

Avaliação de um sistema composto por filtração ascendente e radiação ultravioleta no tratamento da água de chuva

O objetivo deste trabalho foi o de caracterizar a qualidade da água de chuva após passar pelo sistema de filtração rápida seguido pela desinfecção por radiação ultravioleta, além de analisar a caracterização da qualidade da água de chuva após passar pelo telhado de fibrocimento e avaliar os possíveis usos da água de chuva, além de avaliar a eficiência do tratamento proposto. O sistema de tratamento consiste em um filtro de brita, areia e carvão seguido por um reator com lâmpadas germicidas para a desinfecção da água de chuva coletada. Os resultados obtidos mostram, que a qualidade água de chuva armazenada na cisterna 1 é comparável a corpos d'água de classe 1 segundo a Resolução 357/2005 do CONAMA e, portanto, um tratamento simplificado poderia ser aplicado para torná-la potável. De acordo com os parâmetros analisados, a qualidade da água de chuva após o tratamento proposto atendeu aos padrões exigidos pela ABNT NBR 15527:2007:2007 e USEPA (2012) para usos não potáveis e que os parâmetros analisados (pH, Temperatura, Cor, Turbidez, OD, DQO, NH-3, NO-2, NO3-, PO43-, SO42-, CT, CTer e EC) atendem aos padrões exigidos pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde para água potável. A água obtida após tratamento pode ser utilizada para fins não potáveis e em atividades de contato direto, tais como banho e lavagem de roupa e desta forma minimizando a demanda por água potável. Desta forma, não limitar o aproveitamento de água de chuva apenas para fins não nobres, como por exemplo, descarga de sanitários, irrigação de jardim e limpeza de calçadas.

Palavras-chave: Fontes Alternativas; Desinfecção; Utilização da Água de Chuva.

Evaluation of a system composed by upward filtration and ultraviolet radiation in the treatment of rainwater

The objective of this work was to characterize the quality of rainwater after passing through the rapid filtration system followed by disinfection by ultraviolet radiation, besides analyzing the characterization of rainwater quality after passing through the fiber cement roof and to evaluate the possible uses of the rainwater, besides evaluating the efficiency of the proposed treatment. The treatment system consists of a gravel, sand and coal filter followed by a reactor with germicidal lamps for the disinfection of collected rainwater. The results show that the rainwater quality stored in tank 1 is comparable to class 1 water bodies according to CONAMA Resolution 357/2005 and therefore a simplified treatment could be applied to make it potable. According to the analyzed parameters, the quality of the rainwater after the proposed treatment met the standards required by ABNT NBR 15527: 2007: 2007 and USEPA (2012) for non-potable uses and that the analyzed parameters (pH, Temperature, Color, Turbidity, OD, COD, NH 3, NO 2, NO 3, PO 43, SO 42, CT, CT and EC) meet the standards required by Ministry of Health Ordinance 2914/2011 for drinking water. Water obtained after treatment can be used for non-potable purposes and in direct contact activities such as bathing and laundry and thus minimizing the demand for drinking water. In this way, do not limit the use of rainwater only for non-noble purposes, such as discharge of toilets, irrigation of garden and cleaning of sidewalks.


Keywords: Alternative Sources; Disinfection; Rainwater Use.


Topic: **Construções e Arquitetura Sustentáveis**


Received: **10/04/2018**


Approved: **24/05/2018**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Felipe Amaral Silva 
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5254368852309264>
<http://orcid.org/0000-0002-8351-5602>
felipeamaral_tfi@hotmail.com

Celimar Azambuja Teixeira 
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6702681725561460>
<http://orcid.org/0000-0002-1183-6618>
celimar@utfpr.edu.br

Karina Querne de Carvalho 
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8055585859691419>
<http://orcid.org/0000-0003-4577-7537>
kaquerne@gmail.com

Fernando Hermes Passig 
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0839069076248628>
<http://orcid.org/0000-0002-7461-0616>
fhpassig@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2018.004.0015

Referencing this:

SILVA, F. A.; TEIXEIRA, C. A.; CARVALHO, K. Q.; PASSIG, F. H.. Avaliação de um sistema composto por filtração ascendente e radiação ultravioleta no tratamento da água de chuva. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.9, n.4, p.177-191, 2018. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.004.0015>

INTRODUÇÃO

O aproveitamento de água de chuva tornou-se prática comum em muitos países, principalmente em zonas áridas ou remotas, onde o fornecimento de água através de redes de distribuição não é rentável ou não é tecnologicamente viável (SAZAKLI et al., 2007; NADDEO et al., 2013). Portanto, a água de chuva é uma potencial fonte alternativa de abastecimento de água para abastecimento humano (WILBERS et al., 2013), além de usos não-potáveis em descargas de banheiro, lavagem de veículos e irrigação. A qualidade da água de chuva coletada e armazenada depende das características da área, tais como condições climáticas, presença de vegetação, proximidade das fontes de poluição, tipo de área de captação, tipo de reservatório d'água, manejo e gestão da água (WILBERS et al., 2013).

A água de chuva coletada de telhados pode ser contaminada por patógenos microbianos, originários da contaminação fecal por aves e pequenos animais que tem acesso às áreas de captação e reservatórios (LEE et al., 2010). Outro fator importante é o tipo de material de cobertura utilizado para captação, pois pode afetar a qualidade físico-química da água de chuva (SAZAKLI et al., 2007). Barret et al. (2011) examinaram o efeito do material da superfície de coleta (asfalto, fibra de vidro, metal, e telha de barro) na qualidade da água de chuva coletada e os resultados obtidos mostram a necessidade de tratamento da água de chuva coletada para qualquer uma das coberturas.

Um ponto de grande importância para coletar a água de chuva com melhor qualidade deve-se ao fato de descartar o volume dos primeiros minutos da precipitação, pois a primeira descarga de escoamento de água do telhado pode conter poluentes em concentração relativamente aumentada. Desta forma, deve-se instalar um dispositivo para eliminar a primeira descarga de escoamento (first-flush), também denominado de auto limpeza da água de chuva (GIKAS et al., 2012). A captação de água de chuva é praticada em países, tais como Austrália, Alemanha, Japão, EUA, Brasil, dentre outros que a utilizam em diversas aplicações: desde fins menos nobres (lavagens, descarga de sanitários e rega de jardins), até para a fins mais nobres, como por exemplo, lavagem de roupa e banho.

Na região semiárida do nordeste do Brasil, que possui sérios problemas de escassez de água, o aproveitamento de água de chuva é uma estratégia bastante difundida com destaque para o Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC), no qual já foram construídas em torno de quinhentas mil cisternas beneficiando mais de 2 milhões de pessoas (ASA, 2015). Segundo Luna (2011), a ocorrência de episódios diarreicos é significativamente maior entre moradores de domicílios sem cisterna quando comparados a moradores de domicílios com cisterna do P1MC. No grupo de crianças menores de 5 anos foi observada uma redução de 68% no risco de ocorrência de episódios diarreicos, considerando a existência da cisterna no domicílio.

