

## ESTUDO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE UM TELHADO VERDE NO AGRESTE PERNAMBUCANO

Sylvana Melo dos Santos<sup>1</sup>, Érika Pinto Marinho<sup>2</sup>, Suzana Maria Gico Lima Montenegro<sup>3</sup>, Claudete Maria Marques da Silva<sup>4</sup>, Thiago Florêncio de Araujo<sup>5</sup>, Everton Santos de Barros<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Núcleo de Tecnologia do Centro Acadêmico do Agreste - CAA, UFPE, Brasil. sylvana.ufpe@gmail.com

<sup>2</sup> Núcleo de Tecnologia do CAA, UFPE, Brasil. marinhoerika@yahoo.com

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Civil, UFPE, Brasil. suzanam@ufpe.br

<sup>4</sup> Núcleo de Tecnologia do CAA, UFPE, Brasil. calumar2001@yahoo.com.br

<sup>5</sup> Núcleo de Tecnologia do CAA, UFPE, Brasil. thiagoflorencio\_@hotmail.com

<sup>6</sup> Núcleo de Tecnologia do CAA, UFPE, Brasil. evertontraceur@yahoo.com.br

### Abstract

Almost 50% of the population in the Brazilian semiarid region lives in rural areas, with severe water scarcity during the dry season. In the context, the use of green- roof is proposed, with benefit for rational water use widely commented on the literature. However, in order to promote different possibilities for using the water from the rainwater harvesting system, it is necessary the evaluation of its quality. In this context, roof platforms were constructed in Caruaru City, in the 'Agreste' of Pernambuco State (Brazil), composed by vegetation, retention layer, drainage layer, waterproof sheet and concrete layer. In the present work, water from two roof platforms, with different vegetation, were analyzed, besides a third conventional roof platform, aiming to investigate the influence of different vegetation cover in the water quality flowing from the system. The following parameters were analyzed: pH, color, turbidity, DO, alkalinity, dissolved solids and microbiological analyzes. The literature has reported the influence of many different vegetation covers in the gree roof, but not investigating typical species related to semiarid regions.

**Keywords:** Green roof, water quality, rural area.

### Introdução

A população da região semi-árida é estimada em quase 19 milhões de pessoas, correspondendo a aproximadamente 11% da população brasileira. Desse montante, quase 46% (cerca de 8,6 milhões de pessoas) vivem em áreas rurais sob grande vulnerabilidade social e econômica. Além disso, o problema da escassez hídrica constitui uma severa realidade para os moradores dessas áreas. Segundo estudos da Embrapa Semi-Árido (CPATSA/Embrapa), 60 dias após o encerramento do período das chuvas, 550 mil dos 2,6 milhões de estabelecimentos rurais da região passam a viver sem qualquer tipo de água para o consumo humano ou animal, nos seus próprios agroecossistemas familiares. Isto significa que, se for considerado um período de 120 dias após o término das chuvas, pode-se projetar que mais de 1 milhão de estabelecimentos fiquem sem qualquer fonte de água no período de seca. As médias de precipitações pluviométricas variam de 200 a cerca de 700 mm anuais e, segundo Cabral e Santos (2007), não correspondem a valores tão pequenos se comparados aos de outras regiões semiáridas do mundo. Os autores chamam atenção, contudo, para os elevados valores de temperatura e de perdas por evapotranspiração, além do fato que o semiárido se destaca como o clima de maior densidade populacional do mundo. A situação crítica dos habitantes desta região devido ao comportamento climatológico natural pode se tornar ainda mais grave, quando são contabilizados os prejuízos ambientais devido às ações antrópicas. De acordo com Cirilo et al. (2007), a destruição da biodiversidade vem provocando a diminuição da disponibilidade de recursos hídricos, pelo assoreamento de rios e reservatórios e pela perda física e química de solos.

A situação descrita acima constitui um ambiente ideal para o planejamento e desenvolvimento de estratégias para melhor convivência com o clima. Para este cenário, discute-se a aplicação dos telhados verdes. O "teto verde" ou "telhado verde" constitui uma técnica que procura resgatar parcialmente as condições hidrológicas como uma forma de mitigação dos impactos acusados pela urbanização excessiva. Segundo Nascimento e Heller (2005), em áreas urbanas, um benefício marginal da captação de águas pluviais para abastecimento é a redução de escoamentos superficiais decorrentes da impermeabilização do solo. Para que o uso dos telhados verdes se caracterize como uma alternativa factível e sustentável na área de estudo, o desempenho da vegetação utilizada é fundamental. Portanto, o telhado verde contempla a preocupação com a escolha das plantas que incide sobre as espécies que demandem menor manutenção (irrigação, poda e limpeza) bem como, as mesmas devem apresentar nível de resistência capaz de suportar as condições climáticas e ambientais do local onde está instalado.

Várias experiências exitosas podem ser encontradas na literatura específica (Köhler et al., 2001; Peck et al., 1999; Correa e González, 2002; Schmidt, 1992), com diferentes edificações, vegetações e características próprias, mas todas são unânimes em afirmar que estas estruturas agem positivamente sobre os subsistemas termodinâmico (conforto ambiental), físico-químico (qualidade do ar) e

hidrometeorológico (impacto pluvial). De acordo com Teemusk e Mander (2007), os efeitos da evaporação e da produção de oxigênio dos tetos verdes podem contribuir, inclusive, para melhorar o microclima. Este trabalho teve como objetivo a investigação sobre a qualidade da água escoada dos telhados verdes, em que foi empregada uma vegetação muito utilizada em jardins e outra vegetação típica do Agreste Pernambucano, por atenderem aos critérios de resistência à escassez hídrica e requererem pouca manutenção.

### Materiais e Métodos

A área da pesquisa encontra-se na região do Agreste do Estado de Pernambuco, no município de Caruaru (Figura 1) que dista aproximadamente 135 km da capital do Estado, onde se verifica a ocorrência de relevo suave ondulado, solo pedregoso e argiloso, com altitude média de 545 m e vegetação com dominância de caatinga. De acordo com informações do IBGE (2007), a população do município de Caruaru é de aproximadamente 360.000 habitantes. Com clima tropical do tipo semi-árido, esta região apresenta um quadro de aridez menos severa, com regime de chuvas de outono-inverno típicas da zona leste oriental do Nordeste, índice pluviométrico de cerca de 662mm, mal-distribuídos ao longo do ano e temperatura média anual é de 22.5°C (sendo que no verão fica entre 25°C à 31°C, e no inverno, entre 16°C à 20°C).

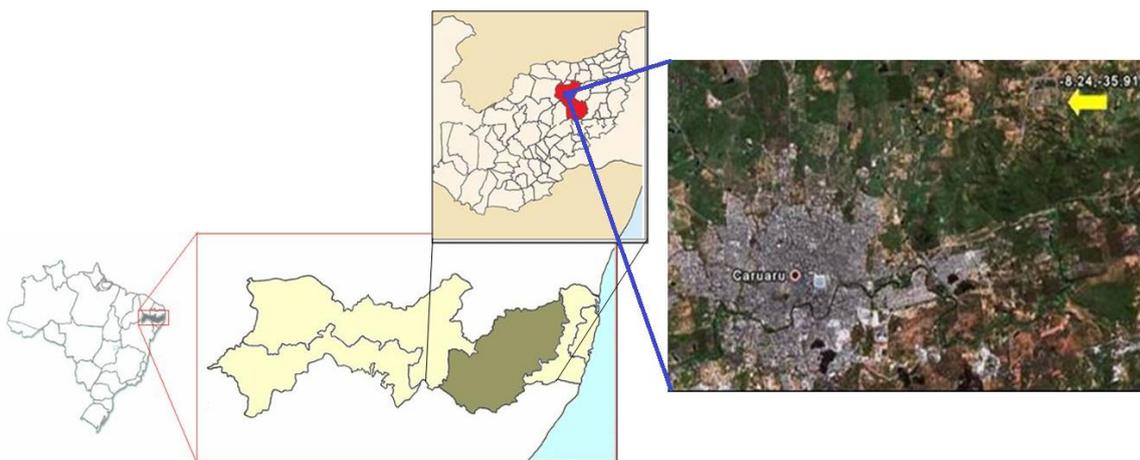


Figura 1: Localização do Estado de Pernambuco, com destaque para a região do Agreste, para o município de Caruaru e para a localização da estação do IPA (indicado pela seta) com relação ao centro urbano.

