisto Toxoplasma gondii</i>	
Coroa	<i>Oscillatoria sp.</i> <i>Anabaena sp.</i>	- <i>Balantidium coli</i> - <i>Giardia sp.</i> - <i>Isospora belli</i> - <i>Entamoeba histolytica</i> - <i>Cryptosporidium sp.</i> - <i>Oocisto Toxoplasma gondii</i>	- <i>Áscaris lumbricoides</i> - <i>Schistosoma mansoni</i>
	<i>Oscillatoria sp.</i> <i>Microcystis sp.</i>	- <i>Giardia sp.</i> - <i>Isospora belli</i> - <i>Entamoeba histolytica</i> - <i>Cryptosporidium sp.</i> - <i>Entamoeba coli</i>	- <i>Áscaris lumbricoides</i> - <i>Ancilostomídeo</i>

O grupo patógeno que apresentou maior diversidade nas análises (Tabela 13) foi o referente aos cistos, este também apareceu em maior número nas análises microbiológicas da água percolada pelas parcelas componentes da camada de substrato (Tabela 14), estando estes em sua grande maioria relacionados à areia lavada, o que nos leva a crer que esse material provém de rio contaminado por esgotos domésticos, visto que a maioria dos cistos e ovos encontrados nas amostras de areia lavada são parasitas intestinais exclusivamente do ser humano.

Os cistos de *Toxoplasma gondii* e *Balantidium coli* encontrados na água percolada pelo telhado com vegetação Coroa-de-Frade têm origem da terra preparada com esterco bovino, o que faz sentido visto que esses protozoários apresentam o boi como hospedeiro.

Outros microrganismos patógenos que chamaram atenção foram os oocistos de *Giardia sp.* e *Cryptosporidium sp.*, que são protozoários responsáveis por causar doenças reconhecidamente associadas com águas de abastecimento para consumo humano, e que são resistentes à desinfecção por cloração, sendo necessário tratamento com filtração para remoção destes (HELLER *et al.*, 2004).

O § 1º do artigo 31 da Portaria de Nº 2.914/2011 impõe que sejam realizados monitoramento da presença de cistos de *Giardia sp.* e *Cryptosporidium sp.*, que são de origem fecal, quando for identificada média geométrica anual maior ou igual a 1.000 *Escherichia coli*/100mL, para que se possa manter maior controle dos tratamentos que deverão ser utilizados para desinfecção da água, visto que a cloração não é eficiente para eliminação desses cistos.

O primeiro grupo apresentado na Tabela 13 é referente às cianobactérias (algas) que podem adicionar gosto e odor desagradável na água, ou até mesmo adicionar toxinas à mesma. Dentre diversas espécies de algas encontradas nas amostras de percolado, a *Oscillatoria sp.*, *Anabaena sp.* e *Microcystis sp.* citadas nas Tabelas 13 e 14, representam um grupo de cianobactérias produtoras de Anatoxina-a. Com relação à Anatoxina-a, Pereira *et al.* (2011) descrevem como sendo uma toxina que atua como um inibidor do neurotransmissor de acetilcolina, bloqueando o receptor nicotínico de acetilcolina, o que afeta o funcionamento do sistema nervoso. Experimentos têm demonstrado que, em apenas alguns minutos após o consumo de água contaminada com Anatoxina-a, cobaias apresentam sintomas típicos de intoxicação, como contrações musculares, respiração ofegante, e convulsões violentas que levam à morte com paradas respiratórias.

Para a Portaria 2.914/2011, a fim de minimizar os riscos de contaminação da água para consumo humano com cianotoxinas, deve ser realizado o monitoramento de cianobactérias, buscando-se identificar os diferentes gêneros para diagnosticar se as cianobactérias encontradas pertencem a gêneros potencialmente produtores de Anatoxina-a(s). Caso os gêneros sejam identificados como tal, recomenda-se a análise de clorofila-a, com frequência semanal, como indicador de potencial aumento da densidade dessas cianobactérias.

A mesma Portaria ainda fala que em função dos riscos à saúde associados às cianotoxinas, é vedado o uso de algicidas para o controle do crescimento de microalgas e cianobactérias, ou qualquer intervenção que provoque a lise das células, o que provocaria uma maior liberação das cianotoxinas para a água.

Tabela 14- Espécies de relevância médica encontradas nas amostras da água percolada de cada parcela do substrato.

	Alga	Cisto	Ovo
Areia Lavada	- <i>Oscillatória sp.</i> - <i>Anabaena</i>	- <i>Isospora belli</i> - <i>Entamoeba histolytica</i> - <i>Entamoeba coli</i> - <i>Giardia sp.</i> - <i>Cryptosporidium sp.</i> - <i>Balantidium coli</i>	- <i>Áscaris Lumbricóides</i> - <i>Schistosoma mansoni</i>
Húmus	-	-	-
Argila	-	-	-
Terra Preparada	-	- <i>Oocisto Toxoplasma gondii</i> - <i>Balantidium coli</i>	-

De acordo com a Agência Nacional das Águas (ANA, 2011), as principais doenças relacionadas à água podem ser divididas em quatro tipos: problemas contraídos durante o banho; problemas relacionados a vetores que se reproduzem na água; problemas provocados pelo contato com água contaminada e problemas transmitidos pela água ingerida resultando, portanto, em sua baixa qualidade.

Através dos resultados obtidos nas análises das amostras dos telhados verdes e controle, pode-se dizer que esses se enquadram em todos os tipos de contração de doenças citados, visto que foram diagnosticados parasitas que se apresentam na forma de cistos ou ovos podendo ser ingeridos, como parasitas na forma de larvas podendo penetrar na epiderme, quando em contato com estas águas contaminadas, além de que a água armazenada no tonel é passível de tornar-se criadouro para vetores de doenças que utilizam a água para reprodução, uma vez que foram encontradas larvas de mosquitos nas amostras de água coletadas do tonel

do telhado controle. Uma boa solução para minimizar a presença de muitos dos parasitas encontrados nas amostras, seria a instalação de sistemas de filtro posicionados anteriormente a entrada da água escoada nos toneis de captação, ao modo que se tornaria uma barreira evitando a passagem de ovos e cistos como os de *Giardia sp.*, e *Cryptosporidium sp.*, por exemplo.

