

I-088 – INVESTIGAÇÃO DA REMOÇÃO DE OOCISTOS DE *Cryptosporidium* spp. E CISTOS DE *Giardia* spp. EM DOIS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE MINAS GERAIS

Fabiana de Cerqueira Martins⁽¹⁾

Bióloga pelo Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais (ICB/UFMG). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da UFMG (EE/UFMG).

Daniel Adolpho Cerqueira

Biólogo pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Mestre em Microbiologia pelo ICB/UFMG. Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela EE/UFMG. Consultor em Microbiologia Ambiental e Sanitária.

Valter Lúcio de Pádua

Engenheiro civil pela EE/UFMG. Mestre e doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professor adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Escola de Engenharia da UFMG (DESA/EE/UFMG).

Endereço⁽¹⁾: Rua Guajajaras, 629, ap. 701 – Centro – Belo Horizonte - MG – CEP: 30180-100 – Brasil – Tel: (31) 9148-7123 – E-mail: fab_i_ecologia@yahoo.com.br

RESUMO

As doenças de veiculação hídrica estão sendo cada vez mais abordadas em organizações que lidam com a saúde pública, sendo tratado como prioridade o controle de sua transmissão. Entre elas, a criptosporidiose e a giardiose, causadas pelos protozoários *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp., respectivamente, têm representado a grande parte dos surtos de doenças entéricas no mundo. Nesse contexto, faz-se cada vez mais importante o desenvolvimento de estudos sobre remoção desses protozoários nos sistemas de abastecimento de água no Brasil e no mundo a fim de se garantir a distribuição de uma água microbiologicamente segura para toda a população. Dessa forma, o objetivo desse trabalho é investigar o desempenho de dois sistemas de abastecimento de água de Minas Gerais no que concerne à remoção de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. Para tanto, foram monitorados, quinzenalmente, durante os meses de janeiro a outubro de 2011, as águas bruta e tratada de dois sistemas de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), para análise de (oo)cistos de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. Foram calculadas as concentrações e eficiências de remoção (em unidades logarítmicas) para ambos os microrganismos. Os resultados foram analisados por meio da estatística descritiva e de testes não-paramétricos para avaliação de diferenças estatisticamente significativas entre os protozoários para cada sistema e entre os sistemas para cada protozoário. Observou-se uma concentração média de 0,3 oocisto de *Cryptosporidium*/L e 6,7 cistos de *Giardia*/L na água bruta do Manancial A, enquanto no Manancial B foram detectados, em média, 0,1 oocisto e cisto/L. Já nas águas tratadas das ETAs A e B constataram-se concentrações médias de 0,001 oocisto de *Cryptosporidium*/L e em relação à concentração de *Giardia* contabilizaram-se 0,005 cisto de *Giardia*/L, na ETA A e 0 cisto de *Giardia*/L na ETA B, em média. Em relação às eficiências de remoção, obteve-se média de 2,0 log de remoção de oocistos de *Cryptosporidium* spp. no Sistema A (com mínimo de 2,0 log e máximo de 2,6 log) e 1,9 log no Sistema B (com mínimo de 1,6 log e máximo de 2,0 log); já para cistos de *Giardia* spp. observou-se média de 2,9 log no Sistema A (com mínimo de 0,4 log e máximo de 4,0 log) e de 2,0 log no Sistema B (com mínimo e máximo de 2,0 log). Essa pesquisa demonstra a necessidade de se continuarem os estudos de avaliação de ocorrência e remoção dos protozoários patogênicos *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* sp. no Brasil a fim de se acumularem conhecimentos a respeito da dinâmica desses organismos no nosso país.

PALAVRAS-CHAVE: Água para consumo humano, *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp., remoção, sistemas de abastecimento de água.

INTRODUÇÃO

As doenças de veiculação hídrica estão sendo cada vez mais abordadas em organizações que lidam com a saúde pública, sendo tratado como prioridade o controle de sua transmissão. Os mananciais de água usados para consumo humano podem, muitas vezes, estar contaminados por microrganismos parasitas provenientes de resíduos sólidos e águas residuárias que são arrastados pela chuva para dentro dos reservatórios de água superficiais. Lopes (2009) diz que os esgotos sanitários e dejetos de atividades agropecuárias estão entre as principais fontes de contaminação de mananciais. Assim, é de se esperar que a ocorrência e concentração desses organismos nas águas superficiais sejam, provavelmente, maiores nos países em desenvolvimento e em áreas rurais, onde a contaminação da água por resíduos humanos e animais é mais acentuada.

Criptosporidiose e giardiose são doenças causadas pelos protozoários *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp., respectivamente, representando grande parte dos surtos de doenças entéricas no mundo. A transmissão se faz pela ingestão de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp., podendo o contágio acontecer pela ingestão de alimentos e água contaminados, pelo contato direto com o indivíduo infectado ou contato com animais infectados. O indivíduo infectado pode ser totalmente assintomático, ou apresentar sintomas como dores abdominais, irritabilidade, diarreia intermitente, podendo em alguns casos estar associado a um quadro de má absorção e desnutrição.

A dificuldade de identificação das espécies desses protozoários deixa dúvidas sobre seus reservatórios animais, por isso seu potencial zoonótico ainda não é totalmente elucidado (RAMIREZ; WARD; SREEVATSAN, 2004; XIAO *et al.*, 2004).

Um dos fatores que contribui para a ampla dispersão dos cistos de *Giardia* e dos oocistos de *Cryptosporidium* no ambiente é que as formas de resistência destes protozoários são capazes de sobreviver aos processos de cloração da água, método tradicionalmente usado no tratamento da água para a desinfecção da mesma (FAYER; MORGAN; UPTON, 2000).

Um fator que confere a esses microrganismos elevado grau de periculosidade é sua persistência ambiental, já que sua longa permanência na forma infecciosa no ambiente aquático impõe aos sistemas de abastecimento de água maiores dificuldades no controle da qualidade. A infecciosidade relativa também é um fator importante na avaliação do risco que esses microrganismos representam, pois uma dose mínima da sua forma infectante já é capaz de desenvolver o processo infeccioso no hospedeiro (CERQUEIRA, 2008).

Nesse contexto, faz-se cada vez mais importante o desenvolvimento de estudos sobre remoção desses protozoários nos sistemas de abastecimento de água no Brasil e no mundo a fim de se garantir a distribuição de uma água microbiologicamente segura para toda a população.

OBJETIVO

Investigar o desempenho de dois sistemas de abastecimento de água de Minas Gerais no que concerne à remoção de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp.

MATERIAIS E MÉTODOS

1. Sistemas de abastecimento de água selecionados

Dois sistemas de abastecimento de água (SAAs) (Figura 1) utilizados pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) para abastecimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) foram selecionados para realizar essa pesquisa. Um deles, aqui denominado Sistema A, tem a captação de água realizada em um manancial lótico e a Estação de Tratamento de Água (ETA) opera com a tecnologia de tratamento de ciclo completo com decantadores. O outro, denominado Sistema B, realiza captação da água em um manancial lântico e a ETA opera com a tecnologia de tratamento de ciclo completo com flutadores.

