

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADA EM UM SISTEMA DE CAPTAÇÃO PLUVIAL NO RIO DE JANEIRO

SOUZA, R.S.¹; JACOB, R.V.B.²; ARAÚJO, D.B.³; ROCHA, B.C.S.⁴;
BILA, D.M.⁵; OHNUMA JR, A.A.⁶

^{1,2,3,4,5,6} *Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente; robertasantosdesouza95@gmail.com; rayssajacob@gmail.com; daniele.barcelos.araujo@gmail.com; brurocha@gmail.com; danielebilauerj@gmail.com; ik.lahac@gmail.com*

RESUMO

Devido as crescentes crises de desabastecimento de água e períodos prolongados de estiagens, têm surgido novas tecnologias de uso de água para o consumo humano, sobretudo em áreas de metrópoles e de acentuado crescimento demográfico (MAZZA, et al. 2015). O estudo de aproveitamento de águas pluviais requer adequação de normas, especialmente na padronização dos aspectos qualitativos da água da chuva para consumo humano. Esse trabalho visa caracterizar a qualidade da água da chuva armazenada em um sistema de captação de águas pluviais instalado no Instituto de Aplicação da UERJ ou CAp-UERJ, Rio de Janeiro-RJ. A metodologia inclui coleta de amostras entre junho e novembro de 2016 para análises de pontos identificados como *first-flush* de 0,5 mm (FF) e reservatório de 2460 litros (RR), tendo como parâmetros de investigação: pH, condutividade, sólidos totais dissolvidos (STD) e turbidez. Os resultados indicam pH no FF com média de $6,4 \pm 0,2$ e as amostras no RR a média obtida foi de $6,5 \pm 0,3$. A condutividade obtida nas amostras do FF com média de $89,4 \text{ mS.cm}^{-1}$ e os volumes armazenados no RR a média foi de $51,5 \pm 24,5 \text{ mS.cm}^{-1}$. A média dos valores para STD no FF foram de $57,80 \pm 34 \text{ mg.L}^{-1}$ e no RR a média obtida foi de $33 \pm 15,8 \text{ mg.L}^{-1}$. Para turbidez os resultados apresentam no volume do FF média de $45,6 \pm 59,8 \text{ UNT}$ enquanto no RR a média foi de $3,30 \pm 3,57 \text{ UNT}$. Os resultados das análises indicaram desconformidade com os padrões da NBR 15527 (ABNT, 2007) e da Lei Municipal de Niterói nº 2856/2011, sobretudo para turbidez de 5 UNT. Para correção das anomalias identificadas, sugere-se a microfiltração para equacionar os limites de turbidez e STD. Recomenda-se aprofundar as análises de qualidade das águas pluviais na caracterização das amostras de parâmetros microbiológicos, metais e micro poluentes.

Palavras-chave: *Qualidade da água da chuva, águas pluviais, first-flush, reservatório.*

ABSTRACT

Due to the increasing crises of water shortages and prolonged periods of drought, new technologies for the use of water for human consumption have arisen, especially in

metropolitan areas and with a marked demographic increase (MAZZA et al., 2015). The study of the use of rainwater requires adaptation of norms, especially in the standardization of the qualitative aspects of rainwater for human consumption. This work aims to characterize the quality of rainwater stored in a rainwater harvesting system installed at the Instituto de Aplicação CAP-UERJ, Rio de Janeiro-RJ. The methodology includes sample collection between June and November 2016 for analyzes of points identified as first-flush of 0.5 mm (FF) and 2460 liter reservoir (RR), having as analyze the parameters: pH, conductivity, total solids (STD) and turbidity. The results indicate pH in the FF with a mean of 6.4 ± 0.2 and the samples in the RR the average obtained was of 6.5 ± 0.3 . The conductivity obtained in the FF samples with a mean of 89.4 mS.cm^{-1} and the volumes stored in the RR was $51.5 \pm 24.5 \text{ mS.cm}^{-1}$. The mean values for STD in FF were $57.80 \pm 34 \text{ mg.L}^{-1}$ and in RR the mean obtained was $33 \pm 15.8 \text{ mg.L}^{-1}$. For turbidity the results presented in the mean FF volume of $45.6 \pm 59.8 \text{ UNT}$ while in RR the average was $3.30 \pm 3.57 \text{ UNT}$. The results of the analyzes indicated nonconformity with the standards of NBR 15527 (ABNT, 2007) and of the Municipal Law of Niterói nº 2856/2011, mainly for turbidity of 5 UNT. To correct the identified anomalies, it is suggested the microfiltration to equate the turbidity and STD limits. It is recommended to do analyzes of rainwater quality in the characterization of samples of microbiological parameters, metals and micro pollutants.