4.2.5 Análises dos parâmetros bacteriológicos da água escoada dos telhados e do substrato.

Os resultados obtidos para os parâmetros Coliformes totais, *Escherichia coli*, e bactérias heterotróficas estão listados na Tabela 15 e apresentados na Figura 58. Ao observar os resultados, percebeu-se que houve um grande declínio na quantidade das bactérias estudadas. Neste caso, as amostras coletadas entre os dias 14/05 e 10/06, apresentaram maior queda inicialmente, e nas amostras coletadas entre 10/06 e 09/07, a quantidade de bactérias continuou decaindo, entretanto de uma forma mais sutil.

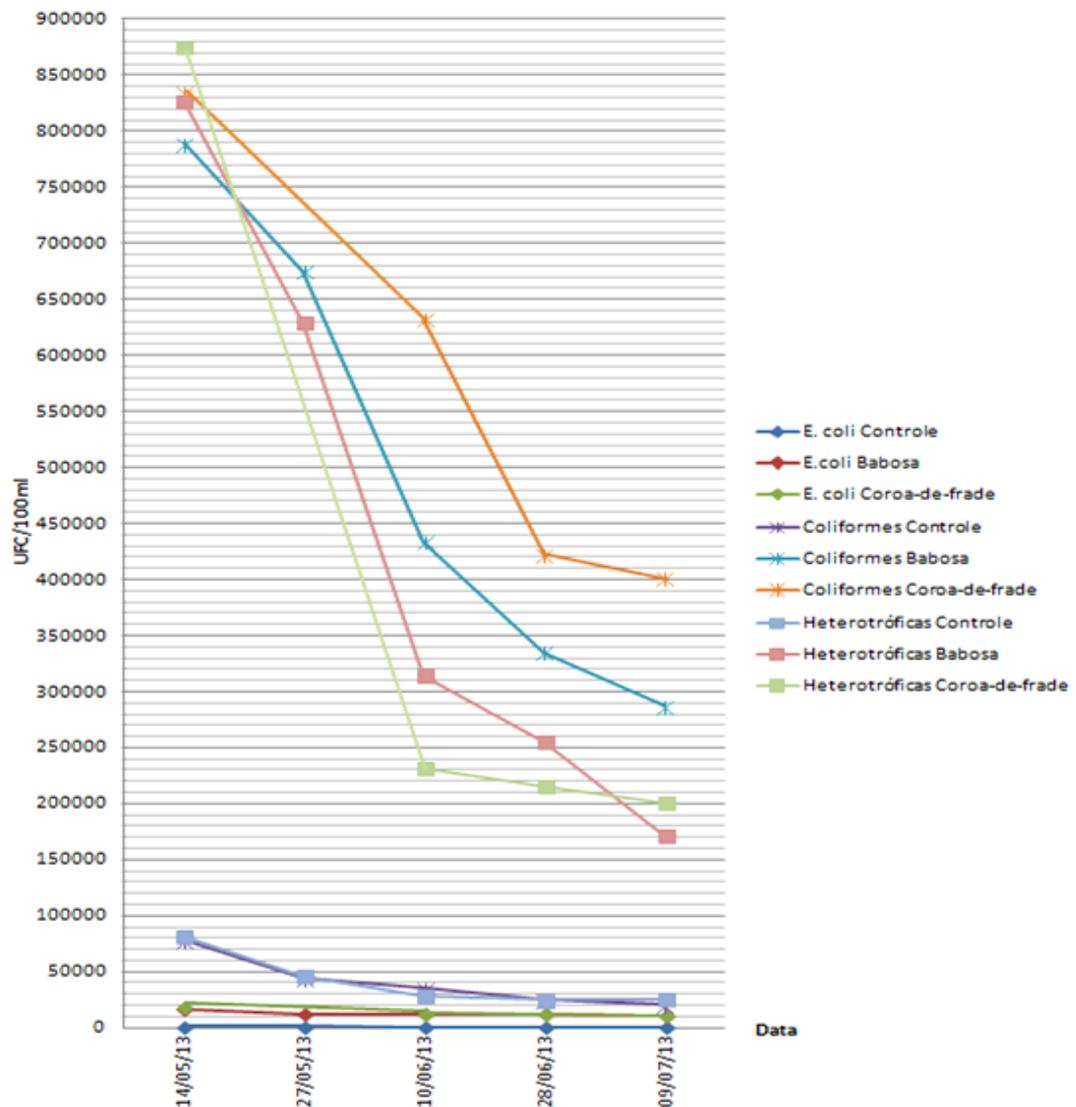
Tabela 15- Quantidade de bactérias/100 mL nas amostras de água escoada dos telhados verdes e convencional.

Bactérias	Coleta	Controle	Coroa-de-Frade	Babosa
E. coli	14/05	1.350	18.800	16.500
	27/05	1.200	-	12.300
	10/06	1.100	13.250	11.900
	28/06	950	12.210	11.650
	09/07	800	11.120	10.500
Coliformes totais	14/05	78.200	835.000	789.500
	27/05	44.550	-	675.500
	10/06	35.900	632.750	433.700
	28/06	25.150	422.450	335.300
	09/07	20.680	401.500	287.500
Bactérias Heterotróficas	14/05	82.000	875.000	827.000
	27/05	46.000	-	630.000
	10/06	29.000	231.000	314.000
	28/06	25.000	215.000	255.000
	09/07	24.500	201.000	171.000

Do ponto de vista da saúde pública, a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2000) orienta que efluentes com concentrações de coliformes menores ou iguais a 1.000/100 mL podem ser reutilizados para irrigação irrestrita, desde que os demais parâmetros também estejam de acordo. Deste modo, as águas percoladas pelos telhados verdes e de controle não atendem a esse limite (1.000/100 mL), não podendo ser reutilizadas para este fim, apenas se for realizado tratamento prévio para poder se enquadrar nos valores máximos permitidos.

No caso das últimas amostras analisadas (dias 28/06 e 09/07), estas mostram que, com a frequência dos eventos chuvosos e consequente lavagem da cobertura convencional, os níveis de contaminantes decaem, presumindo-se, portanto, que no decorrer de frequentes eventos chuvosos poderá ser feito o reúso desta água para fins de irrigação irrestrita como mencionado anteriormente (Tabela 15), desde que não ocorra nova contaminação.

Figura 58- Quantidade de bactérias na água captada de cada telhado para cada coleta.



Referente à Portaria Nº 2.914/2011 e à NBR 15.527/2007, nenhum dos telhados verdes ou controle atendem ao exigido pelas normas, que é ausência de coliformes totais e *E.coli* em 100 mL, havendo a necessidade de tratamento prévio da água escoada para que a mesma possa ser reutilizada para descargas de bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelhos d'água e usos industriais (ABNT, 2007).