Luna (2011) destaca que o tratamento dado a água de chuva armazenada nas cisternas do P1MC, consiste na utilização de pequena quantidade de hipoclorito de sódio, segundo orientações que eram passadas aos moradores pelos técnicos do Ministério da Saúde, porém constatou-se que nem todas as famílias aplicavam o tratamento estipulado na periodicidade recomendada.

Na Austrália foi conduzido um estudo de corte com crianças de 4 a 6 anos de idade que revelou que as taxas de gastroenterite não diferem entre crianças que consumiram água de chuva armazenada em tanques quando comparadas às que consumiram água da rede pública, demonstrando que o sistema de captação de água de chuva é uma boa alternativa para suprir carência de abastecimento com água de boa qualidade (HEYWORTH et al., 2006).

Amin et al., (2009) avaliaram a técnica de desinfecção de água de chuva por radiação solar na Universidade Nacional de Seoul na Korea do Sul e constataram a inativação microbiológica com três a quatro horas de exposição nos picos de radiação solar diários. Sendo que os máximos valores de redução foi de 50 e 60% para coliformes totais e coliformes fecais, respectivamente. Também constataram que a *Escherichia Coli* (coliforme fecal) é mais sensível a inativação do que os coliformes totais. Além disso, defendem que a desinfecção da água de chuva pode ser feita com a utilização de radiação solar, principalmente em países em desenvolvimento como uma maneira de suprir a demanda por água potável. Radaideh et al. (2009) recomendam que para melhorar a qualidade da água de chuva armazenada deve-se proceder com a limpeza da área de coleta e calhas dos telhados; amostras de água devem ser analisadas periodicamente para os casos onde ocorre a ingestão de água e que um sistema de desinfecção deve ser instalado, por exemplo a cloração para que ocorra a diminuição dos patógenos.

O processo de filtração consiste na combinação de processos físicos, químicos e em alguns casos biológicos, que viabiliza a remoção de partículas suspensas e coloidais e microrganismos presentes na água que escoam através de um meio poroso. A filtração em meio granular pode ser entendida como um conjunto de subcamadas que vão exaurindo sua capacidade de retenção das partículas. O tipo de filtração pode ser classificado de acordo com o fluxo (descendente ou ascendente), pela taxa de filtração em filtro lento (taxas de filtração entre 3 a 9 m³/m².dia) ou rápido (120 a 300 m³/m².dia) e também quanto aos tipos de materiais granulares filtrantes e o número de camadas (BERNARDO et al., 2003).

Conhecer as características granulométricas dos materiais filtrantes é importante para projetar um sistema de filtração. O tamanho e a distribuição dos grãos são obtidos pelo ensaio de distribuição granulométrica do material granular. O meio filtrante é caracterizado, a partir da curva de distribuição granulométrica, pelo tamanho dos grãos ($D_{máx}$; $D_{mín}$), tamanho efetivo (D_{10}), coeficiente de uniformidade (CU), forma e geometria dos grãos, dureza dos grãos, porosidade e massa específica. No filtro ascendente o acúmulo de impurezas não acontece somente através do contato da água com a primeira camada, pois a filtração ocorre no sentido do material filtrante mais grosso para o mais fino, e por tanto, a camada filtrante trabalha no processo de clarificação da água. Filtros ascendentes são utilizados para águas pouco poluídas, pouco contaminadas, de baixa turbidez, de baixo teor de sólidos suspensos e sem variações rápidas de qualidade

A desinfecção é a etapa do tratamento que essencialmente consiste na inativação de microrganismos patogênicos, que pode ser realizada por agentes químicos ou físicos. A eficiência de um processo de desinfecção é avaliada pela redução do número de organismos patogênicos, os microrganismos indicadores (coliformes) (WEISBECK et al., 2011).

O desinfetante mais comumente utilizado é o cloro, principalmente em países em desenvolvimento. Entretanto, o cloro pode reagir com a matéria orgânica e gerar subprodutos prejudiciais à saúde. Assim, a utilização de outras formas de desinfecção de água visa manter a mesma eficiência do cloro e reduzir a formação destes subprodutos. Dentre estes desinfetantes está a radiação ultravioleta (UV) (SOUZA et al., 2000).

A radiação ultravioleta atua por meio físico agindo nos ácidos nucléicos (DNA) dos microrganismos, inativando vírus e bactérias não permitindo sua reprodução. Lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio são comumente utilizadas na desinfecção utilizando radiação UV para água potável. Estas lâmpadas emitem de 80 a 90% de sua energia no comprimento de onda UV-C a 254 nm que tem efeito germicida contra microrganismo. Partículas existentes na água dificultam a incidência de luz UV sobre microrganismos, quanto maior o diâmetro médio das partículas sólidas menor será a eficiência do processo de desinfecção UV (SOUZA et al., 2000).

A dose da radiação UV é uma variável importante para o dimensionamento de instalações de desinfecção e é produto da intensidade da radiação pelo tempo de exposição. A desinfecção por radiação ultravioleta é efetiva na inativação de bactérias, vírus e protozoários, é fácil de ser operada e segura e exige baixo tempo de contato, o que facilita o uso de unidades compactas. Para que a desinfecção de água por radiação ultravioleta seja eficiente, é necessário garantir dose letal que depende da qualidade físico-química da água, como turbidez (<5 UNT), sólidos suspensos (<10 mg.L⁻¹), concentração de ferro (<0,3 mg.L⁻¹) e dureza (<120 mg.L⁻¹) (WEISBECK et al., 2011).

As principais vantagens da utilização da desinfecção UV são a eliminação da necessidade de geração, manuseio, transporte ou estocagem de produtos químicos e a não geração de produtos residuais prejudiciais a humanos ou a vida aquática. E as principais desvantagens são a indesejada recuperação de uma parcela dos microrganismos inativados.

METODOLOGIA

O presente estudo foi realizado no bloco IJ da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Curitiba, sede Ecoville, localizada no bairro CIC, região centro oeste de Curitiba, capital do Paraná com coordenadas geográficas latitude 25°26'37"S e longitude 49°21'12"W. O clima de Curitiba é o subtropical úmido sem presença de estação seca, que pela classificação de Köppen é do tipo Cfb. A área estudada é predominantemente residencial com presença de vegetação arbórea em torno do campus.

O sistema de coleta e tratamento de água de chuva (Figura 1) instalado é composto por área da captação em fibrocimento (20,70 m²), calhas e tubulações, tela para separação de material grosseiro, dispositivo first-flush, cisterna para armazenamento de água de chuva in natura (cisterna 1), filtro ascendente, reator ultravioleta e cisterna para armazenamento de água de chuva tratada (cisterna 2). A cisterna 1 foi instalada no terraço do 2º andar do prédio e o filtro e a cisterna 2 foram instalados no andar térreo, com diferença de 9 m de altura entre a cisterna 1 e o filtro, possibilitando a operação por gravidade do sistema.