Os objetos de estudo consistem nos telhados verdes, que foram instalados na Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária - IPA, na zona rural do mesmo município, em uma edificação térrea pré-existente com três ambientes semelhantes que se mostraram adequados aos objetivos da pesquisa, conforme apresentado por Santos et al. (2009). Sobre os três ambientes foram implantados duas coberturas com diferentes tipos de vegetação e destinou-se uma terceira área com telhado convencional de telhas cerâmicas, conforme esquematizado na Figura 2. As dimensões dos telhados instalados foram: 220 cm x 213 cm para o telhado convencional; 195 cm x 223 cm para o telhado verde com vegetação grama de burro e 195 cm x 177 cm para o telhado verde com vegetação coroa-de-frade.

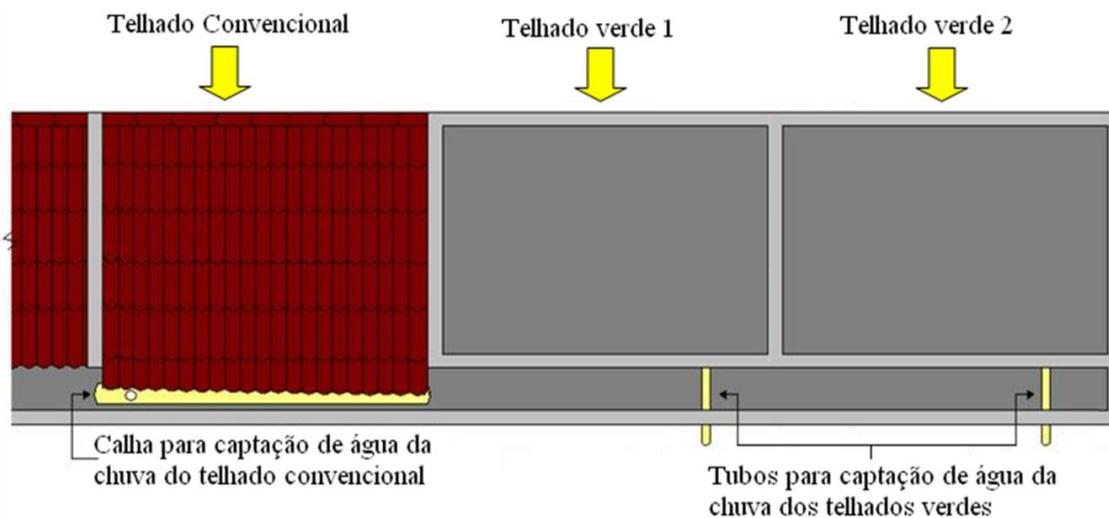
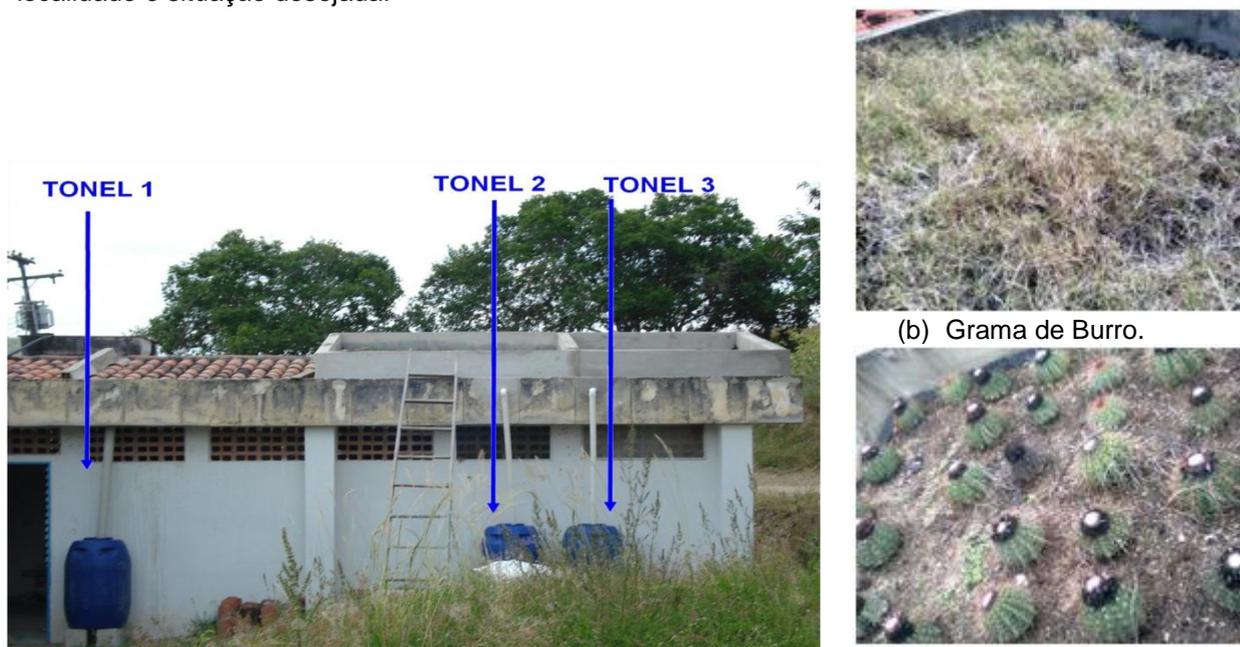


Figura 2: Esquema de disposição dos telhados verdes e convencional nas instalações do IPA em Caruaru-PE (Fonte: Santos et al., 2009)

O telhado existente nas instalações do IPA foi modificado envolvendo a construção de muretas e colocação de material drenante, camada filtrante, substrato e vegetação. Para implantação das coberturas verdes, foram retiradas as telhas originais e, em seguida foram construídas as muretas de contenção e realizada a impermeabilização da superfície superior da laje. Para recolhimento da água escoada das três coberturas, foi instalado um sistema de captação com calhas e tubos condutores, que destinam a água aos tonéis de armazenamento com capacidade para 240 l, cada (Figura 3a). Conforme apresentado por Santos et al. (2009), considerando as características locais, optou-se por utilizar em um dos telhados uma vegetação típica, o cacto popularmente conhecido como coroa-de-frade (*Melocactus macrodiscus*), Figura 3b, e no outro uma gramínea que pode ser facilmente encontrada na região, de nome popular grama de burro, Figura 3c. Ambas as vegetações utilizadas têm características de adaptação aceitáveis para a localidade e situação desejada.



(a) Disposição dos tonéis que captam água dos tetos. (b) Grama de Burro. (c) Cacto Coroa de Frade.  
 Figura 3: Tonéis para captação da água escoada dos telhados verdes e destaque das vegetações utilizadas.

