



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**  
**CENTRO TECNOLÓGICO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

*Marcus Andrade Covre*

**Ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium* spp.  
e cistos de *Giardia* spp. em Sistemas de  
Abastecimento de Água da Grande Vitória, ES**

VITÓRIA, 2009.

*Marcus Andrade Covre*

**Ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium* spp.  
e cistos de *Giardia* spp. em Sistemas de  
Abastecimento de Água da Grande Vitória, ES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Edumar Ramos Cabral  
Coelho

VITÓRIA, 2009.

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

Covre, Marcus Andrade, 1983-  
C873o Ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia*  
spp. em sistemas de abastecimento de água da Grande Vitória, ES /  
Marcus Andrade Covre. – 2009.  
108 f. : il.

Orientadora: Edumar Ramos Cabral Coelho.

Co-Orientadora: Regina de Pinho Keller.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo,  
Centro Tecnológico.

1. *Cryptosporidium*. 2. *Giardia*. 3. Água - Estações de tratamento. 4.  
Grande Vitória, Região Metropolitana da (ES) - Abastecimento de água.  
I. Coelho, Edumar Ramos Cabral. II. Keller, Regina de Pinho. III.  
Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. IV. Título.

CDU: 628

---



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

**“Ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. em sistemas de abastecimento da Grande Vitória, ES”.**

MARCUS ANDRADE COVRE

**Banca Examinadora:**

Profª. Dra. Edumar Ramos Cabral Coelho  
Orientadora – DEA/CT/UFES

Profª. Dra. Regina de Pinho Keller  
Co-Orientadora – DEA/CT/UFES

Prof. Dr. Ricardo Franci Gonçalves  
Examinador Interno – DEA/CT/UFES

Profª. Dra. Maria Inês Zanoli Sato  
Examinadora Externa – CÉTESB

Coordenador do PPGEA: Prof. Dr. Julio Tomás Aquije Chacaltana

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
Vitória, ES, 17 de julho de 2009.

À minha família pelo amor, apoio e  
incentivo.

## *Agradecimentos*

A Deus, o qual me ilumina na fé e esperança.

Aos meus pais (Hélio e Terezinha) pelo apoio, pelo carinho, pela educação e ensinamento de amor à vida, dentre muitas outras ações em meu favor.

Às minhas irmãs Hailá, Fernanda e Mariana, que sempre estiveram ao meu lado com uma palavra ou gesto de afeto e incentivo.

À minha namorada Arianna que esteve sempre ao meu lado com muita alegria, carinho, paciência e compreensão.

À Prof<sup>a</sup> Edumar Coelho pela paciência, confiança, ensinamentos profissionais e principalmente pela orientação no desenvolvimento deste estudo.

À Prof<sup>a</sup> Regina Keller “Kelly” pela co-orientação e atenção a esta pesquisa, e principalmente pelos conselhos e ensinamentos que me fizeram crescer como pessoa e como profissional.

À estagiária Fabíola pela dedicação à pesquisa e apoio nos momentos difíceis.

Ao examinador interno Prof. Ricardo Francis Gonçalves, pela disponibilidade em me avaliar, sugestões dadas ao trabalho e os conhecimentos transmitidos nas disciplinas do mestrado.

À Examinadora externa Prof<sup>a</sup> Maria Inês Zanoli Sato pela disponibilidade em me avaliar e sugestões dadas ao trabalho.

À Prof<sup>a</sup> Eliana Zandonade pela orientação nos tratamentos estatísticos.

Ao Prof. Jair Casagrande pelos conhecimentos passados em campo.

Ao grupo de pesquisa em tratamento de água “puxadinho”: Sabrina, Márcia, Deivyson, Lucas, Fernando e Cristal pelo apoio e amizade.

Aos amigos do LABSAN e do mestrado, Amaury, Paula Segui, Pedro Assis, Catarina, Juliana, dentre outros, que somaram muita sabedoria.

Ao Laboratório de Saneamento Ambiental pelo espaço físico, equipamentos e materiais cedidos para a pesquisa.

Ao CNPq e FACITEC pelo apoio financeiro.

À CESAN pelas informações prestadas, em especial ao quadro técnico (Cláudio Laranja, Jorge Vasconcelos, Cerezino e Juciane Motta) e operadores das ETAs.

