

Artigo Técnico

Qualidade da água de abastecimento público do município de Jaboticabal, SP

Quality of public-supply water in Jaboticabal city, Brazil

Leandro Jorge da Silva¹, Laudicéia Giacometti Lopes², Luiz Augusto Amaral³

RESUMO

ABSTRACT

A água de abastecimento público pode ser um veículo de doenças e agravos à saúde humana, portanto, é necessário um tratamento eficiente e constantes avaliações da sua qualidade. O presente estudo objetivou avaliar a dinâmica populacional de indicadores microbiológicos e parâmetros físico-químicos da qualidade da água em diferentes pontos de uma estação de tratamento de água do tipo convencional, do sistema de distribuição e dos mananciais de abastecimento do município de Jaboticabal, São Paulo, nas estações chuvosa e de seca. Os resultados demonstraram que, apesar do manancial superficial apresentar qualidade microbiológica inferior (comparado aos demais mananciais estudados), após tratamento convencional foi obtida a potabilidade do mesmo. A estação chuvosa foi crítica para amostras coletadas nas etapas logo após adição de cloro, principalmente no sistema de distribuição do manancial subsuperficial. Dentre os pontos avaliados na rede de distribuição, os reservatórios domiciliares apresentaram o maior número de amostras fora do padrão de potabilidade, principalmente na rede abastecida pelo manancial subsuperficial. São necessárias estratégias para a melhoria do processo de tratamento da água do dreno – voltado para a redução da turbidez – principalmente na estação chuvosa; assim como programas de educação em saúde para a população, a fim de melhorar a qualidade da água no ponto de consumo, a partir da limpeza periódica dos reservatórios domiciliares.

Palavras-chave: água de abastecimento público; coliforme; turbidez; fluoreto; cor aparente; cloro residual livre; água potável.

The public-supply water can be a vehicle of disease and harm to human health, therefore, efficient treatment and constant evaluation of its quality is required. The present study aimed to evaluate the population dynamics of microbiological and physico-chemical indicators of water quality parameters at different points of a water treatment plant of the conventional type, in the distribution system and sources of supply in Jaboticabal city, São Paulo state, Brazil, in the rainy and dry seasons. The results showed that although the present fountain surface presents worse microbiological quality (compared to other sources studied) after the conventional treatment, it became potable. The rainy season was critical for samples collected in steps after adding chlorine, especially in the distribution of sub-surface source system. Among the evaluated points in the distribution network, domestic containers had the highest number of samples outside the potability standards, mainly those fueled by the sub-surface source network. Strategies to improve the treatment process of the drain water (turbidity reduction) are needed, especially during the rainy season; as well as health education programs in order to improve water quality at the point of consumption by periodic cleaning of domestic containers.

Keywords: public-supply water; coliform; turbidity; fluoride; apparent color; free residual chlorine; drinking water.

INTRODUÇÃO

Cadeia produtiva pode ser definida como todas as atividades que envolvam a transformação da água disponível no ambiente em água potável, desde o manancial, passando pelo tratamento e rede de distribuição até o reservatório domiciliar (SINGH & DEVI, 2006). Dentro dessa cadeia produtiva existe uma grande quantidade de possíveis pontos

de contaminação e períodos críticos que necessitam ser estudados e identificados. O estudo da cadeia produtiva da água pode ser útil para aumentar a segurança da população consumidora, considerando que os sistemas públicos de abastecimento de água atendem grandes populações e a contaminação da água pode acarretar doenças e agravos em larga escala.

¹Doutor em Microbiologia pela Universidade de São Paulo (USP). Bolsista de Desenvolvimento Tecnológico e Industrial do Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da USP - São Paulo (SP), Brasil.

²Doutora em Química pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP). Química no Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Jaboticabal (SAAEJ) - Jaboticabal (SP), Brasil.

³Doutor em Saúde Pública pela USP. Professor Adjunto da UNESP - Jaboticabal (SP), Brasil.

Endereço para correspondência: Leandro Jorge da Silva - Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Avenida Professor Lineu Prestes, 580, Bloco 20, Conjunto das Químicas - Cidade Universitária - 05508-000 - São Paulo (SP), Brasil - E-mail: btosbio@gmail.com

Recebido: 27/03/13 - **Aceito:** 17/02/16 - **Reg. ABES:** 121151

A avaliação da cadeia produtiva deve considerar as características sazonais do ambiente manancial, como por exemplos, a estação chuvosa e de seca. Nas regiões tropicais, a contaminação da água dos mananciais tende a aumentar na estação chuvosa devido, principalmente, à água de escoamento superficial (NAUMOVA, 2006). Segundo Camargo e Paulosso (2009), a água de escoamento aportando nutrientes e microrganismos foi o principal responsável pela contaminação de poços em Carlinda, Mato Grosso. Além do manancial, o mau funcionamento da estação de tratamento, trabalhos de manutenção e tratamento inadequado são os principais responsáveis pela produção de uma água contaminada (GOLDSTEIN *et al.*, 1996; SILVA *et al.*, 2014).

