

Viabilidade técnica de implantação de sistema de aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em universidade

Technical viability of implementation of the stormwater harvesting system for non-potable uses at a university

Marcio Ricardo Salla
Gabriela Bernardi Lopes
Carlos Eugênio Pereira
João da Costa Moura Neto
Aline Martins Pinheiro

Marcio Ricardo Salla
Faculdade de Engenharia Civil,
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil
Universidade Federal de Uberlândia
Avenida João Naves de Ávila, 2121,
Santa Mônica
Uberlândia - MG - Brasil
CEP 38400-902
Tel.: (034) 3239-4170 Ramal 229
E-mail: mrsalla@feciv.ufu.br

Gabriela Bernardi Lopes
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil
Universidade Federal de Uberlândia
Avenida João Naves de Ávila, 2121,
Santa Mônica
Uberlândia - MG - Brasil
CEP 38400-902
Tel.: (034) 3239-4170 Ramal 229
E-mail: gabrielablopes@yahoo.com.br

Carlos Eugênio Pereira
Faculdade de Engenharia Civil
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil
Universidade Federal de Uberlândia
Avenida João Naves de Ávila, 2121,
Santa Mônica
Uberlândia - MG - Brasil
CEP 38400-902
Tel.: (034) 3239-4170 Ramal 229
E-mail: carloseugenio@feciv.ufu.br

João da Costa Moura Neto
Graduando em Engenharia Civil
Universidade Federal de Uberlândia
Avenida João Naves de Ávila, 2121,
Santa Mônica
Uberlândia - MG - Brasil
CEP 38400-902
Tel.: (034) 3239-4170 Ramal 229
E-mail: joaomoura1990@hotmail.com

Aline Martins Pinheiro
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil
Universidade Federal de Uberlândia
Avenida João Naves de Ávila, 2121,
Santa Mônica
Uberlândia - MG - Brasil
CEP 38400-902
Tel.: (034) 3239-4170 Ramal 229
E-mail: ampinheiro@feciv.ufu.br

Recebido em 14/01/13
Aceito em 12/04/13

Resumo

Este artigo tem como objetivo analisar a viabilidade técnica de implantação de sistema de aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis em uma edificação com salas de aula e anfiteatros na Universidade Federal de Uberlândia, no município de Uberlândia. Dois tipos de análise foram realizadas: sob o ponto de vista quantitativo, verificando se a quantidade de água pluvial coletada supre satisfatoriamente a demanda por água não potável; e sob o ponto de vista qualitativo, verificando se, após o descarte dos primeiros milímetros de precipitação, a água pluvial coletada possui qualidade suficiente para atender a essa demanda. Os resultados indicam que a implantação desse sistema é viável do ponto de vista quantitativo, pois, durante a simulação pelo Método Netuno, obtiveram-se volumes do reservatório de acumulação com intervalo de 7,9 m³ a 18,2 m³ para um potencial de economia de água potável entre 18,2% e 53,2%. Além disso, os resultados qualitativos indicam que a implantação desse sistema é viável, pois, descartando-se os primeiros 2,5 mm de precipitação após o período de estiagem e implantando-se um sistema de retenção de sólidos suspensos mais eficiente, todos os parâmetros analisados durante a pesquisa atendem às normas NBR 15527 (ABNT, 2007), NBR 13969 (ABNT, 1997) e Manual de Conservação e Reuso da Água (AGÊNCIA..., 2005).

Palavras-chave: Aproveitamento de águas pluviais. Qualidade de água pluvial. Dimensionamento de reservatório.

Abstract

This paper aims to analyze the technical viability of a stormwater harvesting system for non-potable uses in a building at the Federal University of Uberlândia, Uberlândia, Brazil, which contains classrooms and lecture halls. Two types of analysis were carried out: a quantitative one, to verify whether the amount of stormwater collected meets the demand for non-potable water; and a qualitative one, to verify whether after disposal of the first millimeters precipitation, the stormwater collected is of good enough quality to meet the demand. The results show that the implementation of the system is viable from the quantitative point of view, since in the simulation using the Netuno Method, an accumulation tank was obtained with 7.9 m³ to 18.2 m³ for a drinking water savings potential between 18.2% and 53.2%. Furthermore, the qualitative results indicate that the implementation of the system is viable, since by discarding the first 2.5 mm of precipitation of the first rains after the dry season and implementing a more efficient suspended solids retention system, all parameters analyzed meet the ABNT NBR 15527 (ABNT, 2007) and NBR 13969 (ABNT, 1997) standards and the ANA Manual for Conservation and Reuse of Water (AGÊNCIA..., 2005).

Keywords: Stormwater harvesting. Stormwater quality. Sizing of tanks.

Introdução

O aumento gradativo na demanda de água para consumo humano e a contínua poluição dos cursos de água fazem com que esse recurso natural se torne cada vez mais limitado e, como consequência, afetam o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida. É fundamental a conscientização da população sobre o uso racional da água e a necessidade de implantação de um sistema de abastecimento de água seletivo. Na maioria das edificações, a água potável é utilizada para a realização de todas as atividades, independentemente do uso ao qual se destina. A evolução do conceito de uso racional de água para conservação de água consiste na gestão não somente da demanda, mas também da oferta, de forma que usos menos nobres possam ser supridos por águas de qualidade inferior (DIAS, 2007). Kammers e Ghisi (2006), Marinowski e Ghisi (2008) e Proença e Ghisi (2009) apontam para a viabilidade de utilização de água de chuva em bacias sanitárias e mictórios diante do elevado consumo nesses pontos.

Existem diversos pesquisadores no Brasil e no mundo que estudam a viabilidade técnica e econômica de implantação de sistema de aproveitamento de água pluvial com finalidade não potável, independentemente do uso final. Os estudos são voltados, de uma forma geral, à análise da qualidade da água pluvial em face do destino pretendido, à análise econômica na implantação do sistema tendo o reservatório de acumulação como foco principal em função dos elevados custos de construção, e comparações técnicas e econômicas entre métodos de dimensionamento de reservatório.

Com relação à qualidade de água pluvial, há a necessidade prévia de caracterização tanto para uso potável quanto para não potável, a fim de averiguar a conformidade com limites definidos em normas, uma vez que, dependendo da região, fatores com acidificação da água de chuva e contaminação pelo contato direto com o sistema de captação podem comprometer a qualidade desejada (SANTOS, 2002; SILVA; TAMAKI; GONÇALVES, 2006; REBELLO, 2004; MAY, 2004). Como exemplo, Santos *et al.* (2006) encontraram elevadas concentrações de coliformes termotolerantes em água pluvial coletada após 10 min do início da precipitação em edificações com diferentes tipos de materiais de telhamento no município de Curitiba, PR. Outros estudos sobre a caracterização da qualidade da água pluvial podem ser consultados em May (2004), Lee *et al.* (2004), Rebello (2004), Anecchini (2005), Jaques (2005) e Peters (2006).

A viabilidade econômica de implantação desse sistema está diretamente relacionada aos custos envolvidos na construção do reservatório de acumulação. A importância na definição do volume otimizado para suprir determinada demanda por água pluvial, para determinada região com intensidade e frequência pluviométricas específicas, fez com que fossem desenvolvidos diversos métodos de dimensionamento. A maioria dos métodos existentes tem como parâmetros de entrada a intensidade pluviométrica, a área de captação e a demanda de água potável e não potável, os quais possuem influências variadas no volume final do reservatório, dependendo do local de estudo (GHISI, 2010). No território nacional são muitos os estudos realizados.

Rupp, Munarim e Ghisi (2011) realizaram comparações entre os métodos de dimensionamento de reservatório recomendados pela NBR 15527 (ABNT, 2007) e o Método Netuno, proposto por Ghisi, Cordova e Rocha (2009), em edificações de cidades com intensidades pluviométricas distintas. Para o município de Palhoça, SC, que possui intensidade pluviométrica média anual similar à do município de Uberlândia (superior a 1.600 mm), as análises pelos métodos de Rippl e Simulação foram prejudicadas pela necessidade de que a diferença entre volume e demanda de água pluvial seja positiva. Os métodos Azevedo Neto e Prático Inglês mostraram que os volumes dos reservatórios não alteram com o aumento da demanda diária por água pluvial, mas sim com o aumento da área de captação. Constatação contrária foi obtida pelo Método Prático Alemão. Diante de um mesmo potencial de economia de água, os métodos Netuno e Prático Alemão foram os que apresentaram menores volumes dos reservatórios. Também Fernandes, Silva e Nóbrega (2012) obtiveram resultados satisfatórios com o Método Netuno para a região metropolitana do Cariri Cearense.

