

Variabilidade qualitativa de águas pluviais coletadas em telhado e sua importância na concepção do sistema de tratamento

Qualitative variability of roof harvested rainwater and its importance for the conception of treatment system

Liane Yuri Kondo Nakada¹, Rodrigo Braga Moruzzi²

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo estudar a qualidade e a variabilidade de águas pluviais escoadas e armazenadas. Foram realizadas análises estatísticas descritivas, correlacionais e de componentes principais. As coletas de águas pluviais foram feitas nas dependências da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", situada no *campus* de Rio Claro. Para este estudo, foram utilizadas amostras de 43 precipitações, coletadas entre março de 2010 e abril de 2012. Os resultados apontam que a concepção de sistemas de tratamento de águas pluviais deve ser realizada considerando a grande variabilidade de qualidade entre eventos de chuva. Os resultados da análise de componentes principais indicam que a grande variabilidade das águas pluviais coletadas é influenciada, sobretudo, pela deposição de sólidos durante o período de estiagem e pela decomposição de matéria orgânica, requerendo tecnologias de operação flexíveis.

Palavras-chave: água de chuva; qualidade da água; análise de componentes principais.

ABSTRACT

The aim of the present work was to study the quality and variability of runoff and stored rainwater. Descriptive statistical, correlational, and principal component analyses were performed. The rainwater samples were taken from the buildings of São Paulo State University "Júlio de Mesquita Filho", located in Rio Claro. For the present study, samples from 43 rain events were used, which had been collected from March 2010 to April 2012. The results indicate that the conception of rainwater treatment systems must consider the high variability of rainfall quality. The results from the principal components analysis indicate that solids deposition during dry periods and the organic matter decomposition are the main factors affecting the variability of harvested rainwater, thus requiring operationally flexible technologies.

Keywords: rainwater; water quality; principal component analysis.

INTRODUÇÃO

O uso de fontes alternativas pode auxiliar na diminuição da pressão, exercida pela demanda, por fontes convencionais de abastecimento. Segundo Mancuso e Santos (2003), a Agência Nacional de Águas – ANA (2005) e Gonçalves *et al.* (2006), a "substituição de fontes de abastecimento" é uma boa alternativa para atender aos usos menos restritivos e à política de gestão proposta pelo Conselho Econômico e Social das Nações Unidas de 1958, que defende o uso de águas de melhor qualidade para aplicações mais nobres.

De acordo com a ANA (2005), a água pluvial pode ser aproveitada, desde que sejam realizados o controle de qualidade e a verificação da necessidade de tratamento específico, visando à prevenção de danos à saúde de seus usuários e à vida útil dos sistemas envolvidos. Aquela Agência também enfatiza que o uso negligente de fontes alternativas de água com padrões de qualidades inadequados e a falta de gestão dos sistemas alternativos podem colocar em risco o consumidor e as atividades nas quais a água é utilizada.

¹Engenheira Ambiental, Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Engenharia Ambiental pela UNESP – Rio Claro (SP), Brasil.

²Engenheiro Civil, Mestre e Doutor em Engenharia Civil na Área de Hidráulica e Saneamento. Professor do Curso de Engenharia Ambiental no Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento da UNESP/IGCE – Rio Claro (SP), Brasil.

Endereço para correspondência: Rodrigo Braga Moruzzi Correio – Avenida 24 A, 1.515 – 13506-900 – Rio Claro (SP), Brasil – E-mail: rmoruzzi@rc.unesp.br

Recebido: 20/07/12 – **Aceito:** 23/08/13 – **Reg. ABES:** 479

Visando a estabelecer condições mínimas para uso não potável de águas pluviais, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou a norma NBR 15527, “Água de chuva: aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – requisitos”, na qual prevê as análises dos parâmetros qualitativos apresentados na Tabela 1.

Destaca-se que a NBR 15527 (ABNT, 2007) se aplica a usos não potáveis em que as águas pluviais podem ser utilizadas, após tratamento adequado, como em descargas de bacias sanitárias; na irrigação de gramados e plantas ornamentais; na lavagem de veículos; na limpeza de calçadas, ruas e pátios; nos espelhos d’água e para fins industriais.

De acordo com Tomaz (2005) e Gonçalves (2009), a composição da água pluvial varia com a localização geográfica do ponto de amostragem (proximidade com o oceano, áreas urbanas ou rurais); com as condições meteorológicas (intensidade, duração e tipo de chuva, regime de ventos e estação do ano); com a presença ou não de vegetação e com a carga poluidora. Meera e Ahammed (2006) acrescentam que a contaminação da água pluvial pode ocorrer em quaisquer partes constituintes do sistema de aproveitamento.

Nesse sentido, Ahmed *et al.* (2012) realizaram um estudo em Queensland, Austrália, no qual analisaram a qualidade microbiológica de águas pluviais armazenadas em caixas d’água para abastecimento de 24 residências. Dentre as amostras coletadas, 63% excederam o padrão de potabilidade australiano para *E. coli* (1 Unidade Formadora de Colônia - UFC.100 mL⁻¹), 92%, 21%, 4% e 13% apresentaram *Enterococcus spp.*, *Campylobacter spp.*, *Salmonella spp.* e *Giardia lamblia*, respectivamente.

No Brasil, Silva (2006) estudou a qualidade de águas pluviais sem descarte armazenadas em cisternas de placa para consumo humano em comunidades rurais de Araçuaí – MG e encontrou concentrações de Coliformes totais (Número Mais Provável - NMP.100 mL⁻¹), *E. coli* (NMP.100 mL⁻¹), Estreptococos fecais (NMP.100 mL⁻¹) e Bactérias heterotróficas totais (UFC.mL⁻¹) de, respectivamente, $2,3 \times 10^4$; $1,4 \times 10^4$; $> 1,6 \times 10^1$ e 2×10^3 . Tavares (2009) avaliou a qualidade de águas pluviais sem descarte, armazenadas em cisternas de comunidades rurais do semiárido paraibano e encontrou concentrações de Coliformes totais (NMP.100 mL⁻¹), *E. coli* (NMP.100 mL⁻¹) e Estreptococos fecais (UFC.mL⁻¹) de, respectivamente, $2,5 \times 10^3$; $2,5 \times 10^3$ e $5,5 \times 10^1$. Xavier (2010) analisou a qualidade

de águas pluviais sem descarte em cisternas no semiárido paraibano e encontrou concentrações de Coliformes totais (NMP.100 mL⁻¹), *E. coli* (NMP.100 mL⁻¹), e Bactérias heterotróficas totais (UFC.mL⁻¹) de, respectivamente, $2,5 \times 10^3$; $2,5 \times 10^3$ e 1×10^4 .