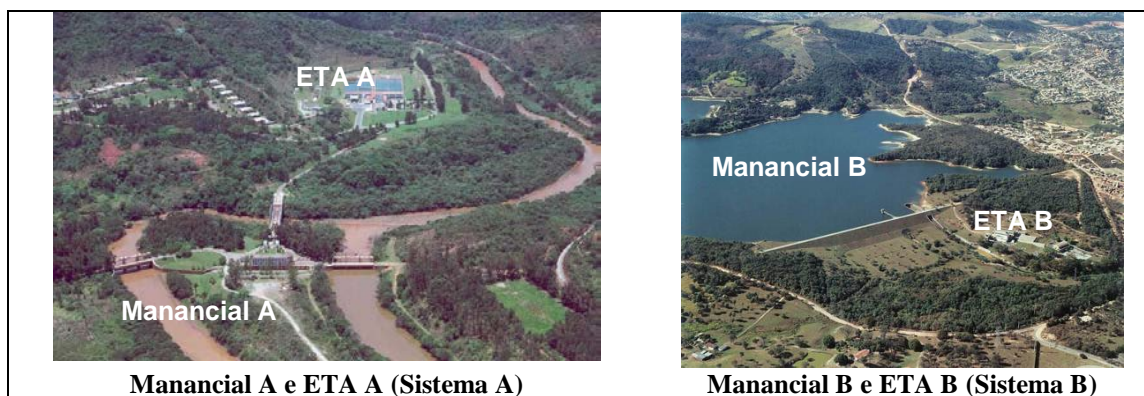


Figura 1: Mananciais e respectivas Estações de Tratamento de Água (ETA) utilizadas no estudo.

O Sistema A é o maior e o mais estratégico sistema produtor de água da RMBH, sendo responsável pelo fornecimento de água tratada para aproximadamente 43% da população da RMBH, com uma produção média de $6,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. O Sistema B é responsável pelo abastecimento de aproximadamente 400 mil pessoas da RMBH, tratando uma vazão média de $1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (COPASA, s. d.).

2. Locais e frequência de coletas

Durante os meses de janeiro e fevereiro de 2011, foram avaliadas, semanalmente, as águas bruta e tratada dos sistemas de abastecimento selecionados, para identificação e quantificação dos protozoários *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. A partir de março, as coletas passaram a ser quinzenais, devido ao alto custo de reagentes necessários para as análises. O monitoramento foi realizado até outubro de 2011, totalizando 24 amostras para cada tipo de água (bruta e tratada) e cada sistema.

3. Método analítico

Foi utilizado o Método 1623, desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2005) para a análise dos dois protozoários. Este método, resumidamente, é composto pelas seguintes etapas (Figura 2): a) Coleta da amostra – 10,0 L de água bruta e em torno de 300 L de água tratada; b) Filtração em módulo de filtro em espuma (Filta-Max[®]) por bomba peristáltica para água bruta, e diretamente em campo, para água tratada, c) Eluição das amostras e processamento em *Stomacher*; d) Concentração das amostras por centrifugação; e) Separação imunomagnética; f) Imunofluorescência; g) Leitura em microscópio óptico com epifluorescência para quantificação, expressando os resultados em (oo)cistos/L.

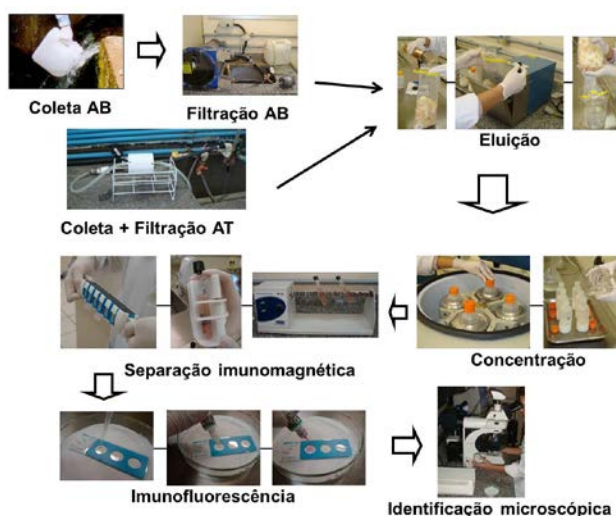


Figura 2: Resumo das etapas do método analítico para identificação e quantificação dos protozoários *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. (AB = água bruta; AT = água tratada).

As amostras foram analisadas no Laboratório Central da COPASA, em Belo Horizonte-MG.

4. Análise dos resultados

Além da caracterização das águas bruta e tratada dos sistemas de abastecimento de água selecionados, quanto às concentrações de (oo)cistos de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp., foram avaliadas, também, as eficiências de remoção (em unidades logarítmicas) desses organismos, obtidas por meio da Equação 1.

$$\text{Eficiência de remoção (log)} = -\log_{10}(\text{concentração água tratada} / \text{concentração água bruta}) \quad (1)$$

a) Tratamento inicial dos dados

Visando permitir o cálculo estatístico, foram realizadas algumas substituições de valores, dessa forma, para os dados de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. em que foram contabilizados tais organismos na água bruta, porém não o foram na água tratada (ou seja, nos casos em que a remoção foi de 100%), a eficiência de remoção, em unidades logarítmicas, foi estimada levando-se em conta a mudança de ordem de grandeza dos valores da água bruta para a água tratada, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Remoção estimada (em unidades logarítmicas) de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e de cistos de *Giardia* spp. de acordo com a ordem de grandeza nas águas bruta (AB) e tratada (AT).

Organismo	Ordem de grandeza da concentração na AB	Ordem de grandeza considerada da concentração na AT	Eficiência de remoção estimada (log)
<i>Cryptosporidium</i> spp. e <i>Giardia</i> spp.	10 ⁻¹	10 ⁻³	2,0
	10 ⁰		3,0
	10 ¹		4,0

Outra questão também é que, quando não foram detectados oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* sp., tanto na água bruta quanto na tratada, não foi possível obter os valores de eficiência de remoção, portanto, tais dados não contabilizaram para o cálculo estatístico, por isso o número de dados válidos (N) são inferiores ao número total de amostras analisadas (que foram 24).

b) Estatística descritiva

Os dados – concentrações e eficiências de remoção dos protozoários – foram analisados por meio da estatística descritiva (cálculo de mínimo, máximo, média, mediana e desvio-padrão) e foram apresentados em tabelas, com o intuito de facilitar a visualização e interpretação dos resultados.

c) Comparações entre os sistemas de abastecimento de água e entre os protozoários

Após a correção dos dados, avaliou-se a distribuição dos mesmos a fim de se aplicarem os testes estatísticos mais adequados. Verificou-se que todos os conjuntos de dados (concentrações nas águas bruta e tratada e eficiências de remoção) apresentaram distribuição diferente da normal, portanto, todos os resultados foram analisados através de testes não-paramétricos, com nível de significância de 5%.

Os resultados foram comparados entre si através da aplicação de testes de hipóteses – com auxílio do *software* Statistica (STATISTICA, 2004) – para se verificar a existência ou não de diferenças estatisticamente significativas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Identificação e quantificação dos protozoários *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* sp. nas águas brutas dos mananciais A e B e tratadas das ETAs A e B

Os resultados de identificação e quantificação dos protozoários avaliados nos Sistemas A e B estão compilados na Tabela 2.