Para análise da qualidade da água escoada de cada um dos telhados, foram realizadas coletas quinzenais, em que as amostras eram recolhidas em frascos de plásticos com capacidade para 1 l (um litro) cada, e conduzidas, em seguida, para refrigeração, até o momento de realização das análises. Os parâmetros analisados e as formas de análise estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros analisados nas amostras da água captada pelos telhados verdes e armazenada nos tonéis.

Parâmetro	Precisão	Equipamento/Técnica	Informações sobre a determinação
pH	+/-0,01	Sonda multiparâmetro (Modelo HI9828 – Hanna Instruments)	Determinação <i>in loco</i> .
Salinidade	+/-0,01 mg/L		
Oxigênio dissolvido	+/-0,01 mg/L		
Temperatura	+/-0,01°C	Turbidímetro (Modelo 98703 – Hanna Instruments)	Determinação em laboratório, conforme metodologia padrão ( <i>Standard Methods</i> )
Condutividade elétrica	+/-1 µS/cm		
Turbidez	+/-0,01 NTU	Espectrofotômetro (Modelo Pharo 300 - Spectroquant)	
Cor (aparente e real)	+/- 5%		
Alcalinidade	+/-5 mg CaCO <sub>3</sub> /L	Método volumétrico com detecção potenciométrica	
Sólidos totais	+/-6 mg/L	Método gravimétrico	
Cloretos	5%	Titulação com Nitrato de Prata	
Dureza de cálcio	2,90%	Titulação com EDTA	

Foram realizadas cinco coletas quinzenais, no período de 26 de janeiro a 29 de março de 2011, período de transição entre estiagem e início do período chuvoso, e os parâmetros analisados em cada coleta, de cada um dos tonéis, estão apresentados na Tabela 2. Foram investigados alguns dos principais

parâmetros utilizados para classificação da qualidade da água, segundo normas brasileiras (CONAMA 357/05). Após cada coleta, os tonéis eram esvaziados para que se pudesse avaliar a qualidade e a quantidade do escoamento de cada precipitação de tal forma que não fosse contabilizado e/ou analisado o volume acumulado na precipitação anterior. A quantidade de precipitação acumulada diariamente foi registrada pela estação climatológica automática instalada no IPA e administrada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) que disponibiliza as referidas informações no *website*: <http://www.inmet.gov.br>.

Tabela 2: Parâmetros físico-químicos analisados em cada coleta realizada de janeiro a março de 2011.

Parâmetros	26 de janeiro	09 de fevereiro	23 de fevereiro	10 de março	29 de março
Temperatura (°C)	X	X	X	X	X
Cor aparente (Pt/Co)	-	X	X	X	X
Cor verdadeira (Pt/Co)	X	X	X	X	X
Turbidez (NTU)	X	X	X	X	X
Cond. Elétrica (µS/cm)	X	X	X	X	X
ST (mg/L)	X	X	X	X	X
SDT (mg/L)	X	-	X	X	X
pH	X	X	X	X	X
Salinidade (%)	X	X	X	X	X
Oxigênio Dissolvido (mgO <sub>2</sub> /L)	X	X	X	X	X
Alcalinidade Total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	X	-	X	X	X
Cloretos (mg de Cl-/L)	X	X	X	X	X
Dureza Total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	X	X	X	X	X
Pvan (mg/L)	X	X	X	X	X
PO <sub>4</sub> (mg/L)	X	-	X	X	X
N-NH <sub>3</sub> (mg/L)	X	X	X	X	X
NH <sub>3</sub> (mg/L)	X	-	X	X	X

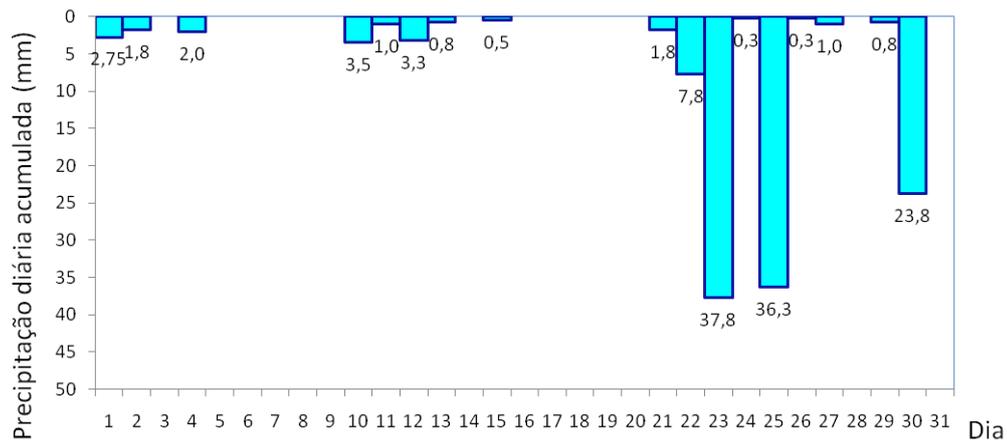
## Resultados e discussão

Os fatores que influenciam a capacidade de retenção de água pelo telhado verde dependem das características do telhado e das condições climáticas, entre elas, a extensão do período de estiagem, estação e clima. Neste sentido, a temperatura, as condições do vento, a umidade relativa do ar e as características da chuva do semiárido são importantes fatores para explicar os valores acumulados, quando se compara estes dados com os resultados obtidos em pesquisas realizadas em regiões de clima temperado. O volume de água armazenado em cada tonel, observada nas respectivas coletas de amostras de água estão apresentados nas Tabelas 3 e 4. A relação entre a retenção de água pelo telhado verde e as características do episódio de chuva (intensidade e precipitação) tem sido reportada na literatura (Berndtsson, 2010). Villarreal e Bengtsson (2005) concluíram que a retenção de água no telhado verde depende em grau maior da intensidade da chuva, observando-se maior retenção quando a intensidade da chuva é menor. As Figuras 4a, 4b e 4c mostram os registros de precipitação disponibilizados pelo Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE ([http://sinda.crn2.inpe.br/PCD/historico/consulta\\_pcdm.jsp](http://sinda.crn2.inpe.br/PCD/historico/consulta_pcdm.jsp)) para os meses considerados neste trabalho.

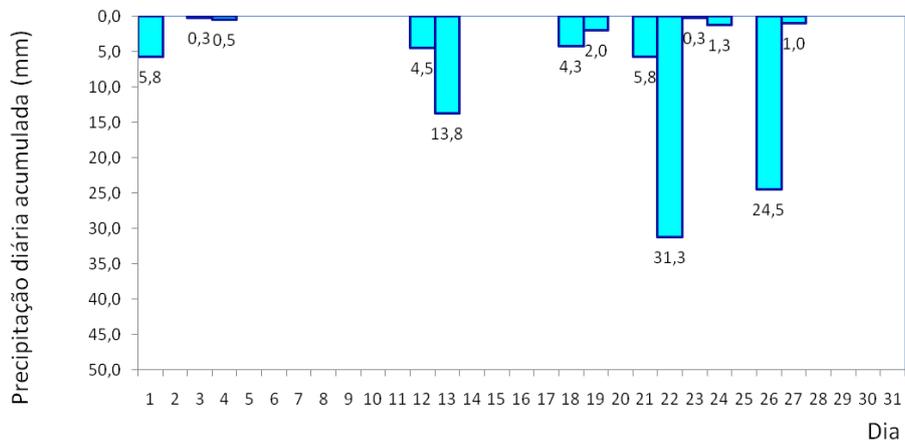
Mesmo em um telhado convencional, a intensidade e duração da precipitação podem ter um impacto marcante no tipo e quantidade de poluentes presentes no escoamento superficial (BURTON e PITT, 2002). A presença do substrato, do teto verde, apesar de poder conferir um caráter filtrante com relação ao arraste de poluentes presentes na atmosfera, contribui para o arraste de outras substâncias que fazem parte de seu meio. A partir da análise do volume escoado dos tetos em estudo, pode-se considerar a ocorrência da precipitação no funcionamento dos tetos verdes sob dois aspectos: agindo positivamente na redução dos efeitos de inundação na drenagem urbana, devido à relação entre os volumes precipitados e os volumes acumulados no interior dos tonéis; e agindo negativamente para aumento no carreamento de material particulado.