KEYWORDS: Quality of rainwater, rainwater, first-flush; reservoir.

1 INTRODUÇÃO

A qualidade da água de chuva depende de uma série de fatores físicos e ambientais, de modo que está condicionada, sobretudo por elementos climáticos e regimes pluviométricos da região. A sazonalidade influenciada por períodos secos e úmidos afeta a concentração da emissão de determinados poluentes, cuja origem ocorre principalmente no primeiro volume de descarga ou no *first-flush* dos volumes escoados das águas pluviais urbanas (LI et al., 2007; LEE et al., 2004). Áreas de intensa urbanização, elevada densidade demográfica e consumo desenfreado de produtos e serviços ocasionam, além de demandas cada vez maiores dos recursos hídricos, sobrecargas de poluição excessivas no descarte em sistemas de drenagem, seja no transporte de contaminantes, como de elevados volumes de escoamento superficial, capazes de provocar o extravasamento de canais e as inundações urbanas (OHNUMA JR e MENDIONDO, 2015).

Especialmente em períodos de estiagens prolongadas ou em muitos dias consecutivos secos ou sem chuva, na lavagem da atmosfera pela precipitação pluviométrica, diferentes contaminantes atmosféricos podem ser observados, quando analisadas amostras de pontos de coleta (JACOB, et al., 2016). Dessa forma, ao escoar por determinada superfície de captação, como arruamentos, áreas de telhado e peças de instalações hidráulicas, as águas pluviais podem carrear poluentes capazes de transmitir doenças de veiculação hídrica, como: hepatite A, ascaridíase, esquistossomose, gastroenterite, amebíase e cólera. A localização geográfica, assim como as condições meteorológicas e o tipo de uso e ocupação do solo ou da superfície de captação são determinantes para definir a composição físico-química e microbiológica das águas pluviais. Nesse contexto, as águas de descarte ou de *first-flush* podem ser classificadas de qualidade indesejada (MAZZA, et al., 2015).

Sistemas de aproveitamento de águas pluviais constituem-se de instalações hidráulicas prediais de águas pluviais a partir da coleta das precipitações pluviométricas efetivas ou

escoadas de determinadas áreas impermeáveis, com o devido armazenamento em reservatórios de acumulação, para uso imediato ou ao longo do tempo, nas instalações que conduzem a água até o ponto de consumo. O uso seguro do sistema de aproveitamento pressupõe o planejamento e dimensionamento adequado de suas partes constituintes, bem como a devida operação com vistas a garantir a qualidade da água compatível com os usos previstos (OHNUMA JR e MENDIONDO, 2015).

2 OBJETIVO

Este trabalho visa qualificar a água de chuva de um sistema de captação e armazenamento de águas pluviais situado em região urbana da cidade do Rio de Janeiro-RJ.

3 MÉTODO

Descrição da área de estudo e do sistema de águas pluviais

O sistema de captação e armazenamento de águas pluviais encontra-se localizado no Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira ou Instituto de Aplicação da UERJ (CAp-UERJ) no bairro do Rio Comprido, região central do município do Rio de Janeiro. Trata-se de um bairro com elevado adensamento populacional e intensamente urbanizado, próximo aos bairros da Tijuca e Centro. A área é uma das principais zonas de transição entre as regiões norte e sul da cidade através da Avenida Paulo de Frontin e o Elevado Engenheiro Freyssinet ambos com intenso e frequente tráfego de veículos (Figura 1).