Na Figura 58, apresenta-se a quantidade de bactérias (Coliformes totais, *E. coli* e Heterotróficas) em UFC (Unidade Formadora de Colônia)/100 mL, para cada telhado, em cada coleta. Relacionando o comportamento observado na Figura 58 com valores da Tabela 11 (para grupos predadores de bactérias), obteve-se o gráfico (Figura 59) no qual fica evidente o declínio das bactérias com o constante crescimento de microrganismos, o que justifica a constante queda no número das bactérias ao longo das coletas, visto que esses organismos são predadores de bactérias, representados, por exemplo, pelas amebas (*Arcella vulgaris* e *Euglypha sp.*) Figura 60a e 60b; ciliados (*Vorticella sp.*, *Euplotes sp.*, e *Paramecium sp.*) Figuras 60c, 60d e 60e; rotíferos (*Philodina roseola*, *Philodina sp.*, *Lecane sp.*) Figuras 60f, 60g e 60h; flagelados (*Anisonema sp.* e *Peranema sp.*) Figuras 60i e 60j; tardígrado (Ordem Parachela) Figura 60k; e gastrotico (*Chaetonotus sp.*) Figura 60l.

De acordo com Bento *et al.* (2001), a predação exercida pelos protozoários é um fator preponderante na remoção de bactérias, incluindo-se *E. coli*. Fato que também foi apresentado por Curds (1975), que, através de seus experimentos, chegou à conclusão que sistemas contendo protozoários reduzem mais que 99% das bactérias do grupo coliformes fecais.

Figura 59- Relação da queda no quantitativo de bactérias com o crescimento do número de micro-organismos predadores na água escoada dos telhados verdes e controle.

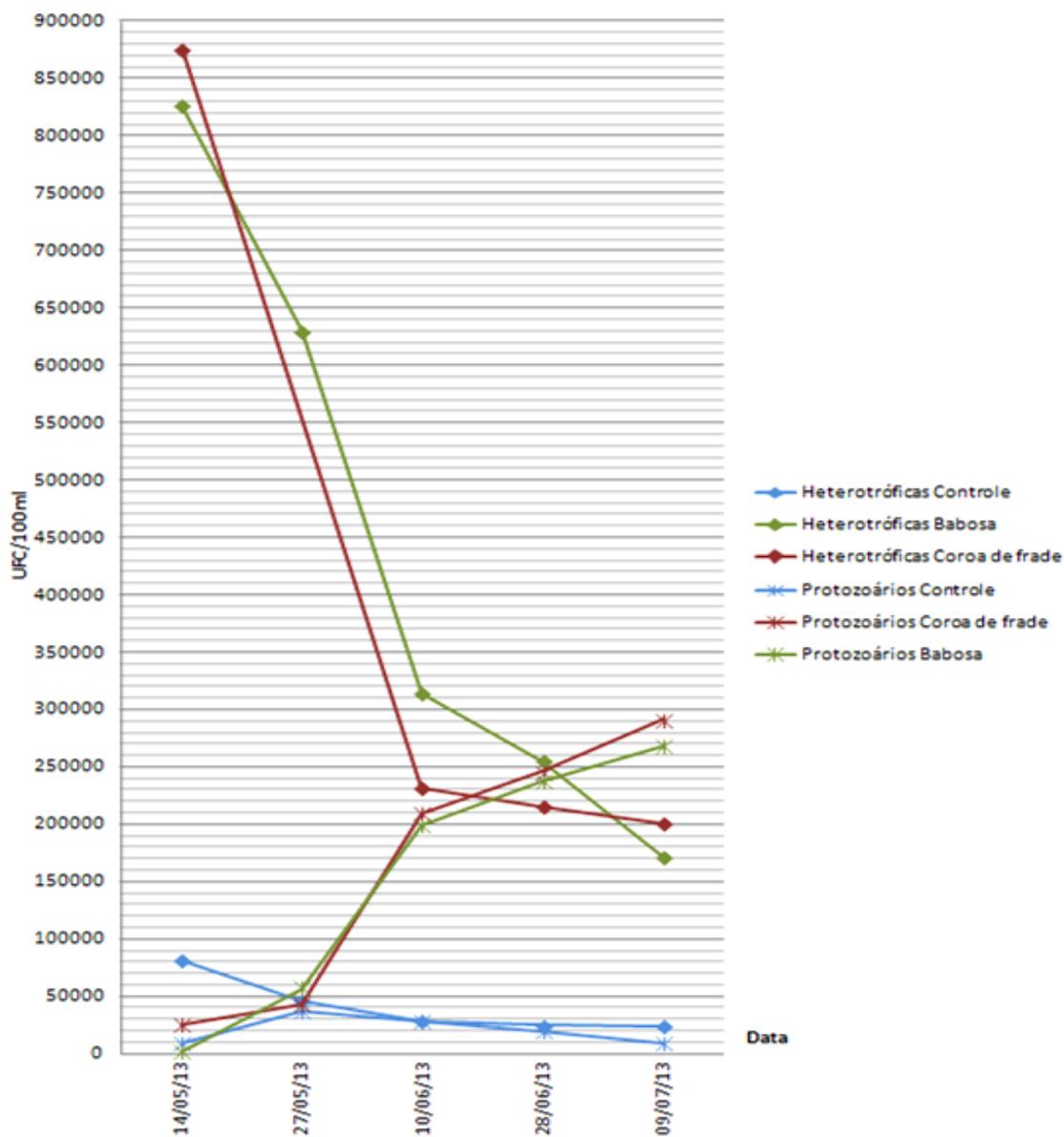


Figura 60- Microorganismos predadores de bacterias (continua).

a) *Arcella vulgaris*



b) *Euglypha* sp.



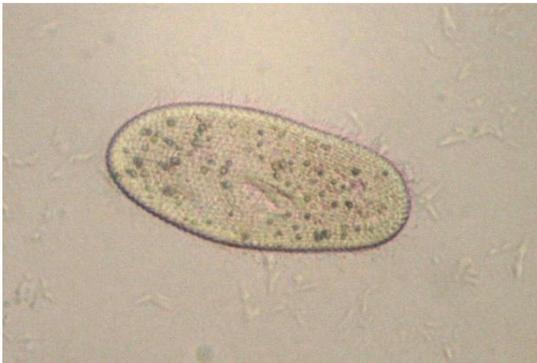
c) *Vorticella* sp.