### Qualidade da água escoada

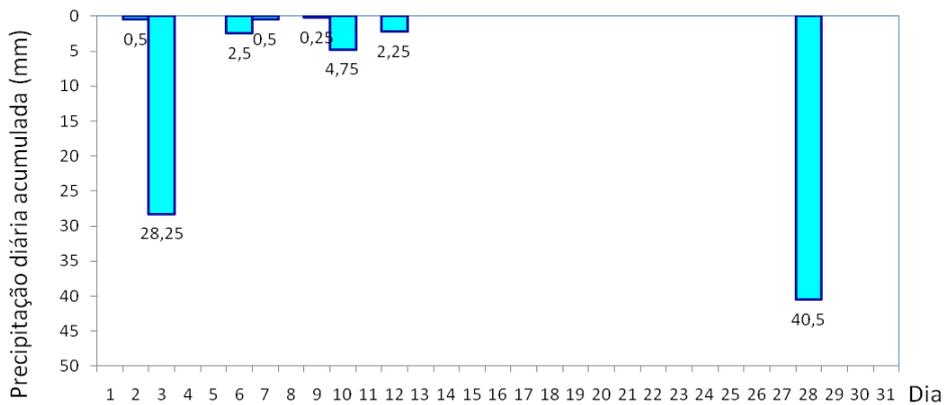
A qualidade de qualquer água é determinada pela qualidade da fonte da água e sua exposição a contaminantes durante seu deslocamento na superfície construída e no solo. De uma forma geral, as diferenças em relação à qualidade da água dos telhados verdes estão associadas à construção e manutenção dos mesmos. A água de chuva geralmente é considerada como não poluída, mas pode ser ácida e conter quantidades consideráveis de nitratos, ou ainda traços de outros contaminantes dependendo das fontes de poluição local e ventos. A análise dos parâmetros de qualidade da água escoada é importante para prever o potencial de reuso da água acumulada nos tonéis, especialmente no que se refere à região estudada que é caracterizada por grandes períodos de estiagem. Entre os parâmetros mais investigados na determinação da qualidade da água estão as formas de nitrogênio e fósforo, e metais pesados. Sendo o último realizado nos casos de áreas urbanas com alta atividade industrial, que resulta em concentração não desprezível de metais na atmosfera urbana, tornando este parâmetro relevante. Este parâmetro não foi investigado neste trabalho, uma vez que não é o caso da região em estudo que se trata da zona rural de uma cidade com baixo desenvolvimento industrial.



(a) Dados referentes ao mês de janeiro de 2011.



(b) Dados referentes ao mês de fevereiro de 2011



(c) Dados referentes ao mês de março de 2011

Figura 4: Valores de precipitação, em mm, obtidos do site do INPE ([http://sinda.crn2.inpe.br/PCD/historico/consulta\\_pcdm.jsp](http://sinda.crn2.inpe.br/PCD/historico/consulta_pcdm.jsp) )

Tabela 3. Qualidade da água captada pelos telhados nas coletas realizadas em janeiro e fevereiro de 2011 e dados climatológicos da mesma data.

Parâmetros físico-químicos	Tipo de telhado								
	Vegetação Grama de burro			Vegetação Coroa de frade			Controle		
	26/01	09/02	23/02	26/01	09/02	23/02	26/01	09/02	23/02
Temperatura (°C):	23,4	26,4	28,8	26	26,7	29,8	24,3	29,4	28,5
Cor Aparente (Pt/Co):	-	254	750	-	290	1208	-	19	25
Cor Verdadeira (Pt/Co):	331	320	678	409	392	1055	7	5	3
Turbidez (NTU):	16,85	1,09	1,25	6,78	2,32	1	13,68	0,6	1,4
Condut. Elétrica (µS/cm):	349	387	234	173	171,5	215	18	29,6	32,5
ST(mg/L) :	746	740	464	450	240	532	74	6	40
SDT(mg/L) :	612	-	508	376	-	532	28	-	80
pH:	7,2	6,6	7,4	7,2	6,6	7,2	7,2	6,6	6,4
Salinidade (%):	0,17	0	0	0,08	0	0	0	0	0
Oxigênio Dissolvido (mgO <sub>2</sub> /L):	2,7	2	3,5	6,9	2,1	3,3	5,4	1,2	3,2
Alcalinidade Total (mgCaCO <sub>3</sub> /L):	40,06	-	44,07	42,07	-	34,05	8,01	-	5,01
Cloretos (mg Cl-/L)	26,17	32,87	15,61	5,96	10,55	11,6	2,09	9,91	5,91
Dureza Total (mgCaCO <sub>3</sub> /L):	162,36	229,68	87,12	95,04	134,64	104,94	39,6	11,88	27,72
Pvan (mg/l)	4	-	3,91	3,84	-	4,86	0,51	-	0,38
PO <sub>4</sub> (mg/l)	12,26	-	11,99	11,77	-	14,90	1,56	-	1,17
N-NH <sub>3</sub> (mg/l)	1,56	-	1,08	2,32	-	1,58	0,64	-	0,5
NH <sub>3</sub> (mg/l)	1,89	-	1,31	2,82	-	1,92	0,78	-	0,61
Cl <sub>2</sub> (mg/l)	-	-	0,47	-	-	0,63	-	-	0,06
Ferro total	-	-	0,71	-	-	1,14	-	-	0
Nitrito	-	-	0,42	-	-	0,45	-	-	0,26
Nitrato	-	-	112,47	-	-	38,08	-	-	17,26
Volume (l)	240,0	214,2	42,1	240	168,5	45,7	240,0	240,0	125,7
Dados meteorológicos (Fonte: INPE, 2011)									
	26/01/11	09/02/11	23/02/11						
Precipitação acumulada (mm)	99,5	32,25	30,25						
Umidade relativa do ar (média)	9,13	10,63	4,25						
Radiação solar (média)	2,68	2,51	2,25						

Tabela 4: Dados da qualidade da água captada pelos telhados nas coletas realizadas em março de 2011 e dados climatológicos nas respectivas datas.