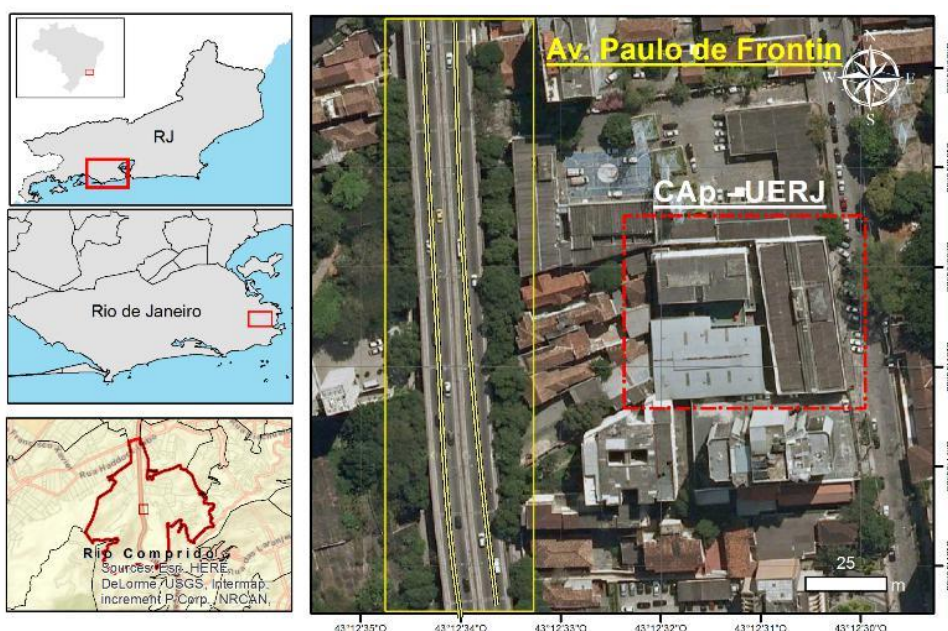


Figura 1: Localização do sistema de águas pluviais no CAp-UERJ, bairro Rio Comprido, Rio de Janeiro-RJ.

O sistema de coleta e armazenamento de águas pluviais composto por telhas de aço galvanizado, calhas de chapa metálica galvanizada e condutores verticais e horizontais em

PVC, aproveita 80 m² de parte da área do telhado da quadra poliesportiva do CAP-UERJ para captação e armazenamento da água da chuva.

Procedimentos de coleta e análise de amostras de água de chuva

O método para a caracterização da água da chuva consiste da coleta de amostras de volumes armazenados no sistema para análise de parâmetros físico-químicos. As coletas de águas pluviais armazenadas no sistema de captação originam-se da seleção de 2 pontos distintos, sendo: (1) caracterizado como barreira de proteção ou separador de fluxo inicial (SFI), também associado ao *first-flush* (FF) com capacidade de armazenamento de cerca de 15 litros de fluxo inicial e (2) identificado como volume do reservatório (RR) como amostra de água pluvial armazenada no reservatório principal do sistema com capacidade total de 2460 litros (Figura 2).

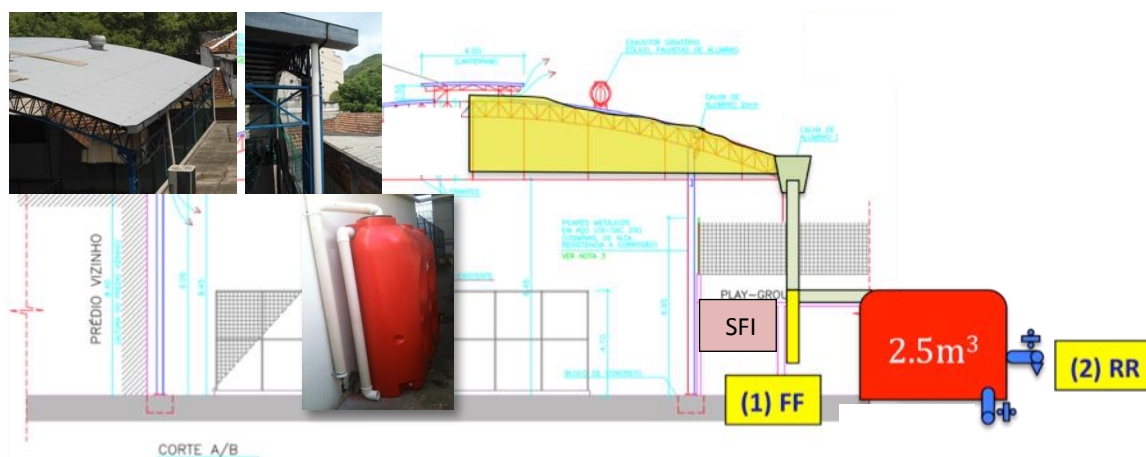


Figura 2: Sistema de captação e armazenamento de águas pluviais com separador de fluxo inicial (SFI) e pontos de coleta de amostras (1) FF (*first-flush*) e (2) RR (reservatório).