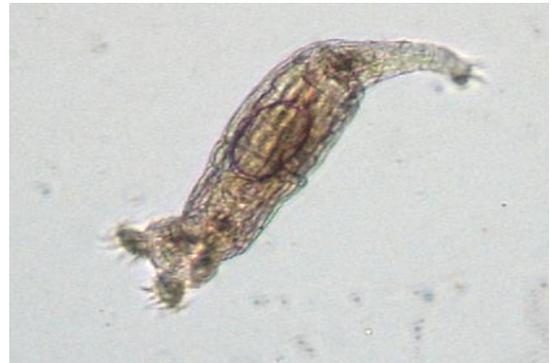
d) *Euplotes* sp.



e) *Paramecium* sp.



f) *Philodina roseola*



g) *Philodina* sp.



h) *Lecane* sp.



Figura 60- Microrganismos predadores de bactérias (finalização).

i) *Anisonema sp.*j) *Peranema sp.*

k) Ordem Parachela

l) *Chaetonotus sp.*

Nas análises bacteriológicas realizadas nas amostras de água percolada pelos diferentes materiais utilizados para compor a camada de substrato, pode-se perceber na Tabela 16, que a areia lavada foi a parcela que mais influenciou nos altos valores de contaminação por *E.coli*, coliformes e bactérias heterotróficas presentes nas amostras de água escoada pelo telhado com vegetação Babosa, o que está relacionado à origem dessa areia como já foi discutido nos resultados microbiológicos para a areia lavada onde a mesma apresentou diversas espécies parasitas intestinais.

Tabela 16- Quantidade de bactérias nas amostras de água de cada parcela que compõe o substrato.

Bactérias	Areia	Argila	Húmus de Minhoca	Terra preparada com esterco bovino
E.coli (UFC)	778.800	30.00	20.00	841.000
Coliformes (UFC)	1230.000	11.000	3.000	4380.000
Heterotróficas (UFC)	2976.000	431.000	11.700	10240.000

Na amostra da água percolada pela terra preparada, como já era previsto, os índices foram altos para *E.coli*, coliformes e bactérias heterotróficas, o que pode ser explicado pela presença de fezes bovinas no preparado, que resultou em altos índices desses organismos na

água escoada pelo telhado com vegetação Coroa-de-Frade. Os valores obtidos para argila e húmus de minhoca também foram relativamente altos, porém foram mais baixos do que os obtidos para areia lavada e terra preparada.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 Conclusões

As conclusões referentes aos resultados obtidos nesta pesquisa estão agrupadas de forma a atender os objetivos propostos inicialmente.

i) Verificar o desempenho da cobertura vegetada com diferentes vegetações, no que se refere à capacidade de retenção da água considerando as características pluviométricas da área de estudo.

Com os resultados obtidos para retenção dos telhados verdes com relação aos volumes precipitados pode-se observar que entre as vegetações trabalhadas Babosa e Coroa-de-Frade, o telhado com a vegetação Coroa-de-Frade foi o que apresentou melhor potencial de retenção, chegando a reter 100% do volume precipitado, já o telhado com vegetação Babosa apresentou menor potencial de retenção, entretanto, em comparação com a vegetação Grama-de-Burro utilizada na pesquisa de Farias (2012), a Babosa é uma melhor escolha de vegetação para retenção hídrica, chegando a reter 21,96% a mais que a vegetação Grama-de-Burro para a mesma época do ano, e ainda, com relação a adaptação e resistência, a *Aloe vera* resiste melhor ao clima seco do que a gramínea Grama-de-Burro.

Outro fato observado foi que com o início do período de chuvas, as *Aloe vera* se desenvolveram rapidamente, aumentando de tamanho e multiplicando-se rapidamente cobrindo toda a área do telhado, o que é um ponto positivo para a cobertura vegetada no âmbito da agricultura urbana. Como já foi dito anteriormente, a *Aloe vera* é uma das plantas medicinais mais comercializadas na feira de Caruaru/PE, deste modo, o cultivo desta nos telhados verdes pode tornar-se uma fonte de lucro nos períodos de inverno. O mesmo não é possível para a vegetação Coroa-de-Frade, visto que essa não apresenta rápido desenvolvimento como a observada na vegetação Babosa.

ii) Avaliar a influência de diferentes substratos e vegetações sobre a qualidade da água escoada dos telhados.

A alta quantidade de sólidos presentes nas análises do percolado por cada parcela do solo utilizado para as camadas de substrato, em comparação com os valores bem mais abaixo encontrados nas amostras da água escoada pelos telhados verdes, mostra a grande influência da vegetação na fixação de pequenas partículas que compõe o solo. Observou-se ainda, que a quantidade de sólidos encontrados nas águas escoadas pelos telhados verdes diferem entre os telhados com vegetação Babosa e Coroa-de-Frade por influência da morfologia da raiz de cada vegetação utilizada, sendo a vegetação Coroa-de-Frade a que apresenta sistema radicular com melhor fixação do solo em comparação com a Babosa.

Em relação às análises das parcelas dos substratos, a argila foi a que apresentou maior influência nas alterações dos parâmetros físico-químicos de qualidade da água escoada de ambos os telhados verdes, deixando-os acima do máximo permitido pelas NBRs 15.527/2007, 13.969/1997, e dos limites permitidos para irrigação pela EMBRAPA.

Quanto às análises bacteriológicas, a terra preparada, por apresentar fezes bovinas, foi a parcela que teve maior influência no alto número de bactérias heterotróficas, *Escherichia coli* e Coliformes totais nas amostras de água de chuva escoada pelo telhado Coroa-de-Frade. Já no telhado vegetado com Babosa, a areia lavada foi a responsável pelos altos teores de bactérias heterotróficas, E.Coli e coliformes totais. A explicação encontrada para este resultado é que a areia lavada tenha sido proveniente de algum rio que receba dejetos domésticos. Esta hipótese é bastante provável visto que nas análises microbiológicas das amostras da água percolada pela areia separadamente, foram encontrados ovos de helmintos que têm como único hospedeiro o intestino humano. Deste modo, percebe-se a importância da origem do solo utilizado na camada de substrato dos telhados verdes, visto que dependendo da ação antrópica presente nas proximidades de onde o substrato for extraído, este pode estar rico em microrganismos patogênicos, agentes tóxicos ou até metais pesados, que podem ser lixiviados durante eventos chuvosos para os toneis de captação, incorporando componentes (bactérias, protozoários, helmintos e nematódeos) que antes não existiam na água de chuva que entra no sistema, e adicionando em grandes quantidades outros que alteram parâmetros físico-químicos tornando a água escoada inapta a atender limites da Portaria de potabilidade e das NBRs para reúso e irrigação.