É de amplo conhecimento a recomendação para se utilizar dispositivos de descarte do escoamento inicial à melhoria da qualidade da água armazenada. Todavia, a quantidade ou altura (mm) adequada a ser descartada é controversa, e o sistema de desvio necessário à abstração da primeira chuva pode tornar a captação mais complexa. A NBR 15527 (ABNT, 2007) indica a instalação de dispositivos de descarte da primeira chuva no sistema de aproveitamento de águas pluviais, os quais devem ser dimensionados pelo projetista. A referida norma recomenda ainda que, na falta de dados confiáveis, sejam descartados 2 mm da precipitação inicial. Vários trabalhos na literatura apresentam valores distintos de descarte da primeira chuva. Martinson e Thomas (2005) realizaram um estudo sobre quanto do escoamento inicial deveria ser descartado, recomendando entre 0,0 e 8,5 mm, baseados na média de turbidez de escoamento e na turbidez desejada na entrada do reservatório.

Xavier (2010) avaliou a influência de barreiras sanitárias por meio da análise de águas pluviais coletadas após a instalação de dispositivos de desvio, correspondentes a 1mm das primeiras águas, em duas das cisternas em estudo. Um dispositivo de desvio foi baseado no princípio do fecho hídrico (DFH), e apresentou concentrações de Coliformes totais (NMP.100 mL⁻¹), *E. coli* (NMP.100 mL⁻¹), e Bactérias heterotróficas totais (UFC.mL⁻¹) de, respectivamente, 1×10^3 ; $1,7 \times 10^1$ e $1,5 \times 10^3$ antes do DFH; e $1,5 \times 10^3$; $2,3 \times 10^2$ e $1,7 \times 10^3$ depois do DFH; o outro dispositivo de desvio foi baseado no princípio de vasos comunicantes (DVC) e apresentou concentrações de Coliformes totais (NMP.100 mL⁻¹), *E. coli* (NMP.100 mL⁻¹), e Bactérias heterotróficas totais (UFC.mL⁻¹) de, respectivamente, $1,7 \times 10^3$; $1,45 \times 10^2$ e $5,7 \times 10^3$ antes do DVC; e $1,7 \times 10^3$; $4,1 \times 10^2$ e 4×10^3 depois do DVC.

Murakami e Moruzzi (2008) realizaram um estudo em Ipeúna, São Paulo, sobre a qualidade microbiológica de águas pluviais coletadas com 2 mm de descarte e encontraram concentrações de coliformes termotolerantes de $1,3 \times 10^6$ NMP.100 mL⁻¹ e bactérias heterotróficas de $9,9 \times 10^3$ UFC.mL⁻¹. Tais resultados ilustram que os dispositivos de descarte não atuam com eficiência na remoção de micro-organismos, sendo necessário o emprego dos processos de desinfecção.

As variabilidades temporal e espacial dos parâmetros que aferem sobre a qualidade da água pluvial requerem análise estatística adequada. Nesse sentido, estudos realizados por Zimmermann *et al.* (2008), Bernardi *et al.* (2009), Moura *et al.* (2010) e Lee *et al.* (2011) indicam a análise de componentes principais como uma técnica estatística bastante interessante em estudos físico-químicos de águas, pois possibilita a investigação das inter-relações entre as variáveis consideradas.

No que tange ao tratamento de águas pluviais e considerando-se que a concepção é a fase preliminar do projeto de sistemas de tratamento na qual a tecnologia é selecionada, o estudo de variabilidade da

Tabela 1 – Parâmetros da qualidade de água pluvial para fins não potáveis (ABNT, 2007).

Parâmetro	Análise	Valor
Cor aparente	Mensal	<15,0 uH
Turbidez	Mensal	<2,0 uT; para usos menos restritivos <5,0 uT
pH	Mensal	6,0 a 8,0 no caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência em 100 mL

uT: unidade de turbidez; uH: unidade de Hazen.

Fonte: Adaptado de NBR 15527 (ABNT, 2007).

qualidade de tais águas é condição imprescindível para a concepção adequada de sistemas suficientemente adaptados.

Desse modo, o presente trabalho investigou a variabilidade da qualidade de águas pluviais e suas variáveis significativas por meio da Análise de Componentes Principais, com vistas a subsidiar decisões pertinentes à concepção de sistemas, à execução de projetos e à operação das unidades de tratamento de águas pluviais, tanto para fins não potáveis como para potáveis.

METODOLOGIA

O estudo foi realizado no Centro de Estudos Ambientais (CEA) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp), situado no município de Rio Claro, São Paulo, localizado a 173 km a noroeste da capital do estado de São Paulo.

Rio Claro pertence à bacia hidrográfica do Rio Corumbataí, que se estende por aproximadamente 1.710 km² e abriga os biomas de Cerrado e Mata Atlântica e a Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade, a qual se expande por uma área de 2.230,53 hectares. Esta abriga uma diversidade de espécies de macrófitas aquáticas, mais de 60 tipos diferentes de eucaliptos, além dos híbridos espontâneos e induzidos (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2005).

Segundo a classificação de Köppen, o município de Rio Claro é determinado como Cwa, com temperatura média do mês mais frio entre -3 e 18°C, e do mais quente superior a 22°C, com inverno seco (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2005; CEPAGRI, [2012?]). O regime pluviométrico médio de 1994 a 2011 é apresentado na Figura 1 e caracterizado por verão chuvoso e inverno seco. O histograma foi dividido em faixas chamadas de: chuvas intensas; chuvas ou estiagem, de forma a permitir a comparação com dados de qualidade de manancial superficial descritos na literatura, os quais serão posteriormente apresentados.

Para coletar amostras de águas pluviais com diferentes alturas precipitadas (mm) e períodos de estiagem (dias), utilizou-se uma cobertura com telhas cerâmicas, área projetada de aproximadamente 10 m² e um reservatório com capacidade para 200 L, disposto de modo a receber a água coletada pela calha após escoar sobre a superfície do telhado, sem descarte. Dessa forma, a altura precipitada máxima correspondeu a uma chuva de 20 mm. Para cada evento de chuva, realizaram-se a coleta da amostra de água pluvial e as análises qualitativas, sendo que cada uma corresponde exclusivamente à determinada precipitação, uma vez que o reservatório foi posteriormente esvaziado e lavado, em cada evento de chuva.