O armazenamento do volume do *first-flush* (FF) tem como objetivo a caracterização dos primeiros milímetros de chuva como amostra para avaliar a qualidade da água em relação aos volumes posteriores. Considera-se o volume retido no sistema do *first-flush* como de lavagem da atmosfera e da superfície de captação, sendo, portanto, caracterizado como responsável por armazenar poluentes de deposição úmida. A qualidade do volume da água da chuva armazenado no reservatório (RR) permite avaliar a operação do sistema, sobretudo dos dispositivos de tratamento, como do separador de fluxo inicial (SFI), constituído de pré-filtragem e do mecanismo do *first-flush*.

Análises de sólidos totais dissolvidos (STD), em mg.L⁻¹, das amostras de qualidade da água da chuva *in situ* foram realizadas com o auxílio de uma sonda multiparâmetro calibrada a cada medição com soluções e reagentes específicos do equipamento. Para análises *ex situ* foram coletadas amostras de um litro (1 L) condicionadas em frascos de polipropileno e conservadas em gelo para posterior análise no Laboratório de Engenharia Sanitária (LES), na Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Os parâmetros analisados das amostras de FF e RR foram: pH; condutividade elétrica (mS.cm⁻¹) e turbidez (UNT). Os aparelhos de medição utilizados e devidamente calibrados com soluções padrão foram: pHmetro; condutímetro e turbidímetro. Todas as amostras foram analisadas à temperatura ambiente e homogeneizadas. Nas análises laboratoriais

foram utilizadas vidrarias básicas como: *becker*, pipeta volumétrica e pipetas automáticas baseadas no *Standard Methods* (APHA; AWWA & WEF, 2012).

Um total de 6 (seis) amostras foram coletadas, de modo que contemplam: 3 (três) coletas realizadas no período caracterizado como seco ou de precipitação acumulada no mês inferior à 110 mm (MAZZA *et al.*, 2015), durante os meses de junho, julho e agosto de 2016 e 3 (três) coletas realizadas em período mais úmido, nos meses de setembro, outubro e novembro de 2016.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

A água da chuva é naturalmente ácida com pH em torno de 5,6, devido ao dióxido de carbono (CO₂) contido, a acidez pode ser intensificada na presença de poluentes primários como o dióxido de enxofre, óxidos e nitrogênio, como SO₂ e NO_x (BAIRD, 2002). Nesse sentido, em comparação com os limites estabelecidos pela lei municipal de Niterói nº 2.856/2011 cerca de 100 % das amostras, seja do FF ou do RR, estiveram em conformidade com valores do parâmetro pH dentro do limite de 6,0 a 9,0. A NBR 15527/2007 estabelece a faixa de pH de 6,0 a 8,0 com objetivo de se evitar danificações nas tubulações. As amostras apresentaram-se também dentro dos padrões para esta norma. Os valores no FF variaram entre 6,1 e 6,7, sendo a média $6,4 \pm 0,2$ e no RR variaram de 6,0 a 6,8, sendo a média $6,5 \pm 0,3$ (Figura 3 à esquerda).

Os sólidos totais dissolvidos (STD) representam o material que passa pelo filtro de porosidade de 0,45 µm após a etapa de filtração (APHA; AWWA & WEF, 1999) “A condutividade elétrica, ou condutância específica, é um indicador da salinidade resultante da concentração de sais, ácidos e bases nas águas naturais” (TUNDISI e MATSUMURA TUNDISI, 2008). A concentração de íons dissolvidos é o fator determinante da condutividade segundo Tundisi e Matsumura (2008) os STD incluem todos os sais presentes na água e os componentes não iônicos; além dos compostos orgânicos dissolvidos que também contribuem para os sólidos totais dissolvidos.