iii) Discutir, para a água de chuva captada pelos telhados verdes, os parâmetros de qualidade da água em relação à NBR 13.969/1997 (Projeto, construção e operação de unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos de tanques sépticos);

No que se refere à NBR 13.969/1997 ambos os telhados verdes em estudo (Babosa e Coroa-de-Frade) não atendem os valores máximos permitidos para Cl_2 (classes 1 e 2); pH (classe 1); e para SDT e turbidez. Os únicos parâmetros que se apresentaram aptos em todas as amostras dos telhados verdes foram o OD (tabela 5 e classe 4) e o pH (tabela 5), havendo portanto a necessidade de tratamento prévio para adequação dos demais parâmetros para que essa água escoada pelos telhados verdes possa ser reutilizada para fins não potáveis. Assim sendo, após tratamento, uma possibilidade de reúso da água escoada dos telhados verdes é a irrigação de pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual (ABNT, 2007).

iv) Discutir, para a água de chuva captada pelos telhados verdes, os parâmetros de qualidade da água, com base na documentação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA sobre a “Qualidade da Água de Irrigação”;

O documento da EMBRAPA estabelece valores máximos permitidos de alguns parâmetros físico-químicos para o reúso de águas para irrigação com valores de maior tolerância que as demais normas para reúso; entretanto, mesmo com limites maiores, estabelecidos conforme documentação da EMBRAPA, as águas escoadas pelos telhados verdes (Babosa e Coroa-de-Frade) não atendem ao solicitado. Em ambos os telhados verdes apenas os parâmetros Cloreto, pH e Condutividade elétrica se apresentaram dentro dos limites permitidos. Os demais parâmetros, Amônia, Fosfato, Nitrato e SDT abordados pelo documento da EMBRAPA, se encontram acima dos valores permitidos. Mais uma vez se percebe a necessidade de tratamento dessas águas previamente ao reúso.

v) Discutir, para a água de chuva captada pelo telhado controle, os parâmetros de qualidade da água em relação à Portaria MS nº 2.914/2011 (Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade);

A grande maioria dos parâmetros investigados para o telhado controle se encontram dentro dos limites estabelecidos pela Portaria do MS nº 2.914/2011, são eles: Amônia, Cloreto, Dureza total, Ferro, Nitrato, Nitrito e SDT. Os parâmetros analisados e que não atendem o valor máximo estabelecido pela Portaria são a Cor aparente, Turbidez, Coliformes totais, *E. coli* e bactérias heterotróficas. Acredita-se que tratamentos com filtração e cloração sejam suficientes para adequar esses parâmetros à Portaria, bem como promover a retirada de cistos de *Cryptosporidium sp.* sendo possível, portanto, obter-se água de melhor qualidade do

telhados controle. Entretanto, deve-se prestar atenção à presença de cianobactérias para que o tratamento utilizado não acarrete em maiores contaminações da água por cianotoxinas.

vi) Discutir, para a água de chuva captada de cada uma das superfícies estudadas, os possíveis usos, com base na NBR 15.527/2007 (Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos).

Esta norma se aplica a usos não potáveis em que as águas de chuva podem ser utilizadas após tratamento adequado como, por exemplo, para descargas em bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelhos d'água e usos industriais (ABNT, 2007).

Perante os resultados obtidos nas análises laboratoriais físico-químicas e bacteriológicas das águas escoadas pelos telhados verdes e controle, em nenhum dos telhados (verdes e controle) se observou totalidade de amostras com valores que se enquadrem no limite permitido pela norma quanto aos parâmetros Coliformes totais, Cor aparente, Turbidez, pH (exceto para telhado controle) e Cloro residual livre, o que torna as águas escoadas por essas coberturas inaptas aos possíveis usos estabelecidos na NBR 15.527/2007 sem que haja tratamento prévio para adequação dos parâmetros abordados.

Com os resultados obtidos na atual pesquisa, pode se verificar que das espécies vegetais estudadas até o presente momento, a que se mostrou mais eficiente como superfície para retenção hídrica, foi a Coroa-de-Frade. As duas vegetações adotadas mostraram-se realmente bem adaptadas ao clima semiárido, suportando bem o período de estiagem. A Babosa foi a espécie que apresentou um desenvolvimento mais rápido, entre as vegetações utilizadas até o presente momento, por esta pesquisa e pela pesquisa realizada por Farias (2012), tornando-se uma boa alternativa para o uso no telhado verde, inclusive, com fins comerciais. Ainda sobre o tipo de vegetação utilizada, acredita-se que a morfologia radicular de cada planta influenciou na presença de sólidos dissolvidos na água escoada.

Verificou-se que, de fato, o tipo de substrato utilizado, influencia na qualidade físico-química e bacteriológica da água percolada pelos telhados verdes. Foi verificada a presença de diversos protozoários e helmintos patogênicos no volume percolado, o que pode ser indicativo de contaminação dos componentes do substrato utilizado. Mesmo assim a presença dos protozoários promoveu controle ambiental do número de bactérias do grupo coliformes, *E.coli* e heterotróficas.

Diante dos resultados obtidos nesta pesquisa, a água escoada pelos telhados verdes, não se enquadraram nos padrões exigidos pelas normas estudadas. Sendo assim sua utilização com fins de reúso só pode ocorrer com a utilização de algum tipo de tratamento, mesmo que simples, à base de cloração, com filtros ou até sulfato de alumínio (que remove a cor, melhorando a estética da água). É interessante a realização do estudo da viabilidade econômica do investimento em algum tipo de tratamento para reúso da água.

Em relação ao telhado controle, foi possível verificar que a alteração dos seus parâmetros foi mais influenciada pelos grandes eventos pluviométricos que se sucederam a períodos de estiagem. Sendo assim o acúmulo de sedimentos no telhado controle, pode ter sido a principal causa na alteração dos parâmetros: turbidez, cor, Coliformes totais, *E. coli* e bactérias heterotróficas. Porém, é importante lembrar que a maioria dos parâmetros atende aos padrões desejados para água potável, segundo a regulamentação estudada.

5.2 Sugestões para futuras pesquisas

Para futuras pesquisas com relação ao desempenho apresentado por telhados verdes, recomenda-se que continue sendo feito o monitoramento da qualidade da água escoada por esses telhados para possível enquadramento nas normas de reúso, bem como demais sugestões listadas a seguir.