Parâmetros físico-químicos	Tipo de telhado					
	Vegetação Grama de burro		Vegetação Coroa de frade		Controle	
	10/03	29/03	10/03	29/03	10/03	29/03
Temperatura (°C):	27,8	27,5	28,6	27,6	29,1	29,5
Cor Aparente (Pt/Co):	351	379	419	366	27	30
Cor Verdadeira (Pt/Co):	348	327	418	316	26	27
Turbidez (NTU):	0,89	27,8	5,45	23,5	0,74	1,91
Condut. Elétrica (µS/cm):	166,3	173,8	138,1	161,5	17,47	18,53
ST(mg/L) :	492	376	536	360	42	108
SDT(mg/L) :	404	94	342	116	0	28
pH:	7,0	6,5	7,2	6,7	6,8	6,7
Salinidade (%):	0,08	0	0,06	0	0,01	0
Oxigênio Dissolvido (mgO <sub>2</sub> /L):	2,2	3,6	4	3,5	2,3	7
Alcalinidade Total (mgCaCO <sub>3</sub> /L):	46,07	40,06	40,06	44,07	12,02	8,01
Cloretos (mg Cl-/L)	6,81	21,32	7,4	11,25	4,14	5,92
Dureza Total (mgCaCO <sub>3</sub> /L):	77,22	83,16	59,4	77,22	21,78	15,84
Pvan (mg/l)	3,82	5,56	4,4	5,04	0,12	0,17
PO <sub>4</sub> (mg/l)	11,71	17,05	13,49	15,45	0,36	0,52
N-NH <sub>3</sub> (mg/l)	3,04	5,95	3,19	4,9	0,21	0,41
NH <sub>3</sub> (mg/l)	3,69	7,22	3,87	5,95	0,25	0,49
Cl <sub>2</sub> (mg/l)	0,27	0,6	0,34	0,68	0,02	0,15
Ferro total	1,05	1,54	1,28	1,56	0,05	0,07
Nitrito	1,312	-	1,476	-	0,164	-
Nitrato	61,99	-	80,14	-	3,98	-
Volume (l)	234,3	157,1	135,7	88,6	240,0	231,4
Dados meteorológicos (Fonte: INPE, 2011)						
	10/03/11	29/03/11				
Precipitação acumulada (mm)	95,00	42,75				
Umidade relativa do ar (média)	4,88	15,63				
radiação solar (média)	3,79	4,09				

### Temperatura e pH

Em geral, os sólidos dissolvem-se melhor em águas mais quentes enquanto que os gases dissolvem-se em águas frias; e apesar de não se esperar um valor de temperatura elevado, faz-se necessário sua determinação *in loco* face à limitação de oxigênio que ocorre em temperaturas muito altas, o que pode tornar a água não muito útil à fauna. Os dados obtidos na primeira coleta (Figura 5) mostram que as temperaturas para os três telhados foram inferiores às temperaturas verificadas nas demais coletas, o que pode ter ocorrido devido à intensa precipitação ocorrida no dia anterior à primeira coleta. Nas demais coletas as temperaturas ficaram em torno de 27 °C. O pH (ou potencial hidrogeniônico) relaciona-se com a quantidade livre de íons hidrogênio em solução aquosa de modo que quanto maior a quantidade de íons hidrogênio em solução menor o pH e vice-versa. Os dados obtidos mostram que a água armazenada nos tonéis apresenta valores de pH próximos de 7 (Figura 6), sugerindo a não existência de contaminantes ácidos ou alcalinos.

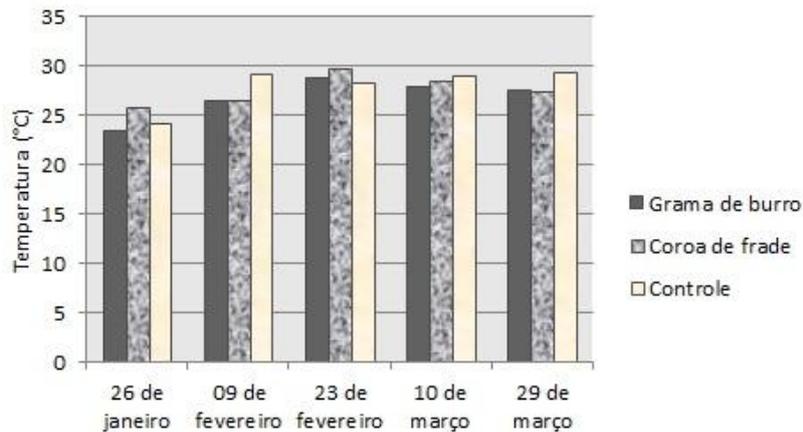


Figura 5: Temperatura da água armazenada nos tonéis em °C.

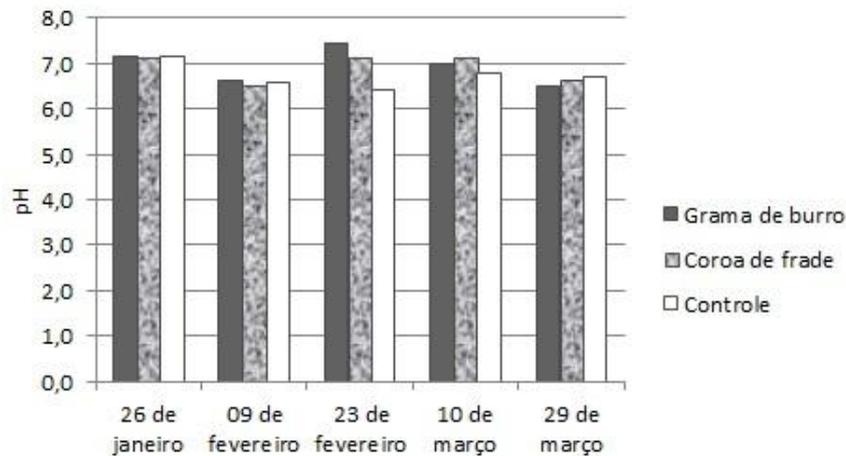


Figura 6: Valores de pH da água armazenada nos tonéis.

### Cor verdadeira

A cor verdadeira é proveniente de partículas coloidais ou dissolvidas, de origem vegetal ou animal, causada por íons coloridos como ferro ou manganês, matérias húmicas, taninos, algas, plantas aquáticas e protozoários, ou por resíduos orgânicos ou inorgânicos. Um elevado valor para a cor pode causar rejeição por parte do consumidor para determinados fins. Em todas as amostras coletadas dos telhados verdes, foi possível observar cor, mesmo a olho nu, em níveis bem superiores ao observado para o telhado convencional. Os valores elevados podem ser explicados pelo acúmulo de sedimentos, efeito que é mais provável acontecer nos tetos verdes devido à presença de vegetação e do substrato. Os valores máximos de cor foram obtidos para o telhado de coroa de frade (Figura 7) tendo valor crítico na coleta do dia 23 de fevereiro, 1055 Hazen, sendo que nesta mesma coleta os valores de cor foram os maiores para os dois tetos verdes. Este dado pode estar associado à alta precipitação observada no dia anterior, o que pode ter arrastado mais vegetação e solubilizado extrato vegetal.

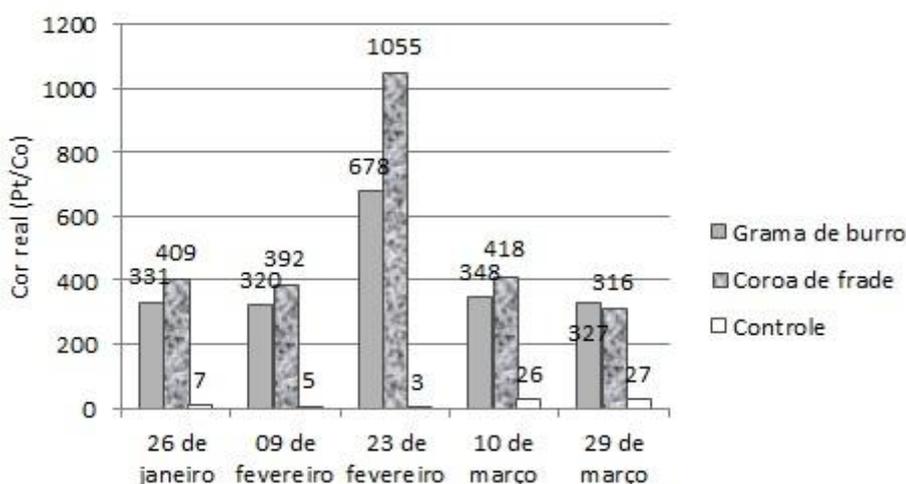


Figura 7: Valores de cor real da água armazenada nos tonéis.