Os valores de sólidos totais dissolvidos (STD) tem correlação direta e proporcional com a condutividade elétrica devido à concentração de íons presente nas amostras. A NBR 15527/2007 não cita quaisquer valores em relação à concentração de sólidos totais dissolvidos, bem como nada sobre a condutividade. A lei municipal de Niterói nº 2856/2011, cita que os parâmetros de sólidos totais dissolvidos devem ser inferiores a 200 mg.L⁻¹. Os valores no FF variaram de 21 a 98 mg.L⁻¹, a média encontrada no FF foi de $57,80 \pm 34$ mg.L⁻¹ e no RR os valores variaram de 19 a 61 mg.L⁻¹, e média de $33 \pm 15,8$ mg.L⁻¹ (Figura 3 à direita).

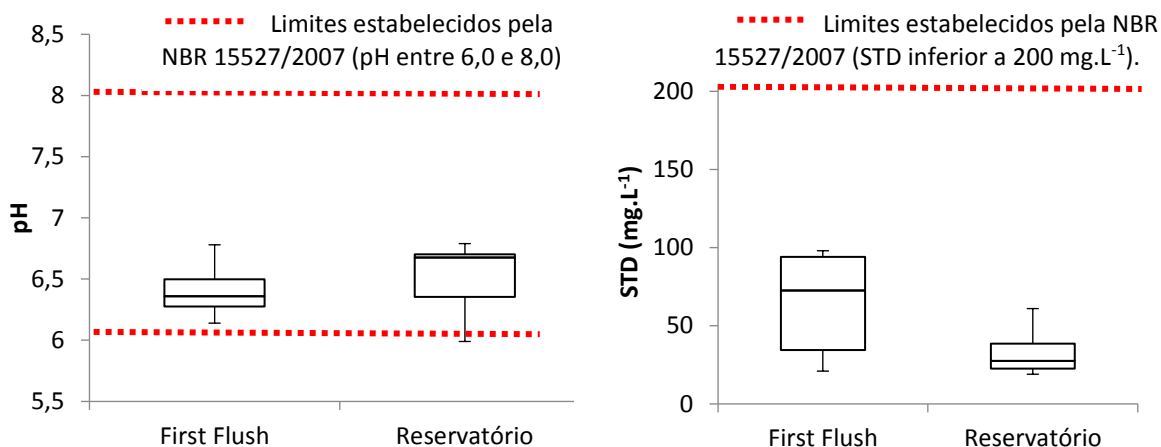


Figura 3: Resultados de amostras do FF e RR para pH(esq.) e STD(dir.)

Em relação à condutividade tanto a legislação municipal de Niterói quanto a NBR 15527/2007 não citam quaisquer limites. A média dos valores do FF variou de 33 a 151 mS.cm⁻¹, sendo a média $89,4 \pm 52,4$ mS.cm⁻¹ e no RR variaram de 30 a 95 mS.cm⁻¹, sendo a média $51,5 \pm 24,5$ mS.cm⁻¹ (Figura 4 à esquerda).

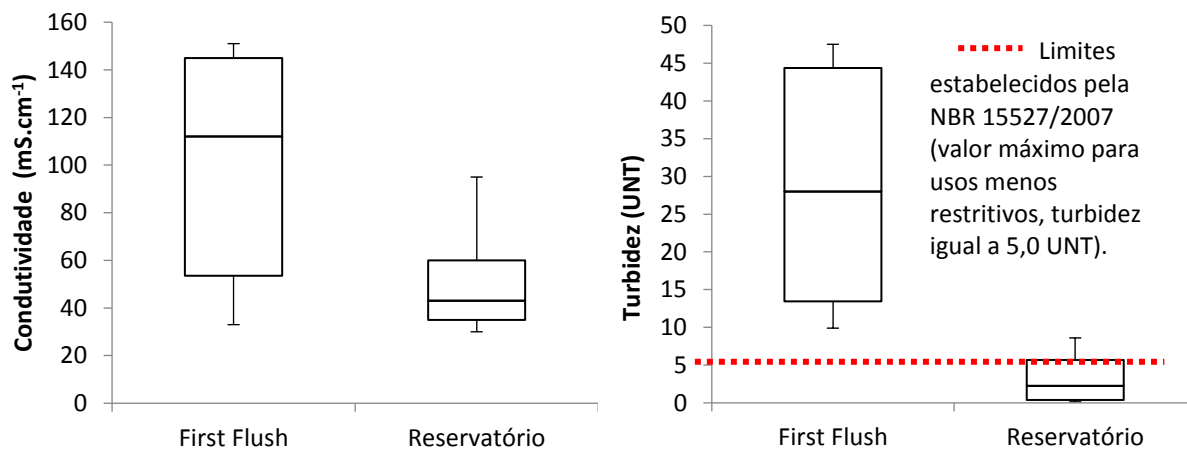


Figura 4: Resultados de amostras do FF e RR para condutividade (esq.) e turbidez (dir.)