Bezerra *et al.* (2010) realizaram comparações entre os métodos de dimensionamento de reservatório recomendados pela NBR 15527 (ABNT, 2007) e pelo Decreto Municipal 293/2006 de Curitiba, PR, em cinco edificações com sistemas de aproveitamento já existentes. O estudo não foi esclarecedor quanto ao melhor método, devido a uma variação considerável nos volumes dimensionados.

O método dos Dias Consecutivos sem Chuva foi utilizado por Amorim e Pereira (2008) e Dornelles, Tassi e Goldenfum (2010) na determinação do volume mínimo de reservatório. Para Amorim e Pereira (2008), a aplicação deste método é

interessante somente em casos nos quais se deseja priorizar a redução de custo do reservatório diante de outras fontes de água já existentes no suprimento da demanda. Semelhante ao Método de Rippl, a base de cálculo empregada nesse método possui uma linha de raciocínio fundamentada no volume de chuva captado durante o período de estiagem, utilizando os maiores períodos de dias consecutivos sem chuva.

O método Interativo, proposto por Anecchini (2005) para residências unifamiliares na cidade de Vitória, ES, trata-se de uma adaptação do Método de Rippl, o qual gera resultados mais realistas de dimensionamento ao utilizar valores predefinidos para o volume de reservatório em cálculos extraídos das equações de Rippl.

Já Mierzwa *et al.* (2007) propuseram um método de dimensionamento de reservatório para aproveitamento de água pluvial no processo produtivo industrial com demanda de água pluvial entre 60 a 100 m³/dia e área de captação de 16.960 m². O tempo de amortização ao investimento pela construção do reservatório foi de 2,0 a 2,5 anos pelo método proposto, enquanto no método de Rippl foi de 8,1 a 9 anos. De acordo com os autores, a vantagem do método proposto para aproveitamento industrial é que, enquanto os métodos recomendados pela NBR 15527 (ABNT, 2007) estão associados ao acúmulo de água para os dias de seca (geram reservatórios com grandes dimensões), o método proposto procura maximizar o aproveitamento na época de chuva e, com isso, reduzir o consumo de água potável. O método proposto por Mierzwa *et al.* (2007) também foi avaliado por Carvalho, Oliveira e Moruzzi (2007) em residências unifamiliares na cidade de Rio Claro, SP.

Athayde Júnior, Dias e Gadelha (2008), em estudo de residências com diferentes padrões econômicos na cidade de João Pessoa através do método Rippl, concluíram que o aproveitamento de água pluvial é viável apenas em residências de alto padrão, devido ao atual cenário de tarifas com período de retorno do investimento de 8,17 a 10,19 anos. Já Marinoski e Ghisi (2008), através do estudo em instituições de ensino em Florianópolis, SC, e com a utilização do Método Netuno, concluíram como viável economicamente esse aproveitamento devido a uma economia de água de 45,8%, com período de retorno do investimento de 4 anos e 10 meses.

No âmbito internacional, o interesse pelo aproveitamento de água pluvial é evidente. Ward, Memon e Butler (2012) avaliaram o desempenho do reservatório de acumulação e o retorno de capital de um sistema em edificações de grande

porte no Reino Unido. Youn *et al.* (2012) desenvolveram um método para encontrar as relações probabilísticas entre a capacidade do reservatório de armazenamento e o déficit que ocorre na eficiência do sistema quando se consideram as mudanças climáticas na cidade de Seul, na Coreia do Sul. Appan (2000) avaliou a viabilidade econômica de aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em uma universidade de Singapura. Já Zhou, Shao e Zhang (2010), em estudo de caso em Shoushan, na China, desenvolveram um modelo de simulação que permite avaliar a potencialidade no aproveitamento de água pluvial por meio das relações da demanda de água pluvial e capacidade do reservatório com o escoamento superficial médio anual coletado.

Ínúmeros pesquisadores na Austrália também estão envolvidos com o tema. Khastagir e Jayasuriya (2010) apresentaram uma metodologia de cálculo capaz de encontrar as melhores dimensões de reservatório na cidade de Melbourne, na Austrália, considerando que existe elevada variação de intensidade pluviométrica anual média na área urbana. Já Zhang *et al.* (2009) avaliaram a viabilidade econômica em edifícios residenciais de grande porte em quatro cidades australianas, incluindo Sydney, Perth, Darwin e Melbourne, cuja maior intensidade pluviométrica e frequência no município de Sydney confere ao mesmo maior viabilidade. Eroksuz e Rahman (2010), na investigação do potencial de aproveitamento de água pluvial em edifícios de usos múltiplos nas cidades de Sidney, Newcastle e Wollongong, concluíram que as dimensões do reservatório mais viável às três cidades suprem apenas demandas em anos secos.

Já na Espanha, Domènech e Saurí (2011) realizaram um estudo comparativo do uso da água pluvial em residências uni e multifamiliares na área metropolitana de Barcelona. Pinzón *et al.* (2012) desenvolveram um modelo que possibilita analisar a viabilidade técnica e financeira de forma integrada no aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis em áreas urbanas espanholas. Parra, Villalba e Gabarrell (2013) avaliaram na área metropolitana de Barcelona o quantitativo de energia consumida e eficiência energética na implantação de sistema de aproveitamento de água pluvial, os quais concluíram que os maiores requisitos de energia estão associados à energia consumida no transporte de materiais na construção do sistema.

Os trabalhos consultados evidenciam uma tendência mundial em construções com abastecimentos de água seletivos, com destinação de água potável em atividades que incluam o contato direto com o corpo humano e qualidade

não potável em atividades nas quais existe apenas utilização indireta. Assim, o presente estudo tem como objetivo analisar a viabilidade técnica de implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em uma edificação com salas de aula e anfiteatros na Universidade Federal de Uberlândia, no município de Uberlândia, MG, região esta do território nacional carente de estudos quantitativos e qualitativos, cuja função é atender a demanda não potável consumida nas bacias sanitárias e mictórios. Sob o ponto de vista quantitativo dimensionou-se o reservatório de armazenamento, verificando se a quantidade de água pluvial coletada supre satisfatoriamente a demanda por água não potável. Do ponto de vista qualitativo, avaliou-se as modificações físico-químicas e microbiológicas da água de chuva e pluvial ao longo do sistema de aproveitamento em comparação às normas vigentes.

Materiais e métodos

A pesquisa teve como objeto de estudo uma edificação pública de ensino superior recentemente construída, com 3 pavimentos, 28 salas de aula com capacidade de 45 alunos por sala, 2 anfiteatros com capacidade de 70 alunos por anfiteatro, 2 salas comerciais, área de convívio e 2 banheiros por pavimento (no geral 32 bacias sanitárias e 12 mictórios), totalizando uma área construída de aproximadamente 3.451 m².

De acordo com o projeto arquitetônico, o telhado da edificação possui área de 1.049 m², constituído por telha metálica e configuração retangular de escoamento superficial em “quatro águas”. A parte central possui um lanternim, e os lados de maior comprimento apresentam cinco condutores verticais para escoamento de águas pluviais em cada lado, somando um total de dez condutores verticais ao longo do sistema de captação.

O principal motivo que levou à escolha dessa edificação foi o fato de que ela é uma das únicas em funcionamento nessa instituição construída com vista à implantação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis. Embora o sistema ainda não tenha sido implantado, a edificação possui dois reservatórios elevados com ramais de alimentação e distribuição independentes, sendo um para a demanda potável e outro para a demanda não potável (volume de 21.400 L). De acordo com o projeto hidráulico, um dos reservatórios seria abastecido com água potável atendendo às demandas dos lavatórios, bebedouros e torneiras. Já o outro reservatório seria abastecido com água pluvial, para atender às

demandas das bacias sanitárias e dos mictórios. Atualmente, ambos são abastecidos com água potável, mas permanecem com ramais de distribuição distintos, o que facilitou a obtenção do consumo não potável.