Além dos riscos existentes na variação das características do manancial em função da sazonalidade e no processo de tratamento, a qualidade da água pode se deteriorar ao longo do sistema de distribuição (AL-JASSER, 2007), possibilitando a ocorrência de doenças e agravos de veiculação hídrica na população consumidora (SEMENZA *et al.*, 1998), como observado em 1993 no sistema de distribuição de água do município de Gideon, Missouri, nos EUA, onde os reservatórios de água potável continham fezes de aves contaminadas por *Salmonella typhimurium*. Essa contaminação resultou em 15 hospitalizações e 7 mortes (HRUDEY; HRUDEY; POLLARD, 2006). No Brasil não há dados na literatura apresentando de forma abrangente a magnitude desse problema.

As chuvas podem depreciar a qualidade da água dentro da rede de distribuição devido à introdução de nutrientes (principalmente carbono orgânico assimilável, que contribui para o crescimento das taxas de metabolismo heterotrófico microbiano) e/ou de bactérias no sistema de distribuição, por meio de fendas nas conexões ou pressão negativa gerada pela interrupção do fluxo da água (LECHEVALLIER; WELCH; SMITH, 1996).

A norma brasileira estabelece padrões de qualidade distintos para águas naturais e tratadas. Para águas naturais, a Resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2005) “dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências”. As águas tratadas são normalizadas conforme a Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011). Essa portaria “dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade”.

O presente estudo objetivou avaliar a qualidade de água em diferentes pontos do sistema de distribuição de água da cidade de Jaboticabal, situada na região nordeste do estado de São Paulo, na estação chuvosa e de seca. Para tanto, foram analisados indicadores microbiológicos e físico-químicos de qualidade de água (coliformes totais, *E. coli*, bactérias mesófilas heterotróficas, turbidez, pH, cor aparente, fluoretos e cloro residual livre – CRL) em diferentes pontos do tratamento

convencional e do sistema de distribuição. Os resultados obtidos foram comparados com os valores máximos permitidos presentes nas normas brasileiras vigentes.

METODOLOGIA

Amostragem

As amostragens foram realizadas em três mananciais utilizados para o abastecimento público do município de Jaboticabal, São Paulo: manancial superficial, subsuperficial e subterrâneo. O manancial superficial denominado Córrego Rico tem 23 km de extensão entre a nascente e o ponto de captação. No entorno do manancial superficial existem propriedades rurais que se dedicam, principalmente, à agricultura e pecuária. Esse manancial, após o tratamento convencional (coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, correção de pH e fluoretação) abastece cerca de 70% da população do município. O manancial subsuperficial (Dreno) tem extensão de 1.950 m e profundidade média de 3,40 m, distribuídos entre 1.120 m sob pastagem e 830 m sob área urbana. A água desse manancial, após tratamento com desinfecção e fluoretação, é distribuída para cerca de 9% da população do município. O terceiro tipo de manancial (manancial subterrâneo – Poço) consiste em um poço que capta água do sistema aquífero Guarani contendo profundidade de 480 m, cuja água, após desinfecção e fluoretação, é distribuída para aproximadamente 18% da população do município. Os pontos de amostragem e o número de amostras variaram de acordo com o sistema estudado, conforme apresentado na Tabela 1. Todas as amostras foram coletadas no período de agosto de 2006 a junho de 2007.

Para o córrego, em cada coleta foram analisadas amostras de água *in natura* (bruta), floculada, decantada, filtrada, após cloração e fluoretação, na entrada da residência e após a passagem pelo reservatório

Tabela 1 – Pontos de amostragem adotados dentro do sistema de distribuição de água do município de Jaboticabal, São Paulo.

	Córrego	Poço	Dreno
Pontos de amostragem no sistema de tratamento e após cloração (15)*			
<i>In natura</i> (bruta)	X		
Floculada	X		
Decantada	X		
Filtrada	X	X	X
Clorada	X	X	X
Pontos de amostragem no sistema de distribuição (30)*			
Entrada da residência	X	X	X
Após reservatório	X	X	X

*Número de amostras coletadas nos pontos de amostragem (chuvosa e de seca). Amostras coletadas de agosto de 2006 a junho de 2007. Os mananciais superficial, subterrâneo e subsuperficial são usualmente intitulados no município de córrego, poço e dreno, respectivamente.

domiciliar. Quanto ao dreno e ao poço, em cada coleta foram analisadas amostras de água *in natura*, após cloração e fluoretação, na entrada da residência e após a passagem pelo reservatório domiciliar. Foram coletadas 15 amostras em cada ponto de amostragem do tratamento convencional e 30 amostras no sistema de abastecimento e após passagem pelo reservatório domiciliar. O maior número de amostras coletadas após tratamento da água foi consequência da maior variação nos resultados obtidos dos parâmetros de qualidade de água.