### Turbidez

Nas amostras coletadas, foi possível verificar que na coleta do dia 26 de janeiro as águas dos três telhados em estudo estavam bem mais turvas (Figura 8) sendo que o teto de grama de burro foi o que teve maior valor para este parâmetro. Os valores elevados de turbidez na primeira coleta podem ter ocorrido pelo acúmulo de sujeira nos telhados, pois houve um longo período de estiagem, de quase 20 dias, antes da data de realização desta coleta. Além disso, quatro dias antes da realização da primeira coleta, houve intenso evento de chuva que antecedeu a coleta e realizou a lavagem dos telhados. Nas demais coletas praticamente não houve variação de turbidez de uma amostra para a outra, com exceção da coleta do dia 10 de março. Os valores voltaram a aumentar na última coleta, o que também pode ser explicado pelo intervalo de 15 dias sem chuva, seguidos da intensa precipitação do dia 27 de março que antecederam a data da coleta referida.

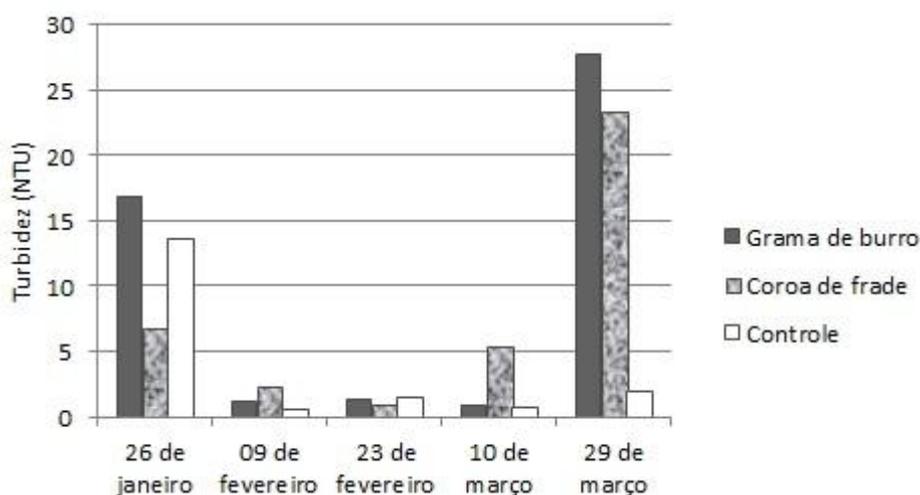


Figura 8: Valores de turbidez da água armazenada nos tonéis.

### Alcalinidade

Conforme a Figura 9, a água dos tetos verdes apresentaram alcalinidade sempre superior à alcalinidade da água do teto controle, sendo o maior valor encontrado no dia 10 de março para o teto com grama de burro. Estes valores são esperados, tendo em vista, que os fertilizantes utilizados na composição dos substratos possuem silicatos e fosfatos que são substâncias alcalinas. No entanto, os valores encontrados são considerados baixos ( $\sim 45$  mg/L  $\text{CaCO}_3$ ), indicando baixa contaminação por hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos.

### Sólidos totais

Na Figura 10, é possível observar que a água resultante do escoamento do telhado com grama de burro apresentou valores maiores deste parâmetro nas duas primeiras coletas, decaindo nas coletas posteriores. Os dois telhados verdes apresentaram valores sempre elevados quando comparados aos do teto controle, o que pode ser explicado pela presença do substrato e da matéria orgânica, contidos nos tetos verdes.

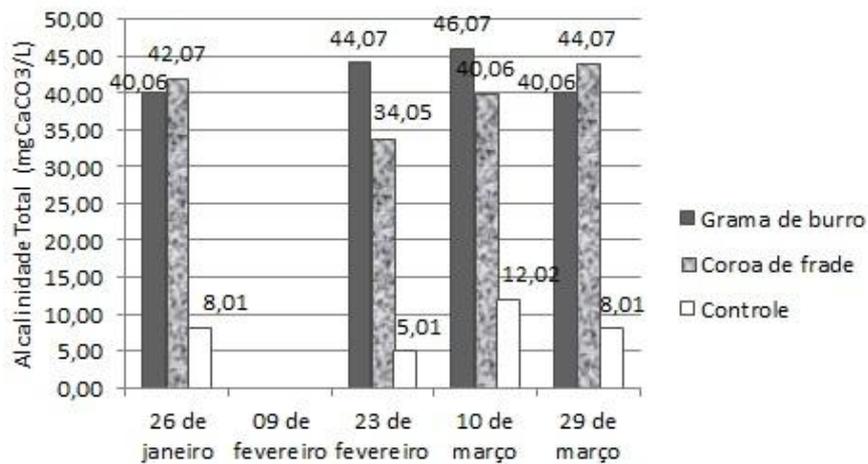


Figura 9: Valores de alcalinidade da água armazenada nos tonéis.

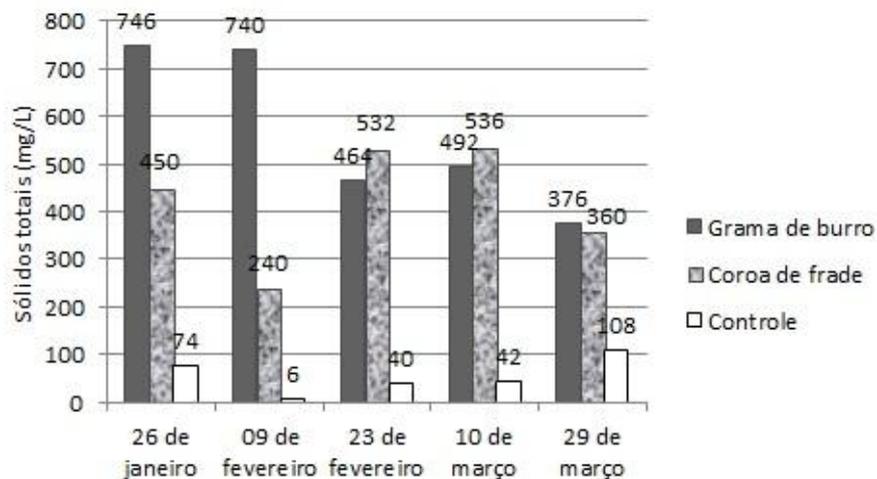


Figura 10: Valores de sólidos totais da água armazenada nos tonéis.

### Cloretos

Cloreto é o ânion mais comum encontrado em águas e efluentes, e estão presentes na forma de cloretos de sódio, potássio e magnésio. Os valores de cloretos em água doce são considerados aceitáveis quando sua concentração não ultrapassa 250 mg/L (CONAMA, 2005). A Figura 11 mostra que o teto com grama de burro apresentou os maiores valores para este parâmetro, com exceção do dia 10 de março, o valor máximo foi encontrado na coleta do dia 09 de fevereiro e igual a 32,87 mg/l.

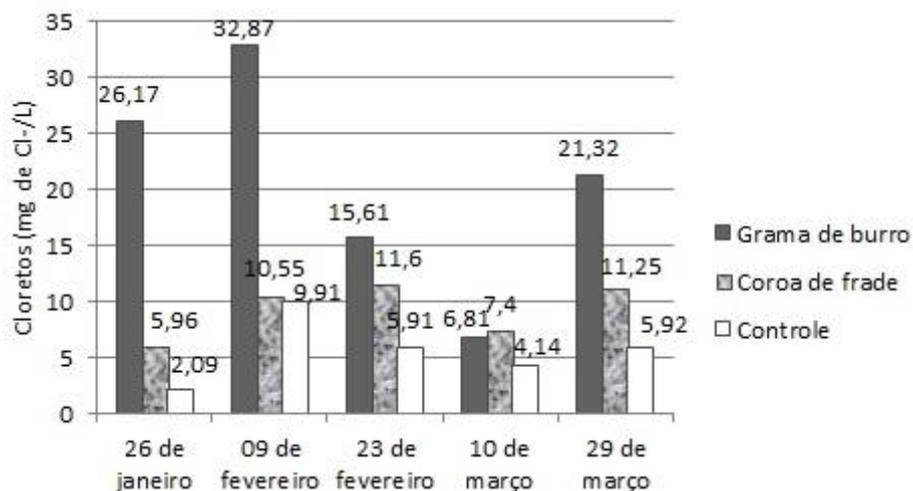


Figura 11: Valores de cloretos da água armazenada nos tonéis.