A Estação Pluviométrica do Centro de Análise e Planejamento Ambiental (CEAPLA), instalada nas dependências do *Campus* da Unesp em Rio Claro, forneceu as alturas precipitadas (mm) e, com base na área (m²) de projeção horizontal do telhado, foram determinados os volumes precipitados e coletados.

Para cada amostra, foram analisadas as variáveis recomendadas pela NBR 15527 (ABNT, 2007), as quais são: cor aparente (uH), turbidez (uT),

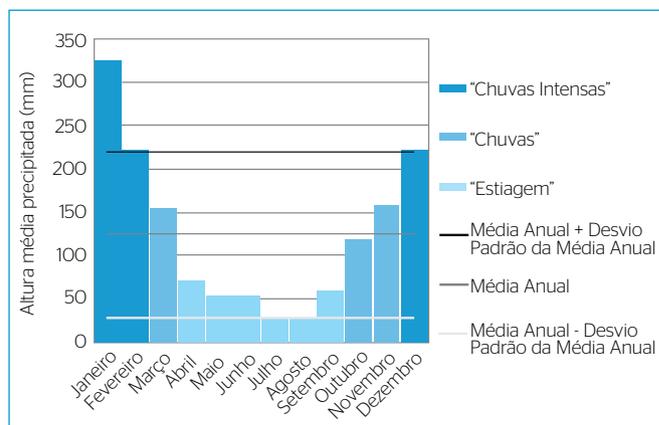


Figura 1 - Histograma de pluviosidade média da estação meteorológica CEAPLA/Unesp.

pH, coliformes totais (NMP.100 mL⁻¹) e termotolerantes (NMP.100 mL⁻¹), além de temperatura (°C), sólidos totais (mg.L⁻¹), sólidos totais fixos (mg.L⁻¹), sólidos totais voláteis (mg.L⁻¹), sólidos suspensos totais (mg.L⁻¹), sólidos suspensos fixos (mg.L⁻¹), sólidos suspensos voláteis (mg.L⁻¹), sólidos dissolvidos totais (mg.L⁻¹), sólidos dissolvidos fixos (mg.L⁻¹) e sólidos dissolvidos voláteis (mg.L⁻¹). Embora tal norma (ABNT, 2007) recomende a análise de coliformes termotolerantes, neste trabalho foram analisadas somente as *E. coli*, as quais pertencem ao grupo das bactérias termotolerantes e indicam contaminação fecal.

Na Tabela 2 estão apresentados os parâmetros qualitativos analisados e seus respectivos métodos empregados, os quais seguiram procedimentos da APHA (2005).

A partir dos resultados das variáveis qualitativas das amostras de águas pluviais coletadas, dos diferentes volumes de chuva e dos períodos de estiagem antecedentes, foi realizada a análise de componentes principais, que foi aplicada com coletas entre 23 de março de 2010 e 26 de abril de 2012, sendo utilizadas amostras de 43 precipitações visando a identificar as variáveis físico-químicas e microbiológicas que mais influenciam a variabilidade da qualidade das águas pluviais coletadas e estudar as inter-relações entre essas variáveis.

A análise de componentes principais foi realizada a partir dos dados de uma matriz de 17 linhas/variáveis por 43 colunas/observações, no tipo R. Para a extração dos componentes principais, foi utilizado o critério de porcentagem da variância, o qual indica que, em ciências da Terra, o procedimento para obtenção de fatores não deve ser interrompido até que os fatores extraídos expliquem no mínimo 95% da variância ou até que o último explique um percentual menor que 5% (HAIR *et al.*, 2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As precipitações e as águas pluviais escoadas em superfícies de captação sofrem variações temporal e espacial, refletindo em suas quantidades e qualidades, o que torna imprescindível a análise dedicada caso a caso. Todavia,

salienta-se que a variabilidade das características físico-químicas das águas pluviais e a capacidade limitada de estocagem de afluente no sistema de aproveitamento da água pluvial (regularização de vazão) requerem instalações com grande flexibilidade operacional, diferentemente do que ocorre em sistemas de tratamento de águas para abastecimento, os quais se deparam com pequenas variações do afluente ou com variações sazonais de certa forma previsíveis, devido à capacidade de amortecimento dos mananciais.

As variações de qualidade da água pluvial obtidas nesta pesquisa são apresentadas na Tabela 3, seguindo as mesmas denominações adotadas por Di Bernardo e Paz (2008) para as três épocas do ano.

Ao observar a Tabela 3 são perceptíveis grandes variações de qualidade da água em uma mesma época do ano. A partir dos dados apresentados na Tabela 3, também é possível notar que a variabilidade das variáveis qualitativas é maior durante o período de estiagem e diminui com o aumento da frequência de eventos chuvosos. Para cor aparente o desvio padrão é de 242,59 na época de estiagem, de 27,20 no período de chuvas e de 16,86, durante as chuvas intensas; para turbidez, o desvio padrão é de 51,71; 5,05 e de 1,85, para as épocas de estiagem, chuvas e chuvas intensas, respectivamente. Em termos de amplitude em torno da média, para cor aparente são encontrados valores da ordem de 195% para estiagem e 175% para época de chuvas intensas; para turbidez, os valores são da ordem de 196% para a época de estiagem e de 165% para o período de chuvas intensas. A fim de ilustrar a diferença de abordagem entre águas de mananciais e aquela que deve ser considerada em pluviais, apresenta-se um caso de variabilidade

temporal de manancial descrito na literatura. Di Bernardo e Paz (2008) apresentaram as variações médias de qualidade da água de um manancial em três épocas distintas do ano, denominadas: estiagem; chuvas e chuvas intensas, conforme apresentado na Tabela 4.

Ao observar a Tabela 4 é possível notar que existem variações sazonais, as quais apresentam valores bastante distintos. No entanto, ao se comparar as variações em cada época chuvosa notam-se amplitudes em torno do valor médio de cor aparente da ordem de 2,5 a 5,5%, para a época denominada de chuvas intensas e de estiagem, respectivamente. Para a turbidez, estes variam de 4,5 a 30%, considerando a época de chuvas intensas e estiagem, respectivamente.