- Investigar a influência de diferentes intensidades de chuva na qualidade da água escoada pelos telhados verdes e controle;
- Fazer uso das parcelas de materiais que compõe o substrato que causem menor contaminação e alteração dos parâmetros exigidos pelas portarias para que se possa obter água escoada dos telhados verdes de melhor qualidade para reúso;
- Realizar possíveis tratamentos para descontaminação das águas escoadas por esses telhados (uso de filtros, reatores e cloração);
- Realizar análises para investigação de coliformes fecais que resultem em NMP/100 mL para que seja possível comparar com a NBR 13.969 (ABNT, 1997) para analisar as classes em que a água escoada dos telhados verdes se enquadra para possíveis reúsos.
- Investigar o desempenho quanto ao conforto térmico e absorção de ruídos com as diferentes vegetações e em diferentes estações do ano;

- Avaliar quanto da precipitação é retida no solo e absorvido pela vegetação, e quanto fica interceptado na superfície da vegetação (copo da babosa) e volta à atmosfera pela evaporação.
- Monitorar o crescimento de cianobactérias e produção de cianotoxinas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 13969 - Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação*. 1997.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social*. 2003.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 15527 - Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos*. 2007.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 15575-3 – Edificações Habitacionais – Desempenho*. 2008.

ALMEIDA, C. F. C. B. R.; ALBUQUERQUE, U. P. *Uso e conservação de plantas e animais medicinais no Estado de Pernambuco (Nordeste do Brasil): Um estudo de caso*. UFPE, Interciência, Vol.27, N°6, 2002.

ALMEIDA, O. A. *Qualidade da água de irrigação*. Cruz das Almas/BA, EMBRAPA, 2010.

AMARAL, L.A.; NADER FILHO, A.; ROSSI JUNIOR, O. D.; FERREIRA, F. L. A.; BARROS, L. S. S. *Água de consumo humano como fator de risco à saúde em propriedades rurais*. Revista de Saúde Pública. São Paulo, v.37, n.4, 2003.

ANA – Agência Nacional de Águas. *Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos / Agência Nacional de Águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente*. Brasília, 2011.

ANDRADE, N. C. *Desempenho térmico de cobertura verde utilizando a grama Brachiaria umidicola na cidade de São Carlos –SP*. Dissertação (Mestrado). UFSCAR, 2007.

ANTAS, F. P. S. *Avaliação da Composição Iônica e Aplicação de um Índice de Qualidade para Água de Irrigação no Rio Açu, RN*. 2011. 67 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal Rural do Semiárido. Rio Grande do Norte, 2011.

APHA - American Public Health. Association. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21th ed., Washington DC, 2005.

ARARAQUARA. *Lei Municipal N° 7.152*, de 08 de dezembro de 2009. Câmara Municipal de Araraquara – SP, 3 p. 2009.

ARRUDA, J. *Agricultura urbana e periurbana em Campinas – SP: análise do programa de hortas comunitárias como subsídio para políticas públicas*. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2006.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. *A qualidade da água na agricultura*. Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29, 2. ed, Campina Grande, UFPB, 1999. 145p.

BAILEY, D.A.; NELSON, P.V.; FONTENO W.C. *Substrates pH and water quality*. Raleigh: North Carolina State University, 2000. Disponível em: <<http://www.ces.ncsu.edu/depts/hort/floriculture/plugs/ph.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2011.

BENTO, A. P.; PHILIPPI, L. S.; BARBOSA, T. C.; SEZERINO, P. H. Monitoramento Microscópico do Sistema Insular de Tratamento de Esgotos de Florianópolis/SC. ABES, *Anais do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, João Pessoa/PB, 2001.

BERNARDES, F. F.; MENDES, P. C. A urbanização e sua eficiência no aumento da temperatura média no município de Uberlândia/MG. *Revista Geonorte*. v. 2, n. 5, p. 77 – 88, 2012.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. *Manual de irrigação*. 8 ed. Viçosa: UFV, 2006. 611p.

BORGA, P. N. L. V. *Análise Exigencial dos Green Roofs – Estudo de Casos*. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. Portugal, 2012.

BRASIL. *Constituição Federal de 1988*. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constitui%C3%A7ao.htm>. Acesso em 08 set. 2012.

BRASIL. *Instrução Nº22, de 11 de Outubro de 2007. Visa garantir nos imóveis, área livre de qualquer intervenção, permeável, passível de arborização e dá outras providências*. 2007. Disponível em <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smam/usu_doc/instrucao_22_07.pdf> Acesso em 27 abril 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria 2.914, de 12 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://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html> Acesso em 10 jun 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>> Acesso em 01 out 2013.

CALLISTO, M.; GONÇALVES, J.F.Jr.. *A vida nas águas das montanhas*. Ciência Hoje, Rio de Janeiro, v.31, n.182, p. 68-71, maio 2002.

CALLISTO, M.; GONÇALVES Jr., J.F.; MORENO, P. *Invertebrados aquáticos como bioindicadores*. In: GOULART, E.M.A. (Org.) *Navegando o Rio das Velhas das Minas aos Gerais: Proj. Manuelzão*. Belo Horizonte: Coopmed, p. 555-567, 2005.

CÂMARA MUNICIPAL DO RECIFE. *Processos Legislativos*. 2013. Disponível em:<<http://www.recife.pe.leg.br/processos-legislativos/ordem-do-dia/2013/Ordem%20do%20Dia%202013/2013/fevereiro/4/>> Acesso: 09/08/2013.

CASTRO, A. S. *Uso de pavimentos permeáveis e coberturas verdes no controle qualitativo do escoamento superficial urbano*. Tese de doutorado, UFRGS. Porto Alegre, 2011.

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. São Paulo: Pró-reitoria de Pesquisa, Universidade de São Paulo, 2002.

CUNHA, A. R. *Experimento hidrológico para aproveitamento de águas de chuva usando coberturas leves (CVL)*. Relatório de Iniciação Científica - USP/SHS – Processo FAFESP 03/06580-7. São Carlos – SP, 2004.

CURDS, C.R. *Protozoa*. In: *Ecological Aspects of Use Water Treatment*. London, 1975, Proceedings. London: Academic Press, p. 203-268, 1975.

CURITIBA. *Lei Municipal Nº 9.806*, de 03 de janeiro de 2000. Câmara Municipal de Curitiba, Curitiba – PR, 15 p., 2000.