Análises físico-químicas e microbiológicas de água

Nas amostras foram determinados os valores de turbidez, CRL, pH, fluoretos, cor aparente e as populações de coliformes totais, *Escherichia coli* e microrganismos heterotróficos mesófilos. Para a determinação do número mais provável (NMP.100 mL⁻¹) de coliformes totais e *E. coli* (APHA, 1998), foi adicionado o meio de cultura *Colilert* em 100 mL das amostras (ou das diluições) e após homogeneização, a mistura foi transferida para a cartela Quanti-tray, selada em seladora específica e incubadas a 35°C por 24 h. Após incubação foi realizada a determinação da população de coliformes totais pela contagem das células que apresentaram coloração amarela e utilização de tabela própria. O NMP de *E. coli* foi determinado por comparação do número de poços que apresentaram fluorescência após incidência de raios ultra violeta (UV) com a mesma cartela utilizada para coliformes totais. A determinação da população de microrganismos heterotróficos mesófilos aeróbios ou facultativos viáveis (SILVA *et al.*, 2000) foi realizada com filtração de 100 mL das amostras de água (ou das diluições) em membranas filtrantes com 47 mm de diâmetro e poros de 0,45 µm. As membranas foram depositadas sobre superfície de ágar PCA contido em placas de Petri (50 x 9 mm) e incubadas a 35°C por 48 h. Para as contagens foram utilizadas as placas que apresentaram entre 20 e 200 colônias, expressando a população de microrganismos mesófilos como unidades formadoras de colônias (UFC.m⁻¹).

A concentração de CRL nas amostras de água foi medida no local da coleta, utilizando o disco comparador visual HACH modelo 2100A e como reagente o NN dietil parafenileno diamino (DPD). A leitura foi realizada após adição de 0,5 mL de solução tampão fosfato, 0,5 mL de DPD 0,006 M a 10 mL da amostra em tubo de ensaio e homogeneização da mistura. A concentração de fluoretos foi determinada com fluorímetro HACH Pockt Fluor II. Os resultados tanto de CRL quanto de fluoretos foram expressos em mg.L⁻¹. O pH foi determinado por meio de pHmetro ORION modelo 310. Os valores de turbidez das amostras de água foram obtidos com a utilização de turbidímetro HACH modelo 2100P, conforme descrito no *Standard Methods* (APHA, 1998) e expressos em unidades de turbidez (UT). A cor aparente foi determinada por espectrofotômetro HACH DR/2000 e foi expressa em mg Pt.L⁻¹.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras de água provenientes do córrego, na estação chuvosa e de seca, apresentaram as médias aritméticas das populações de coliformes totais, *E. coli* e microrganismos mesófilos heterotróficos maiores do que os valores obtidos nos demais mananciais. O dreno apresentou populações bacterianas superiores ao poço durante ambas as estações. O córrego e o dreno apresentaram menores contagens de bactérias indicadoras durante a estação de seca. Os ensaios realizados para o poço apresentaram-se livres da presença de coliformes totais e *E. coli*, tanto na estação chuvosa quanto na de seca (Tabela 2).

A maior contaminação do córrego pode estar relacionada ao fato desse ser um manancial superficial e receber água de escoamento carreando microrganismos presentes no ambiente contaminado ou provenientes da suspensão de sedimentos contaminados do fundo do manancial, principalmente na estação chuvosa (AMARAL *et al.*, 2003). Fisher *et al.* (2000) e Servais *et al.* (2007) relataram em estudos realizados nos Estados Unidos e na França, respectivamente, que as áreas de pastagem de gado bovino nas proximidades de um manancial podem atuar como fontes de microrganismos de origem fecal, após escoamento das águas das chuvas. Segundo Baykal, Tanik e Gonenc (2000), os microrganismos heterotróficos podem ser controlados com manejo das águas de escoamento. Para Boyer (2008), o aumento da capacidade de infiltração no solo, o desvio das águas com resíduos, o controle da declividade do relevo e a filtração na vegetação natural podem ser usados para controlar a introdução de patógenos nos mananciais. Comparando os mananciais subterrâneos, o dreno apresentou-se mais contaminado do que o poço durante ambas as estações, pois apresenta profundidade inferior ao poço e está sujeito a menor ação filtrante do solo. Amaral *et al.* (2003), estudando mananciais subterrâneos do nordeste do estado de São Paulo, verificou que os mananciais subterrâneos com profundidade inferior a 20 metros estão mais susceptíveis à percolação dos

Tabela 2 - Populações de bactérias indicadoras viáveis em amostras *in natura* do córrego, poço e dreno durante a estação chuvosa e de seca (Jaboticabal, São Paulo).

Indicadores*	Estação		
	Manancial	Chuvosa	Seca
Coliformes totais	Córrego	1,1 x 10 ⁵	1,0 x 10 ⁴
	Poço	<1,0 x 10 ⁰	<1,0 x 10 ⁰
	Dreno	5,0 x 10 ²	2,2 x 10 ²
<i>E. coli</i>	Córrego	8,7 x 10 ³	4,4 x 10 ²
	Poço	<1,0 x 10 ⁰	<1,0 x 10 ⁰
	Dreno	2,9 x 10 ¹	9,0 x 10 ⁰
Mesófilos	Córrego	6,4 x 10 ³	1,9 x 10 ³
	Poço	0,9 x 10 ⁰	2,7 x 10 ⁰
	Dreno	7,2 x 10 ⁰	1,9 x 10 ¹

*Amostras coletadas de agosto de 2006 a junho de 2007.