Análise quantitativa

Os trabalhos da literatura consultados evidenciam que a maioria dos métodos recomendados pela NBR 15527 (ABNT, 2007) apresenta problemas de super e subdimensionamento para situações variadas de intensidades pluviométricas (TOMAZ, 2003; RUPP; MUNARIM; GHISI, 2011; MORUZZI; OLIVEIRA, 2010; AMORIM; PEREIRA, 2008; MIERZWA *et al.*, 2007; COHIM; ALMEIDA; KIPERSTOK, 2007; ANNECCHINI, 2005). Todavia, de acordo com Rupp, Munarim e Ghisi (2011), em função de o usuário ter a opção de definir a capacidade do reservatório diante do potencial de economia de água potável, o Método Netuno mostrou-se mais racional ante os recomendados pela NBR 15527 (ABNT, 2007) para variadas demandas de água pluvial e intensidades pluviométricas estudadas. Diante dessa situação, optou-se por utilizar neste estudo o Método Netuno, proposto por Ghisi, Cordova e Rocha (2009).

Método Netuno

É um programa computacional que permite estimar o potencial de economia de água potável a partir do aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis, desenvolvido por Ghisi, Cordova e Rocha (2009) e validado por Rocha (2009) e Lage (2010). As simulações são realizadas em escala diária, em que o usuário deve organizar em planilha e, em uma coluna única, a série histórica diária de intensidade pluviométrica.

De acordo com Ghisi, Cordova e Rocha. (2009), o método utiliza como dados de entrada:

- (a) série diária histórica de intensidade pluviométrica (mm);
- (b) área de captação (m²);
- (c) opção de demanda fixa ou variável de água potável (L.hab⁻¹.dia⁻¹);
- (d) número de usuários (hab.);
- (e) porcentagem de água potável a ser substituída por água pluvial (%);
- (f) coeficiente de aproveitamento de água pluvial (adimensional);
- (g) opção de existência ou não de reservatório superior com necessidade da inclusão do valor no caso da existência (litros); e

(h) existência de um ou mais reservatórios inferiores (litros), cujo valor é um dado de entrada no método.

E como dados de saída: potencial de economia de água potável (%); volume extravasado (litros); porcentagem de dias em que a demanda por água potável é atendida completamente, atendida parcialmente ou não atende, tomando-se como base a série diária histórica de intensidade pluviométrica considerada; e consumo total mensal (litros).

Para uma série diária histórica de intensidade pluviométrica considerada pelo usuário, esse método direciona o volume de água pluvial menos as perdas existentes no escoamento pelo sistema de captação até o reservatório de acumulação. Diariamente, a partir de um volume de reservatório predefinido pelo usuário, o método considera que, se o volume captado é superior à capacidade do reservatório e à demanda diária por água não potável, o excedente é extravasado. Do contrário, a demanda por água não potável é atendida pela autarquia de água e esgoto local de forma parcial ou total (ROCHA, 2009).

Na sequência de cálculo do algoritmo usado pelo Método Netuno, determina-se diariamente o volume de água pluvial captado pelo sistema de captação, o volume de água pluvial consumido, o volume disponível no reservatório de acumulação e, para finalizar, o potencial de economia de água potável (RUPP; MUNARIM; GHISI, 2011). O volume de água pluvial captado diariamente pelo sistema é obtido através da Equação 1.

$$Vp_{captado} = C_a \cdot Ip \cdot Ac \quad \text{Eq. 1}$$

Na qual:

$Vp_{captado}$ é o volume de água pluvial captado diariamente (litros);

C_a é o coeficiente de aproveitamento (adimensional);

Ip é a intensidade pluviométrica diária (mm); e

Ac é a área de captação (m^2).

O volume de água pluvial consumido diariamente é determinado pelas Equações 2 e 3.

$$Vp_{consumido} = \text{mínimo}\{Dp; Vp_{captado} + Vp_{disp.(t-1)}\} \quad \text{Eq. 2}$$

$$Dp = a \cdot D_{potável} \cdot n \quad \text{Eq. 3}$$

Nas quais:

$Vp_{consumido}$ é o volume de água pluvial consumido diariamente (litros);

$Vp_{disp.(t-1)}$ é o volume de água pluvial disponível no dia anterior (litros);

Dp é a demanda diária de água pluvial (litros);

a é a relação entre a demanda por água pluvial para fins não potáveis e a demanda por água potável (adimensional);

$D_{potável}$ é a demanda diária por água potável (litros/aluno); e

n é o número de alunos.

Através das Equações 4 e 5 calculam-se, respectivamente, o volume diário de água pluvial disponível no reservatório para suprir as demandas e o potencial de economia de água potável.

$$Vp_{disp.} = \text{mínimo}\{Vp_{captado} + Vp_{disp.(t-1)} - Vp_{consumido}; V_{inferior} - Vp_{consumido}\} \quad \text{Eq. 4}$$

$$E_{potencial} = 100 \cdot [(\sum_{l=1}^m Vp_{consumido}) / (m \cdot n \cdot D_{potável})] \quad \text{Eq. 5}$$

Nas quais:

$Vp_{disp.}$ é o volume diário disponível no reservatório (litros);

$V_{inferior}$ é o volume no reservatório inferior (litros);

$E_{potencial}$ é o potencial de economia de água potável (%); e

m é o número de dias da série histórica analisada.

Basicamente, após a introdução de todos os dados de entrada, o volume do reservatório de acumulação é obtido por meio da verificação do potencial de economia de água potável mediante atribuição aleatória desse volume. Os dados de entrada incluem:

(i) série histórica diária de intensidade pluviométrica Ip : levantamento dos dados junto ao Laboratório de Climatologia e Recursos Hídricos (LCRH) do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, o qual disponibilizou a série histórica diária de intensidade pluviométrica da cidade entre os anos de 1981 e 2011;

(j) área de captação Ac : 1049 m^2 ;

(k) demanda de água potável $D_{potável}$ variável ao longo da semana: valor nulo aos sábados e domingos, e 25 L/aluno.dia nos dias letivos (MARINOSKI; GHISI, 2008);

(l) coeficiente de aproveitamento C_a : 0,85, definido em função do material alumínio para o telhamento (ROCHA, 2009);

(m) constante a , relação entre a demanda por água pluvial para fins não potáveis e a demanda por água potável: avaliaram-se os valores 0,4, 0,6 e 0,8 (KAMMERS; GHISI, 2006; MARINOSKI; GHISI, 2008; PROENÇA; GHISI, 2009);

(n) número n de alunos: conforme já mencionado anteriormente, levando-se em consideração o

número de salas de aula, anfiteatros e salas comerciais existentes na edificação em estudo, estima-se a capacidade máxima de 1.410 alunos. É sabido que a população usuária nesse tipo de edificação é flutuante ao longo do ano, o que torna o reservatório super ou subdimensionado quando números extremos são considerados. Daí vem a necessidade de otimização no número de alunos. No processo de otimização, a partir da equação (3), avaliou-se o intervalo de valores do número n de alunos que forneceu uma demanda diária por água pluvial D_p próximo aos valores médios medidos ($\pm 10\%$). Para isso variou-se a constante a entre 0,05 e 1,00 em intervalo de 0,05 e a demanda por água potável $D_{potável}$ entre 10 e 40 L/aluno.dia em intervalo de 5 L/aluno.dia;

(o) reservatório superior: um reservatório com capacidade de 21.400 L; e

(p) reservatório inferior: apenas um reservatório individual.

Neste artigo definiu-se como volume ideal para o reservatório inferior aquele que respeita a relação apresentada na Equação 6.

$$\Delta E_{potencial} / \Delta V_{inferior} \geq 0,5 \quad \text{Eq. 6}$$

Na qual:

$\Delta E_{potencial} = E_{potencial 2} - E_{potencial 1}$, sendo $E_{potencial 2}$ o potencial de economia de água potável ideal e $E_{potencial 1}$ o potencial de economia de água potável anterior ao ideal;

$\Delta V_{inferior} = V_{inferior 2} - V_{inferior 1}$, sendo $V_{inferior 2}$ o volume inferior ideal; e

$V_{inferior 1}$ o volume inferior calculado anterior ao ideal.