Tabela 2: Estatística descritiva das concentrações de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e de cistos de *Giardia* sp. nos sistemas de abastecimento de água A e B.

Sistema	Variável	Local coleta	N	Mín	Méd	Medn	Máx	DP
A*	<i>Cryptosporidium</i> spp. (oocistos/L)	AB	24	ND	0,3	0,2	2,5	0,5
		AT	24	ND	0,001	0	0,008	0,002
	<i>Giardia</i> spp. (cistos/L)	AB	24	ND	6,7	4,9	18,0	5,5
		AT	24	ND	0,005	0	0,04	0,009
B	<i>Cryptosporidium</i> spp. (oocistos/L)	AB	24	ND	0,1	0	1,4	0,3
		AT	24	ND	0,001	0	0,032	0,007
	<i>Giardia</i> spp. (cistos/L)	AB	24	ND	0,1	0	0,3	0,1
		AT	24	ND	0	0	ND	0

Legenda: AB = Água bruta; AT = Água tratada; DP = Desvio-padrão; Máx = Máximo; Méd = Média; Medn = Mediana; Mín = Mínimo; N = Número de dados válidos; ND = Não detectado.

* Durante o mês de janeiro, nesse sistema, foi coletada água filtrada para análise dos microrganismos, porém, a partir de fevereiro, passou a ser coletada água tratada devido à maior facilidade e rapidez para a filtração em campo. No entanto, tal mudança de tipo de água não afeta os resultados, uma vez que ambas as águas apresentavam características semelhantes, pois a coleta de água tratada foi realizada em local onde não havia tempo de contato suficiente com o desinfetante. Portanto, para análise dos resultados, todas as amostras foram consideradas como sendo de água tratada

Pela análise da Tabela 2, observa-se que as maiores concentrações de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. ocorreram no Manancial A, variando de não detectado (ND) a 2,5 oocistos/L e de ND a 18 cistos/L, respectivamente. No Manancial B, as concentrações foram inferiores, variando de ND a 1,4 oocistos de *Cryptosporidium* spp./L e de ND a 0,3 cisto de *Giardia* spp./L. A porcentagem de ocorrência dos protozoários também foi superior no Manancial A em comparação com o Manancial B, como apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Porcentagem de ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e de cistos de *Giardia* spp. na água bruta dos sistemas de abastecimento de água A e B.

Manancial	Porcentagem de ocorrência de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> spp.	Porcentagem de ocorrência de cistos de <i>Giardia</i> spp.
A	66,7% (em 16 das 24 amostras analisadas)	95,8% (em 23 das 24 amostras analisadas)
B	25% (em 6 das 24 amostras analisadas)	33,3% (em 8 das 24 amostras analisadas)

Essas ocorrências são próximas a concentrações e percentuais relatados em investigações nacionais e internacionais conduzidas em mananciais superficiais destinados ao abastecimento público, como, por exemplo: (1) Na área de captação do rio das Velhas, em Nova Lima-MG, verificaram-se percentuais de ocorrência de 96% e 100% para oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia*, respectivamente (MACHADO; CERQUEIRA, 2003); (2) Leal (2005), realizando estudo de ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia* em dois subsistemas de abastecimento de água da cidade de Divinópolis-MG, encontrou concentrações de ND a 0,3 oocisto/L – com percentual de 50% de ocorrência – e 0,2 a 25 cistos/L – com percentual de 100% de ocorrência – no subsistema Itapeperica, enquanto no subsistema Pará não foi detectado oocisto algum e as concentrações de *Giardia* variaram de ND a 2,3 cistos/L, com percentual de 30% de ocorrência; (3) Em Xangai, na China, Feng *et al.* (2011), coletaram 50 amostras de água bruta e 30 de água de torneira para avaliar a presença de *Cryptosporidium* e *Giardia*. Foram detectados (oo)cistos de *Cryptosporidium* e *Giardia* em 32% (16/50) e 18% (9/50) das amostras de água bruta, sendo que as concentrações dos protozoários variaram de 1,8 a 22,0 oocistos/10 L (média de 5,2 oocistos/10 L) e de 2,0 a 8,0 cistos/10 L (média de 4,0 cistos/10 L); (4) Em Luxemburgo, na Europa, foi monitorada, durante dois anos, a ocorrência de *Giardia duodenalis* e *Cryptosporidium parvum* no maior reservatório de água do país. As coletas foram realizadas em três locais: A – na entrada do reservatório (31 amostras), B – na entrada da ETA, a 18 km a jusante do ponto A e a 4 km a jusante de uma área recreacional (32 amostras) e C – efluente da ETA (28 amostras). Os resultados mostraram que ambos os parasitas estão presentes no reservatório ao longo do ano, havendo maior ocorrência de cistos de *G. duodenalis* em comparação com oocistos de *C. parvum*. O local A foi o mais contaminado, sendo que 81% das amostras foram positivas para pelo menos um dos parasitas, com concentrações de até 76 e 14 (oo)cistos/10 L para *G. duodenalis* e *C. parvum*, respectivamente. No ponto B

houve 53% de amostras positivas, com concentrações máximas de 2,0 oocistos/10 L e 1,0 cisto/10 L. E no ponto C não foram detectados nenhum dos protozoários (HELMÍ *et al.*, 2011).

Porém, outras pesquisas registraram ocorrências bem diferentes, como Hachich *et al.* (2000), que monitoraram durante o ano de 1999 as concentrações dos protozoários *Cryptosporidium* e *Giardia* em 28 mananciais da Rede Básica de Monitoramento em São Paulo, com o objetivo de avaliar a ocorrência e distribuição desses parasitas nas águas superficiais destinadas ao consumo humano. Das 162 amostras analisadas, 31,5% (51) foram positivas para *Giardia* e 5% (8) para *Cryptosporidium*. Dos 28 mananciais, detectou-se *Giardia* em 16 e *Cryptosporidium* em 8. Os mananciais com as maiores concentrações de *Giardia* foram: o rio Atibaia (máximo de 521 cistos/L), rio Cotia no canal da captação da estação de tratamento de água (máximo de 215 cistos/L) e ribeirão dos Cristais (máximo de 176 cistos/L). Também no rio Atibaia, em Campinas-SP, Franco, Rocha-Eberhardt e Cantusio Neto (2001) verificaram a presença de (oo)cistos de *Cryptosporidium* e *Giardia*, constatando a ocorrência dos protozoários em todas as amostras analisadas, sendo quantificados valores de 44,5 a 60,8 oocistos/0,5 L e de 33 a 95 cistos/0,5 L. Em pesquisa realizada por Heller *et al.* (2004), por um período de 12 meses, em dois mananciais de abastecimento de água na cidade de Viçosa-MG, foram verificadas concentrações médias de *Giardia* e de *Cryptosporidium* da ordem de 4 a 7 cistos/L e 6 a 20 oocistos/L, respectivamente, sendo que nos eventos de pico as concentrações encontradas chegaram a 140 cistos/L e 510 oocistos/L. Os percentuais de ocorrência foram de 58% para *Giardia* e 67% para *Cryptosporidium* no primeiro manancial e de 92% para *Cryptosporidium* e *Giardia* no segundo manancial. Karanis e outros pesquisadores (2006) analisaram 166 amostras de diferentes origens em regiões da Rússia e Bulgária quanto a presença de *Cryptosporidium* e *Giardia*. 16 (9,6%) amostras foram positivas para *Giardia*, enquanto 30 (18,1%) foram positivas para *Cryptosporidium*. Nas águas de rio da Rússia foram contabilizados de 70 a 357 cistos/10 L e de 5,0 a 113 oocistos/10 L. Já na Bulgária, as concentrações dos parasitas em água de rio variaram de 1,0 a 232 cistos/10 L e de 2 a 92 oocistos/10 L. Em nenhuma das regiões foram encontrados (oo)cistos em lagos.