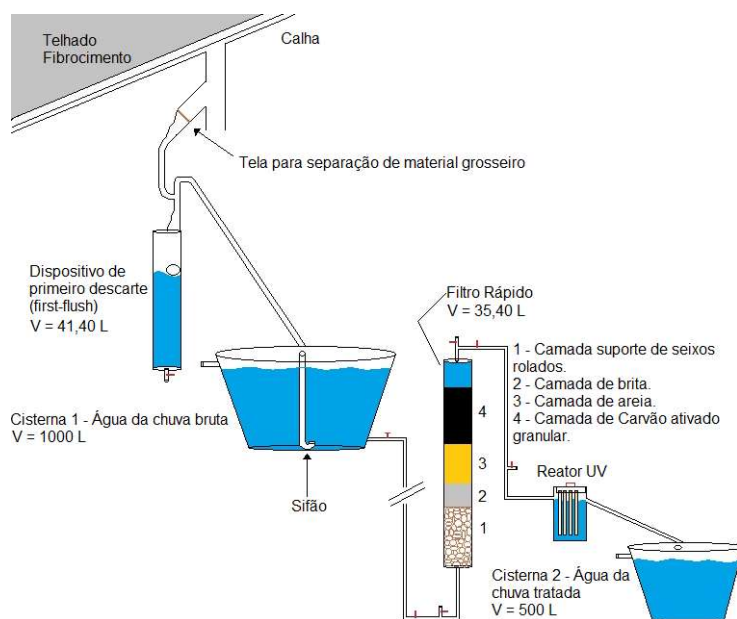


Figura 1: Desenho esquemático do sistema de tratamento de água de chuva. **Fonte:** Silva (2015).

O dispositivo first-flush foi construído em PVC com volume de 42 L e dimensionado de acordo com a norma da ABNT NBR 15.527/2007, na qual é indicado descarte dos primeiros 2 mm da chuva (água de lavagem do telhado). Assim que o dispositivo do primeiro descarte tem seu volume completo durante o evento de chuva, a água é encaminhada para a cisterna 1. Após cada evento de chuva o dispositivo é esvaziado manualmente por um registro instalado na sua parte inferior.

O filtro ascendente foi construído com tubos de PVC com diâmetro de 200 mm e com área transversal $0,0177 \text{ m}^2$ e volume de 35,40 L, composto por camada suporte de 0,50 m de seixos rolados com diâmetro variando de 2,5 a 3,8 cm e uma camada de 0,15 m de brita, além da camada filtrante de 0,25 m de areia e 0,55 m de carvão ativado granular.

A areia tem função de filtrar o material particulado presente na água de chuva e o carvão ativado de realizar a adsorção de espécies químicas dissolvidas, como íons inorgânicos e cátions metálicos. O filtro foi operado de $1,44 \pm 0,05 \text{ m}^3/\text{dia}$ e taxa de filtração de $81,4 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$. Durante o período de estudo de 12 meses não foi verificado aumento significativo da turbidez no efluente e assim não foi feita a lavagem do filtro.

Para a construção do reator UV foi utilizada uma caixa cilíndrica de PVC com volume útil de 19,8 L e quatro lâmpadas UV germicidas de 8 W cada, com dose de radiação de 684 mW.s/cm^2 . O reator UV foi instalado após o filtro. A desinfecção ultravioleta foi realizada por contato direto com a água, então cada lâmpada foi colocada dentro de um tubo de quartzo e vedada com silicone e dois caps de PVC de 25 mm. As lâmpadas foram fixadas na tampa da caixa de PVC e ligadas em série, conforme Figura 2. A limpeza das lâmpadas foi realizada ao final de cada carreira de filtração, pois o acúmulo de sujeira no tubo de quartzo pode diminuir a eficiência da desinfecção.

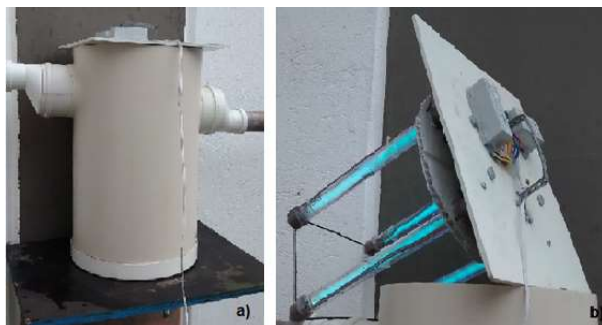


Figura 2: Reator ultravioleta – a) Reator UV instalado no sistema de tratamento; b) Lâmpadas fixadas na tampa do reator UV. **Fonte:** Silva (2015).

Pontos de amostragem e análises físico-químicas e microbiológicas da água de chuva

Para avaliar a qualidade da água de chuva e a eficiência do sistema de tratamento, foram determinados os parâmetros físico-químicos e microbiológicos: pH, temperatura, cor, turbidez, oxigênio dissolvido, DQO, amônia, nitrito, nitrato, fosfato, sulfato, coliformes totais e termotolerantes e *Escherichia coli.*, de acordo com procedimentos descritos no Standard Methods for Examination of Water & Wastewater (EATON et al., 2005) em triplicata. Tais parâmetros foram definidos para averiguar o atendimento a ABNT NBR 15527:2007 e também comparar esses parâmetros com os valores de referência da Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde.

As amostras de água foram coletadas em quatro pontos - in natura (sem contato com superfície de coleta), first-flush, cisterna 1 (água de chuva coletada após passar pelo telhado) e cisterna 2 (água de chuva após o tratamento). Após cada evento de chuva, as amostras de água foram coletadas a aproximadamente 10 cm abaixo da superfície de água nas cisternas 1 e 2, de forma a não revolver o sedimento depositado no fundo do tanque, logo após foram armazenadas em frascos previamente esterilizados, mantidas em gelo de acordo com procedimentos descritos na norma ABNT NBR 9898:1987 e transportadas ao Laboratório de Saneamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Curitiba, sede Ecoville, para realização dos procedimentos analíticos.

As análises microbiológicas foram realizadas no laboratório de Tecnologia em Meio Ambiente e Química, do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), de Curitiba/PR, pelo método de tubos múltiplos. As análises microbiológicas foram realizadas somente para dois pontos do sistema, sendo cisterna 1 e cisterna 2. Tais coletas seguiram o mesmo protocolo das coletas para ensaios físico-químico.

Foram realizadas 8 coletas para análises físico-químicas e 4 coletas para análises microbiológicas. Os dados experimentais, obtidos com as determinações físico-químicas e microbiológicas, foram apresentados em gráficos boxplot, que permitem observar a tendência central e a variabilidade dos dados amostrais. Nestes gráficos, foram incluídos a mediana (percentil 50%), os quartis inferior (percentil 25%) e superior (percentil 75%) e a medida da dispersão dos dados, como os valores mínimos e máximos.

RESULTADOS

Caracterização dos materiais filtrantes

Para caracterização dos materiais filtrantes foram feitos ensaios de granulometria, índice de vazios, massa específica, pH, teor de material volátil, teor de cinzas, teor de umidade e massa unitária para areia, brita e carvão ativado e número de iodo para o carvão ativado. Um resumo dos resultados da caracterização destes materiais com valores da média e do desvio padrão é apresentado na Tabela 1.