*“Os que se encantam com a prática  
sem a ciência são como os  
timoneiros que entram no navio sem  
timão nem bússola, nunca tendo  
certeza do seu destino”*

Leonardo da Vinci

## RESUMO

Os protozoários *Cryptosporidium parvum* e *Giardia lamblia* têm emergido como principais causadores de doenças veiculadas à água, tanto em países desenvolvidos quanto naqueles em desenvolvimento. A presença destes parasitos em água tem chamado a atenção das organizações internacionais de saúde para uma intervenção nos padrões de qualidade da água para abastecimento público. Os cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* são resistentes às pressões ambientais, podendo sobreviver por vários meses no ambiente aquático, além resistir ao cloro no processo convencional de desinfecção. A pesquisa foi realizada no período de abril de 2008 a março de 2009, e teve como objetivo avaliar a ocorrência de *Giardia* e *Cryptosporidium* em dois sistemas de tratamento de água da região da Grande Vitória, no Estado do Espírito Santo. O sistema Carapina (A) tem duas opções de tratamento na mesma planta, filtração direta e flotação, sendo esta última operada em situações de turbidez > 30 uT na água bruta. O sistema Vale Esperança (B) possui duas linhas independentes de tratamento, uma por filtração direta e outra por tratamento convencional. As técnicas de concentração de protozoários por floculação com CaCO<sub>3</sub> e filtração em membranas foram avaliadas através de testes de eficiência relativa em diferentes matrizes (água bruta, filtrada e destilada), para definir qual técnica apresenta melhor desempenho na recuperação dos protozoários. A floculação foi melhor para *Giardia* (48,30%), mas semelhante à filtração na recuperação de *Cryptosporidium* ( $p > 0,05$ ), sugerindo que em pesquisas dos dois protozoários na mesma amostra deve-se utilizar a floculação com CaCO<sub>3</sub>. Os cistos e oocistos foram visualizados por imunofluorescência direta e contraste de fase. Os dois mananciais estudados não apresentaram diferenças no nível de contaminação dos protozoários ( $p > 0,05$ ). O tratamento convencional teve o melhor desempenho na remoção dos protozoários, pois não foi detectada a presença dos parasitos no seu efluente filtrado. Na água filtrada da flotação identificou-se a maior frequência de cistos (50,00%) e oocistos (66,67%). No efluente da filtração direta do sistema B, *Giardia* e *Cryptosporidium* foram detectados em 16,67% e 41,67% das amostras, respectivamente. A flotação e a filtração direta do sistema B apresentaram turbidez > 0,5 uT na água filtrada em 100% e 58,33% das amostras, respectivamente. No efluente da filtração direta do sistema A não foram identificados oocistos de *Cryptosporidium*, somente cistos de *Giardia* em 16,67% das amostras. Na água tratada dos reservatórios não se detectou os parasitos, porém os resultados podem estar subestimados devido às limitações das técnicas de detecção. A remoção dos protozoários por flotação variou de 1,00 a 2,36 log e na filtração direta nos sistemas A e B ficou entre 0,39 e 1,91 log sendo que na maioria dos meses não foi possível enquadrar a eficiência de remoção na recomendação feita pela USEPA (3,0 log para *Giardia* e 2,0 log para *Cryptosporidium*) devido à concentração encontrada em água bruta e o limite de detecção dos métodos. Correlações significativas foram observadas na água bruta, entre os protozoários e os parâmetros turbidez, coliformes totais, *E.coli*, cor verdadeira e aparente. O presente trabalho foi importante para mostrar a real situação dos sistemas de tratamento de água na região da Grande Vitória, ES, quanto à remoção de protozoários patogênicos, evidenciando a importância do monitoramento de *Giardia* e *Cryptosporidium* em águas destinadas ao abastecimento público.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Cryptosporidium*, *Giardia*, água, abastecimento, remoção.