A comparação entre os dados apresentados nas Tabelas 3 e 4 indicam que a variabilidade da qualidade de águas pluviais é muito superior àquelas de mananciais. Tal análise pressupõe que o sistema para tratamento de água pluvial deve ser adaptado a essas variações sazonais das correntes de entrada (afluentes) ao sistema.

A Tabela 5 apresenta as estatísticas descritivas das variáveis qualitativas das 43 amostras das águas pluviais estudadas. Ao comparar os limites estabelecidos pela NBR 15527 (ABNT, 2007), expostos na Tabela 1, com os resultados das estatísticas descritivas apresentados na Tabela 5, é possível verificar que, em média, os valores de cor aparente (66,36 uH), turbidez (12,58 uT), coliformes totais e *E. coli* (1×10^4 e 2×10^3 NMP.100 mL⁻¹) ultrapassam os limites (15 uH, 2 uT, ausência de coliformes totais e *E. coli*) para usos não potáveis estabelecidos

Tabela 2 - Parâmetros qualitativos analisados e métodos empregados.

Parâmetros analisados	Unidade	Método utilizado
Cor aparente	uH	Espectrofotômetro (HACH DR 2800)
Turbidez	uT	Turbidímetro (HACH DR 2100P)
pH	unidade de pH	Determinador multi-parâmetros (TECNAL TEC-3P-MP)
Coliformes Totais	NMP/100mL	Substrato Cromogênico e Fluorogênico (Colilert)
<i>E. coli</i>	NMP/100mL	Substrato Cromogênico e Fluorogênico (Colilert)
Temperatura	°C	Determinador multi-parâmetros (TECNAL TEC-3P-MP)
Sólidos Totais	mg.L ⁻¹	Standard Methods 2540 B
Sólidos Totais Fixos	mg.L ⁻¹	Standard Methods 2540 E
Sólidos Totais Voláteis	mg.L ⁻¹	Standard Methods 2540 E
Sólidos Suspensos Totais	mg.L ⁻¹	Standard Methods 2540 D
Sólidos Suspensos Fixos	mg.L ⁻¹	Standard Methods 2540 E
Sólidos Suspensos Voláteis	mg.L ⁻¹	Standard Methods 2540 E
Sólidos Dissolvidos Totais	mg.L ⁻¹	Standard Methods 2540 C
Sólidos Dissolvidos Fixos	mg.L ⁻¹	Standard Methods 2540 E
Sólidos Dissolvidos Voláteis	mg.L ⁻¹	Standard Methods 2540 E

Protocolos do Standard Methods referem-se à APHA (2005).

Tabela 3 - Estatísticas descritivas de variáveis qualitativas das águas pluviais coletadas nas três épocas distintas do ano.

Variável	Estiagem				Chuvas				Chuvas intensas			
	Mín	Máx	\bar{x}	σ	Mín	Máx	\bar{x}	σ	Mín	Máx	\bar{x}	σ
Cor Aparente (uH)	11,00	853,33	139,86	242,59	11,00	118,00	54,38	27,20	4,33	65,33	20,36	16,86
Turbidez (uT)	1,28	140,67	30,03	51,71	1,83	20,30	8,39	5,05	0,76	7,89	3,10	1,85
pH	5,90	8,70	6,94	0,76	5,90	7,39	6,64	0,34	6,35	8,30	6,86	0,52

Mín: Mínimo; Máx: Máximo; \bar{x} : Média; σ : Desvio Padrão.

Número de observações: Estiagem: 12; Chuvas: 16; Chuvas intensas: 15; Número de observações com dados faltantes: 0.

pela norma. As estatísticas descritivas dos parâmetros qualitativos de águas pluviais de estudos recentes (MURAKAMI, 2011; NAKADA & MORUZZI, 2011; NAKADA *et al.*, 2012) estão compiladas na Tabela 6, sendo possível notar que tais estudos apresentam resultados semelhantes àqueles apresentados na Tabela 5, no sentido de que, em média, os parâmetros cor aparente (uH), turbidez (uT), coliformes totais e *E. coli* (NMP/100 mL) excedem os limites impostos pela NBR 15527 (ABNT, 2007).

Com base nos resultados apresentados nas Tabelas 5 e 6, pode-se verificar a necessidade da adoção de processos e operações apropriados ao tratamento de águas pluviais para o aproveitamento seguro das águas coletadas, mesmo para fins não potáveis.

Os resultados das estatísticas descritivas indicam a presença de matéria orgânica precursora dos subprodutos da desinfecção, por meio da análise indireta de cor aparente e sólidos totais voláteis – STV (DI BERNARDO & DANTAS, 2005; MOTA, 2008; RICHTER, 2009), com médias de 66,36 uH e 66,72 mg.L⁻¹, respectivamente. Isso indica também que deve-se atentar para o emprego de técnicas de desinfecção alternativas à cloração ou ainda a adoção de tecnologias apropriadas à remoção segura desses precursores antes da aplicação do cloro.

A Tabela 7 apresenta a matriz de correlação, com um nível de significância $\alpha=0,05$, entre as variáveis físico-químicas e microbiológicas para o modelo de análise de componentes principais.

A partir da observação da Tabela 7 é possível notar elevado coeficiente de correlação entre período de estiagem e turbidez (0,792), o que pode ser explicado analisando o estudo realizado por Yaziz *et al.* (1989), no qual os autores concluíram que a deposição de poluentes provenientes da atmosfera nas superfícies dos telhados durante o período seco exerce grande influência sobre a qualidade das águas escoadas por tais superfícies, sendo que quanto maior o período de estiagem, maior a quantidade de poluentes depositados nas superfícies dos telhados. Também é possível observar elevados coeficientes de correlação entre cor aparente e turbidez (0,893); cor aparente e sólidos suspensos totais (0,874); cor aparente e sólidos suspensos fixos (0,867) e cor aparente e sólidos suspensos voláteis (0,832).

Tabela 4 - Variações de qualidade da água de um manancial nas épocas de estiagem, chuvas e chuvas intensas, valores mínimos e máximos.

Parâmetro	Épocas do ano		
	Estiagem	Chuvas	Chuvas intensas
Cor aparente (uH)	89 a 94	340 a 360	750 a 770
Turbidez (uT)	10,2 a 14	46 a 50	105 a 110
pH	6,95 a 7,1	7 a 7,2	6,95 a 7,15

Fonte: Adaptado de Di Bernardo e Paz (2008).