microrganismos, sendo mais influenciados pela estação chuvosa. Esses autores obtiveram médias geométricas de coliformes totais de $3,4 \times 10^2$ e $1,0 \times 10^2$, *E. coli* de $1,8 \times 10^2$ e $0,1 \times 10^1$ e microrganismos mesófilos de $1,4 \times 10^3$ e $3,7 \times 10^2$ com diferenças estatisticamente significativas entre si ($p < 0,01$ e intervalo de confiança de 99%), nas estações chuvosa e de seca, respectivamente. Mor *et al.* (2006) também relacionaram a contaminação de mananciais subterrâneos com o fenômeno da percolação, que por sua vez depende de fatores como precipitação, profundidade do manancial e distância da nascente à fonte de contaminação. Além disso, parte do dreno situa-se sob área urbana. A localização desse manancial dentro de uma área urbana pode ser outro fator de contaminação. Para Tucci (2008), o desenvolvimento urbano tem produzido um ciclo de contaminação, gerado pelos efluentes da população urbana, que são o esgoto doméstico/industrial e o esgoto pluvial; e a contaminação das águas subterrâneas na área urbana ocorre por meio dos despejos industriais e domésticos, das fossas sépticas, vazamento dos sistemas de esgoto sanitário e pluvial, depósitos de resíduos sólidos urbanos, entre outros.

A ausência de coliformes totais e *E. coli* no poço, em ambas estações, pode estar relacionada com a sua profundidade, que dificulta a infiltração das águas de escoamento. Mkandawire (2008), estudando poços profundos em Malawi, África, também observaram pequena variação na qualidade microbiológica das águas de poços profundos na estação chuvosa e de seca. Franca *et al.* (2006) concluíram, em estudo realizado em Juazeiro do Norte, Ceará, que as águas captadas de poços profundos não apresentaram *E. coli* devido à baixa velocidade de percolação

e à capacidade filtrante do solo. No entanto, o poço, contrário aos demais mananciais, apresentou níveis populacionais de bactérias mesófilas heterotróficas superiores durante o período de seca (Tabela 2), o que pode ser atribuído à introdução de água de chuvas no manancial e à consequente diluição da população presente (DJUIKOM *et al.*, 2006), confirmando que os processos de contaminação variam de acordo com o tipo de manancial.

As amostras de água provenientes do córrego foram as que apresentaram os maiores valores médios de turbidez e cor aparente em ambas as estações (Tabela 3). No entanto, na fase pós-filtração do tratamento convencional, os valores médios de turbidez e cor aparente foram inferiores ao limite máximo de 1 UT estabelecido pela legislação, para a saída do tratamento, e de 5 UT para a rede de distribuição (BRASIL, 2011) para a turbidez e de 15 mg Pt.L^{-1} para a cor aparente. A redução dos valores médios da turbidez das águas provenientes do córrego ocorreu principalmente até a etapa de decantação, em ambas as estações, o que indica que essa etapa é limitante no processo de tratamento; e os cuidados relacionados a ela, como por exemplo a dosagem de produtos químicos, deve ser objeto de atenção nessa cadeia produtiva.

As águas provenientes do dreno apresentaram as médias de turbidez inferiores às obtidas a partir do córrego, principalmente na estação chuvosa (Tabela 3). No entanto, como esse manancial não recebe um tratamento visando à redução da turbidez, na fase pré-desinfecção (*in natura*) as amostras apresentaram valores médios de turbidez acima do recomendado para o recebimento

Tabela 3 - Médias de turbidez e cor aparente nas etapas da cadeia produtiva da água (Jaboticabal, São Paulo).

Período/etapas tratamento	Turbidez (unidades de turbidez)				Cor aparente (mg Pt.L ⁻¹)			
	Córrego	Poço	Dreno	VMP	Córrego	Poço	Dreno	VMP
Chuva								
<i>In natura</i>	54,0	0,3	1,7	100,0	230,0	<1,0	1,8	75,0
Floculada	56,0	-	-	-	-	-	-	-
Decantada	3,3	-	-	-	31,0	-	-	-
Filtrada	0,3	-	-	-	-	-	-	-
Clorada	1,0	0,3	1,7	1,0	2,6	<1,0	1,8	15,0
Residência (entrada)	0,6	0,4	0,8	5,0	1,9	<1,0	2,1	15,0
Residência (após reservatório)	0,5	0,4	0,9	-	-	-	-	-
Seca								
<i>In natura</i>	12,0	0,3	1,0	100,0	88,0	<1,0	1,7	75,0
Floculada	13,0	-	-	-	-	-	-	-
Decantada	1,8	-	-	-	20,0	-	-	-
Filtrada	0,1	-	-	-	-	-	-	-
Clorada	0,6	0,3	1,1	1,0	1,4	<1,0	1,9	15,0
Residência (entrada)	0,6	0,3	0,8	5,0	1,3	<1,0	2,1	15,0
Residência (após reservatório)	0,5	0,4	0,7	-	-	-	-	-

VMP: valor máximo permitido. Amostras coletadas de agosto de 2006 a junho de 2007.

de cloro. Essa elevada turbidez pode ser correlacionada com os níveis populacionais de bactérias indicadoras encontradas nesse manancial (Tabela 2). Além disso, ao longo do sistema de abastecimento, as águas cloradas provenientes do dreno revelaram-se mais turvas do que nos demais sistemas de abastecimento, tanto na estação chuvosa quanto na de seca. Elevados valores de turbidez podem comprometer a ação do cloro como desinfetante residual (LEVY *et al.*, 2008) e depreciar a qualidade microbiana da água tratada (OBI *et al.*, 2008).