Não foram verificados na literatura, dados de pH, teor de material volátil, teor de umidade e teor de cinzas para areia e brita e nem sobre a influência dessas variáveis no processo de filtração. Porém optou-se por determiná-los visto que foram realizados para o carvão ativado. O maior valor de pH foi obtido para brita de 8,8 (0,1), enquanto que os valores obtidos para areia de 6,7 (1,0) e carvão ativado de 6,8 (0,08) foram similares.

Tabela 1: Resultados da média e do desvio padrão dos parâmetros físico-químicos da areia, brita e carvão ativado granular.

Parâmetro	Areia	Brita	Carvão Ativado
Ph	6,8 (1,0)	8,8 (0,1)	6,7 (0,08)
Teor de Material Volátil (%)	1 (0,003)	2,96 (0,1)	51 (0,03)
Teor de Umidade (%)	2,4 (0,001)	0,05 (0,007)	49 (0,01)
Teor de Cinzas (%)	1,11 (0,001)	6,96 (0,04)	6,25 (0,27)
Massa Específica (g/cm ³)	2,61 (0,02)	2,69 (0,1)	1,27 (0,01)
Massa Unitária (g/cm ³)	1,47 (0,03)	1,38 (0,003)	0,63 (0,01)
Índice de vazios (%)	43,8 (1,0)	48,8 (0,1)	33 (0,02)
Número de iodo (mg/g)	-	-	665,86 (0,01)

O pH ácido ou básico do carvão ativado depende da sua fabricação e dos grupos químicos ligados em sua superfície. Segundo Bansal et al. (2005) a partir da característica básica ou ácida da superfície do material, podem-se determinar suas propriedades adsorptivas e também suas reações de decomposição. Neste trabalho, pode-se observar característica alcalina do carvão ativado utilizado.

Os valores de massa específica e massa unitária obtidos para areia são similares aos valores reportados por Tutikian et al. (2011) de 2,64 g/cm³ e 1,53 g/cm³; Drago et al. (2009) de 2,80 g/cm³ e 1,45 g/cm³; Araújo et al. (2011) de 2,62 g/cm³ e 1,44 g/cm³. Valores similares também foram verificados para brita por Drago et al. (2009) de 2,80 g/cm³ e 1,50 g/cm³; Araújo et al. (2011) de 2,63 g/cm³ e 1,44 g/cm³, respectivamente, e também determinaram índice de vazios de 44,8% e 45,12% para areia e brita, respectivamente, similares aos observados nesse trabalho. A massa unitária do agregado auxilia na determinação da massa de cada material filtrante necessária para preencher a altura correspondente no filtro e a massa específica auxilia na área superficial grãos dos materiais filtrantes em que serão aderidas as impurezas (NBR NM 45, 2006; NBR NM 23, 2001).

Os valores de teor de umidade, teor de material volátil e teor de cinzas para areia e brita inferiores a 7%. O teor de umidade não deve ultrapassar 8% para o carvão ativado (ABNT NBR 11834 (EB – 2133)), pois carvões ativados que ultrapassem esta porcentagem apresentam indicativo da presença de grupos químicos oxidados em sua superfície o que implica na redução de sua capacidade de adsorção. Neste trabalho, o teor de umidade resultou em 49%, indicando a presença destes grupos químicos oxidados em sua superfície; este valor foi distinto daqueles obtidos por Kalderis et al. (2008) na faixa de 4,2 a 6,1% em amostras de carvão vegetal de bagaço de cana-de-açúcar e casca de arroz.

O teor de material volátil afeta a área superficial e a distribuição da porosidade, e valores elevados deste parâmetro implicam em valores baixos de área superficial para o carvão ativado (Gontijo, 1996). O valor de 51% obtido indica que o carvão ativado estudado apresenta baixa área superficial específica.

O teor de cinzas do carvão ativado comercial é de 15% segundo Jaguaribe et al. (2005), valor superior ao observado de 6,25% neste trabalho. De acordo com Moreno (2004), um alto teor de cinzas diminui as propriedades adsorptivas dos carvões ativados. Valores diferentes foram observados por Kalderis et al. (2008) que obtiveram 25,7% e 36,5% para carvão vegetal a base de bagaço de cana-de-açúcar e carvão vegetal a base de casca de arroz, respectivamente. Na Tabela 2, são apresentados os dados granulométricos obtidos através dos ensaios de granulometria da areia e brita.

Tabela 2: Dados granulométricos da areia e da brita.

Material	Diâmetro Min (mm)	Diam. Máx. (mm)	D ₁₀ (mm)	D ₆₀ (mm)	$\frac{D_{60}}{D_{10}} = CU$
Areia	0,15	4,76	0,27	1,32	4,9
Brita	4,76	19,10	7,50	14,60	1,9

A penetração de impurezas ao longo do meio filtrante está relacionada intimamente ao coeficiente de uniformidade que corresponde a relação entre D₆₀ e D₁₀. Sezerino (2006) recomenda coeficiente de uniformidade menor ou igual a 5 para a areia. Quanto menor o valor do coeficiente de uniformidade, mais uniforme será o material granular, mais profunda será a penetração das impurezas e maior será o tempo da carreira de filtração (BERNARDO, 2003). Caputo (1996) considera materiais muito uniformes aqueles com coeficiente de uniformidade menor ou igual a 5; com uniformidade média aqueles com coeficiente de uniformidade entre 5 e 15 e desuniformes aqueles com coeficiente de uniformidade maior que 15.

Os materiais filtrantes empregados no filtro apresentam coeficiente de uniformidade de 4,9 para areia e de 1,9 para brita, o que os classifica como muito uniformes. Sezerino (2006) obteve coeficiente de uniformidade de 5,70 para areia e 1,89 para brita. O carvão ativado granular possui distribuição granulométrica uniforme (de mesma granulometria) com diâmetro de 0,8 mm.

Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas da água de chuva.

Nas Figuras 3 e 4 são apresentados os gráficos boxplot para os parâmetros pH, temperatura, cor, oxigênio dissolvido, turbidez, DQO, amônia, nitrito, nitrato, fosfato e sulfato para os 4 pontos de amostragem chuva in natura (IN), first-flush (FF), cisterna 1 (C1) e cisterna (C2). Considerando a Figura 3, a mediana do pH nos pontos IN e C2 foi similar a 6,6 com variação de 4,3 a 8,0 para IN e de 6,0 a 7,0 para C2. Nos pontos FF e C1, os valores médios foram de 7,2, com faixa de variação de 6,8-7,5. O pH mais elevado nos pontos FF e C1 e pode estar ligado ao contato da água de chuva com a superfície de coleta e a variação de pH no ponto IN pode estar ligado às condições climáticas do período em que ocorreu a precipitação. A mediana da temperatura foi de 25°C no ponto IN e de 23°C nos pontos FF, C1 e C2, com variação de 19-29°C. A diferença de temperatura em IN pode estar ligada ao fato de que as amostras de IN eram coletadas do pluviômetro que ficava exposto ao ambiente.