### Dureza

A principal fonte de dureza nas águas é a sua passagem pelo solo. Isto justifica a ocorrência de valores mais elevados para a água que escoar dos telhados verdes do que a água que escoar do teto tradicional (Figura 12). Os dados obtidos até o momento mostram que as águas escoadas dos telhados verdes apresentaram-se com valores de dureza sempre superiores aos encontrados para o teto controle. Este resultado era esperado já que a água da chuva que escoar no teto controle não atravessa nenhum substrato. O maior valor de dureza foi encontrado na coleta do dia 09 de fevereiro, 229,68 mg/L, para o teto com grama de burro. Estes valores estão abaixo dos valores de cálcio e magnésio obtidos por Teemusk and Mander (2007). Verifica-se que os altos níveis de dureza encontrados nas duas primeiras coletas do ano de 2011 foram reduzidos nas coletas posteriores, mantendo as águas dos telhados verdes dentro da faixa de águas moderadas, o que pode ser justificado pelas intensas precipitações ocorridas no início do ano, talvez tenha sido o caso de parte da água do intenso evento de chuva que teve início no dia 22 de janeiro ter infiltrado no solo dos telhados verdes, saturando o mesmo, e ter escoado durante o intervalo entre as duas primeiras coletas.

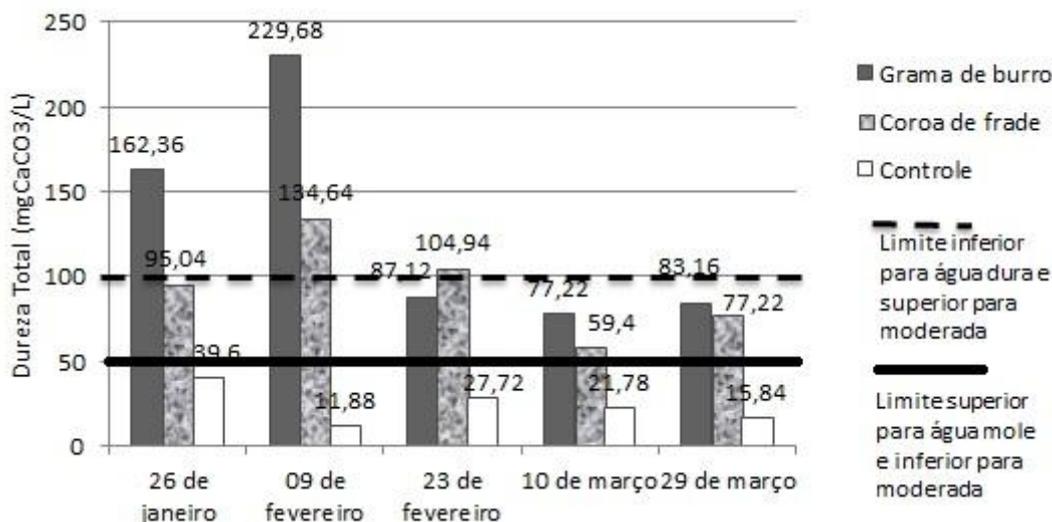


Figura 12: Valores de dureza total da água armazenada nos tonéis.

### Condutividade elétrica

A Figura 13 mostra que as águas dos dois tetos verdes tiveram valores de condutividade muito superior aos do teto controle, sendo o telhado com grama de burro o que obteve valores mais altos. Os valores elevados para os tetos verdes podem ser explicados pela presença de matéria orgânica, que com o passar do tempo pode estar sujeita à decomposição liberando seus nutrientes no solo, por onde a água escoada irá passar. Justificam-se os valores mais elevados para o teto com grama de burro visto que o mesmo está com uma quantidade de nutrientes maior em seu substrato que o teto com coroa de frade, devido ao tratamento diferenciado, à base de fertilizantes, necessário ao desenvolvimento da grama de burro.

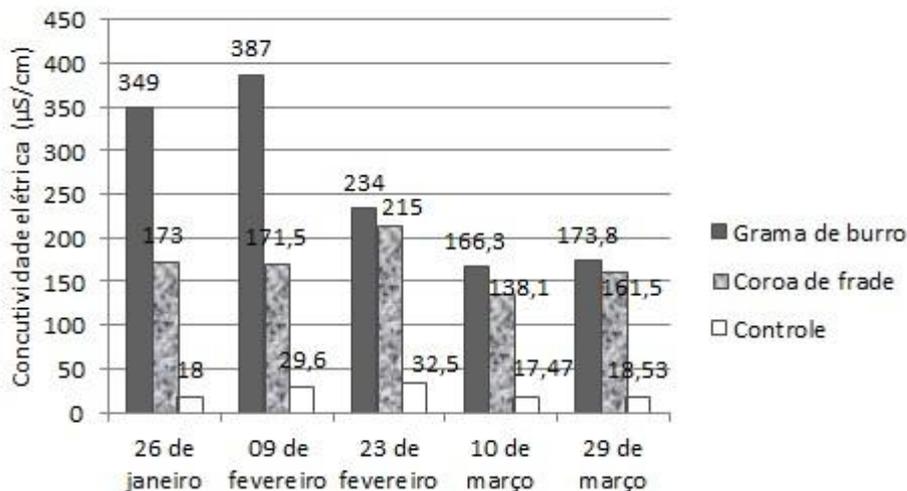


Figura 13: Valores de condutividade elétrica da água armazenada nos tonéis.

### Oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido é o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos. Na primeira e na última coleta foi possível verificar valores mais elevados de oxigênio dissolvido (Figura 14). Os valores elevados de oxigênio dissolvido nestas coletas podem ser explicados pelas intensas chuvas ocorridas nos dias anteriores a estas datas. Este parâmetro em águas doces deve ser superior a 2 mg/L, o que é observado em todas as amostras, inclusive no teto controle.

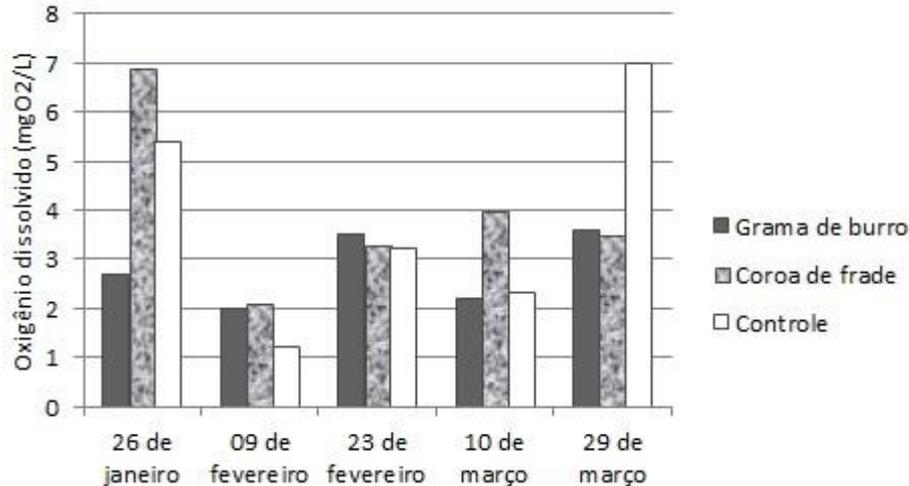


Figura 14: Valores de oxigênio dissolvido da água armazenada nos tonéis.