A quantificação da demanda por água não potável foi feita através de um hidrômetro com vazão nominal de 1,5 m³/h, instalado diretamente no ramal de alimentação do reservatório que atende às bacias sanitárias e mictórios na edificação, nas proximidades desse reservatório. As leituras foram realizadas semanalmente entre os meses de julho e dezembro de 2011.

Análise qualitativa

Neste artigo foram feitas as caracterizações da água de chuva (coletada diretamente da atmosfera), da água pluvial (coletada após o contato com o telhamento) e da água pluvial armazenada por 10 e 20 dias. Foram realizadas comparações das qualidades das águas coletadas com os valores de referências das normas NBR 15527 (ABNT, 2007) e NBR 13969 (ABNT, 1997) - classe 3 (reúso em bacias sanitárias), além do Manual de Conservação e Reúso da Água em

Edificações proposto pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2005) - classe 1 (reúso em bacias sanitárias).

Caracterização da água de chuva

Nessa etapa pretendeu-se caracterizar a deposição úmida, ou seja, o carreamento de poluente em suspensão na atmosfera e a dissolução de gases atmosféricos. Além disso, teve como finalidade obter dados que permitissem comparar a qualidade da chuva coletada diretamente da atmosfera e após o contato com o telhamento. Para tanto, foram coletadas separadamente amostras dos primeiros 1 mm, 2 mm e 3 mm de precipitação diretamente da atmosfera, utilizando três “tampas” de reservatórios perfuradas na parte central, que, no momento da precipitação, foram posicionadas de forma invertida acima dos recipientes de coleta.

Para a captação do primeiro milímetro utilizou-se uma “tampa” com 1,17 m de diâmetro e para os demais milímetros foram utilizadas “tampas” com 1,51 m de diâmetro. Os primeiros 1 mm, 2 mm e 3 mm de precipitação foram coletados em recipientes de plástico de 5,5 L graduados com volumes correspondentes a 1,0 L, 3,6 L e 5,4 L respectivamente, calculados, com as devidas conversões de unidades, pela relação altura pluviométrica (mm) x área da “tampa” (m²).

Após as coletas, as amostras foram transportadas ao Labsan (Laboratório de Saneamento) da Faculdade de Engenharia Civil, para análises dos seguintes parâmetros: pH, amônia, nitrito e nitrato. Nessa etapa, as análises foram restritas em função da quantidade limitada de água de chuva coletada. As análises seguiram as recomendações de APHA – *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (AMERICAN..., 1995).

Caracterização da água pluvial

Nessa etapa, o objetivo foi avaliar a qualidade da água pluvial após passar pelos principais componentes do sistema de aproveitamento, o que possibilitou verificar o volume desejável de eliminação dos primeiros milímetros de água pluvial (perante os volumes de descarte previamente definidos) e a influência do tempo de retenção na qualidade da água pluvial armazenada. Para tanto, foi montado um aparato experimental a partir de instalações pluviais que incluíam o telhamento, as calhas e os condutores verticais já existentes na edificação (Figura 1).

Nesse sistema experimental (Figura 1), a água pluvial escoava superficialmente sobre o telhado, é captada na calha e desce pelo condutor vertical (A), previamente existente na edificação. Nesse

instante, o registro esfera (B) instalado no condutor vertical é fechado, desviando o escoamento até o aparato experimental. Como o registro esfera (H) também se mantém fechado, o escoamento é conduzido para os reservatórios (E), (F) e (G), possibilitando coletar os primeiros 0,62 mm, 1,25 mm e 2,5 mm respectivamente. Considerando que o condutor vertical conectado ao aparato experimental é responsável pela captação de aproximadamente 100 m² da área do telhamento, os volumes captados nos reservatórios de descarte foram de 62 L, 125 L e 250 L, o que, através das devidas conversões de unidades, corresponde à relação altura pluviométrica (mm) x área de captação do telhamento (m²).

À medida que os reservatórios de descarte dos primeiros milímetros atingem os níveis desejados, os três registros individuais (D) são fechados. Nesse momento, o registro esfera (H) instalado no condutor horizontal é aberto, possibilitando o enchimento do reservatório de armazenamento (I). Na entrada do reservatório de armazenamento a água pluvial escoava ainda pelo dispositivo (J), que contém uma tela de *nylon* para a retenção de sólidos suspensos. Após o enchimento do reservatório de acumulação, o registro esfera (B) é aberto, permitindo que o restante da precipitação seja descartado para a rede pluvial do *campus* universitário.

Os volumes de descarte estudados respeitam a recomendação da NBR 15527 (ABNT, 2007), a qual menciona que, no aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis, caso não existam dados específicos que permitam o dimensionamento do dispositivo de primeira lavagem, pode-se considerar um descarte de 2 mm

da precipitação inicial. Dacach (1979) sugere que o reservatório de eliminação da precipitação inicial tenha capacidade para armazenar de 0,8 a 1,5 L/m² de área de captação.

Para as coletas das amostras nos reservatórios de descarte, foram instalados registros esfera de 32 mm junto ao fundo de cada reservatório. Ainda de acordo com a Figura 1, o reservatório de armazenamento com capacidade de 1.000 L possui dois pontos de coleta, sendo um ponto situado no meio, e outro, junto ao fundo desse reservatório. O objetivo de se realizar a coleta no meio e no fundo do reservatório é avaliar a influência da sedimentação natural de poluentes na qualidade da água armazenada. Nesse reservatório, a água pluvial também foi caracterizada após 10 e 20 dias de retenção, com homogeneização do volume armazenado, a fim de avaliar a influência do tempo de retenção na qualidade da água pluvial e verificar possíveis proliferações de microorganismos presentes nessa água após escoamento pelo telhamento. Finalizadas as coletas, os reservatórios são esvaziados através do sistema de drenagem (K) e limpos para nova coleta.

Em cada evento de chuva, as amostras coletadas foram transportadas ao Labsan (Laboratório de Saneamento) para análises dos seguintes parâmetros: pH, turbidez, cor aparente, amônia, nitrito, nitrato, fósforo total, sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos suspensos totais (SST), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e *Escherichia coli* (indicador de contaminação fecal). As análises seguiram as recomendações de APHA – *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (AMERICAN..., 1995).

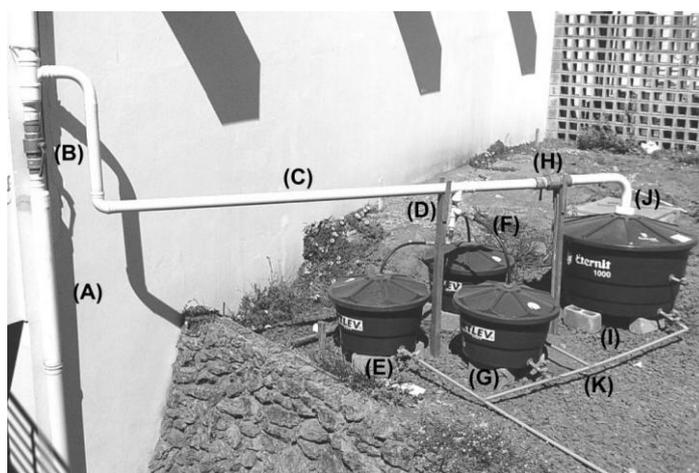


Figura 1 - Aparato experimental do sistema de aproveitamento de água pluvial

Períodos de coletas

Foram realizadas cinco coletas entre 4 de agosto de 2011 e 9 de fevereiro de 2012, em épocas distintas do ano com relação à qualidade do ar atmosférico. As coletas realizadas em período de seca foram feitas nos dias 4 de agosto de 2011 e 2 de outubro de 2011. Já as coletas realizadas em período chuvoso ocorreram nos dias 7 de novembro de 2011, 10 de dezembro de 2011 e 9 de fevereiro de 2012.

Resultados

Análise quantitativa

Intensidade pluviométrica e demanda por água pluvial

O Método Netuno requer dados diários de intensidade pluviométrica e de demanda de água pluvial para uso não potável no dimensionamento do reservatório de acumulação. A Figura 2 ilustra a intensidade pluviométrica média mensal para a série histórica de 1981 até 2011 e a demanda média mensal por água pluvial entre os meses de julho a dezembro de 2011. Observa-se que a época chuvosa e a de estiagem são bem caracterizadas na região do Triângulo Mineiro, alcançando, respectivamente, médias mensais de precipitação na faixa de 197 mm a 322 mm entre os meses de

novembro a março e de 9,2 mm a 107,2 mm entre os meses de abril e outubro.