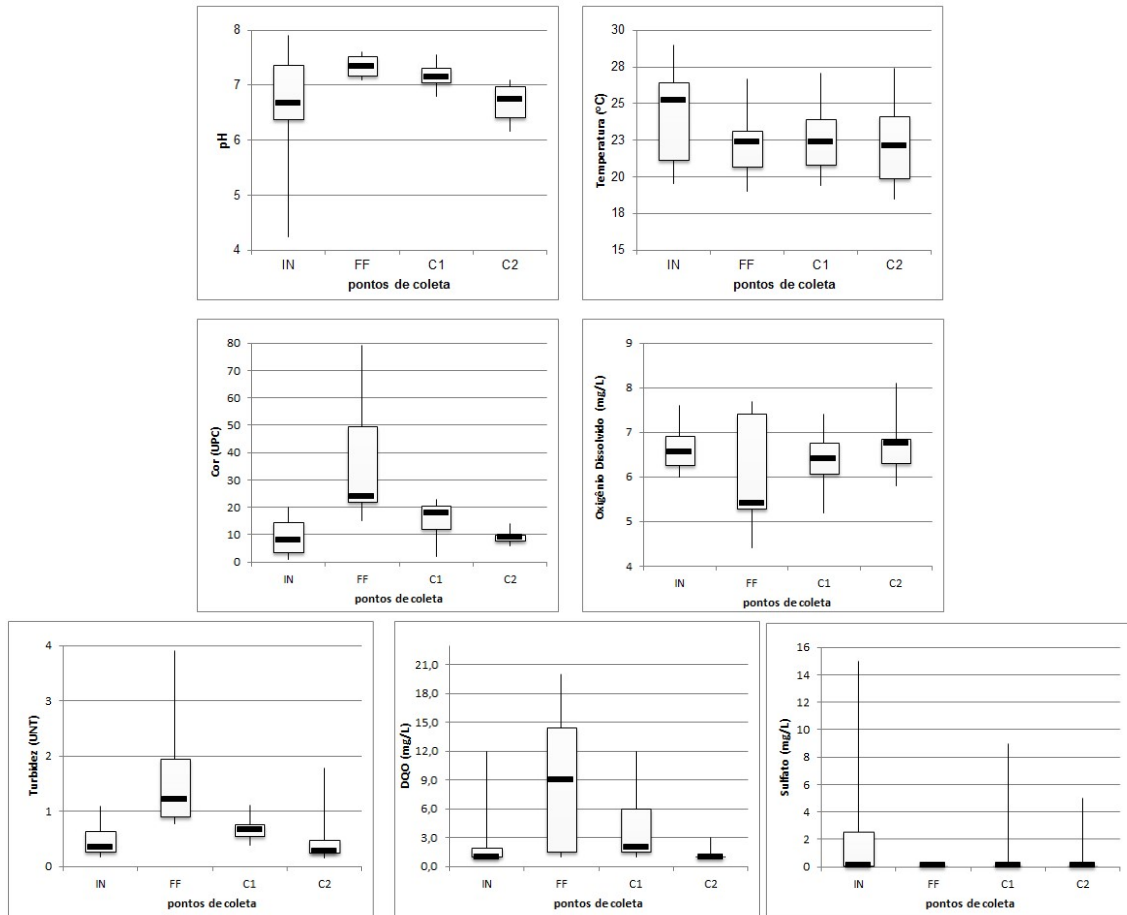


Figura 3: Média, mediana, mínimo, 1º e 3º quartis e variação interquartil dos parâmetros físico-químicos.

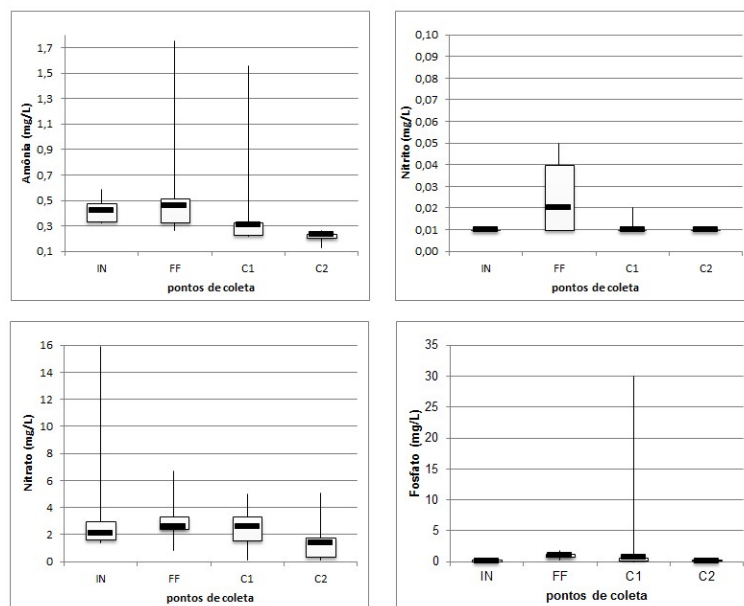


Figura 4: Média, mediana, mínimo, 1º e 3º quartis e variação interquartil dos parâmetros de amônia, nitrito, nitrato, fosfato.

Os valores médios de cor foram de 8,3 UPC para IN com faixa de variação de 1,2-20 UPC, 35,8 UPC para FF com faixa de variação de 14-80 UPC, 16,1 para C1 com faixa de variação de 2-22 UPC e 12,5 UPC para C2 com faixa de variação de 5-15 UPC. Os valores de cor mais elevados observados para os pontos FF e C1 pode ser devido ao contato com a superfície de coleta que pode acumular impurezas. A maior variação de

cor para FF deve-se às condições climáticas, um período longo de estiagem acarreta em um maior acúmulo de impurezas no telhado e conseqüentemente um aumento no parâmetro cor.

A média do oxigênio dissolvido varia na faixa de 5,4-6,8 mg/L entre os pontos, com mínimo de 4,4 mg/L no FF e máximo de 8,1 mg/L no C1. Todas as amostras dos pontos IN, C1 e C2 atendem ao padrão de oxigênio dissolvido (6 mg/L) exigido pela Resolução 357 do CONAMA para corpos hídricos de classe 1 e para FF apenas 25% das amostras não atenderam.

A mediana da turbidez para os pontos IN, C1 e C2 foi na faixa de 0,2-0,6 UNT e para FF foi de 1,5 UNT. Com maior variação interquartil para FF (1,1 UNT), esta maior variação deve-se ao fato de que a água que vai para o first-flush tem contato direto com o telhado, no qual ocorre o acúmulo de impurezas devido a períodos de estiagem. Todas as amostras de IN, C1 e C2 atenderam ao padrão de turbidez (< 2 UNT) exigido pela USEPA e ABNT NBR 15527:2007 e 75% das amostras de FF estavam abaixo de 2 UNT. Em relação à Portaria 2914 do Ministério da Saúde, 75% das amostras de IN, C1 e C2 atendiam ao padrão exigido (< 0,5 UNT) e para FF nenhuma das amostras atendeu.