Tabela 5 - Estatística descritiva das variáveis qualitativas de águas pluviais coletadas.

Variável	Mín	Máx	\bar{x}	σ
Precipitação	0,10	138,70	17,98	25,68
Estiagem	0,00	35,00	3,51	6,64
Cor	4,33	853,33	66,36	134,64
Turbidez	0,76	140,67	12,58	28,92
ST	7,00	629,00	141,33	110,40
SST	0,80	154,00	12,00	27,45
SdT	6,00	628,20	129,32	104,06
STF	0,00	250,00	74,95	76,36
SSF	0,00	112,00	6,18	20,41
SDF	0,00	222,00	68,77	70,65
STV	6,00	629,00	66,72	99,49
SSV	0,80	42,00	5,77	7,58
SDV	0,00	628,20	60,55	99,97
pH	5,90	8,70	6,80	0,55
T	17,80	27,50	22,87	2,49
Col. Totais	$6,5 \times 10^2$	$2,4 \times 10^4$	1×10^4	1×10^4
<i>E. coli</i>	0	$2,4 \times 10^4$	2×10^3	$4,6 \times 10^3$

Precipitação: altura precipitada (mm); Estiagem: Período de estiagem precedente à coleta (dias); Cor: Cor Aparente (uH); Turbidez (uT); ST: Sólidos Totais (mg.L⁻¹); SST: Sólidos Suspensos Totais (mg.L⁻¹); SdT: Sólidos Dissolvidos Totais (mg.L⁻¹); STF: Sólidos Totais Fixos (mg.L⁻¹); SSF: Sólidos Suspensos Fixos (mg.L⁻¹); SDF: Sólidos Dissolvidos Fixos (mg.L⁻¹); STV: Sólidos Totais Voláteis (mg.L⁻¹); SSV: Sólidos Suspensos Voláteis (mg.L⁻¹); SDV: Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg.L⁻¹); pH; T: Temperatura da água armazenada em graus Celsius (°C); Col. Totais: Coliformes Totais (NMP/100 mL); *E. coli* (NMP/100 mL); Mín: Mínimo; Máx: Máximo; \bar{x} : Média; σ : Desvio Padrão.

Número de observações: 43; Número de observações com dados faltantes: 0.

Tabela 6 - Estatísticas descritivas dos resultados de parâmetros qualitativos obtidos por Murakami (2011), Nakada e Moruzzi (2011) e Nakada *et al.* (2012).

	Murakami (2011)				Nakada e Moruzzi (2011)				Nakada <i>et al.</i> (2012)			
	Mín	Máx	\bar{x}	σ	Mín	Máx	\bar{x}	σ	Mín	Máx	\bar{x}	σ
Precipitação	10,30	119,70	33,18	24,33	0,10	138,70	15,92	27,72	0,20	89,80	21,25	23,64
Estiagem	0,00	3,00	0,67	1,09	0,00	35,00	4,04	8,25	0,00	12,00	2,71	3,51
Cor	21,00	142,00	78,61	36,16	5,00	853,33	87,99	173,87	4,00	84,00	36,41	22,86
Turbidez	5,00	38,50	16,39	10,50	1,28	140,67	17,94	37,24	0,80	10,00	5,03	2,84
pH	4,70	7,30	6,02	0,76	5,90	8,70	6,80	0,58	6,20	8,30	6,83	0,53
Col. totais	$1,4 \times 10^3$	$2,4 \times 10^5$	$8,9 \times 10^4$	$8,8 \times 10^4$	$1,3 \times 10^3$	$2,4 \times 10^3$	$2,4 \times 10^3$	$2,2 \times 10^2$	$6,5 \times 10^2$	$2,4 \times 10^4$	$2,1 \times 10^4$	$6,8 \times 10^3$
<i>E.coli</i>	$5,7 \times 10^1$	$3,3 \times 10^3$	$7,9 \times 10^2$	$9,2 \times 10^2$	2×10^1	$2,4 \times 10^3$	$1,3 \times 10^3$	$1,1 \times 10^3$	0	$2,4 \times 10^4$	$3,2 \times 10^3$	$7,1 \times 10^3$

Precipitação: altura precipitada (mm); Estiagem: Período de estiagem precedente à coleta (dias); Cor: Cor Aparente (uH); Turbidez (uT); pH; Col. Totais: Coliformes totais (NMP/100 mL); *E. coli* (NMP/100 mL); Mín: Mínimo; Máx: Máximo; \bar{x} : Média; σ : Desvio Padrão.

Murakami (2011) analisou 18 amostras entre 08/11/2009 e 29/01/2010; Nakada e Moruzzi (2011) analisaram 25 amostras entre 23/03/2010 e 21/01/2011;

Nakada *et al.* (2012) analisaram 17 amostras entre 12/10/2011 e 21/04/2012.

Tabela 7 - Matriz de correlação entre as variáveis físico-químicas e microbiológicas, destacando-se as correlações consideradas significativas com um nível de significância $\alpha=0,05$ para o modelo de análise dos componentes principais.

	Precipitação	Estiagem	Cor	Turbidez	ST	SST	SDT	STF	SSF	SDF	STV	SSV	SDV	pH	T	Col. Totais	<i>E. coli</i>
Precipitação	1																
Estiagem	-0,107	1															
Cor	-0,174	0,586	1														
Turbidez	-0,104	0,792	0,893	1													
ST	0,072	0,106	0,314	0,256	1												
SST	-0,168	0,476	0,874	0,679	0,349	1											
SDT	0,120	-0,013	0,102	0,092	0,969	0,106	1										
STF	0,103	0,114	0,365	0,333	0,480	0,438	0,394	1									
SSF	-0,146	0,472	0,867	0,672	0,342	0,993	0,100	0,403	1								
SDF	0,154	-0,014	0,144	0,166	0,420	0,187	0,396	0,964	0,147	1							
STV	-0,002	0,030	0,067	0,028	0,745	0,050	0,777	-0,225	0,070	-0,263	1						
SSV	-0,214	0,457	0,832	0,649	0,340	0,949	0,110	0,494	0,905	0,273	-0,004	1					
SDV	0,015	-0,005	0,004	-0,021	0,718	-0,021	0,767	-0,260	0,002	-0,282	0,997	-0,079	1				
pH	0,141	-0,010	-0,084	-0,019	0,048	0,000	0,051	0,048	0,011	0,049	0,014	-0,028	0,019	1			
T	0,070	-0,197	-0,201	-0,303	0,092	-0,141	0,135	-0,185	-0,129	-0,163	0,235	-0,164	0,246	-0,323	1		
Col. Totais	0,103	-0,087	-0,171	-0,200	-0,114	-0,252	-0,054	-0,589	-0,217	-0,574	0,326	-0,322	0,343	0,047	0,371	1	
<i>E. coli</i>	0,112	-0,113	-0,041	-0,047	0,081	-0,054	0,100	0,022	-0,052	0,039	0,073	-0,053	0,078	0,400	-0,085	0,248	1