Ainda na Figura 2, observa-se que a demanda de água pluvial para uso não potável é inicialmente baixa no período das férias de julho, com 59,6 m³, apresenta um aumento até a metade do semestre letivo, atingindo 116,5 m³ no mês de outubro, e, em seguida, reduz-se, chegando a 62,4 m³ no mês de dezembro. Desse modo, considerando apenas os cinco dias úteis da semana, a demanda média diária de água pluvial nas bacias sanitárias e mictórios na edificação em estudo é de 4,56 m³.

Otimização do número *n* de alunos

Avaliou-se o intervalo do número *n* de alunos, que forneceu uma demanda diária por água pluvial *D_p* próxima ao valor médio medido (4,10 a 5,02 m³/dia), conforme ilustra a Figura 3.

Obteve-se um intervalo de número *n* de alunos entre 10% e 40% da capacidade total da edificação, intervalo entre 141 a 564 alunos diariamente. Para isso, variou-se a constante *a* entre 0,4 e 0,8 (KAMMERS; GHISI, 2006; MARINOSKI; GHISI, 2008; PROENÇA; GHISI, 2009) e a demanda por água potável *D_{potável}* entre 20 e 30 L/aluno.dia, lembrando que Marinowski e Ghisi (2008) alcançaram 25 L/aluno.dia em uma instituição de ensino profissionalizante.

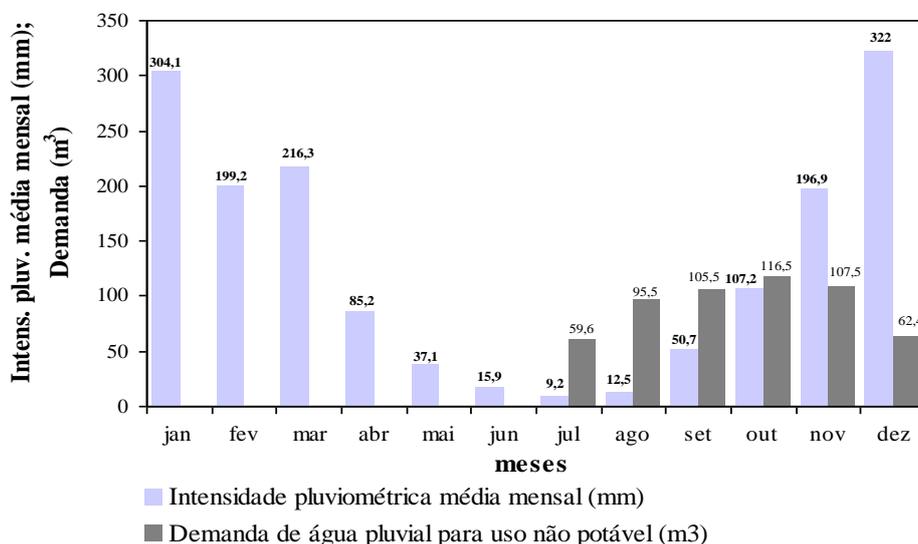


Figura 2 - Intensidade pluviométrica média mensal e demanda média mensal por água pluvial para uso não potável

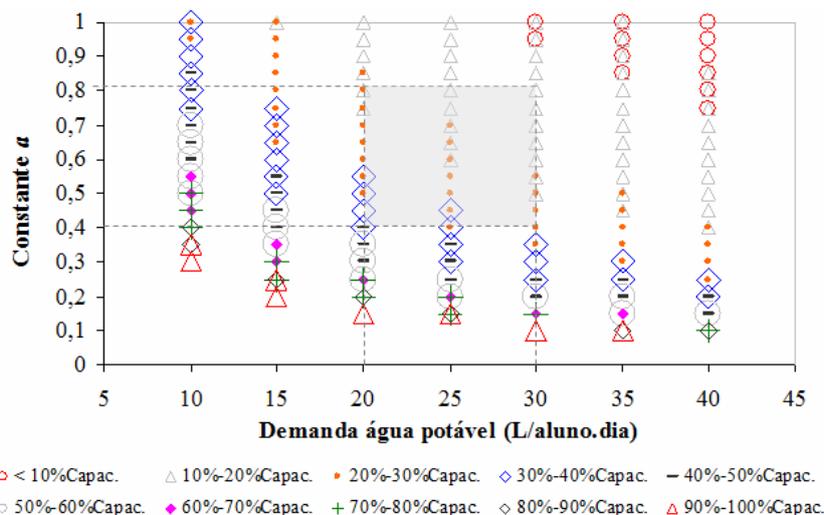


Figura 3 - Intervalo de valores do número n de alunos, que forneceu uma demanda diária por água pluvial D_p próxima ao valor médio medido (4,10 a 5,02 m³/dia)

Dimensionamento do reservatório pelo Método Netuno

Esta metodologia forneceu o potencial de economia de água potável $E_{potencial}$ diante da instalação de apenas um reservatório inferior, em cenários variados com relação aos dados de entrada do número n de alunos, relação entre a demanda por água pluvial para fins não potáveis e a demanda por água potável (constante a), e demanda por água potável $D_{potável}$, conforme ilustra a Figura 4. Uma visão geral na Figura 4 mostra, para um mesmo volume de reservatório inferior e número de alunos, um comportamento do conjunto de dados já esperado, no qual o potencial de economia de água potável está diretamente relacionado com a constante a . Todavia, para a constante a fixa e independente do volume inferior, o número de alunos é inversamente proporcional ao potencial de economia de água potável.

Na estimativa do volume do reservatório inferior ideal a partir do intervalo de valores da constante a adotado e, considerando a satisfação da Equação 6, obtiveram-se os seguintes valores: 7,9 m³ a 14,0 m³ com $E_{potencial}$ entre 30,5% e 53,2% para 141 alunos; 8,7 m³ a 18,0 m³ com $E_{potencial}$ entre 25,0% e 41,1% para 282 alunos; 10,1 m³ a 18,0 m³ com $E_{potencial}$ entre 21,2% e 31,6% para 423 alunos; e 11,1 m³ a 18,2 m³ com $E_{potencial}$ entre 18,2% e 25,2% para 564 alunos.

O critério adotado de satisfação à Equação 6 no dimensionamento do volume ideal gerou resultados esclarecedores. Focando-se unicamente no número $n = 141$ alunos, para elevar o intervalo de $E_{potencial}$ de 30,5-53,2% estimados para volume ideal até 35,1-61,5%, necessitaria o aumento de

cinco vezes do volume ideal, tornando-se superdimensionado e próximo a 70 m³. Mesma constatação foi obtida para os demais números de alunos estudados.

Análise qualitativa

As análises comparativas dos parâmetros físicos, químicos e biológicos das águas de chuva e pluvial ante os valores de referência das normas NBR 15527 (ABNT, 2007), NBR 13969 (ABNT, 1997) e Manual de Conservação e Reúso da Água em Edificações (AGÊNCIA..., 2005) mostram que alguns parâmetros respeitam – outros não – os limites mínimos e/ou máximos recomendados.

Entre os parâmetros que respeitam os limites recomendados estão nitrogênio amoniacal, nitrato, nitrito e bactéria *Escherichia coli* (indicador de contaminação fecal). Na análise da água de chuva e água pluvial, os parâmetros amônia, nitrato e nitrito apresentaram valores abaixo dos limites máximos recomendados pelo Manual de Conservação e Reúso da Água em Edificações (AGÊNCIA..., 2005), respectivamente de 20, 10 e 1 mg/L (Figura 5). O parâmetro amônia manteve-se em $2,0 \pm 2,2$ mg/L, nitrato em $1,6 \pm 2,6$ mg/L e nitrito em $0,03 \pm 0,02$ mg/L. Entretanto, no caso do nitrato, apesar de os resultados terem ficado dentro dos padrões estabelecidos, observou-se que esse parâmetro tende a aumentar de acordo com o tempo de retenção, o que, no longo prazo, poderia impossibilitar a utilização da água até mesmo para fins não potáveis. Quanto à contaminação microbiológica, não foi detectada proliferação de *Escherichia coli* durante as análises em água de chuva e pluvial, indicando provável ausência de contaminação microbiológica por origem fecal.