Observou-se, também, que, em geral, as concentrações de cistos de *Giardia* spp. são superiores às concentrações de oocistos de *Cryptosporidium*, como constatado no Manancial A e como também já documentado por outros estudos (HÖRMAN *et al.*, 2004; BRIANCESCO; BONADONNA, 2005; Lee *et al.*, 2007; GIANGASPERO *et al.*, 2009; MONS *et al.*, 2009; CASTRO-HERMIDA *et al.*, 2010; HELMI *et al.*, 2011). Contudo, no Manancial B ocorreu o contrário: maiores concentrações de oocistos em comparação com cistos, como também observado por Heller *et al.* (2004) e Feng *et al.* (2011), o que pode ser devido ao fato de os cistos de *Giardia* spp. apresentarem maior velocidade de sedimentação (na ordem de 2,4 mm/h) em comparação aos oocistos de *Cryptosporidium* spp. (na ordem de 1,0 mm/h) (DAI; BOLL, 2006).

As concentrações de (oo)cistos de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. encontradas no Manancial B foram relativamente baixas, quando comparadas com as concentrações encontradas em mananciais lóticos, como o Manancial A e outros já citados anteriormente. No entanto, foram similares aos resultados encontrados por Hachich *et al.* (2004), que, ao estudarem diversos mananciais para abastecimento público do estado de São Paulo, verificaram que, em geral, mananciais léticos apresentavam menor ocorrência de *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp. que os mananciais lóticos.

Segundo Brookes *et al.* (2004), a menor ocorrência de protozoários em reservatórios pode ser atribuída aos fatores de remoção, inclusive sedimentação e inativação por temperatura, radiação UV e predação. De acordo com os autores, o destino e transporte dos patógenos ao longo do reservatório estão intimamente relacionados aos processos hidrodinâmicos que ocorrem em ambientes léticos e, principalmente, à carga de patógenos afluente à represa. Além disso, a ressuspensão de agentes patogênicos dos sedimentos do fundo do curso d'água, pela turbulência, também influencia na distribuição dos protozoários no reservatório.

Em relação à concentração dos protozoários na água tratada, constataram-se baixos valores e baixa ocorrência – como também observado em outros estudos (HSU; YEH, 2003; KARANIS *et al.*, 2006; VERNILE *et al.*, 2009): na ETA A foram encontrados de ND a 0,008 oocisto/L e de ND a 0,04 cisto/L, havendo resultados positivos em 8,3% das amostras (em duas das 24 amostras) para oocistos de *Cryptosporidium* spp. e 37,5% das amostras (em nove das 24 amostras) para cistos de *Giardia* spp. Na ETA B, foram contabilizados oocistos de *Cryptosporidium* spp., com concentrações variando de ND a 0,032 oocisto/L, em 8,3% das amostras (em duas das 24 amostras) e nenhum cisto de *Giardia* spp. foi encontrado.

Observa-se, também, que os valores de desvios-padrão foram relativamente elevados para ambos os protozoários, tanto na água bruta quanto na água tratada.

Com o intuito de verificar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre os sistemas de abastecimento com relação às concentrações dos dois microrganismos nas águas bruta e tratada, aplicou-se o teste *U* de Mann-Whitney e elaboraram-se gráficos box-whisker (Figura 3 e Figura 4) para facilitar a visualização. Os valores de *p* sublinhados indicam existência de diferença estatisticamente significativa.

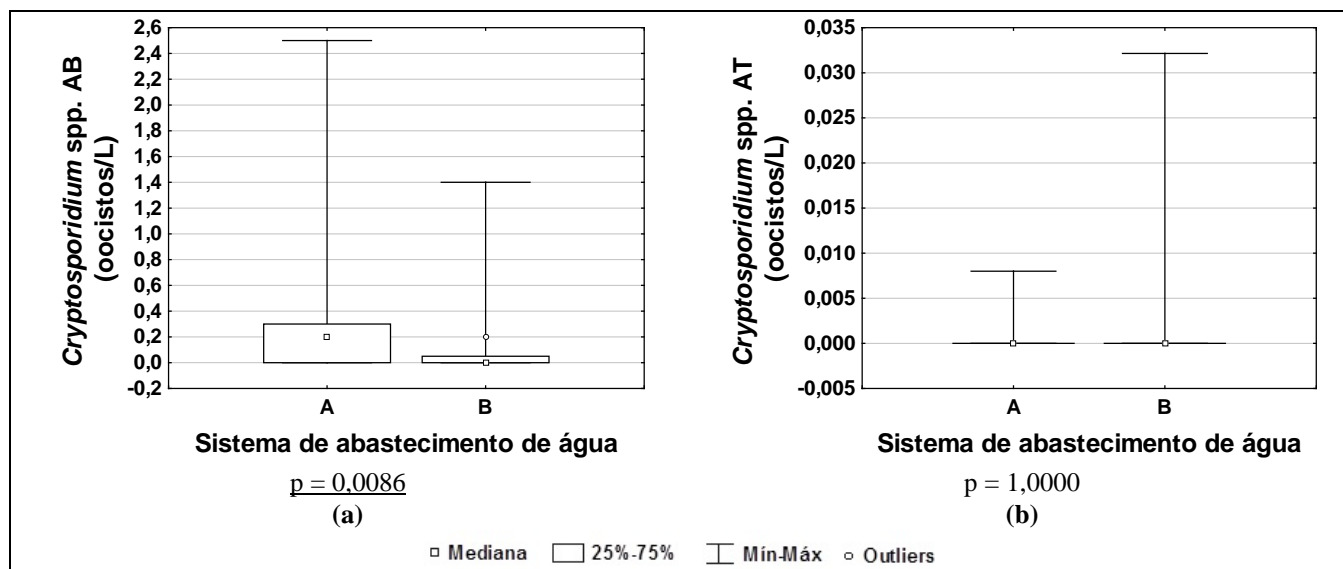


Figura 3: Gráficos box-whisker de comparação entre os sistemas de abastecimento de água quanto às concentrações (a) na água bruta (AB) e (b) na água tratada (AT) de oocistos de *Cryptosporidium* spp.