Precipitação: altura precipitada (mm); Estiagem: Período de estiagem precedente à coleta (dias); Cor: Cor Aparente (uH); Turbidez (uT); ST: Sólidos Totais (mg.L⁻¹); SST: Sólidos Suspensos Totais (mg.L⁻¹); SDT: Sólidos Dissolvidos Totais (mg.L⁻¹); STF: Sólidos Totais Fixos (mg.L⁻¹); SSF: Sólidos Suspensos Fixos (mg.L⁻¹); SDF: Sólidos Dissolvidos Fixos (mg.L⁻¹); STV: Sólidos Totais Voláteis (mg.L⁻¹); SSV: Sólidos Suspensos Voláteis (mg.L⁻¹); SDV: Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg.L⁻¹); pH; T: Temperatura da água armazenada em graus Celsius (°C); Col. Totais: Coliformes Totais (NMP/100 mL); *E. coli*: (NMP/100 mL).

A Tabela 8 mostra as medidas descritivas do modelo empregado na extração de fatores, quando aplicado o critério da porcentagem da variância.

Ao observar a Tabela 8 é possível notar que o modelo que melhor se ajustou aos dados foi aquele composto por oito fatores, de modo a explicar 96,156% da variabilidade total das variáveis originais, atendendo ao critério mínimo de 95% da variância ou até que o último fator explique um percentual menor que 5%, conforme proposto por Hair *et al.* (2009).

Na Tabela 9 são apresentadas as cargas fatoriais (correlação entre as variáveis originais e os fatores) dos fatores extraídos, aplicado o critério da porcentagem da variância.

A partir da observação dos resultados apresentados na Tabela 9 é possível considerar que o fator 1 (F1) é influenciado, principalmente, pelas variáveis qualitativas cor aparente (uH), turbidez (uT), sólidos suspensos – totais, fixos e voláteis (mg.L⁻¹), sólidos totais (mg.L⁻¹), sólidos totais fixos (mg.L⁻¹) e pelo período de estiagem (dias); o 2 (F2) é influenciado pelas variáveis sólidos totais (mg.L⁻¹), sólidos totais voláteis (mg.L⁻¹), sólidos dissolvidos – totais e voláteis (mg.L⁻¹); o 3 (F3) sofre influências significativas das variáveis sólidos fixos – totais e dissolvidos (mg.L⁻¹) e coliformes totais (NMP.100 mL⁻¹); o 4 (F4) é influenciado pelas variáveis qualitativas pH, temperatura (°C) e *E. coli* (NMP.100 mL⁻¹); o 5 (F5) sofre influências pela altura precipitada (mm) e temperatura (°C); o 6 (F6) é principalmente influenciado por altura precipitada (mm) e período de estiagem (dias); o 7 (F7) sofre maior influência por *E. coli* (NMP.100 mL⁻¹); e o 8 (F8), pelo pH.

Ao comparar os resultados das Tabelas 8 e 9 é possível verificar que o F1 explica 32,467% da variabilidade dos dados e está associado às variáveis indicativas da deposição de sólidos durante o período de estiagem; o F2, por sua vez, explica 20,9% da variabilidade dos dados e está associado às variáveis

indiretas indicativas de material dissolvido; o F3 explica 14,6% da variabilidade dos dados e está associado a uma variável indicativa de contaminação fecal e outra de matéria inorgânica ou mineral, a contaminação pode estar relacionada à presença de aves e pequenos mamíferos nos arredores do local de coleta e a matéria mineral ao transporte de sedimentos, pois há caminhos de terra nos arredores. Já o F4 mostra 9,256% da variabilidade dos dados e está associado com pH, temperatura e *E. coli*, o que indica presença de organismos de vida livre que podem apresentar diferentes resistências às variações de pH das águas pluviais; o F5 explica 6,221% da variabilidade dos dados e está associado à altura precipitada e à temperatura, duas variáveis independentes das demais; o F6 explica 5,642% da variabilidade dos dados e está associado com altura precipitada e período de estiagem, ambos independentes das demais variáveis; o F7 explica 4,045% da variabilidade dos dados e indica contaminação fecal; e o F8 explica 2,965% da variabilidade dos dados e está relacionado principalmente com pH e temperatura, variáveis interdependentes.

Na Figura 2 são apresentados o F1 *versus* o F2 para possibilitar uma visualização mais detalhada dos dados, considerando as indicações de Moita Neto e Moita (1998) de que um gráfico do primeiro fator *versus* o segundo oferece uma janela estatisticamente privilegiada para a observação dos dados.

A partir da Figura 2 é possível visualizar três agrupamentos de variáveis, sendo que elas foram agrupadas em função das inter-relações apresentadas entre si. É possível verificar um agrupamento com variáveis que indicam deposição de sólidos durante período de estiagem; outro com aquelas que indicam presença e decomposição de matéria orgânica e um que sugere que a presença de organismos de vida livre e indicadores de contaminação fecal são influenciados pelo pH, pela temperatura e pela altura precipitada.

Assim, a análise de componentes principais possibilitou a identificação de três grupos indicadores das inter-relações entre período de estiagem antecedente (dias), sólidos em suspensão e turbidez; pH, coliformes totais e *E. coli*; sólidos totais dissolvidos e voláteis. Adicionalmente, os agrupamentos das cargas fatoriais evidenciam fortes relações entre o período de estiagem e os parâmetros que definem a presença de material particulado na água pluvial, trazendo uma primeira aproximação ao projetista quanto à tecnologia de tratamento mais apropriada para o tratamento dessas águas.