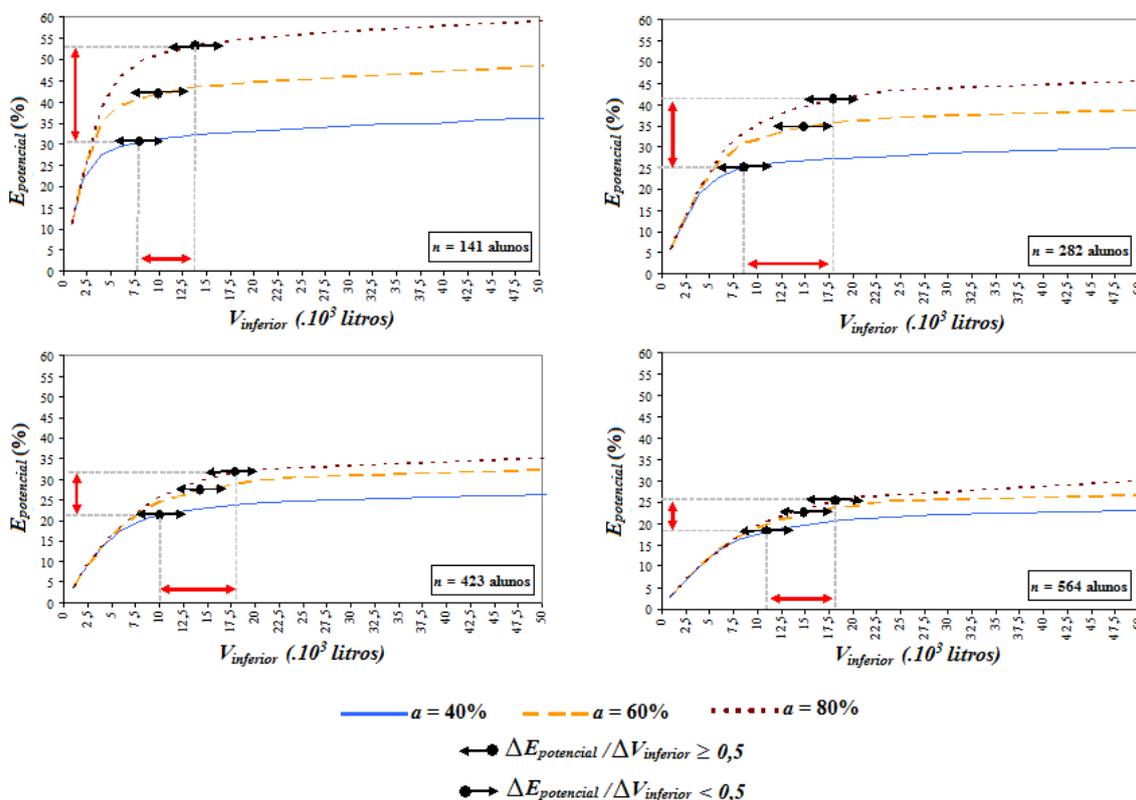


Figura 4 - Potencial de economia $E_{potencial}$ de água potável diante da instalação de apenas um reservatório inferior, em cenários variados com relação aos dados de entrada n , constante a e $D_{potável}$

Outros parâmetros não respeitam limites recomendados, incluindo pH, turbidez, cor aparente, sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos totais, fósforo total e demanda bioquímica de oxigênio (DBO), conforme ilustra a Figura 5. Na maioria das amostras, as águas de chuva e pluvial coletadas apresentaram pH entre 6 e 9 (Figura 5). Uma das exceções foi na coleta do dia 2 de outubro de 2011, quando o pH da água de chuva ficou entre 3,9 e 4,2, provavelmente devido a reações químicas entre a água de chuva e alguns gases presentes no ar, tais como óxidos de carbono, enxofre e nitrogênio, em decorrência do longo período de estiagem que antecedeu essa data (REBELLO, 2004; MAY, 2004).

Todavia, para os outros parâmetros com valores acima das recomendações, não foram coletadas amostras de água de chuva (Figura 5). Para esses parâmetros, observa-se que, para o mesmo ponto de coleta, existe redução quantitativa significativa, possivelmente devido ao aumento na frequência de chuvas e limpeza natural do telhamento ao longo do período das coletas. Como exemplo, as análises

feitas nas amostras referentes ao primeiro 0,62 mm de descarte (Coleta 4) (Figura 5) mostram redução de 245 mg/L a 2 mg/L para turbidez, 129 mg/L a 4 mg/L para cor aparente, 46 mg/L a 2 mg/L para fósforo total, 345 mg/L a 118 mg/L para SDT, 686 mg/L a 27 mg/L para SST e 40 mg/L a 7 mg/L para DBO.

Através de uma análise geral para cada parâmetro, é possível constatar também que existe uma tendência sequencial de melhoria na qualidade da água pluvial coletada nos reservatórios de descarte (na Figura 5 são as Coletas 4, 5 e 6, respectivamente, dos primeiros 0,62 mm, 1,25 mm e 2,5 mm de descarte da água pluvial). Isso evidencia a necessidade de implantação do maior volume de descarte estudado (250 L). Todavia, o aparato experimental implantado neste estudo carece da instalação de um sistema hidráulico que permita o direcionamento total das primeiras chuvas ao reservatório de descarte antes de serem escoadas ao reservatório de acumulação sem a necessidade de auxílio direto do usuário no processo de abertura e/ou fechamento de registros.