A água *in natura* apresentou elevada carga de bactérias indicadoras (Tabela 2). Assim como para os valores de turbidez (Tabela 3), a principal redução nas populações de microrganismos indicadores ocorreu até a fase de decantação. Paralelamente, após a adição de cloro, todas as amostras apresentaram-se livres da presença dessas bactérias. Esses dados comprovam a eficiência do tratamento empregado na remoção dos microrganismos indicadores. A eficiência manteve-se em ambas as estações estudadas, considerando que, da estação de seca para a chuvosa, houve um aumento nas populações de todas as bactérias indicadoras, principalmente de coliformes totais (Tabela 2). Alguns autores relataram a dificuldade na manutenção da eficiência na remoção de microrganismos durante a estação chuvosa, em estações de tratamento. Segundo Mac Kenzie *et al.* (1994), o surto de criptosporidiose em Milwaukee, Wisconsin, EUA, pode ser atribuído às chuvas intensas e ao derretimento de neve, que causou o subsequente aumento da turbidez do manancial de abastecimento, comprometendo a eficiência da estação de tratamento.

A redução nas concentrações de CRL nas amostras coletadas após a passagem pelo reservatório domiciliar (Tabela 4) pode estar relacionada com o aumento da carga microbiana, conforme observado por Lou e Han (2007) e Farooq *et al.* (2008). O poço apresentou médias de CRL, logo após adição de cloro, inferiores ao

limite mínimo estabelecido pela Portaria nº 2.914 (BRASIL, 2011), em ambas as estações. No entanto, conforme Tabela 5 esse fato não prejudicou a qualidade microbiológica da água. A variação na concentração de CRL no sistema é outro fator relacionado à proliferação bacteriana (HU *et al.*, 2005). Zhang e Digiano (2002), em estudo realizado em Durham e Raleigh, EUA, constataram que o crescimento de populações bacterianas nas linhas de distribuição é produto da interação de fatores químicos e físicos. No entanto, esses autores afirmam que a concentração de desinfetantes residuais são os fatores mais importantes para o controle dos níveis populacionais de microrganismos mesófilos.

Com exceção das amostras coletadas no manancial do dreno em ambas estações, todas apresentaram valores médios de pH dentro dos padrões, conforme normas vigentes (BRASIL, 2005, 2011). No sistema de distribuição, essas médias apresentaram-se baixas, próximas ao limite mínimo permitido (Tabela 5). O pH é um importante parâmetro de qualidade de água e pode estar relacionado com a presença de metais, como

Tabela 4 - Concentração de cloro residual livre nas etapas da cadeia produtiva da água (Jaboticabal, São Paulo).

	Cloro residual livre (mg.L ⁻¹)			
	Córrego	Poço	Dreno	FPP
Chuva				
Clorada	1,4	0,8	0,7	0,5 a 2,0
Residência (entrada)	0,6	0,6	0,6	0,2 a 2,0
Residência (após reservatório)	0,3	0,3	0,4	-
Seca				
Clorada	1,3	0,7	0,8	0,5 a 2,0
Residência (entrada)	0,8	0,7	0,7	0,2 a 2,0
Residência (após reservatório)	0,4	0,4	0,5	-

FPP: faixa-padrão de potabilidade. Amostras coletadas de agosto de 2006 a junho de 2007.

Tabela 5 - Médias de fluoretos e pH nas etapas da cadeia produtiva da água (Jaboticabal, São Paulo).

Período/etapas tratamento	Fluoretos (mg.L ⁻¹)				pH			
	Córrego	Poço	Dreno	VMP	Córrego	Poço	Dreno	FPP
Chuva								
<i>In natura</i>	-	-	-	-	7,4	7,5	5,9	6,0 a 9,0
Decantada	-	-	-	-	6,7	-	-	-
Clorada	0,7	0,7	0,6	1,5	7,2	7,8	6,2	6,0 a 9,5
Nas residências	0,7	0,7	0,6	1,5	7,5	7,9	6,4	6,0 a 9,5
Seca								
<i>In natura</i>	-	-	-	-	7,2	7,4	5,7	6,0 a 9,0
Decantada	-	-	-	-	6,5	-	-	-
Clorada	0,7	0,7	0,6	1,5	7,2	7,6	6,2	6,0 a 9,5
Nas residências	0,7	0,7	0,6	1,5	7,2	7,6	6,3	6,0 a 9,5

VMP: valor máximo permitido; FPP: faixa-padrão de potabilidade. Amostras coletadas de agosto de 2006 a junho de 2007.

exemplo, o cálcio. Os baixos valores de pH podem conduzir à corrosão das tubulações do sistema de distribuição de água do dreno (AAMODT *et al.*, 2008). Semelhante ao pH, todas as amostras analisadas apresentaram concentrações de fluoretos abaixo do valor máximo permitido (BRASIL, 2011) (Tabela 5). Alguns trabalhos indicam a manutenção de 0,60 a 0,80 mg.L⁻¹ de fluoretos no sistema de distribuição, até a residência do consumidor (Tabela 6). As médias aritméticas das concentrações de fluoretos nos pontos amostrados também se apresentaram dentro do “aceitável” (BRASIL, 2011) (Tabelas 5 e 6). No entanto, a rede do dreno, tanto logo após fluoretação quanto na entrada da residência, em ambos os períodos de estudo, apresentou percentuais de amostras com concentrações de fluoretos fora do “aceitável” (Tabelas 5 e 6). A fluoretação da água nos sistemas de abastecimento público é de grande importância, pois é a medida de maior impacto para o controle do desenvolvimento de cárie (BELLÉ *et al.*, 2009).