DIMOUDI, A; NIKOLOPOULOU, M. Vegetation on urban environment: Micro climatic analysis and benefits. *Energy and Building*, v. 35, n. 1, p. 69-73, 2003.

FARIAS, M.M.M.W.E.C. *Aproveitamento de águas de chuva por telhados: aspectos quantitativos e qualitativos*. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFPE, 115 p., Caruaru – PE, 2012.

FERREIRA, C. A.; MORUZZI, R. B. *Considerações sobre a aplicação do telhado verde para captação de água de chuva em sistemas de aproveitamento para fins não potáveis*. UNESP, 2007.

FIDEM – Fundação de Desenvolvimento Municipal. Desenvolvido pela Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Social. *Apresenta informações sobre os Perfis Municipais*. (2003). Disponível em: <http://www.condepefidem.pe.gov.br/>. Acesso em: 10 janeiro 2012).

FRANÇA. L. C. J. O uso do telhado verde como alternativa sustentável aos centros urbanos: Opção viável para a sociedade moderna do século XXI. *Revista Húmus*. n. 4, p.105 – 113, 2012.

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde. *Manual prático de análise de água*. 3ª ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2009, 144 p.

GARCEZ, L. N. *Manual de procedimentos e técnicas laboratoriais voltado para análises de águas e esgotos sanitário e industrial*. São Paulo, SP: EPUSP, 2004.

GNADLINGER, J.; SILVA, A. S.; BRITO, L. T. L. Clima e água de chuva no Semi-Árido. Separata de: *Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro*. Embrapa/CPATSA. 2007.

GOMES, S. T.; SILVA, C. A. Dourados: Urbanização e dinâmica climática. *Revista Geonorte*, v. 2, n. 4, p. 844 – 856, 2012.

GUARULHOS. *Lei nº 6.793/10*. Disponível em: <http://www.leismunicipais.com.br/leislacao-de-guarulhos/1394041/lei-6793-2010-guarulhos-sp.html>. Acesso em 13 julh. 2013.

HANDRECK, K.; BLACK, N. *Growing media for ornamental plants and turf*. Sydney: University of New South Wales Press, 1999. 448 p.

HELLER, L.; BASTOS, R. K. X.; VIEIRA, M. B. C. M.; BEVILACQUA, P. D.; BRITO, L. L. A.; MOTA, S. M. M.; OLIVEIRA, A. A.; MACHADO, P. M.; SALVADOR, D. P.; CARDOSO, A. B. Oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia*: circulação no ambiente e riscos à saúde humana. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*. Volume 13 - Nº 2, 2004.

HENEINE, M. C. A. S. *Cobertura verde*. Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte – MG, 2008.

HUTCHINSON, D., ABRAMS, P., RETZLAFF, R., LIPTAN, T. *Stormwater monitoring two ecoroofs in Portland, Oregon*. Paper presented at the First Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Awards and Trade Show, Chicago, IL, 2003.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo 2010*. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/censo2010/>> Acesso em 20 abril 2011.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Consulta específica ao Banco de Dados por Mês/Ano com filtros em alguns sensores. http://sinda.crn2.inpe.br/PCD/historico/consulta_pcdm.jsp (último acesso em 27/02/2012).

ISLAM, K.M.S. *Roof top gardening as a strategy of urban agriculture for food*. Acta Horticulturae, ISHS, security: the case of Dakar city, Bangladesh. International Conference on Urban Horticulture, 2004, v. 643, p241-247.

JAHNKE, L, T; WILLANI, S, M, U; ARAÚJO, T, L, R. *O IPTU Verde: Práticas sustentáveis trazem benefícios financeiros à população*. Revista Eletrônica do curso de Direito – UFSM, ISSN 1981 – 3694. 2013.

KARANIS, P.; KOURENTI, C.; SMITH, H. Waterborne transmission of protozoan parasites: A worldwide review of outbreaks and lessons learnt. *Journal of Water and Health*, v.5, n.1, p.1-38, 2007.

KÖHLER, M., SCHIMIDT, M. *Study of a Extensive Green Roofs in Berlin. Part III: Retention of Contaminants*. Berlin, 2003.

LAAR, M. *Estudo de aplicação de plantas em telhados vivos extensivos em cidades de clima tropical*. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído-Encac. São Pedro, São Paulo: ANTAC, 2001.

LAAR, M.; GRIMME, F. W. *Thermal comfort and reduced flood risk through green roofs in the Tropics*. In The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture. Geneva, Switzerland, 2006.

LIDE, D. R. *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. Redator Chefe, 1997.

LIMA, V. L. A.; CHAVES, L. H. G. *Qualidade da água*. Campina Grande: Gráfica Agenda, 2008.

MAIA, C.E., RODRIGUES, K.K.R.P. Relação entre Bicarbonato e Cloreto em Águas para Fins de Irrigação. In: *INOVAGRI International Meeting & IV WINOTEC Workshop 108 Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação*, Fortaleza – CE, 28 a 31 de maio de 2012, em meio digital, 4 p.

MARY, W.; SILVA, L. P.; MORAES, M. F.; ARRUDA, S.; WATSON, E.; FERRARI, A. C.; ROSSAFA, B.; PINTO, G. B. Telhados verdes: Ferramenta potencial para geração de renda em áreas de fragilidade social. *9º Encontro Nacional de Ensino de Paisagismo em Escolas de Arquitetura e Urbanismo no Brasil – ENEPEA*, Curitiba, Paraná, 2008.

MEDEIROS, S. S.; CAVALCANTE, A. M. B.; MARIN, A. M. P.; TINÔCO, L. B. M.; SALCEDO, I. H.; PINTO, T. H. *Sinopse do Censo Demográfico para o Semiárido Brasileiro*. INSA. Campina Grande - PB, 2012.

MENTENS, J.; RAES, D.; HERMY, M. *Green roofs as tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanizing 21th century?* Department of Land management. LFNLB Belgium, 2006.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. *Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros*. Brasília: MMA/SBF, 2002.404 p.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. *Instrução Normativa Nº 6, de 23 de Setembro de 2008*. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/179/_arquivos/179_05122008033615.pdf> Acesso em: 16 abril 2013.

MORAIS, C. S. *Desempenho térmico de coberturas vegetais em edificações na cidade de São Carlos – SP*. Dissertação (Mestrado). UFSC – SP, 2004.

MORAES, O. B. *Método de análise de dados para avaliação de áreas urbanas recuperadas – uma abordagem utilizando a lógica fuzzy*. Tese de doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-17112008-120123/>>. Acesso em: 13 julh. 2013.