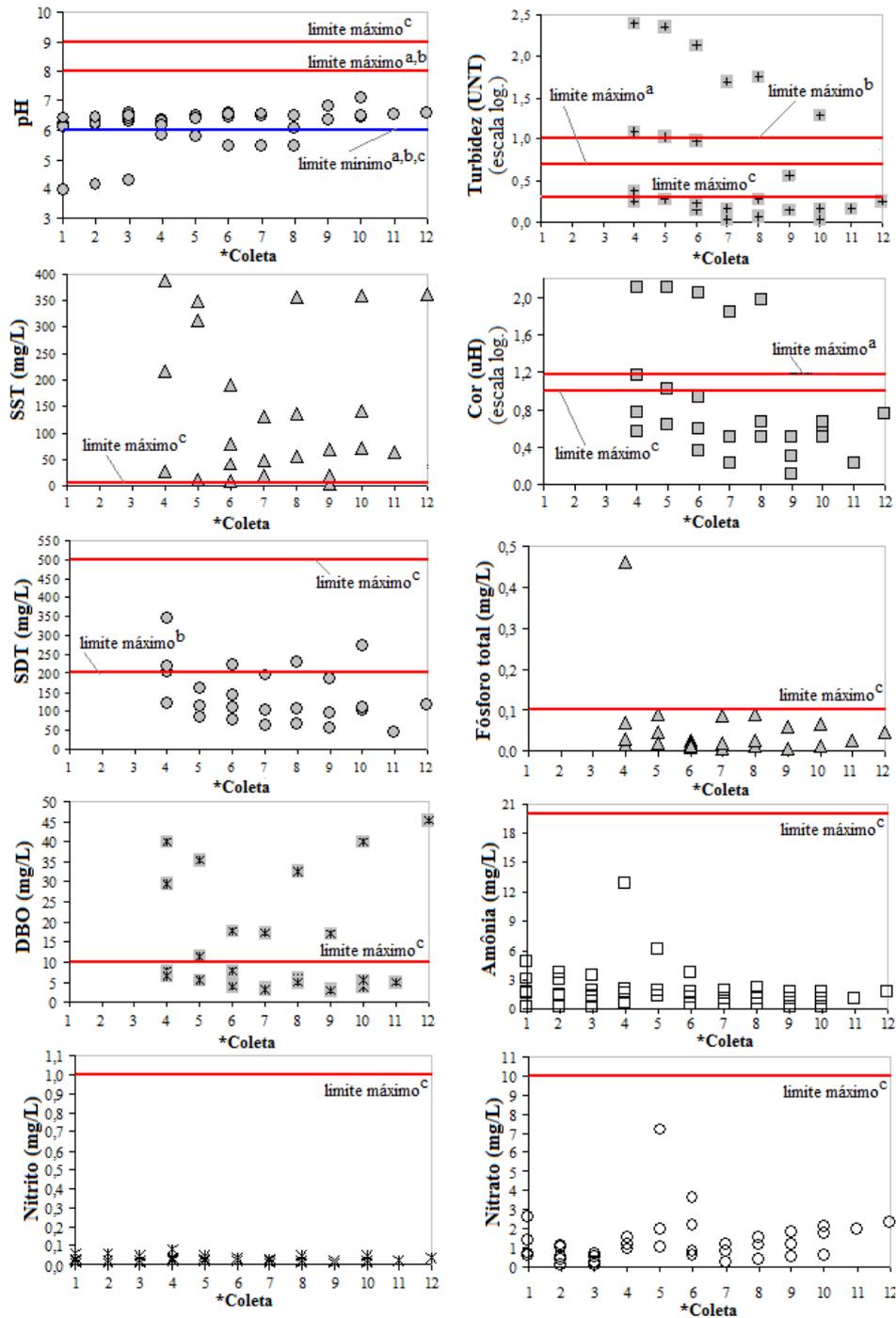


Figura 5 - Análise comparativa dos parâmetros ante os limites recomendados por NBR 15527 (ABNT, 2007), NBR 13969 (ABNT, 1997) e Manual de Conservação e Reúso da Água em Edificações (ANA, 2005)

Nota: *Coleta - os números 1, 2 e 3 correspondem, respectivamente, ao primeiro, segundo e terceiro milímetro de água de chuva; 4, 5 e 6 correspondem, respectivamente, aos primeiros 0,62 mm, 1,25 mm e 2,5 mm de descarte da água pluvial; 7 e 8 correspondem, respectivamente, às amostras coletadas no meio e no fundo do reservatório de armazenamento no dia da precipitação; 9 e 10 correspondem, respectivamente, às amostras coletadas no meio e no fundo do reservatório de armazenamento após 10 dias de retenção; e 11 e 12 correspondem, respectivamente, às amostras coletadas no meio e no fundo do reservatório após 20 dias de retenção.

a - Limites recomendados pelo NBR 15527 (ABNT, 2007).

b - Limites recomendados pela NBR 13969 (ABNT, 1997) - classe 3 - reúso nas bacias sanitárias.

c - Limites recomendados pelo Manual de Conservação e Reúso da Água em Edificações (ANA, 2005) - classe 1 - reúso em bacias sanitárias, lavagem de pisos, fins ornamentais e lavagem de roupas ou veículos.

Verifica-se a influência da sedimentação na qualidade da água pluvial armazenada logo após a precipitação, na qual as concentrações de sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos totais, turbidez e cor aparente no meio do reservatório de armazenamento (na Figura 5 são as Coletas 7, 9 e 11) apresentaram valores inferiores aos do fundo desse reservatório (na Figura 5 são as Coletas 8, 10 e 12). Tal constatação é mais evidente após 10 dias de retenção, com variação de concentração entre meio e fundo do reservatório de, respectivamente, 4 mg/L a 19 mg/L para turbidez, 3 mg/L a 5 mg/L para cor aparente, 188 mg/L a 274 mg/L para SDT e 69 mg/L a 360 mg/L para SST.

Já os valores de DBO, para as coletas no meio do reservatório de armazenamento no dia das precipitações (Coleta 7) (Figura 5), reduziram em relação aos 10 dias de armazenamento (Coleta 9) (Figura 5), de 13 ± 4 mg/L a 7 ± 2 mg/L e deste em relação aos 20 dias de armazenamento (Coleta 11) (Figura 5), de 7 ± 2 mg/L a 3 mg/L, indicando provável degradação de matéria orgânica e consumo de OD pela ação das bactérias.

De uma forma geral, para a configuração experimental adotada neste artigo, o sistema de descarte de água pluvial com capacidade de 250 L (corresponde aos primeiros 2,5 mm de descarte) associado a um acúmulo de 10 dias seria suficiente para que os parâmetros analisados respeitassem as recomendações da NBR 15527 (ABNT, 2007) e NBR 13969 (ABNT, 1997). Com relação às recomendações do Manual de Conservação e Reúso da Água em Edificações (ANA, 2005), os parâmetros cor aparente, turbidez, sólidos suspensos totais e DBO apresentam valores acima dos limites máximos recomendados, tanto para as coletas feitas no meio e fundo do reservatório de armazenamento no dia da precipitação (Coletas 7 e 8) (Figura 5), quanto para as coletas após 10 dias de retenção (Coletas 9 e 10) (Figura 5) e 20 dias de retenção (Coletas 11 e 12) (Figura 5). Isso evidencia a necessidade de implantação de um sistema mais eficiente para retenção de sólidos na entrada do reservatório de armazenamento em substituição à tela de *nylon*.

Conclusões

No que se refere à análise quantitativa, o Método Netuno revelou-se como um programa computacional bastante realista, dando informações diárias detalhadas do funcionamento do reservatório. Trata-se de uma ferramenta de suporte à decisão relacionada ao aproveitamento de água pluvial de fácil acesso e manuseio. Diferentemente das constatações de diversos pesquisadores da área com relação ao

superdimensionamento de reservatório de acumulação calculado através de métodos recomendados pela NBR 15527 (ABNT, 2007), o Método Netuno forneceu volumes menores, com intervalo de 7,9 m³ a 18,2 m³ para um potencial de economia de água potável entre 18,2% e 53,2%. Todavia, estudos econômicos devem ser realizados para analisar a viabilidade de implantação desse sistema em face do tempo necessário para amortização do investimento financeiro.

Considerando que a cobertura do bloco em estudo possui 1.049 m², estima-se que o volume do reservatório de descarte dos primeiros 2,5 mm de precipitação seria de 2,62 m³, para as condições encontradas durante a pesquisa. E para o descarte das primeiras chuvas após a estiagem do inverno, uma sugestão seria a instalação do sistema denominado *first flush* acoplado ao aparato experimental. Em situações em que se deseja aproveitar o máximo de água pluvial, outra opção seria utilizar o próprio reservatório de armazenamento como decantador, pois os resultados indicaram melhoria na qualidade da água pluvial após 10 e 20 dias de retenção.

A configuração experimental adotada nesta pesquisa, incluindo o descarte dos primeiros 2,5 mm de água pluvial implementado através do sistema *first flush* associado a um melhor sistema de retenção de sólidos suspensos na entrada do reservatório de armazenamento, seria suficiente para que todos os parâmetros de qualidade da água respeitassem as recomendações da NBR 15527 (ABNT, 2007), NBR 13969 (ABNT, 1997) e do Manual de Conservação e Reúso da Água em Edificações (ANA, 2005).

De uma forma geral, este artigo contribui na elaboração de diretrizes para implantação desse sistema na Universidade Federal de Uberlândia, como também alimenta o conjunto de informações necessárias a futuros projetos semelhantes em outras instituições, incentivando a redução da demanda de água potável mediante o consumo compatível com sua utilização.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Manual de Conservação e Reúso da Água em Edificações. Brasília: ANA, 2005.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington: American Public Health Association, 1995.