Tabela 6 - Percentual de amostras fora dos padrões de potabilidade para fluoretos (Jaboticabal, São Paulo).

	Fluoretos			Classificação
	Córrego	Poço	Dreno	
Chuva				
Após fluoretação	0% (0)	0% (0)	20% (6)	Aceitável (de 0,60 a 0,80 mg.L ⁻¹)
Residência (entrada)	0% (0)	0% (0)	20% (6)	
Seca				
Após fluoretação	4% (1)	0% (0)	23% (7)	Inaceitável (<0,60 e >0,80 mg.L ⁻¹)
Residência (entrada)	8% (2)	0% (0)	30% (9)	

(): número de amostras fora dos padrões. Amostras coletadas de agosto de 2006 a junho de 2007.

Fonte: Bellé *et al.* (2009).

A Tabela 7 evidencia o percentual de amostras fora dos padrões de potabilidade, conforme critérios expressos na Portaria nº 2.914 (BRASIL, 2011). As amostras coletadas logo após adição de cloro e na estação de seca apresentaram todos os indicadores microbiológicos avaliados dentro dos padrões de potabilidade (Tabela 7). Esses dados comprovam a eficácia do tratamento empregado na remoção de microrganismos indicadores, considerando a baixa qualidade bacteriológica do córrego e do dreno. No entanto, na estação chuvosa, observa-se que um percentual das amostras coletadas logo após adição de cloro apresentou populações de coliformes totais e *E. coli* acima dos valores máximos permitidos (BRASIL, 2011). Dentre as três redes de distribuição de águas cloradas estudadas, o dreno apresentou o maior número de amostras contaminadas.

Durante a realização do presente estudo nenhuma amostra apresentou populações de microrganismos mesófilos superiores ao limite para a água potável. Além disso, dentre os três pontos de amostragem adotados nas redes de distribuição (após a adição de cloro, na entrada da residência e após a passagem pelo reservatório domiciliar), o maior número de amostras fora dos padrões de potabilidade foram obtidas após a passagem pelo reservatório domiciliar.

Na estação chuvosa houve maiores percentuais de amostras fora dos padrões de potabilidade, quando comparada à estação de seca (Tabela 7).

O aumento no percentual de amostras fora dos padrões de potabilidade dentre as coletadas na entrada das residências, com destaque para a rede de distribuição de águas cloradas do dreno, pode estar relacionado aos elevados valores médios de turbidez da fase pré-cloração (Tabela 3). Além disso, outros autores observaram aumento no número de amostras contaminadas ao longo do sistema de distribuição de água (PEPPER *et al.*, 2004). Em estudo realizado em Tucson, EUA, observaram drástico aumento na população de microrganismos mesófilos desde o sistema de abastecimento até a torneira do consumidor. Para Freitas, Brilhante e Almeida (2001), a existência de fendas ao longo do sistema, possibilitando

Tabela 7 - Percentual de amostras fora dos padrões de potabilidade, segundo Portaria nº 2.914 (Jaboticabal, São Paulo).

Indicador microbiano	Manancial	Período					
		Chuvosa			Seca		
		Cl	E	R	Cl	E	R
Coliformes totais	Córrego	-	4% (1)	20% (5)	-	-	8% (2)
	Poço	8% (2)	-	9% (2)	-	-	4% (1)
	Dreno	18% (5)	43% (12)	30% (9)	-	13% (4)	22% (6)
<i>E. coli</i>	Córrego	-	-	8% (2)	-	-	-
	Poço	-	-	4% (1)	-	-	-
	Dreno	9% (2)	9% (2)	9% (2)	-	-	-
Mesófilos	Córrego	-	-	-	-	-	-
	Poço	-	-	-	-	-	-
	Dreno	-	-	-	-	-	-

Cl: amostras coletadas logo após adição de cloro; E: amostras coletadas nas entradas das residências; R: amostras coletadas após passagem pelos reservatórios domiciliares;

(): número de amostras fora dos padrões de potabilidade. Amostras coletadas de agosto de 2006 a junho de 2007.

Fonte: Brasil (2011).

a entrada de nutrientes e microrganismos, pode justificar esses resultados. Schwartz, Hoffmann e Obst (2003), Chu, Lu e Lee (2005) e Lehtola *et al.* (2004), em estudos conduzidos na Alemanha, Taiwan e Finlândia, respectivamente, observaram aumento da concentração de nutrientes e da atividade metabólica de biofilmes bacterianos.

As amostras coletadas após a passagem pelo reservatório domiciliar apresentaram os maiores percentuais de contaminação em toda a rede de abastecimento do município de Jaboticabal. Esses resultados foram também obtidos por Nogueira *et al.* (2003), no estado do Paraná. Freitas, Brilhante e Almeida (2001) relacionaram essa tendência à falta de manutenção do reservatório, à sua localização, à ausência de cuidado com o manuseio e higiene e também ao tipo de material que é feito o sistema de distribuição.