MORAN, A.; HUNT, B.; JENNINGS, G. A North Carolina field study to evaluate green roof runoff quality, runoff quantity and plant growth. *2nd North America Green Roof conference: greening rooftops for sustainable communities*. [S.l.]: Portland. 2004.

MOTA, S. *Urbanização e Meio Ambiente*. ABES. Rio de Janeiro, 1999.

MOUGEOT, L. J. A. *Urban agriculture: definition, presence, potentials and risks*. In: BAKKER, N.; DUBBELING, M.; GUNDEL, S.; SABEL-KOSCHELLA, U.; ZEEUW, H. (Ed.). *Growing cities, growing food: urban agriculture on the policy agenda*. Feldafing: Deutsche Stiftung für Internationale Entwicklung, 2000. p.1-42.

MOURA, M. S. B.; GALVINCIO, J.; D.; BRITO, L. T. L.; SOUZA, L. S. B.; SÁ, I. I. S.; SILVA, T. G. F. Clima e água de chuva no Semi-Árido. Separata de: *Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro*. Embrapa/CPATSA. 2007.

NOWAK, M. *Urban agriculture on the rooftop*. Cornell University. Senior Honors Thesis. 2004.

OLIVEIRA, E. W. Netto de. *Telhados verdes para habitação de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico*. Dissertação (Mestrado). UERJ – RJ, 2009.

PALESTRA. *IPTU Verde*. Disponível em: <<http://www.palestrasustentabilidade.com/2011/05/iptu-verde.html>>. Acesso em 10 julh. 2013.

PALLA, A.; BERRETTA, C.; LANZA, L. G.; BARBERA, P. La. *Modelling storm water control operated by green roofs at the urban catchment scale*. University of Genoa – Italy, 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK, 2008.

PECK, S.W., CALLAGHAN, C., KUHN, M.E., BASS., B. *Greenbacks from green roofs: Forging a new industry in Canada*. Canada Mortgage and Housing Corporation, Ottawa, Canada, 1999.

PELLEGRINI, J. B. R. *Fósforo na Água e no Sedimento na Microbacia Hidrográfica do Arroio Lino - Agudo – RS*. 2005. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2005.

PEREIRA, P. A. M.; MARTINEZ, A. G.; MARTINS, J. M. L.; GERALDO, M. D. *Determinação de anatoxina-a em amostras de água por SPME-GC/MS*. Dissertação de mestrado em Química (área de especialização em Técnicas de Caracterização e Análise Química), Universidade do Minho – Portugal, 2011.

PORSE, S. *Aloe vera*. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Alo%C3%AB-vera-total.JPG>., 2006, Acessado: 03 fevereiro 2012.

PRADO, D.E. *As Caatingas da América do Sul*. In: LEAL, R.I.;TABARELLI, M.; SILVA, J.M.C. da. *Ecologia e conservação da Caatinga*. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003. 823p.

ROLA, S.; UGALDE, J. *Sustentabilidade de cidades por coberturas ajardinadas*. (2009). Disponível em <http://www.ivig.coppe.ufrj.br/pbr/areas_proj_nat.html> Acesso em 25 janeiro 2011.

SÃO VICENTE. *Lei Municipal Nº 634*, de 5 de novembro de 2010. Câmara Municipal de São Vicente, São Vicente – SP, 6 p., 2010.

SANTOS, S.M.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; ARAÚJO FILHO, P.F.; CABRAL, J.J.S.P.; ARAÚJO, T.F. Determinação da utilidade do uso de telhado verde no Agreste Pernambucano. *Anais do V Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis*. 10p. Recife-PE, 2009.

SANTOS, S. M., MARINHO, E. P., MONTENEGRO, S.M.G.L., SILVA, C. M. M., ARAUJO, T.F., BARROS, E.S. Estudo da Qualidade da Água de um Telhado Verde no Agreste Pernambucano In: *Anais do XIVth IWRA World Water Congress*, 13p., Porto de Galinhas-PE, 2011.

SILVA, L. P.; MACRAE, F. R.; CASTRO, E. M. N. V.; MARY, W.; GOMES, M. M.; CERQUEIRA, L. F. F.; ROSA, E. U.; MORAES, F. M. *HIDROCIDADES – Métodos Não Convencionais na Conservação da Água em Bacias Peri-Urbanas*. VIII Encontro Nacional de Águas Urbanas, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2008.

SNODGRASS, E.C.; MCINTYRE, L. *The Green Roof Manual: A Professional Guide to Design, Installation and Maintenance*. Timber Press Inc., Portland, OR, 2010.

SOROCABA. *Lei Municipal Nº 9.571*, de 16 de maio de 2011. Município de Sorocaba. Publicação Oficial da Prefeitura de Sorocaba, Sorocaba – SP, p. 12, 2011.

SOUZA, I. A.; AZEVEDO, J. R. G.; NETTO, A. M.; ANTONINO, A. C. D. *Implicações do Aquecimento Global no Balanço Hídrico Climático no Agreste de Pernambuco*. CBMET, Edição XIV. Florianópolis, SC, 2006.

TUCCI, C.E.M. *Gestão da água no Brasil*. Ed. UNESCO, Brasília, 156 p., 2001.

TUCCI, C. E. M. (Org.) *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 4ª ed. Porto Alegre, RS: Editora da UFRGS/ABRH, 2009.

VAN WOERT, N. D.; ROWE, D. B.; ANDRESEN, J. A.; RUGH, C. L.; FERNANDEZ, R. T.; XIAO, L. Green roof stormwater retention: effects of roof surface, slope, and media depth. *Journal of Environmental Quality*, nº 34, p.1036-1044. 2005.

VALASKI, S. *Método para avaliação da qualidade ambiental em condomínios residenciais horizontais*. R. RA E GA, Editora UFPR Curitiba, n. 19, p. 139-154, 2010.

VELAZQUEZ, L. S. *Why have a test of Green roof?*. (2005). Disponível em: www.greenroofs.com. Acesso em: 16 janeiro 2011.

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452 p.

WALLER, P.L.; WILSON, G.C.S. *Evaluation of growing media for consumer use*. Acta Horticulturae, Wageningen, n. 150, p. 51-58, 1984.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines*. Bulletin of the World Health Organization, v. 78, n.9, pp. 1104-16. 2000.

WONG, N. H. *A study of rooftop gardens in Singapore*. Department of Building, School of Design and Environment. National University of Singapore. 2002.