Os dados obtidos nesta pesquisa mostraram que a variação da qualidade de água afluyente, juntamente com a operação intermitente dos sistemas são fatores decisivos para a concepção dos sistemas de tratamento de águas pluviais. Dessa forma, é importante evidenciar que, no caso de águas pluviais escoadas em coberturas, a grande variabilidade de qualidade traz um alerta para a importância das instalações. Estas devem priorizar unidades com operação suficientemente adaptada para minimizar os efeitos decorrentes da interferência causada pela elevada variabilidade da qualidade de águas pluviais. Em pequenos sistemas de tratamento fica mais evidente que qualquer alteração da qualidade é rapidamente propagada de montante para jusante, devido à baixa capacidade de amortecimento do sistema. Essa característica somada à operação intermitente desses sistemas constituem as principais distinções que devem ser consideradas, quando da concepção da tecnologia, entre sistemas que tratam águas de mananciais e aqueles dedicados ao tratamento de água pluvial escoada em superfícies.

CONCLUSÕES

As águas pluviais coletadas e armazenadas requerem tratamento prévio ao aproveitamento para promover a remoção de sólidos e a exclusão e/ou inativação de micro-organismos potencialmente patogênicos, visando a assegurar a qualidade da água. A análise de componentes principais possibilitou a identificação de três grupos, indicadores das inter-relações entre período de estiagem antecedente (dias), sólidos em suspensão e turbidez; pH, coliformes totais e *E. coli*; sólidos totais dissolvidos e voláteis. Os agrupamentos das cargas fatoriais evidenciam fortes relações entre o período de estiagem e os parâmetros que definem a presença de material particulado na água pluvial, trazendo uma primeira aproximação ao projetista quanto à tecnologia de tratamento mais apropriada para o tratamento de tais águas.

À luz dessas informações destaca-se que a variação da qualidade de água afluyente, juntamente com a operação intermitente dos sistemas são fatores decisivos para a concepção dos sistemas de tratamento de águas pluviais e devem ser consideradas pelos projetistas.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento da bolsa em nível de Mestrado, referente ao processo 2009/11726-7.

Tabela 8 – Medidas descritivas do modelo empregado na extração de fatores.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Autovalor	5,519	3,562	2,483	1,574	1,058	0,959	0,688	0,504
Variabilidade (%)	32,467	20,953	14,606	9,256	6,221	5,642	4,045	2,965
% acumulada	32,467	53,421	68,027	77,283	83,504	89,146	93,191	96,156

Tabela 9 – Cargas fatoriais dos fatores extraídos.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Precipitação	-0,141	0,118	0,324	0,231	0,483	0,647	-0,345	-0,177
Estiagem	0,591	-0,105	-0,396	0,097	-0,182	0,478	0,280	0,250
Cor	0,896	-0,062	-0,318	0,030	0,085	0,030	0,047	-0,115
Turbidez	0,819	-0,100	-0,281	0,119	-0,100	0,330	0,218	-0,010
ST	0,525	0,787	0,313	-0,051	-0,045	-0,013	0,007	0,007
SST	0,910	-0,066	-0,227	0,007	0,187	-0,185	-0,190	-0,014
SDT	0,317	0,852	0,392	-0,056	-0,098	0,035	0,058	0,012
STF	0,647	-0,113	0,720	-0,071	0,118	-0,013	0,107	0,064
SSF	0,889	-0,048	-0,256	0,022	0,199	-0,167	-0,212	-0,016
SDF	0,443	-0,108	0,852	-0,083	0,070	0,034	0,177	0,074
STV	0,089	0,960	-0,197	-0,002	-0,147	-0,006	-0,070	-0,046
SSV	0,902	-0,110	-0,143	-0,031	0,143	-0,220	-0,122	-0,014
SDV	0,021	0,965	-0,183	0,002	-0,159	0,010	-0,062	-0,045
pH	0,001	0,037	0,172	0,819	-0,108	-0,104	-0,268	0,442
T	-0,259	0,352	-0,137	-0,468	0,606	-0,076	0,145	0,359
Col. Totais	-0,417	0,360	-0,522	0,234	0,380	0,043	0,152	0,047
<i>E. coli</i>	-0,060	0,158	0,119	0,730	0,280	-0,267	0,417	-0,236

Precipitação: altura precipitada (mm); Estiagem: Período de estiagem precedente à coleta (dias); Cor: Cor Aparente (uH); Turbidez (uT); ST: Sólidos Totais (mg.L⁻¹); SST: Sólidos Suspensos Totais (mg.L⁻¹); SDT: Sólidos Dissolvidos Totais (mg.L⁻¹); STF: Sólidos Totais Fixos (mg.L⁻¹); SSF: Sólidos Suspensos Fixos (mg.L⁻¹); SDF: Sólidos Dissolvidos Fixos (mg.L⁻¹); STV: Sólidos Totais Voláteis (mg.L⁻¹); SSV: Sólidos Suspensos Voláteis (mg.L⁻¹); SDV: Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg.L⁻¹); pH: T: Temperatura da água armazenada em graus Celsius (°C); Col. Totais: Coliformes Totais (NMP/100 mL⁻¹); *E. coli*: (NMP/100 mL⁻¹).