CONCLUSÕES

O manancial superficial é o mais vulnerável dentre os estudados, que tem a estação chuvosa como período crítico para a sua qualidade.

No entanto, o tratamento convencional desse corpo d'água mostrou-se adequado para o fornecimento de água potável para a população consumidora. Além desse, o manancial subsuperficial apresentou as maiores médias de turbidez na etapa pré-desinfecção por cloro. A redução da turbidez poderia contribuir para a melhoria da qualidade microbiológica na rede de distribuição do manancial subsuperficial, pois nessas condições a ação do cloro seria mais eficiente. A estação chuvosa é crítica para amostras coletadas nas etapas logo após adição de cloro, principalmente no sistema de distribuição do manancial subsuperficial. Dentre os pontos avaliados na rede de distribuição, os reservatórios domiciliares apresentaram o maior número de amostras fora do padrão de potabilidade, principalmente na rede do manancial sub-superficial. Deve ser realizado um trabalho de orientação aos consumidores referente à limpeza dos reservatórios para preservação da qualidade da água que chega a residência. Atenção especial deve ser dada na dosagem de fluoreto no sistema de distribuição com água proveniente do manancial subsuperficial.

REFERÊNCIAS

- Aamodt, G.; Bukholm, G.; Jahnsen, J.; Moum, B.; Vatn, M.H.; IBSEN Study Group. (2008) The association between water supply and inflammatory bowel disease based on a 1990-1993 cohort study in southeastern Norway. *American Journal of Epidemiology*, v. 168, n. 9, p. 1065-1072.
- Al-Jasser, A.O. (2007) Chlorine decay in drinking-water transmission and distribution systems: pipe service age effect. *Water Research*, v. 41, n. 2, p. 387-396.
- Amaral, L.A.; Nader Filho, A.; Rossi Junior, O.D.; Ferreira, F.L.A.; Barros, L.S.S. (2003) Água de consumo humano como fator de risco à saúde em propriedades rurais. *Revista de Saúde Pública*, v. 37, n. 4, p. 510-514.
- APHA - American Public Health Association. (1998) *Standard methods for examination of water and wastewater*. 20th ed. Washington: APHA.
- BAYKAL, B.B.; TANI, A.; GONENC, I.E. (2000) Water quality in drinking water reservoirs of a Megacity, Istanbul. *Environmental Management*, v. 26, n. 6, p. 607-614.
- Bellé, B.L.L.; Lacerda, V.R.L.; De Carli, A.D.; Zafalon, E.J.; Pereira, P.Z. (2009) Análise da fluoretação da água de abastecimento público da zona urbana do município de Campo Grande (MS). *Ciência e Saúde Coletiva*, v. 14, n. 4, p. 1261-1266.
- Boyer, D.G. (2008) Fecal coliform dispersal by rain splash on slopes. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 148, n. 8-9, p. 1395-1400.
- Brasil. (2005) Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 18 mar. 2005. p. 58-63.
- Brasil. (2011) Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 12 dez. 2011. Seção 1, p. 39.
- CAMARGO, M.F. & PAULOSSO, L.V. (2009) Avaliação qualitativa da contaminação microbiológica das águas de poços no município de Carlinda-MT. *Semina: Ciências Biológicas e da Saúde*, v. 30, n.1, p. 77-82.
- Chu, C.; Lu, C.; Lee, C. (2005) Effects of inorganic nutrients on the regrowth of heterotrophic bacteria in drinking water distribution systems. *Journal of Environmental Management*, v. 74, n. 3, p. 255-263.
- DJUIKOM, E.; NJINE, T.; NOLA, M.; SIKATI, V.; JUGNIA, L.B. (2006) Microbiological water quality of the Mfoundi River watershed at Yaoundé, Cameroon, as inferred from indicator bacteria of fecal contamination. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 122, n. 1-3, p. 171-183.
- Farooq, S.; Hashmi, I.; Qazi, I.A.; Qaiser, S.; Rasheed, S. (2008) Monitoring of *Coliforms* and chlorine residual in water distribution network of Rawalpindi, Pakistan. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*, v. 140, n. 1-3, p. 339-347.
- Fisher, D.S.; Steiner, J.L.; Endale, D.M.; Stuedemann, J.A.; Schomberg, H.H.; Franzluebbers, A.J.; Wilkinson, S.R. (2000) The relationship of land use practices to surface water quality in the Upper Oconee Watershed of Georgia. *Forest Ecology and Management*, v. 128, n. 1-2, p. 39-48.