## ***Abstract***

The protozoa *Cryptosporidium parvum* e *Giardia lamblia* have emerged as the main causes of waterborne outbreaks, in developed and developing countries. The presence of these parasites in water has drawn the attention of international health organizations to intervene in the patterns of water quality. The *Giardia* cysts and *Cryptosporidium* oocysts are environmentally robust and can survive in aquatic environments for several months. Cysts and oocysts are resistant to standard chlorination disinfection used for drinking water treatment. The aim of this study was to evaluate the occurrence of *Giardia* and *Cryptosporidium* in two water treatment systems in the city of Vitória, state of Espírito Santo. The study was conducted from April 2008 to March 2009, on samples of raw water, filtered effluents and treated water. The Carapina system (A) has two treatment options in the same plant: direct filtration and flotofiltration (operated when the raw water turbidity was  $> 30$  uT). Vale Esperança system (B) has two water treatment plants, by direct filtration and conventional treatment. The relative performance of flocculation and membrane filtration methods were evaluated for recovery of *Giardia lamblia* cysts and *Cryptosporidium parvum* oocysts seeded in distilled, filtered and raw water. The flocculation was better for *Giardia* (48.30%) but similar to the filtration in the recovery of *Cryptosporidium* ( $p > 0.05$ ), suggesting that in same sample the two protozoa must be concentrated by flocculation. Cysts and oocysts were identified by direct immunofluorescence assay and the presence was confirmed by phase contrast microscopy. The raw water from systems A and B were not different in the level of the protozoa contamination ( $p > 0,05$ ). The conventional treatment had the best performance in the removal of protozoa, because the presence of parasites on its effluent was not detected. The higher frequency of cysts (50.00%) and oocysts (66,67%) were identified at flotofiltration effluent. *Giardia* and *Cryptosporidium* were detected in 16.67% and 41.67%, respectively, of the direct filtration system B samples. In the filtered water of flotofiltration and direct filtration the turbidity was  $> 0.5$  uT at 100% and 58.33% of the samples. At the effluent from direct filtration of system A, *Cryptosporidium* oocysts were not identified, only *Giardia* cysts in 16.67% of the samples. In treated water from reservoirs the parasites were not detected. The removal rates of protozoa by flotofiltration ranged from 1.00 to 2.36 log and by direct filtration (systems A and B) was between 0.39 and 1.91 log. That in most months was not possible to frame the efficiency of recommended removal by the USEPA (3.0 log for *Giardia* and 2.0 log *Cryptosporidium*), because the concentration found in raw water and detection limit of the methods. Significant correlations in the raw water were observed between the protozoa and the parameters turbidity, total coliforms, *E.coli*, true color and apparent color. The results of monitoring may be underestimated, because the detection techniques don't have 100% recovery. This study was important to show the real situation of water treatment systems in Vitória city, when it comes to the protozoa pathogens removal. Monitoring protozoa is very important to ensure the distribution of drinking water to the population.

**Keywords:** *Cryptosporidium*, *Giardia*, water, removal.

## *Lista de figuras*

Figura 1. Ciclo de vida do <i>Cryptosporidium</i> spp.....	26
Figura 2. Ciclo de vida de <i>Giardia lamblia</i> .....	30
Figura 3. Localização das bacias do Rio Santa Maria da Vitória (1) e do Rio Jucú (2), no Estado do Espírito Santo.....	47
Figura 4. ETA Carapina, Serra - ES.....	48
Figura 5. ETA Vale Esperança, tratamento convencional.....	49
Figura 6. Tratamentos de água efetuados pelo sistema A e B.....	49
Figura 7. Fluxograma dos processos de tratamento de água e pontos de coleta nos sistemas A e B.....	52
Figura 8. Pontos de coleta no Sistema Vale Esperança (A – Chegada de água bruta; B – Ponto de coleta dos filtros da ETA FD; C – Ponto de coleta dos filtros da ETA TC; D – Ponto de coleta do reservatório apoiado).....	53
Figura 9. Pontos de coleta no Sistema Carapina (A – Chegada de água bruta; B – Ponto de coleta de água bruta; C – Ponto de coleta dos filtros da ETA FD/FT; D – Ponto de coleta do reservatório elevado).....	53
Figura 10. Amostras de água bruta, filtrada e tratada em repouso para decantação dos protozoários.....	56
Figura 11. Membrana após filtração da amostra de água bruta.....	57
Figura 12. Microscópio de Epifluorescência utilizado para identificação de protozoários (ZEISS TM Axioplan HBO 50, com filtros de 450-490nm de excitação e 510nm de supressão).....	58
Figura 13. Oocistos de <i>Cryptosporidium</i> (A), em aumento de 400 X, e cistos de <i>Giardia</i> (B), em aumento de 630 X, visualizados por IFD.....	60
Figura 14. Cistos de <i>Giardia</i> visualizados por contraste de fase.....	60
Figura 15. Cartelas positivas. A - Coliformes totais (poços amarelos); e B - <i>E.coli</i> (poços azuis fluorescentes).....	62