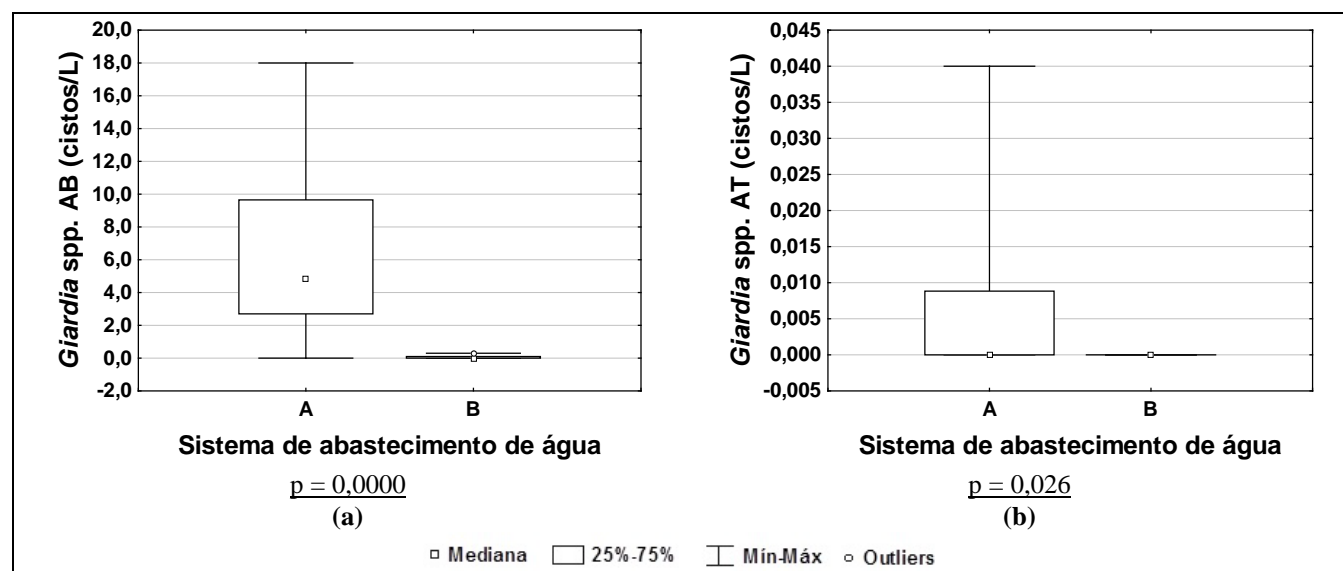


Figura 4: Gráficos box-whisker de comparação entre os sistemas de abastecimento de água quanto às concentrações na água bruta (AB) (a) e na água tratada (AT) (b) de cistos de *Giardia* spp.

Constatou-se que apenas não houve diferença estatisticamente significativa entre os sistemas A e B para os valores medianos e distribuição dos dados de concentrações de oocistos de *Cryptosporidium* spp. na água tratada. Pela análise da Figura 3b percebe-se que ambos os sistemas obtiveram valores baixos e próximos, justificando a não existência de diferença estatisticamente significativa.

Porém, ao observar o gráfico de concentração de cistos na água tratada (Figura 4b), percebem-se maiores valores para o Sistema A, justificando a existência de diferença estatisticamente significativa. No entanto, vale

lembrar que no Sistema B não foram detectados cistos em nenhuma das amostras, por isso toda a estatística se concentrou no valor zero e diferenciou dos valores do Sistema A.

Já quando se observam os resultados da água bruta, constata-se que para ambos os protozoários (Figura 3a e Figura 4a) houve diferença estatisticamente significativa entre os sistemas, sendo que sempre o Sistema A apresentou maiores concentrações e estas com maior variabilidade, o que corrobora as observações já descritas anteriormente.

Também foi aplicado o teste *U* de Mann-Whitney para se avaliar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre as concentrações dos dois microrganismos nas águas bruta e tratada em cada sistema. Elaboraram-se gráficos box-whisker (Figura 5 e Figura 6) para facilitar a visualização. Os valores de *p* sublinhados indicam existência de diferença estatisticamente significativa.

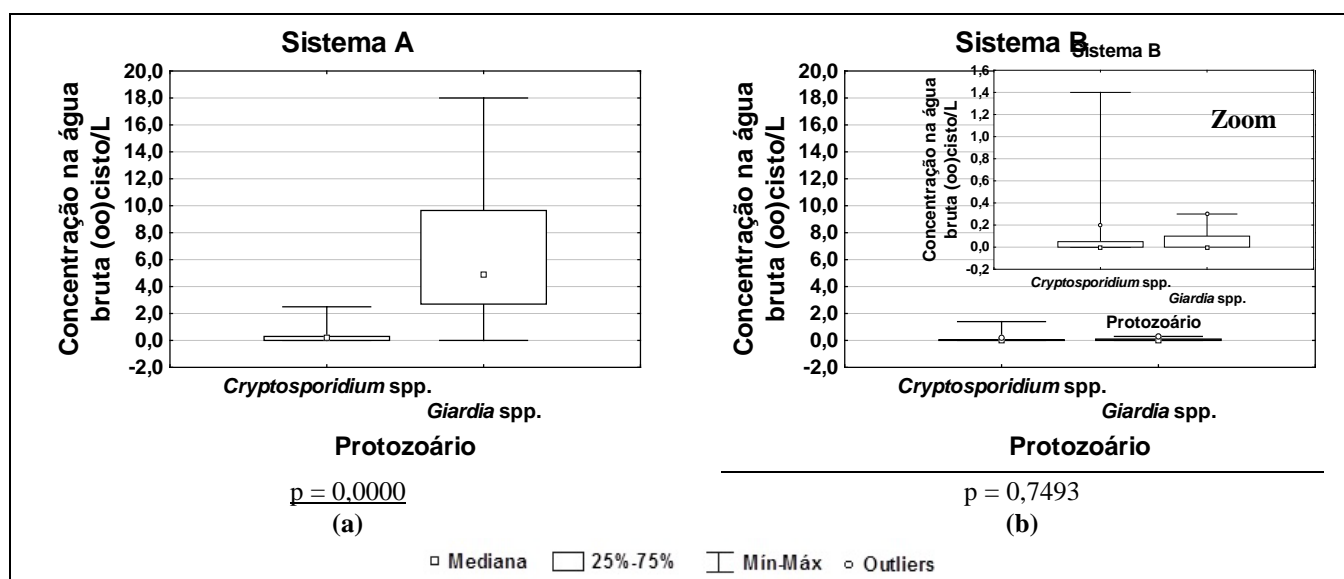


Figura 5: Gráficos box-whisker de comparação entre as concentrações de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. na água bruta para os sistemas (a) A e (b) B.