Os valores médios de DQO para os pontos IN e C2 foram similares a 1 mg/L, para FF de 9 mg/L e para C1 de 2 mg/L. A maior faixa de variação foi de 1-19,5 mg/L para FF que se deve às impurezas acumuladas na superfície de coleta antes de cada evento de chuva. Considerando a Figura 3, os valores da mediana de amônia para IN e FF foram próximos a 0,4 mg/L, para C1 foi 0,3 mg/L e para C2 0,2 mg/L. Este resultado significa que o sistema de tratamento removeu amônia.

Os valores médios de nitrito para IN, C1 e C2 foram similares a 0,01 mg/L e para FF foi de 0,02 mg/L com faixa de variação de 0,01-0,05 mg/L, essa variação é devido à presença de maior carga de impurezas nos primeiros momentos de chuva que são desviados para o first-flush. Todas as amostras de FF, C1 e C2 para nitrato atenderam a Resolução 357 do CONAMA e a Portaria 2914 e para IN 75% das amostras atenderam aos padrões dessas duas diretrizes.

Para fosfato os valores das medianas foram de 0,2 mg/L para IN e C2, 1,1 mg/L para FF e 0,7 mg/L para C1. Os valores das medianas de sulfato para IN, FF, C1 e C2 foram similares a 0,1 mg/L, todas as amostras de todos os pontos do tratamento atendem aos padrões da Resolução 357 do CONAMA e da Portaria 2914 do Ministério da Saúde.

DISCUSSÃO

Na Tabela 3 é apresentado um resumo estatístico dos resultados das análises físico-químicas dos quatro pontos de amostragem e uma comparação com valores estabelecidos na Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 2012), a ABNT NBR 15527:2007/2007 da Associação Brasileira de Normas e Técnicas (ABNT) e na Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011).

Tabela 3: Resultados das análises físico-químicas da água de chuva nos 4 pontos de amostragem.

	In (Pluviômetro)	natura First-flush	Cisterna 1	Cisterna 2	

Parâmetros	Nº	Máx.	Mín.	Média (DP)	Máx.	Mín.	Média (DP)	Máx.	Mín.	Média (DP)	Máx.	Mín.	Média (DP)	Diretrizes
Ph	8	7,9	4,2	6,6 (1,1)	7,6	7,1	7,4 (0,2)	7,6	6,8	7,2 (0,2)	7,1	6,2	6,7 (0,3)	USEPA MS 2914/11 CONAM A NBR 15527 6,0 – 9,0 6,0 – 9,5 6,0 – 9,0 6,0 – 8,0
Temperatura (°C)	8	29	19,5	24,2 (3,3)	26,7	19	22,4 (2,4)	27,1	19,4	22,7 (2,5)	27,4	18,5	22,3 (3,0)	Sem indicação
Cor (UPC)	8	20	1	8,3 (7,1)	79	15	35,8 (21,6)	23	2	16,1 (6,8)	35	6	12,5 (8,8)	MS 2914/11 NBR 15527 ≤ 15 UPC < 15 UPC
O.D. (mg/L)	8	7,6	6	6,7 (0,5)	7,7	4,4	6,1 (1,2)	7,4	5,2	6,4 (0,6)	8,1	5,8	6,7 (0,6)	CONAMA → ≥ 6 mg/L
Turbidez (UNT)	8	1,1	0,2	0,5 (0,3)	3,9	0,8	1,6 (1,0)	1,1	0,4	0,7 (0,2)	1,8	0,2	0,5 (0,5)	USEPA MS 2914/11 CONAM A NBR 15527 ≤ 2 UNT ≤ 0,5 UNT ≤ 40 UNT < 2,0 UNT**
DQO (mg/L)	8	12	1	3 (3,5)	20	1	9,1 (6,9)	12	1	3,9 (3,8)	3	1	1,3 (0,7)	Sem indicação
NH ₃ (mg/L)	8	0,6	0,3	0,4 (0,01)	1,7	0,2	0,6 (0,5)	1,6	0,2	0,4 (0,4)	0,3	0,1	0,2 (0,04)	MS 2914/11 CONAM A ≤ 1,5 mg/L ≤ 2 mg/L
NO ₂ (mg/L)	8	0,01	0,01	0,01 (0,00)	0,05	0,01	0,03 (0,02)	0,02	0,01	0,013 (0,004)	0,01	0,01	0,01 (0,00)	MS 2914/11 CONAM A ≤ 1 mg/L ≤ 1 mg/L
NO ₃ (mg/L)	8	15,9	1,4	3,9 (4,6)	6,7	0,8	3,5 (1,9)	5,0	0,1	2,7 (1,5)	5,1	0,1	1,7 (1,5)	MS 2914/11 CONAM A ≤ 10 mg/L ≤ 10 mg/L
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	8	0,6	0,01	0,2 (0,2)	1,7	0,2	1,1 (0,5)	30	0,01	4,1 (9,8)	0,4	0,01	0,2 (0,1)	Sem indicação
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	8	15	0,1	2,6 (5)	0,1	0,1	0,1 (0,0)	9	0,1	1,2 (2,9)	5	0,1	0,7 (1,6)	MS 2914/11 CONAM A ≤ 250 mg/L ≤ 250 mg/L
CT (NMP/100 mL)	4	-	-	-	-	-	-	330	7,8	121,2 (149,9)	-	-	<1,8**	MS 2914/11 NBR 15527 USEPA CONAM A Ausência Ausência Ausência <200NMP/100mL *
CTer (NMP/100 mL)	4	-	-	-	-	-	-	21	2	9,6 (8,5)	-	-	<1,8**	
EC (NMP/100 mL)	4	-	-	-	-	-	-	7,8	2	4,7 (2,4)	-	-	<1,8**	

*Para corpos d'água de classe 1 na Resolução nº 357/2005 do CONAMA; ** Para fins menos restritivos, recomendada turbidez < 15 na ABNT NBR 15527:2007:2007.

*** Limite de detecção do método de tubos múltiplos.

Legenda: Nº - número de amostras; Temp. - temperatura (°C); OD - oxigênio dissolvido (mg/L); Turb. - turbidez (UNT); NH₃ amônia (mg/L); NO₂⁻ - nitrito (mg/L); NO₃⁻ - nitrato (mg/L); PO₄³⁻ - fosfato (mg/L); SO₄²⁻ - sulfato (mg/L); CT - coliformes totais (NMP/100 mL); CTer - coliformes termotolerantes (NMP/100 mL); EC - E. coli (NMP/100 mL); Média - valor da média; Máx. - valor máximo; Mín. - valor mínimo; DP - desvio padrão.

A comparação da qualidade da água de chuva com a classificação dos corpos hídricos da Resolução CONAMA 357/2005 foi feita com o objetivo de estabelecer o tratamento adequado para utilização da água de chuva para fins potáveis, pois esta resolução estabelece o tratamento necessário da água para consumo humano, de acordo com a classe do corpo hídrico.

Os valores médios obtidos para os parâmetros físico-químicos estudados para as amostras de água da cisterna 1 corresponderam a qualidade da água de um corpo de água de classe 1 de acordo com a Resolução 357/05 do CONAMA e portanto com indicação de tratamento simplificado para buscar a potabilidade. Os valores médios de desvio padrão obtidos para os parâmetros pH, cor, OD, turbidez, amônia, nitrito, nitrato e sulfato atenderam aos padrões estabelecidos nas referidas diretrizes para as amostras da água da cisterna 1.