- AMORIM, S. V.; PEREIRA, D. J. A. Estudo Comparativo dos Métodos de Dimensionamento Para Reservatórios Utilizados em Aproveitamento de Água Pluvial. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 53-66, abr./jun. 2008.
- ANNECCHINI, K. P. V. **Aproveitamento da Água da Chuva Para Fins Não Potáveis na Cidade de Vitória (ES)**. 150 f. Vitória, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.
- APPAN, A. A Dual-Mode System For Harnessing Roofwater For Non-Potable Uses. **Urban water**, v. 1, n. 4, p. 317-321, dec. 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: água de chuva: aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969**: tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos: projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.
- ATHAYDE JÚNIOR, G. B.; DIAS, I. C. S.; GADELHA, C. L. M. Viabilidade Econômica e Aceitação Social do Aproveitamento de Águas Pluviais em Residências na Cidade de João Pessoa. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 85-98, abr./jun. 2008.
- BEZERRA, S. M. C. *et al.* Dimensionamento de Reservatório Para Aproveitamento de Água de Chuva: comparação entre métodos da ABNT NBR 15527:2007 e Decreto Municipal 293/2006 de Curitiba, PR. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 219-231, out./dez. 2010.
- CARVALHO, G. S.; OLIVEIRA, S. C.; MORUZZI, R. B. Cálculo do Volume do Reservatório de Sistemas de Aproveitamento de Água de Chuva: comparação entre métodos para aplicação em residência unifamiliar. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS, 10., São Carlos, 2007. **Anais...** São Carlos, 2007.
- COHIM, E.; ALMEIDA, A. P. A.; KIPERSTOK, A. Captação Direta de Água de Chuva no Meio Urbano Para Usos Não Potáveis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., Belo Horizonte, 2007. **Anais...** Belo Horizonte, 2007.
- CURITIBA. Decreto nº 293, de 22 de março de 2009, que dispõe sobre os critérios do uso e conservação racional da água nas edificações e dá outras providências, 2006. **Leis Municipais**. Disponível em: <<http://www.leismunicipais.com.br/a/pr/c/curitiba/decreto/2006/29/293/decreto-n-293-2006-regulamenta-a-lei-n-10785-03-e-dispoe-sobre-os-criterios-do-uso-e-conservacao-racional-da-agua-nas-edificacoes-e-da-outras-providencias-2006-03-22.html>>. Acesso em: 18 jun. 2013.
- DACACH, N.G. **Saneamento Básico**. 2. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979.
- DIAS, I. C. S. **Estudo da Viabilidade Técnica, Econômica e Social do Aproveitamento de Água de Chuva em Residências na Cidade de João Pessoa**. 116 f. João Pessoa, 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007.
- DOMÈNECH, L.; SAURÍ, D. A. Comparative Appraisal of the Use of Rainwater Harvesting in Single and Multifamily Buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): social experience, drinking water savings and economic costs. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 6-7, p. 598-608, apr./may 2011.
- DORNELLES, F.; TASSI, R.; GOLDENFUM, J. A. Avaliação das Técnicas de Dimensionamento de Reservatórios para Aproveitamento de Água de Chuva. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 15, n. 2, p. 59-68, abr./jun. 2010.
- EROKSUZ, E.; RAHMAN, A. Rainwater Tanks in Multi-Unit Buildings: a case study for three Australian cities. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 12, p. 1449-1452, oct. 2010.
- FERNANDES, R. O.; SILVA, W. O.; NÓBREGA, R. L. B. Avaliação Quantitativa do Potencial de Aproveitamento de Água de Chuva na Região Metropolitana do Cariri Cearense. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 8., Campina Grande, 2012. **Anais...** Campina Grande, 2012.
- GHISI, E. Parameters Influencing the Sizing of Rainwater Tanks For Use in Houses. **Water Resources Management**, v. 24, n. 10, p. 2381-2403, 2010.
- GHISI, E.; CORDOVA, M. M.; ROCHA, V. L. **Netuno 3.0**: aproveitamento de água pluvial. Programa computacional. 2009. Disponível em: <www.labeee.ufsc.br>. Acesso em: 28 fev. 2013.

- JAQUES, R. C. **Qualidade da Água de Chuva no Município de Florianópolis e Sua Potencialidade Para Aproveitamento em Edificações**. 102 f. Florianópolis, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
- KAMMERS, P. C.; GHISI, E. Usos Finais de Água em Edifícios Públicos Localizados em Florianópolis, SC. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 75-90, jan./mar. 2006.
- KHASTAGIR, A.; JAYASURIYA, N. Optimal Sizing of Rain Water Tanks For Domestic Water Conservation. **Journal of Hydrology**, v. 381, n. 3-4, p. 181-188, feb. 2010.
- LAGE, E. S. **Aproveitamento de Água Pluvial em Concessionárias de Veículos na Cidade de Belo Horizonte**: potencial de economia de água potável e estudo de viabilidade econômica. 181 f. Florianópolis, 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.
- LEE, H. *et al.* Seasonal First Flush Phenomenon of Urban Stormwater Discharges. **Water Research**, v. 38, n. 19, p. 4153-4163, nov. 2004.
- MARINOSKI, A. K.; GHISI, E. Aproveitamento de Água Pluvial Para Usos Não Potáveis em Instituição de Ensino: estudo de caso em Florianópolis - SC. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 67-84, abr./jun. 2008.
- MAY, S. **Estudo da Viabilidade do Aproveitamento da Água de Chuva Para Consumo Não Potável em Edificações**. 1595 f. São Paulo, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil e Urbana, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- MIERZWA, J. C. *et al.* Águas Pluviais: método de cálculo do reservatório e conceitos para um aproveitamento adequado. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 4, n. 1, p. 29-37, jan./jun. 2007.
- MORUZZI, R. B.; OLIVEIRA, S. C. Aplicação de Programa Computacional no Dimensionamento de Volume de Reservatório Para Sistema de Aproveitamento de Água Pluvial da Cidade de Ponta Grossa, PR. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 2, n. 1, p. 36-48, abr. 2010.
- PARRA, M. V. V.; VILLALBA, G.; GABARRELL, X. Applying Exergy Analysis to Rainwater Harvesting Systems to Assess Resource Efficiency. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 72, p. 50-59, mar. 2013.
- PETERS, M. R. **Potencialidade de Uso de Fontes Alternativas de Água Para Fins Não Potáveis em Uma Unidade Residencial**. 109 f. Florianópolis, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- PINZÓN, T. M. *et al.* Financial Feasibility and Environmental Analysis of Potential Rainwater Harvesting Systems: a case study in Spain. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 69, p. 130-140, dec. 2012.
- PROENÇA, L. C.; GHISI, E. Estimativa de Usos Finais de Água em Quatro Edifícios de Escritórios Localizados em Florianópolis. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 3, p. 95-108, jul./set. 2009.
- REBELLO, G. A. O. **Conservação de Água em Edificações**: estudo das características de qualidade da água pluvial aproveitada em instalações prediais residenciais. 112 f. São Paulo, 2004. Dissertação (Mestrado Profissional) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Centro de Aperfeiçoamento Tecnológico, São Paulo, 2004.
- ROCHA, V. L. **Validação do Algoritmo do Programa Netuno para Avaliação do Potencial de Economia de Água Potável e Dimensionamento de Reservatórios de Sistemas de Aproveitamento de Água Pluvial em Edificações**. 166 f. Florianópolis, 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.
- RUPP, R. F.; MUNARIM, U.; GHISI, E. Comparação de Métodos Para Dimensionamento de Reservatórios de Água Pluvial. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 47-64, out./dez. 2011.
- SANTOS, D. C. Os Sistemas Prediais e a Promoção da Sustentabilidade Ambiental. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 2, n. 4, p. 7-18, out./dez. 2002.

SANTOS, D. C. *et al.* Hierarquização de Medidas de Conservação de Água em Edificações Residenciais Com o Auxílio da Análise Multicritério. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 31-47, jan./mar. 2006.

SILVA, G. S.; TAMAKI, H. O.; GONÇALVES, O. M. Implementação de Programas de Uso Racional da Água em Campi Universitários. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 49-61, jan./mar. 2006.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de Água de Chuva Para Áreas Urbanas e Fins Não Potáveis**. São Paulo: Navegar, 2003.

YOUN, S. G. *et al.* Probabilistic Estimation of the Storage Capacity of a Rainwater Harvesting System Considering Climate Change. **Resources, Conservation and Recycling**, Evanston, v. 65, p. 136-144, aug. 2012.

WARD, S.; MEMON, F. A.; BUTLER, D. Performance of a Large Building Rainwater Harvesting System. **Water Research**, v. 46, n. 16, p. 5127-5134, oct. 2012.

ZHANG, Y. *et al.* Potencial for Rainwater Use in High-Rise Buildings in Australian Cities. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 1, p. 222-226, oct. 2009.

ZHOU, Y.; SHAO, W.; ZHANG, T. Analysis of a Rainwater Harvesting System For Domestic Water Supply in Zhoushan, China. **Journal of Zhejiang University SCIENCE A - Applied Physics & Engineering**, v. 11, n. 5, p. 342-348, May 2010.

Revista Ambiente Construído

Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro
Porto Alegre - RS - Brasil
CEP 90035-190
Telefone: +55 (51) 3308-4084
Fax: +55 (51) 3308-4054
www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido
E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br