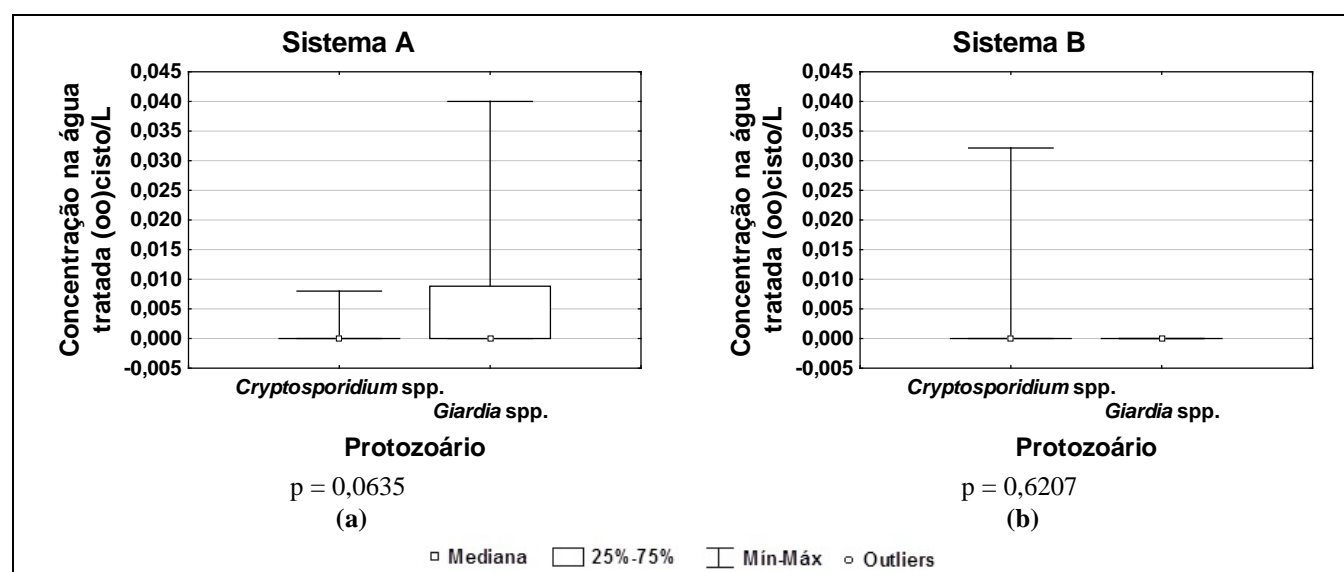


Figura 6: Gráficos box-whisker de comparação entre as concentrações de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. na água tratada para os sistemas (a) A e (b) B.

Constatou-se que apenas houve diferença estatisticamente significativa entre os valores medianos e distribuição das concentrações de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. na água bruta do Sistema A,

sendo que a concentração de *Giardia* spp. foi bem superior à de *Cryptosporidium* spp. Para todas as outras comparações, os valores medianos estiveram no mesmo patamar, justificando a não existência de diferença estatisticamente significativa.

2. Diagnóstico da eficiência das ETAs A e B na remoção de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e de cistos de *Giardia* spp.

Os resultados de remoções dos protozoários avaliados nos Sistemas A e B estão compilados na Tabela 4.

Tabela 4: Estatística descritiva das eficiências de remoção, em unidades logarítmicas, de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e de cistos de *Giardia* sp. nos Sistemas A e B.

Sistema de abastecimento	Variável	N	Mín	Méd	Medn	Máx	DP
A	<i>Cryptosporidium</i> spp. (log)	16	2,0	2,0	2,0	2,6	0,2
	<i>Giardia</i> spp. (log)	23	0,4	2,9	3,0	4,0	0,7
B	<i>Cryptosporidium</i> spp. (log)	6	1,6	1,9	2,0	2,0	0,2
	<i>Giardia</i> spp. (log)	8	2,0	2,0	2,0	2,0	0

Legenda: DP = Desvio-padrão; Máx = Máximo; Méd = Média; Medn = Mediana; Mín = Mínimo; N = Número de dados válidos.

Analisando as taxas de remoção, observa-se que essas foram bem próximas para *Cryptosporidium* spp. em ambos os sistemas – média de 2,0 log no Sistema A (com mínimo de 2,0 log e máximo de 2,6 log) e de 1,9 log no Sistema B (com mínimo de 1,6 log e máximo de 2,0 log), porém bem diferentes para *Giardia* spp. – média de 2,9 log no Sistema A (com mínimo de 0,4 log e máximo de 4,0 log) e de 2,0 log no Sistema B (com mínimo e máximo de 2,0 log). Houve pouca variação desse microrganismo no Sistema B porque houve baixa ocorrência na água bruta e nenhuma contagem na água tratada. Resultados semelhantes de eficiência de remoção foram obtidos por Mazoua e Chauveheid (2005) que constataram remoção de *Cryptosporidium* de > 1,5 a > 3,8 log e de *Giardia* de > 2,9 a > 4,4 log. Porém, vale ressaltar, que a literatura é vasta e amplamente variada.

Também foi realizado o teste *U* de Mann-Whitney para verificar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre os sistemas com relação às remoções de cada microrganismo. E elaboraram-se gráficos box-whisker (Figura 7) para facilitar a visualização. Os valores de *p* sublinhados indicam existência de diferença estatisticamente significativa.

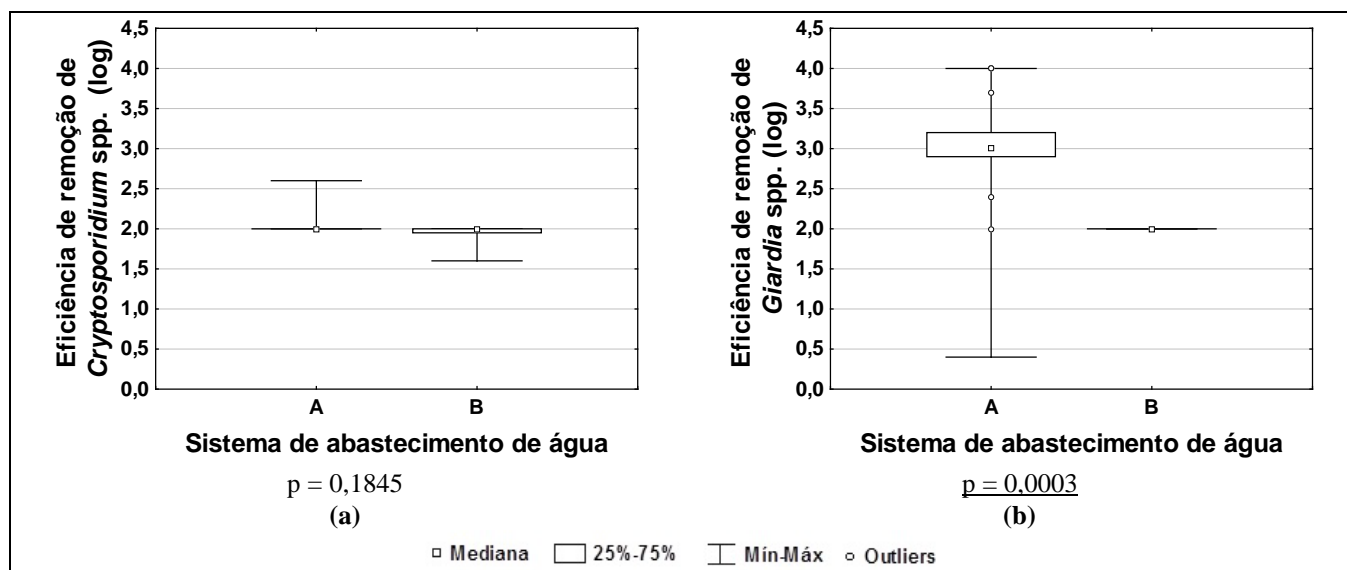


Figura 7: Gráficos box-whisker de comparação entre os sistemas de abastecimento de água quanto às remoções de (a) oocistos de *Cryptosporidium* spp. e de (b) cistos de *Giardia* spp.