O valor médio do parâmetro cor, para a cisterna 1 (sem tratamento), é o único que está maior do que o recomendado pela ABNT NBR 15517:2007 para utilização da água de chuva para fins não potáveis, ou seja, está água deve passar por um processo de filtração para ser utilizada. Todos os parâmetros físico-químicos analisados para água de chuva da cisterna 1 estão dentro dos padrões exigidos pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 2012) para utilização para fins não potáveis.

A incorporação de impurezas presentes na superfície do telhado é observada comparando-se os valores médios dos parâmetros físico-químicos da Tabela 3, pois é possível notar um significativo aumento nos valores destes parâmetros comparando a qualidade da água de chuva in natura e a água do dispositivo first-flush. Assim podemos observar a importância de se instalar um dispositivo de descarte dos primeiros dois milímetros de precipitação.

Apenas os valores médios de nitrato e sulfato foram superiores na água de chuva in natura em comparação com os valores médios do dispositivo first-flush. Segundo Honório et al. (2010) e Gikas et al. (2012), as concentrações de nitrito, nitrato e sulfato na água de chuva são produtos da combustão de combustíveis fósseis.

Comparando-se os valores médios da Tabela 3 para a água de chuva do first-flush com a água de chuva da primeira cisterna, pode-se observar melhora da qualidade na maioria dos parâmetros físico-químicos, exceto para fosfato e sulfato que se deve ao acúmulo de material particulado no fundo da cisterna. Notando-se a importância deste dispositivo para melhorar a qualidade da água de chuva armazenada. Concluindo que dispositivo de primeira descarga é uma das melhores formas de se manter os sistemas de aproveitamento de água de chuva limpos e seguros, pois o acúmulo das impurezas na água de chuva do reservatório foi notável.

Os resultados dos valores médios de pH das amostras da água de chuva do dispositivo first-flush, cisterna 1 e cisterna 2 foram 7,4, 7,2 e 6,7, respectivamente e apresentaram variações de 6,2 a 7,6 e da água de chuva in natura de 6,6 e variação de 4,2 a 7,9 indicando maior acidez na maioria das amostragens. De acordo com Lee et al. (2010) a tendência que reduz um pouco o pH é o aumento da concentração dos íons nitrato e sulfato. Pode se observar na Tabela 3 que a água de chuva in natura apresenta os maiores valores médios para nitrato e sulfato.

Comparando-se os valores médios dos parâmetros analisados para a cisterna 1 e para a cisterna 2 da Tabela 4 pode-se observar a eficiência do tratamento aplicado para a água de chuva. As eficiências de remoção obtidas foram de cor com 22,4% turbidez com 28,6%, DQO com 66,7%, amônia com 50,0% nitrito com 23,1%, nitrato com 37,0%, fosfato com 95,1% e sulfato com 41,7%. Os resultados das análises microbiológicas, realizadas para avaliar a desinfecção do tratamento para a água de chuva são apresentados na Tabela 4.

Para todas as amostras de água de chuva in natura foi detectada a presença de microrganismos (coliformes totais, coliformes termotolerantes e E. coli), o que torna a água de chuva in natura imprópria para consumo humano segundo a Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, que exige a ausência coliformes em 100 mL de amostra. A NBR 15527:2007/2007 e a Agência de Proteção Ambiental dos Estados

Unidos (USEPA, 2012) também exigem a ausência de coliformes totais e termotolerantes em 100 mL de amostra, para utilização da água de chuva para fins não potáveis.

Tabela 4: Resultados das análises microbiológicas para água de chuva antes e após o tratamento.

Parâmetros	Cisterna 1			Cisterna 2		
	Máx.	Min.	Média (DP)	Máx.	Min.	Média (DP)
Col. Totais (NMP/100 mL)	330	7,8	121,2 (149,9)	-	-	< 1,8
Col. Term. (NMP/100 mL)	21	2	9,6 (8,5)	-	-	< 1,8
E. coli (NMP/100 mL)	7,8	2	4,7 (2,4)	-	-	< 1,8

Nota: limite de detecção do método de tubos múltiplos é 1,8 (NMP/100 mL).

Segundo a Resolução 357/2005 do CONAMA, em corpos d'água de classe 1 a quantidade de coliformes termotolerantes não deve ser maior que 200 NMP/100 mL. Assim a qualidade microbiológica da água de chuva da cisterna 1 pode ser comparada à qualidade da água de um rio de classe 1 e para torna-la potável deve-se aplicar um tratamento simplificado.

Todos os resultados de microrganismos para as amostras coletadas após a filtração e desinfecção por radiação ultravioleta foram inferiores a 1,8 NMP/100 mL, que é o limite de detecção do método de tubos múltiplos, utilizado para a análise. Resultados muito próximos do valor exigido pela portaria de potabilidade do Ministério da Saúde. Bastos (2007) obteve 551,4, 12,6 e 135,3 NMP/100 mL para coliformes totais, coliformes termotolerantes e E. coli, respectivamente, em amostras de água de chuva armazenadas. Após tratamento por filtração lenta seguida de desinfecção UV obteve uma eficiência de inativação destes microrganismos de 99,99%.

CONCLUSÕES

A adição de dispositivos de first-flush no sistema de tratamento de água de chuva é uma boa forma de se manter uma boa qualidade da água, atendendo a NBR 15527:2007, a primeira descarga pode resolver o acúmulo de partículas e de vários contaminantes problemáticos. A água da cisterna 1 necessita de tratamento por filtração seguido de desinfecção para ser utilizada para fins não potáveis segundo as diretrizes NBR 15527:2007 e Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 2012).

Comparando os resultados das análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água de chuva in natura com a qualidade da água de rios classe 1 da Resolução 357 do CONAMA (BRASIL, 2005), pode-se concluir que é necessário somente um tratamento simplificado para tornar a água de chuva, coletada do telhado, potável.

O tratamento proposto para a água de chuva através de filtração ascendente e radiação ultravioleta atende as diretrizes NBR 15517/2007 e USEPA (2012) para usos não potáveis da água de chuva. Obtendo resultados de eficiência de tratamento com remoção de cor com 22,4%, turbidez com 28,6%, DQO com 66,7%, amônia com 50,0% nitrito com 23,1%, nitrato com 37,0%, fosfato com 95,1% e sulfato com 41,7% comparando-se os pontos de análise da água bruta (cisterna 1) com o da água tratada (cisterna 2).

Dos parâmetros analisados, os resultados do tratamento proposto indicam estarem dentro dos padrões exigidos pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde. Mesmo assim a água não pode ser

considerada potável, pois tal Portaria estabelece um número muito de parâmetros do que os que foram avaliados.

O tratamento proposto para a água de chuva reduziu todos os valores de microrganismos encontrados na cisterna 1 (sem tratamento), para um resultado menor do que o limite de detecção do método de análise destes parâmetros, de acordo com os resultados da cisterna 2 (água tratada). Os resultados obtidos com o tratamento proposto indicam que a água tem qualidade para lavagem de roupa e para atividades recreativas de contato direto, e portanto reduzindo ainda mais o consumo de água potável, visto que a ABNT NBR 15527:2007 já preconiza o uso da água de chuva para fins não nobres, tais como rega de jardim, lavagem de pisos e calçadas e descarga em bacia sanitária.