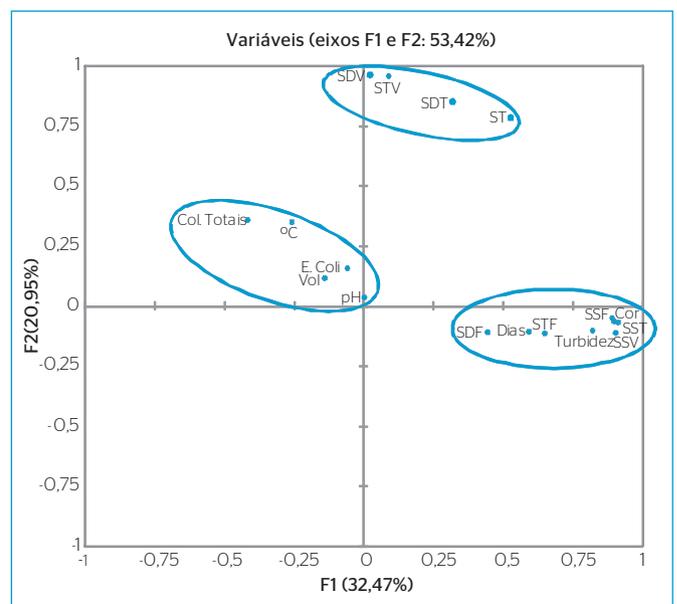


Figura 2 – Gráfico de cargas fatoriais para os dois primeiros fatores - F1 e F2.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. (2005) *Conservação e reuso da água em edificações*. MMA/ANA/SINDUSCON/COMASP/FIESP/SESI/SENAI/IRS. São Paulo, Volume único. 152 p.
- AHMED, W.; HODGERS, L.; SIDHU, J.P.S.; TOZE, S. (2012) Fecal indicators and zoonotic pathogens in household drinking water taps fed from rainwater tanks in Southeast Queensland, Australia. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 78, n. 1, p. 219-226.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (2007) *NBR 15527/2007: Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos*, São Paulo.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION/AMERICAN WATER AND WASTEWATER ASSOCIATION/WATER ENVIRONMENT FEDERATION. (1995) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21th, Baltimore, Maryland, USA.
- BERNARDI, J.V.E.; LACERDA, L.D.; DÓREA, J.G.; LANDIM, P.M.B.; GOMES, J.P.O.; ALMEIDA, R.; MANZATTO, A.G.; BASTOS, W.R. (2009) Aplicação da análise das componentes principais na ordenação dos parâmetros físico-químicos no alto rio Madeira e afluentes, Amazônia ocidental. *Geochimica Brasiliensis*, v. 23, n. 1, p. 79-90.
- CENTRO DE ANÁLISE E PLANEJAMENTO AMBIENTAL – CEAPLA. (2011) *Atlas ambiental da bacia do rio Corumbataí, versão 3*. Rio Claro: CEAPLA. Disponível em: <<http://ceapla2.rc.unesp.br/atlas>>. Acesso em 25 mar. 2012.
- CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA – CEPAGRI. (2012) *Clima dos municípios paulistas*. Campinas. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_494.html>. Acesso em 05 jul. 2012.
- DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.D.B. (2005) *Métodos e técnicas de tratamento de água*. 2 ed. São Carlos: Rima. 1566 p.
- DI BERNARDO, L.; PAZ, L.P.S. (2008) *Seleção de tecnologias de tratamento de água*. São Carlos: LDIBE LTDA, v. 1. 878 p.
- FUNDAÇÃO PARA A CONSERVAÇÃO E A PRODUÇÃO FLORESTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – FUNDAÇÃO FLORESTAL. (2005) *Plano de manejo da Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade*. São Paulo: Fundação Florestal. 330 p.
- GONÇALVES, R.F. (2009) *Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água*. Rio de Janeiro: ABES. 352 p.
- GONÇALVES, R.F. (2006) *Uso racional da água em edificações*. Rio de Janeiro: ABES. 352 p.
- HAIR, J.F.; TATHAM, R.L.; ANDERSON, R.E.; BLACK, W. (2009) *Análise Multivariada de Dados*. 6 ed. Porto Alegre: Bookman. 688p.
- LEE, J.Y.; KIM, H.J.; HAN, M.Y. (2011) Quality assessment of rooftop runoff and harvested rainwater from a building catchment. *Water Science and Technology*, v. 63, n. 11, p. 2725-2731.
- MANCUSO, P.C.S. & SANTOS, H.F. (2003) *A escassez e o reuso de água em âmbito mundial*. São Paulo: Manole. 577 p.
- MARTINSON, D.B. & THOMAS, T. (2005) Quantifying the first-flush phenomenon. In: 12th International Rainwater Catchment Systems Conference, *Anais...* Nova Déli: IRCSA.
- MEERA, V. & AHAMMED, M.M. (2006) Water quality of rooftop rainwater harvesting systems: a review. *Journal of Water Supply - Research and Technology*, v. 55, n. 4, p. 257-268.
- MOITA NETO, J.M. & MOITA, G.C. (1998) Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. *Química Nova*, v. 21, n. 4, p. 467-469.
- MOTA, S. (2008) *Gestão Ambiental de Recursos Hídricos*. 3 ed. Rio de Janeiro: ABES. 343 p.
- MOURA, L.H.A.; BOAVENTURA, G.R.; PINELLI, M.P. (2010) A qualidade de água como indicador de uso e ocupação do solo: Bacia do Gama - Distrito Federal. *Química Nova*, v. 33, n. 1, p. 97-103.
- MURAKAMI, M.F. (2011) *Avaliação do desempenho de uma unidade em escala real para tratamento de água de água pluvial empregando a filtração rápida por meio de filtro de pressão e amido natural de milho como coagulante primário*. 82p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- MURAKAMI, M.F. & MORUZZI, R.B. (2008) Avaliação de parâmetros microbiológicos de água pluvial visando aproveitamento para fins não potáveis: o efeito do tempo de armazenamento. *HOLOS Environment*, v. 8, n. 2, p. 1-4.
- NAKADA, L.Y.K. & MORUZZI, R.B. (2011) Estudo estatístico sobre parâmetros qualitativos de águas pluviais. In: 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, *Anais...* Porto Alegre: ABES.
- NAKADA, L.Y.K.; MORUZZI, R.B.; MARTINI, M.V.P. (2012) Estudo da qualidade de águas pluviais coletadas de diferentes telhados. In: XXXIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, *Anais...* Salvador: ABES – AIDIS.
- RICHTER, C.A. (2009) *Água: métodos e tecnologias de tratamento*. São Paulo: Blucher. 340 p.
- SILVA, C.V. (2006) *Qualidade da água de chuva para consumo humano armazenado em cisternas de placa. Estudo de caso: Araçuaí, MG*. 115p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

TAVARES, A.C. (2009) *Aspectos físicos, químicos e microbiológicos da água armazenada em cisternas de comunidades rurais do semi-árido paraibano*. 169p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

TOMAZ, P. (2005) *Aproveitamento de água da chuva*. 2 ed. São Paulo: Navegar.

YAZIZ, M.I.; GUNTING, H.; SAPARI, N.; GHAZALI, A.W. (1989) Variations in rainwater quality from roof catchments. *Water Research*, v. 23, n. 6, p. 761-765.

XAVIER, R.P. (2010) *Influência de barreiras sanitárias na qualidade da água de chuva armazenada em cisternas no semiárido paraibano*. 114p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

ZIMMERMANN, C.M.; GUIMARÃES, O.M.; PERALTA-ZAMORA, P.G. (2008) Avaliação da qualidade do corpo hídrico do rio Tibagi na região de Ponta Grossa utilizando análise de componentes principais (PCA). *Química Nova*, v. 31, n. 7, p. 1727-1732.