Só foi encontrada diferença estatisticamente significativa entre as eficiências de remoção de *Giardia* spp. (Figura 7b), sendo que o Sistema A apresentou maiores eficiências de remoção. A não existência de diferença estatisticamente significativa entre as eficiências de remoção de oocistos (Figura 7a) indica que os dois sistemas foram igualmente eficientes na remoção do protozoário *Cryptosporidium* spp. Porém, vale ressaltar que, em muitas amostras, não foi possível calcular as taxas de remoção, tanto de oocistos de *Cryptosporidium* spp. quanto de cistos de *Giardia* spp., reduzindo o número de dados que foram comparados, portanto, as conclusões são parciais e restritas para os sistemas em estudo.

Com o intuito de verificar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre as remoções dos dois microrganismos para cada sistema, aplicou-se, também, o teste *U* de Mann-Whitney e elaboraram-se gráficos box-whisker (Figura 8) para facilitar a visualização. Os valores de *p* sublinhados indicam existência de diferença estatisticamente significativa.

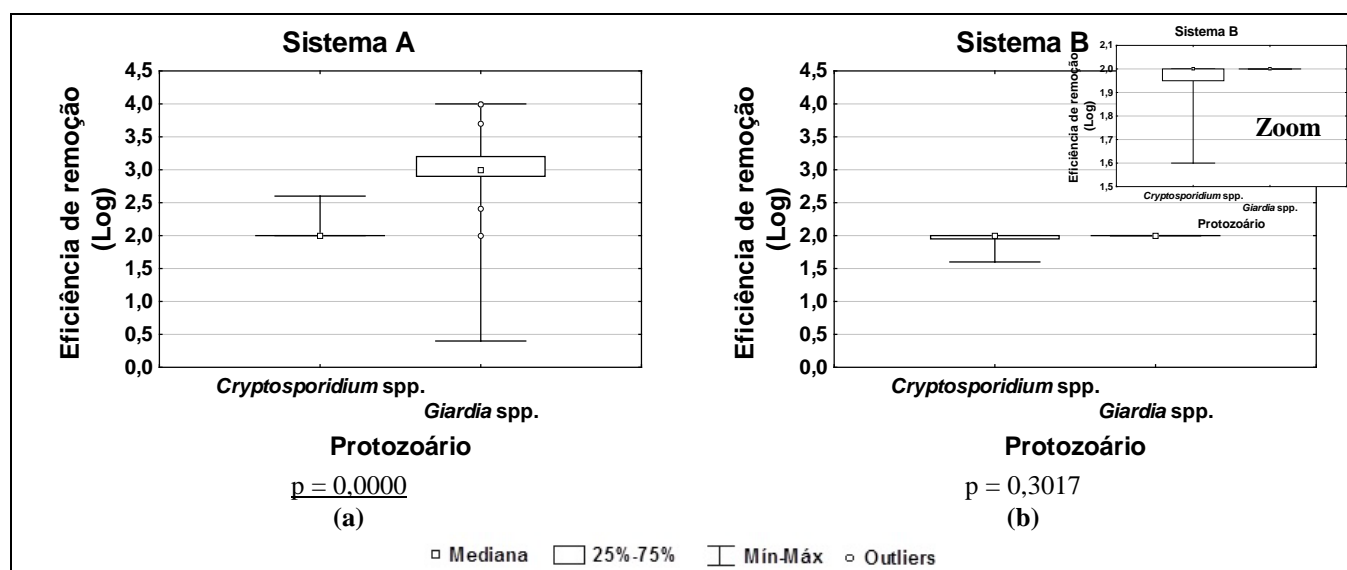


Figura 8: Gráficos box-whisker de comparação entre as eficiências de remoção de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. para os Sistemas (a) A e (b) B.

Só foi encontrada diferença estatisticamente significativa entre as eficiências de remoção dos protozoários no Sistema A (Figura 8a), sendo que a remoção de *Giardia* spp. foi superior à de *Cryptosporidium* spp., pois suas concentrações iniciais foram superiores. A não existência de diferença estatisticamente significativa entre as eficiências de remoção de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. (Figura 8b) indica que o Sistema B foi igualmente eficiente na remoção de ambos os protozoários. Porém, vale ressaltar que, em muitas amostras, não foi possível calcular as taxas de remoção, tanto de oocistos de *Cryptosporidium* spp. quanto de cistos de *Giardia* spp., principalmente no Sistema B, reduzindo o número de dados que foram comparados, portanto, novamente, as conclusões são parciais e restritas para os sistemas em estudo.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados, pode-se concluir que:

- Os Sistemas A e B apresentaram baixas concentrações de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. em comparação com outros estudos em mananciais dos mesmos tipos (lóticos e lânticos);
- No Sistema B a ocorrência de *Cryptosporidium* e *Giardia*, tanto na água bruta quanto na água tratada, foi inferior àquela observada no Sistema A;
- Em geral, as concentrações de cistos de *Giardia* spp. foram superiores às de oocistos de *Cryptosporidium* spp. no Manancial A, como constatado em outros estudos, porém, no Manancial B ocorreu o contrário, o que pode ser devido à maior velocidade de sedimentação da *Giardia* spp.;
- Foram encontradas baixas concentrações e percentuais de ocorrência dos protozoários na água tratada dos dois sistemas de abastecimento avaliados: ND a 0,008 oocisto de *Cryptosporidium* spp./L (com 8,3% das amostras positivas) e ND a 0,04 cisto de *Giardia* spp./L (com 37,5% das amostras positivas), na ETA A; ND a 0,032 oocisto de *Cryptosporidium* spp./L (com 8,3% das amostras positivas) e nenhum cisto de *Giardia* spp., na ETA B;
- As eficiências de remoção de ambos os microrganismos foram superiores para o Sistema A, devido às maiores concentrações iniciais no manancial e às baixas concentrações na água tratada;
- Ambos os sistemas de abastecimento de água avaliados mostraram-se suficientemente eficientes na remoção dos protozoários em estudo;
- É necessário que se continuem os estudos de avaliação de ocorrência e remoção dos protozoários patogênicos *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* sp. no Brasil a fim de se acumularem conhecimentos a respeito da dinâmica desses organismos no nosso país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRIANCESCO, R.; BONADONNA, L. An italian study on *Cryptosporidium* and *Giardia* in wastewater, fresh water and treated water. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 104, n. 1-3, p. 445-457, 2005.
2. BROOKES, J. D.; ANTENUCCI, J.; HIPSEY, M.; BURCH, M. D.; ASHBOLT, N. J.; FERGUSON, C. Fate and transport of pathogens in lakes and reservoirs. *Environment International*, v. 30, n. 5, p. 741-759, 2004.
3. CASTRO-HERMIDA, J. A.; GARCÍA-PRESEDO, I.; GONZÁLEZ-WARLETA, M.; MEZO, M. *Cryptosporidium* and *Giardia* detection in water bodies of Galicia, Spain. *Water Research*, v. 44, n. 20, p. 5887-5896, December 2010.
4. CERQUEIRA, D. A. *Remoção de oocistos de Cryptosporidium parvum e de indicadores no tratamento de água por ciclo completo, filtração direta descendente e dupla filtração, em escala piloto*. 2008. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Belo Horizonte.
5. COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais). Produção de Água para a Região Metropolitana de Belo Horizonte. Disponível em: <http://www.copasa.com.br/Producao_de_agua/PAGINA/Principal_prodagua.htm>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2011.
6. DAI, X.; BOLL, J. Settling velocity of *Cryptosporidium parvum* and *Giardia lamblia*. *Water Research*, v. 40, n. 6, p. 1321 - 1325, March 2006.

7. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). *Method 1623: Cryptosporidium and Giardia in water by filtration/IMS/FA*. (EPA 815-R-05-002). Office of Water (4607). 76 p. December 2005. Disponível em: <<http://www.epa.gov/microbes/>>.
8. FAYER R.; MORGAN U.; UPTON S. J. Epidemiology of *Cryptosporidium*: transmission, detection and identification. *International Journal for Parasitology*, v. 30, n. 12-13, p. 1305-1322, 2000.
9. FENG, Y.; ZHAO, X.; CHEN, J.; JIN, W.; ZHOU, X.; LI, N.; WANG, L.; XIAO, L. Occurrence, source, and human infection potential of *Cryptosporidium* and *Giardia* spp. in source and tap water in Shanghai, China. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 77, n. 11, p. 3609-3616, June 2011.
10. FRANCO, R. M. B.; ROCHA-EBERHARDT, R.; CANTUSIO NETO, R. Occurrence of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts in raw water from the Atibaia river, Campinas, Brazil. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, v. 43, n. 2, p. 109-111, March-April 2001.
11. GIANGASPERO, A.; CIRILLO, R.; LACASELLA, V.; LONIGRO, A.; MARANGI, M.; CAVALLO, P.; BERRILLI, F.; DI CAVE, D.; BRANDONISIO, O. *Giardia* and *Cryptosporidium* in inflowing water and harvested shellfish in a Lagoon in Southern Italy. *Parasitology International*, v. 58, n. 1, p. 12-17, March 2009.
12. HACHICH, E. M.; GALVANI, A. T.; PADULA, J. A.; MENEGON, N.; SATO, M. I. Z. Importância do controle dos parasitas patogênicos *Giardia* e *Cryptosporidium* em águas captadas para consumo humano. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, XXVII., 2000, Porto Alegre-RS, Brasil. *Anais...* Porto Alegre : AIDIS/ABES, 2000. 6 p.
13. HACHICH, E. M.; SATO, M. I. Z.; GALVANI, A. T.; MENEGON, J. R. N.; MUCCI, J. L. N. *Giardia* and *Cryptosporidium* in source waters of São Paulo State, Brazil. *Water Science and Technology*, v. 50, n. 1, p. 239-245, 2004.
14. HELLER, L.; BASTOS, R. K. X.; VIEIRA, M. B. C. M.; BEVILACQUA, P. D.; BRITO, L. L. A.; MOTA, S. M. M.; OLIVEIRA, A. A.; MACHADO, P. M.; SALVADOR, D. P.; CARDOSO, A. B. Oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia*: circulação no ambiente e riscos à saúde humana. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 13, n. 2, p. 79-92, junho de 2004.
15. HELMI, K.; SKRABER, S.; BURNET, J. B.; LEBLANC, L.; HOFFMANN, L. CAUCHIE, H. M. Two-year monitoring of *Cryptosporidium parvum* and *Giardia lamblia* occurrence in a recreational and drinking water reservoir using standard microscopic and molecular biology techniques. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 179, n. 1-4, p. 163-175, August 2011.
16. HÖRMAN, A.; RIMHANEN-FINNE, R.; MAUNULA, L.; VON BONSDORFF, C. H.; TORVELA, N.; HEIKINHEIMO, A.; HÄNNINEN, M. L. *Campylobacter* spp., *Giardia* spp., *Cryptosporidium* spp., Noroviruses, and indicator organisms in surface water in Southwestern Finland, 2000-2001. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 70, n. 1, p. 87-95, January 2004.
17. HSU, B.-M.; YEH, H.-H. Removal of *Giardia* and *Cryptosporidium* in drinking water treatment: A pilot-scale study. *Water Research*, v. 37, n. 5, p. 1111-1117, March 2003.
18. KARANIS, P.; SOTIRIADOU, I.; KARTASHEV, V.; KOURENTI, C.; TSVETKOVA, N.; STOJANOVA, K. Occurrence of *Giardia* and *Cryptosporidium* in water supplies of Russia and Bulgaria. *Environmental Research*, v. 102, n. 3, p. 260-271, November 2006.
19. LEAL, Patrícia Maria Ribeiro Machado. *Avaliação do risco microbiológico associado à ocorrência de protozoários em sistemas de abastecimento de água: Um estudo na cidade de Divinópolis, Minas Gerais*. 2005. 91 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, 2005.
20. LEE, S.-H.; LEE, C.-H.; KIM, Y.-H.; DO, J.-H.; KIM, S.-H. Occurrence of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts in the Nakdong River and their removal during water treatment. *Journal of Water and Health*, v. 5, n. 1, p. 163-169, 2007.
21. LOPES, Ana Maria Moreira Batista. *Avaliação da ocorrência de oocistos de Cryptosporidium spp. e de cistos de Giardia spp. e sua associação com indicadores bacteriológicos e turbidez na represa de Vargem das Flores – MG*. 2009. 126 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, 2009.
22. MACHADO, P. M. R.; CERQUEIRA, D. A. Ocorrência de (oo) cistos de *Cryptosporidium* e *Giardia* na área de captação e sua remoção no sistema de tratamento de água do rio das Velhas COPASA - Nova Lima - MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Joinville-SC. *Anais...* Joinville : ABES 2003.
23. MAZOUA, S.; CHAUVEHEID, E. Aerobic spore-forming bacteria for assessing quality of drinking water produced from surface water. *Water Research*, v. 39, n. 20, p. 5186-5198, December 2005.

24. MONS, C.; DUMÈTRE, A.; GOSSELIN, S.; GALLIOT, C.; MOULIN, L. Monitoring of *Cryptosporidium* and *Giardia* river contamination in Paris area. *Water Research*, v. 43, n. 1, p. 211-217, January 2009.
25. RAMIREZ, N. E.; WARD, L. A.; SREEVATSAN, S. A review of the biology and epidemiology of cryptosporidiosis in humans and animals. *Microbes and Infection*, v.6, n. 8, p.773-785, July 2004.
26. STATISTICA 7.0. Tulsa, USA: StatSoft, Inc. 2004.
27. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Method 1623: *Cryptosporidium* and *Giardia* in water by filtration/IMS/FA. (EPA 815-R-05-002). Office of Water (4607). 76 p. December 2005. Disponível em: <<http://www.epa.gov/microbes/>>.
28. VERNILE, A.; NABI, A. Q.; BONADONNA, L.; BRIANCESCO, R.; MASSA, S. Occurrence of *Giardia* and *Cryptosporidium* in Italian water supplies. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 152, n. 1-4, p. 203-207, 2009.
29. XIAO, L.; FAYER, R.; RYAN, U.; UPTON, S. J. *Cryptosporidium* taxonomy: Recent advances and implications for public health. *Clinical Microbiology Reviews*, v. 17, n. 1, p. 72-97, January 2004.