De acordo com a análise estatística dos dados, em que fica claro que não há diferenças significativas dos parâmetros no processo de filtração, pode-se concluir que o filtro não tão é importante quanto o first flush para o tratamento de água de chuva, pelo menos para a região estudada na cidade de Curitiba. Já o processo de desinfecção por radiação ultravioleta mostrou-se imprescindível para remover os organismos patogênicos e portanto deve ser implementado em sistemas de tratamento de água de chuva, especialmente quando tem-se a intenção de utilizar essa água para fins mais nobres do que os usuais descarga de banheiro, rega de jardins e limpeza de calçadas.

Desta forma, conclui-se que o sistema proposto para coleta, armazenamento e tratamento de água de chuva mostrou-se eficiente com os objetivos mencionados, podendo se tornar uma importante fonte de abastecimento de água em conjunto com as demais fontes, tais como, água da concessionária, reuso de água e possíveis fontes de água subterrânea.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de mestrado.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas e Técnicas. **NBR 15527:** água de chuva – aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT. Associação Brasileira de Normas e Técnicas. **NBR 45:** Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT. Associação Brasileira de Normas e Técnicas. **NBR 11834 (EB – 2133):** Carvão ativado pulverizado – Especificação. Rio de Janeiro, 1991.

ABNT. Associação Brasileira de Normas e Técnicas. **NBR NM 23:** Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. 2000.

AMIN, M. T.; HAN, M. Y.. Roof-harvested rainwater for potable purposes: Application of solar collector disinfection (SOCO-DIS), **Water Research**, v.43, n.20, p.5225-5235, 2009.

ARAÚJO, E. C.; DIAS, F. M.. Massa específica e absorção de água de concretos manufaturados com agregados alternativos. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, v.4, n.5, p.764–783, 2011.

ASA. Articulação do Semiárido Brasileiro. **Programa Um Milhão de Cisternas**. 2015.

BANSAL, R. C.; GOYAL, M.. **Activated carbon adsorption**. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2005.

BARRET, B. C.; KINNEY, A. K.; KIRISITS, J. M... The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. **Water Research**, v.45, p.2049-2059, 2011.

BASTOS, P. F.. **Tratamento de água de chuva através de filtração lenta e desinfecção UV**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2007.

BERNARDO, L.. **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta**. São Carlos: PROSAB, 2003.

CAPUTO, H. P.. **Mecânica dos Solos e suas Aplicações:**

Fundamentos. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357.** Brasília: DOU, 2005

DRAGO, C.; VERNERY, J. C. K.; PEREIRA F. M.. Efeito da utilização de areia de britagem em concretos de cimento Portland. **Revista Escola de Minas**, v.62 n.3, p.399–408, 2009.

GIKAS, D. G.; TSIHRINTZIS, A. V.. Assessment of water quality of first-flush roof runoff and harvested rainwater. **Journal of Hydrology**, v.466-467, p.115-126, 2012.

HEYWORTH, J. S.; GLONEK, G.; MAYNARD, E. J.; BAGHURST, P. A.; FINLAY-HONES, J.. Consumption of untreated tank rainwater and gastroenteritis among young children in South Australia. **International Journal of Epidemiology**, v.35, n.4, p.1051-1058, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1093/ije/dy1105>

HONÓRIO, B. A. D.; HORBE, A. M. C.; SEYLER, P.. Chemical composition of rainwater in western Amazonia — Brazil. **Atmospheric Research**, v.98, p.416–425, 2010.

JAGUARIBE, E. F.; MEDEIROS, L. L.; BARRETO, M. C. S.; ARAUJO, L. P.. The performance of activated carbons from sugarcane bagasse, babassu, and coconut shells in removing residual chlorine. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, São Paulo, v.22, n.1, 2005.

KALDERIS, D.; BETHANIS, S.; PARASKEVA, P.; DIAMADOPOULOS, E.. Production of activated carbon from bagasse and rice husk by a single-stage chemical activation method at low retention times, **Bioresource Technology**, v.99, n.15, p.6809-6816, 2008. DOI: <http://10.1016/j.biortech.2008.01.041>

LEE, Y. J.; YANG J. S.; HAN M.; CHOI, J.. Comparison of the microbiological and chemical characterization of harvested rainwater and reservoir water as alternative water resources. **Science of the Total Environment**, v.408, n.4, p.896-905, 2010. DOI: <http://10.1016/j.scitotenv.2009.11.001>

LUNA, C. F.. **Avaliação do impacto do programa um milhão de cisternas rurais (P1MC) na saúde:** Ocorrência de diarreia no agreste central de Pernambuco. Tese (Doutorado em saúde pública) - Fundação Oswaldo Cruz, Recife, 2011.

MORENO, C.. Adsorption of organic molecules from aqueous solutions on carbon materials. **Carbon**, v.42, n.1, p.83-94, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2003.09.022>

NADDEO, V.; SCANNAPIECO, D.; BELGIORNO, V.. Enhanced drinking water supply through harvested rainwater treatment. **Journal of Hydrology**, v.498, p.287-29, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.06.012>

RADAIDEH, J.; AL-HARAHSEH, A.; AZBOON, K. K.; AL-ADAMAT, R.. Quality assessment of harvested Rainwater for domestic uses. **Carpathian Journal of Earth and Environmental**, v.2, n.1, p.26-31, 2009.

SILVA, F. A.. **Aproveitamento da água da chuva após tratamento por filtração ascendente e radiação ultravioleta.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

SAZAKLI, E.; ALEXOPOULOS, A.; LEOTSINIDIS, M.. Rainwater harvesting, quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece. **Water Research**, v.41, n.9, p.2039-2047, 2007.

SEZERINO, P. H.. **Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (constructed wetlands) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical.** Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SOUZA, B. J.; SARTORI, L.; DANIEL, A. L.. Influência da cor e turbidez na desinfecção de águas de abastecimento utilizando-se cloro e radiação UV. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, **Anais**. 2000.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D.. Comparativo das propriedades do concreto autoadensável (CAA) utilizando areia fina e cinza volante. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, v.4 n.2, p.247–276, 2011.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Guidance manual:** alternative disinfectants and oxidants. Report n.815-R-99-014. Washington: USEPA, 1999.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Guidelines for Water Reuse:** EPA/600/R – 12/618. Washington: USEPA, 2012.

WEISBECK, E.; LOBO, M. G.; COSTA, B. P.. Desinfecção da água de chuva por radiação ultravioleta. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.16, n.4, p.337-342, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522011000400004>

WILBERS, G. J.; SEBESVARI, Z.; RECHENBURG, A.; RENAUD, F. G.. Effects of local spatial conditions on the quality of harvested rainwater in the Mekong Delta, Vietnam. **Environmental Pollution**, v.182, p.225-232, 2013. DOI: <http://10.1016/j.envpol.2013.07.019>

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.