### Fosfato

A presença de fosfatos está associada aos sólidos em suspensão e dissolvidos. Não indica problemas de ordem sanitária, porém quando encontrados em altas concentrações em água represada pode provocar o aparecimento exagerado de algas. Teemusk e Mander (2007) verificaram o carreamento de fosfatos para fora do telhado verde quando expostos a eventos de precipitação, tal como pode ser observado na Figura 15 em que a concentração de fosfatos nas águas provenientes dos telhados verdes foi sempre muito elevada quando comparada com a água escoada do teto controle, o que pode ser explicado pela presença de matéria orgânica presente nos tetos verdes, ou adição de fertilizantes necessários ao desenvolvimento dos vegetais.

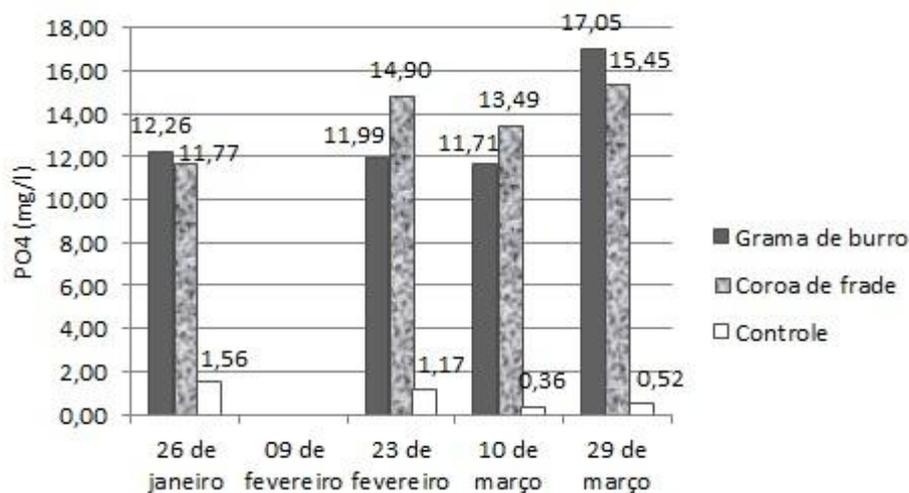


Figura 15: Concentração de fosfatos na água armazenada nos tonéis.

### Conclusões

O trabalho de monitoramento da qualidade de água associado à capacidade de retenção da água de chuva indicam que os telhados verdes constituem alternativas viáveis e aplicáveis em região semi-árida. Ambas as coberturas vegetais se desenvolveram bem no teto das edificações. Os dados obtidos mostram que o tipo de cobertura vegetal influenciou a capacidade de retenção e água pelos telhados, sendo o teto com coroa de frade a vegetação com maior capacidade de retenção da água da chuva que o teto com grama de burro. Os dados da literatura afirmam que em períodos de baixa precipitação pluviométrica a vegetação é fator decisivo para o volume de água captado, conforme encontrado neste trabalho. A

presença da cobertura vegetal, como é esperado, alterou alguns dos principais parâmetros analisados nesta pesquisa. Em alguns dos parâmetros, a alteração observada em relação à água captada pelo telhado convencional, não confere à água características inadequadas para fins de reuso menos nobres, como por exemplo, os casos de jardinagem, para a própria manutenção do telhado verde, ou ainda limpeza de pisos. Os parâmetros mais alterados em todas as coletas foram cor, turbidez, série de sólidos, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, alcalinidade, dureza total, nitrato e fosfato. Tais parâmetros foram alterados devido à presença de fertilizantes no solo e resíduo de matéria orgânica originada da própria cobertura vegetal. Entretanto, os resultados apresentados ainda são iniciais e, portanto, é necessário continuar o monitoramento por mais tempo antes de propor a aplicação mais ampla e abrangente da técnica, bem como alternativas para reuso da água escoada dos telhados.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro ao projeto “Telhados Verdes Aplicado ao Semiárido Pernambucano”, Processo Nº 478583/2009-5 aprovado no âmbito do Edital MCT/CNPq 14/2009. O último autor agradece à Pró-Reitoria para Assuntos de Pesquisa e Pós-Graduação da UFPE pela bolsa de iniciação científica - PIBIC/UFPE/CNPq.

### **Referências**

- BERNDTSSON, J.C. *Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review*. Em: Ecological Engineering, 36, p. 351-360, 2010.
- BURTON, G.J.A.; PITT, R. *Stormwater effects handbook : a toolbox for watershed managers, scientists, and engineers*. Washington, DC: Lewis Publishers, 2002. 929 p.
- CABRAL, J.J.S.P.; SANTOS, S. M. *Capítulo 3 – Água Subterrânea no Nordeste Brasileiro*. Em: O Uso Sustentável dos Recursos Hídricos em Regiões Semi-Áridas. Editora Universitária da UFPE, Recife, p. 65-104, 2007.
- CIRILO, J.A.; CAMPELO NETTO, M.S.C.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; ASFORA, M.C. *Capítulo 2 – Caracterização do Semi-Árido Brasileiro*. Em: O Uso Sustentável dos Recursos Hídricos em Regiões Semi-Áridas. Editora Universitária da UFPE, Recife, p. 33-64, 2007.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução nº 357*, de 17 de março de 2005. Ministério do Meio Ambiente, 23p.
- CORREA, C.B., GONZÁLEZ, F.J.N. *O uso de Coberturas Ecológicas na Restauração de Coberturas Planas*. Em: Núcleo de Pesquisa em Tecnologia de Arquitetura e Urbanismo – NUTAU, Pró-Reitoria de Pesquisa, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- 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](http://sinda.crn2.inpe.br/PCD/historico/consulta_pcdm.jsp) (último acesso em 27/05/2011).
- KÖHLER, M.; SCHMIDT, M.; GRIMME, F.W.; LAAR, M., GUSMÃO, F. *Water Retention by Greened Roofs in Temperate and Tropical Climate*. Em: Anais of 38th IFLA World Congress, Singapore, 2001.

- NASCIMENTO, N.O.; HELLER, L. *Ciência, Tecnologia e Inovação na Interface entre as Áreas de Recursos Hídricos e Saneamento*. Em: Revista Engenharia Sanitária Ambiental, vol.10, no.1 Rio de Janeiro – RJ, 2005.
- PECK, S.W., CALLAGHAN, C., KUHN, M.E., BASS., B. *Greenbacks from green roofs: Forging a new industry in Canada*. Em: Canada Mortgage and Housing Corporation, Ottawa, Canadá, 1999.
- SCHMIDT, M. *Extensive greened roofs to improve the urban climate (Extensive Dachbegrünung als Beitrag zur Verbesserung des Stadtklimas)*. Dissertação de Mestrado, TU Berlin, 75 p., 1992.
- 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*. Em: Anais do V Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, em meio digital, 10p., Recife-PE, 2009.
- TEEMUSK, A., MANDER, Ü. *Rainwater runoff quantity and quality performance from a greenroof: The effects of short-term events*. Em: Ecological Engineering, 30, p. 271-277, 2007.
- VILLARREAL, E.L., BENGTSSON, L. *Response of a Sedum green-roof to individual rain events*. Em: Ecological Engineering, 25, p. 1-7, 2005.