- Franca, R.M.; Frischkorn, H.; Santos, M.R.P.; Mendonça, L.A.R.; Beserra, M.C. (2006) Contaminação de poços tubulares em Juazeiro do Norte-CE. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 11, n. 1, p. 92-102.
- Freitas, M.B.; Brilhante, O.M.; Almeida, L.M. (2001) Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 17, n. 3, p. 651-660.
- Goldstein, S.T.; Juranek, D.D.; Ravenholt, O.; Hightower, A.W.; Martin, D.G.; Mesnik, J.L.; Griffiths, S.D.; Bryant, A.J.; Reich, R.R.; Herwaldt, B.L. (1996) Cryptosporidiosis: an outbreak associated with drinking water despite state-of-the-art. water treatment. *Annals of Internal Medicine*, v. 124, n. 5, p. 459-468.
- Hrudey, S.E.; Hrudey, E.J.; Pollard, S.J. (2006) Risk management for assuring safe drinking water. *Environment International*, v. 32, n. 8, p. 948-957.
- Hu, J.Y.; Yu, B.; Feng, Y.Y.; Tan, X.L.; Ong, S.L.; Ng, W.J.; Hoe, W.C. (2005) Investigation into biofilms in a local drinking water distribution system. *Biofilms*, v. 2, n. 1, p. 19-25.
- LEchevallier, M.W.; Welch, N.J.; Smith, D.B. (1996) Full-scale studies of factors related to coliform regrowth in drinking water. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 62, n. 7, p. 2201-2211.
- Lehtola, M.J.; Juhna, T.; Miettinen, I.T.; Vartiainen, T.; Martikainen, P.J. (2004) Formation of biofilms in drinking water distribution networks, a case study in two cities in Finland and Latvia. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, v. 31, n. 11, p. 489-494.
- Levy, K.; Nelson, K.L.; Hubbard, A.; Eisenberg, J.N. (2008) Following the water: a controlled study of drinking water storage in northern coastal Ecuador. *Environmental Health Perspectives*, v. 116, n. 11, p. 1533-1540.
- Lou, J.C. & Han, J.Y. (2007) Assessing water quality of drinking water distribution system in the South Taiwan. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 134, n. 1-3, p. 343-354.
- MAC Kenzie, W.R.; Hoxie, N.J.; Proctor, M.E.; Gradus, M.S.; Blair, K.A.; Peterson, D.E.; Kazmierczak, J.J.; Addiss, D.G.; Fox, K.R.; Rose, J.B.; Davis, J.P. (1994) A massive outbreak in Milwaukee of cryptosporidium infection transmitted through the public water supply. *New England Journal of Medicine*, v. 331, n. 3, p. 161-167.
- Mkandawire, T. (2008) Quality of groundwater from shallow wells of selected villages in Blantyre District, Malawi. *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 33, n. 8-13, p. 807-811.
- Mor, S.; Ravindra, K.; Dahiya, R.P.; Chandra, A. (2006) Leachate characterization and assessment of groundwater pollution near municipal solid waste landfill site. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 118, n. 1-3, p. 435-456.
- Naumova, E.N. (2006) Mystery of seasonality: getting the rhythm of nature. *Journal of Public Health Policy*, v. 27, n. 1, p. 2-12.
- Nogueira, G.; Nakamura, C.V.; Tognim, M.C.; Abreu Filho, B.A.; Dias Filho, B.P. (2003) Microbiological quality of drinking water of urban and rural communities, Brazil. *Revista de Saúde Pública*, v. 37, n. 2, p. 232-236.
- Obi, C.L.; Igumbor, J.O.; Momba, M.N.B.; Samie, A. (2008) Interplay factors involving chlorine dose, turbidity flow capacity and pH on microbial quality of drinking water in small water treatment plants. *Water SA*, v. 34, n. 5, p.565-572.
- Pepper, I.L.; Rusin, P.; Quintanar, D.R.; Haney, C.; Josephson, K.L.; Gerba, C.P. (2004) Tracking the concentration of heterotrophic plate count bacteria from the source to the consumer's tap. *International Journal of Food Microbiology*, v. 92, n. 3, p. 289-295.
- Schwartz, T.; Hoffmann, S.; Obst, U. (2003) Formation of natural biofilms during chlorine dioxide and UV disinfection in a public drinking water distribution system. *Journal of Applied Microbiology*, v. 95, n. 3, p. 591-601.
- Semenza, J.C.; Roberts, L.; Henderson, A.; Bogan, J.; Rubin, C.H. (1998) Water distribution system and diarrheal disease transmission: a case study in Uzbekistan. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, v. 59, n. 6, p. 941-946.
- Servais, P.; Garcia-Armisen, T.; George, I.; Billen, G. (2007) Fecal bacteria in the rivers of the Seine drainage network (France): sources, fate and modelling. *Science of the Total Environment*, v. 375, n. 1-3, p. 152-167.
- Silva, L.J.; Pinto, F.R.; Amaral, L.A.; Garcia-Cruz, C.H. (2014). Biosorption of cadmium (II) and lead (II) from aqueous solution using exopolysaccharide and biomass produced by *Colletotrichum* sp. *Desalination and Water Treatment*, v. 52, n. 40-42, p. 7878-7886.
- Silva, N.S.; CANTÚSIO Neto, R.; Junqueira, V.C.A.; Silveira, N.F.A. (2000) *Manual de métodos de análise microbiológica da água*. Campinas: ITAL. 99 p.
- Singh, S.J. & Devi, H.P. (2006) A study of water-borne morbidities of Thanga village, Manipur. *Journal of Human Ecology*, v. 19, n. 2, p. 103-105.
- Tucci, C.E.M. (2008) Águas urbanas. *Estudos Avançados*, v. 22, n. 63, p. 97-112.
- Zhang, W. & Digiano F.A. (2002) Comparison of bacterial regrowth in distribution systems using free chlorine and chloramine: a statistical study of causative factors. *Water Research*, v. 36, n. 6, p.1469-1482.