A turbidez é uma propriedade ótica da água e representa a atenuação da luz ao atravessar uma determinada amostra de água (CETESB, 2012). Segundo Von Sperling (2014) águas provenientes de origem natural não trazem inconvenientes diretos, porém é esteticamente desagradável na água potável e os sólidos em suspensão podem servir para microrganismos patogênicos.

A turbidez no presente estudo do FF variou de 9,90 a 45,56 UNT sendo a média $27,73 \pm 15,80$ UNT enquanto em RR variou de 0,13 a 8,60 UNT, sendo a média de $3,30 \pm 3,57$ UNT (Figura 4 à dir.). A lei municipal de Niterói nº 2856/2011 estipula o valor máximo de

5 UNT, sendo que ao considerar as análises em relação ao FF as amostras violaram os valores máximos estipulados, mas em relação ao RR as amostras estiveram dentro do limite estipulado. A NBR 15527/2007 estipula o valor máximo de 2,0 UNT para usos mais restritivos e 5,0 UNT para usos menos restritivos. Portanto, uma parte das amostras do FF apresentaram desconformidade com a legislação adotada sendo necessário tratamento para adequação dos volumes armazenados. As amostras de turbidez do RR ficaram fora do padrão para usos mais restritivos, porém em conformidade para padrões menos restritivos.

5 CONCLUSÕES

Após seis meses de monitoramento, concluiu-se que construir barreiras de proteção como sistema separador de fluxo inicial (SFI) nas amostras do *first-flush* são fundamentais como medida de descarte dos primeiros milímetros de chuva devido à elevada turbidez e a concentração de sólidos totais dissolvidos. Embora haja diminuição significativa, a água reservada no volume RR também apresentou desconformidade nos valores observados da turbidez com a NBR 15527/2007 e, portanto, recomenda-se aumentar o volume de descarte no *first-flush* e/ou a instalação de filtros específicos de capacidade de 200 µm. A fim de se eliminar possíveis riscos de ingestão recomenda-se que a água reservada passe pelo processo de desinfecção por cloração. Além da turbidez, é fundamental equacionar o pH da água da chuva em função de possíveis amostras capazes de apresentar resultados abaixo de 6,0 sobretudo quando observadas amostras coletadas em grandes centros urbanos. Nesse caso, recomenda-se para regularização do pH o uso de pedras de carbonato de cálcio que em contato com a água torna o meio mais alcalino. De forma geral, os resultados evidenciam que a maioria dos parâmetros se encontra dentro do esperado pela Lei municipal de Niterói nº 2.856/2011 e ABNT 15527:2007.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA; AWWA & WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th. ed. [s.l: s.n.]

BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2ª.ed. Porto Alegre: [s.n.]. 2002.

CETESB. **Relatório da Qualidade das Águas Superficiais no Estado de São Paulo 2012**. [s.l: s.n.].

JACOB, R.V.B.; OHNUMA JR, A.A.; SICILIANO, W.C.; REIS, A.W.Q.R; DE OLIVEIRA, I.T. Dias Consecutivos Secos para estimativa de volumes de aproveitamento de águas pluviais em períodos de estiagem na cidade do Rio de Janeiro. *In: Anais do 10º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva*. Belém-PA. 18-20/11/2016. 2016.

MAZZA, R.; OHNUMA JR., A.A.; PIMENTEL DA SILVA, L.; MARQUES, M. Caracterização físico-química e biológica das águas pluviais nos períodos seco e úmido. *In: Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Segurança hídrica e desenvolvimento sustentável: desafios do conhecimento e da gestão. Brasília-DF. 22-27 nov. 2015.

LEE, H.; LAU, S. L.; KAYHANIAN, M.; STENSTROM, M. K. Seasonal first flush phenomenon of urban stormwater discharges. **Water Research** 38, 4153–4163, 2004.

OHNUMA JR., A. A.; MENDIONDO, E. M. METODOLOGIA PARA CÁLCULO DE EFICIÊNCIA DE TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS EM LOTE URBANO. **Revista Internacional de Ciências**, v. 5, p. 29-41, 2015.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 632 p.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4 ed. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, Belo Horizonte, MG, 2014.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FINEP pelo Projeto de Manejo de Águas Pluviais em Meio Urbano (MAPLU), Chamada Pública de Saneamento Ambiental e Habitação nº 07/2009, ao CNPq Chamada Universal MCTI/CNPq nº 14/2014 com processo nº 457688/2014-9 e à FAPERJ processo nº E-26/201.381/2016 - BOLSA pelo apoio financeiro ao desenvolvimento deste trabalho. Os autores também agradecem aos técnicos do Laboratório de Engenharia Sanitária (LES), da Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro pelas análises laboratoriais.

**PARA A SUBMISSÃO DO TRABALHO COMPLETO PREENCHER,
OBRIGATORIAMENTE, O FORMULÁRIO ABAIXO:**

Área: (indicar apenas uma área)

- ☐ Geotecnia e Geoprocessamento
- ☐ Gestão e Planejamento Urbano
- ☐ Habitação
- ☒ Saneamento e Recursos Hídricos
- ☐ Tecnologias Aplicadas
- ☐ Transportes e Mobilidade
- ☐ Urbanismo

Subárea: (indicar pelo menos 1 (uma) e no máximo 3 (três) subáreas)

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> 1. Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário | <input type="checkbox"/> 24. Mapeamento de Riscos e Desastres Urbanos |
| <input type="checkbox"/> 2. Ações Sociais | <input type="checkbox"/> 25. Mapeamento Geotécnico e Cartográfico |
| <input type="checkbox"/> 3. Acústica Urbana | <input type="checkbox"/> 26. Modelagem e Simulação de Sistemas |
| <input type="checkbox"/> 4. Acessibilidade | <input type="checkbox"/> 27. Planejamento Ambiental |
| <input type="checkbox"/> 5. Assentamentos Humanos | <input type="checkbox"/> 28. Planejamento Habitacional e Projetos Urbanos |
| <input type="checkbox"/> 6. Cidades Inteligentes | <input type="checkbox"/> 29. Planejamento Urbano e Regional |
| <input type="checkbox"/> 7. Climatologia Urbana | <input type="checkbox"/> 30. Políticas Públicas e Legislação Urbana |
| <input type="checkbox"/> 8. Conforto Ambiental, Desempenho e Eficiência Energética | <input type="checkbox"/> 31. Poluição Urbana |
| <input checked="" type="checkbox"/> 9. Drenagem Urbana e Hidrologia | <input type="checkbox"/> 32. Projeto de Intervenções Urbanas |
| <input checked="" type="checkbox"/> 10. Ecotécnicas Aplicadas ao Ambiente Urbano | <input type="checkbox"/> 33. Reciclagem e Reaproveitamento de Materiais |
| <input type="checkbox"/> 11. Economia Solidária | <input type="checkbox"/> 34. Recuperação de Áreas Degradadas e Reabilitação Ambiental |
| <input type="checkbox"/> 12. Energias Renováveis | <input checked="" type="checkbox"/> 35. Recursos Hídricos |
| <input type="checkbox"/> 13. Ensino | <input type="checkbox"/> 36. Resíduos Sólidos |
| <input type="checkbox"/> 14. Estudos de Impacto Ambiental | <input type="checkbox"/> 37. Segurança de Tráfego |
| <input type="checkbox"/> 15. Estudos de Impacto de Vizinhança | <input type="checkbox"/> 38. Sistemas de Avaliação de Qualidade de Infraestrutura |
| <input type="checkbox"/> 16. Geologia Aplicada ao Planejamento | <input type="checkbox"/> 39. Sistemas de Informações Geográficas |
| <input type="checkbox"/> 17. Geoprocessamento Aplicado | <input type="checkbox"/> 40. Sustentabilidade em Projetos e Sistemas Urbanos |
| <input type="checkbox"/> 18. Geotecnologia | <input type="checkbox"/> 41. Transferência Tecnológica |
| <input type="checkbox"/> 19. Governança Metropolitana | |
| <input type="checkbox"/> 20. Habitação de Interesse Social | |
| <input type="checkbox"/> 21. Infraestrutura Urbana | |
| <input type="checkbox"/> 22. Inovação Tecnológica em Materiais e Processos | |
| <input type="checkbox"/> 23. Logística Urbana | |