## *Lista de tabelas*

Tabela 1. Registros de surtos de criptosporidiose e giardíase em vários países.....	23
Tabela 2. Ocorrência de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> e cistos de <i>Giardia</i> em mananciais superficiais.....	34
Tabela 3. Presença de protozoários patogênicos em sistemas de tratamento de água.....	38
Tabela 4. Descrição das análises físico-químicas realizadas nas águas de estudo.....	63
Tabela 5. Parâmetros físico-químicos das matrizes em cada concentração testada.....	65
Tabela 6. Análise descritiva dos testes de sensibilidade para recuperação de cistos e oocistos pelas técnicas de concentração por filtração e floculação.....	66
Tabela 7. Teste ANOVA para o desempenho das técnicas de concentração em cada protozoário pesquisado.....	66
Tabela 8. Estatística descritiva da recuperação dos protozoários em cada matriz concentrada pela floculação com CaCO <sub>3</sub> e filtração em membranas.....	68
Tabela 9. Teste ANOVA para o desempenho das matrizes em cada protozoários pesquisado.....	68
Tabela 10. Teste ANOVA para o desempenho das concentrações de inóculo em cada protozoários pesquisado.....	69
Tabela 11. Frequência de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> e cistos de <i>Giardia</i> na água bruta dos sistemas A e B.....	70
Tabela 12. Estatística descritiva dos resultados da pesquisa de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> e cistos de <i>Giardia</i> na água bruta dos sistemas A e B.....	70
Tabela 13. Teste <i>t</i> da concentração dos protozoários nos dois mananciais.....	71
Tabela 14. Frequência de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> e cistos de <i>Giardia</i> na água bruta, filtrada e tratada dos sistemas Carapina e Vale Esperança.....	73
Tabela 15. Estatística descritiva dos resultados da pesquisa de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> e cistos de <i>Giardia</i> nas águas em que foram encontrados protozoários.....	74
Tabela 16. Resultados da estatística descritiva da concentração de protozoários nos diferentes processos de tratamentos de água.....	81

## *Lista de siglas*

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	Sulfato de alumínio
ANOVA	Análise de Variância
APHA	“American Public Health Association”
AWWA	“American Water Works Association”
$\text{CaCO}_3$	Carbonato de cálcio
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	Hidróxido de cálcio
CDC	“Center for Disease Control and Prevention”
CESAN	Companhia Espírito Santense de Saneamento
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
$\text{Cl}_2$	Cloro gás
DAPI	4'-6-Diamidino-2-phenylindol
DWI	“Drinking Water Inspectorate”
DWPL	“Drinking Water Priority List”
ER	Eficiência de Recuperação
ES	Espírito Santo
ETAs	Estações de Tratamento de Água
EUA	Estados Unidos da América
FITC	“Fluorescein isothiocyanate”
ID50	Dose Infectante que acomete 50% da população exposta
IEMA	Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
IFD	Imunofluorescência Direta
IMS	“Immuno-Magnetic Separation”
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LABSAN	Laboratório de Saneamento Ambiental
MG	Minas Gerais
NMP/100 ml	Número Mais Provável em 100 ml de amostra
OMS	Organização Mundial da Saúde
OPAS	Organização Pan-americana de Saúde
PBS	“Phosphate Bufferid Saline”
PCR	“Polymerase Chain Reaction”
pH	Potencial Hidrogeniônico
PtCo	Platina - Cobalto

$R_s$	Coeficiente de correlação de Spearman
s/d	Sem data
SDS	Sodium Dodecyl Sulfate
SIDA	Síndrome de Imunodeficiência Adquirida
SPSS	“Statistical Package for the Social Sciences”
UC	Unidade de cor
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
uT	Unidade de turbidez
USEPA	“United States Environmental Protection Agency”
US-FDA	“United States Food and Drug Administration”
WEF	“Water Environmental Federation”
WHO	“World Health Organization”

# Sumário

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>19</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	19
<b>3.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>20</b>
3.1	<i>Cryptosporidium</i> E <i>Giardia</i> : UMA QUESTÃO DE SAÚDE PÚBLICA .....	20
3.2	CASOS DE CRIPTOSPORIDIOSE E GIARDÍASE ASSOCIADOS À ÁGUA .....	22
3.3	O PARASITO <i>CRYPTOSPORIDIUM</i> .....	25
3.4	O PARASITO <i>GIARDIA</i> .....	29
3.5	DISSEMINAÇÃO E SOBREVIVÊNCIA NO AMBIENTE AQUÁTICO .....	32
3.6	CISTOS DE <i>Giardia</i> E OOCISTOS DE <i>Cryptosporidium</i> EM ÁGUA DESTINADA AO ABASTECIMENTO PÚBLICO .....	33
3.7	REMOÇÃO DE PROTOZOÁRIOS PELOS PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA.....	38
3.8	DETECÇÃO DE OOCISTOS DE <i>CRYPTOSPORIDIUM</i> SPP. E CISTOS DE <i>GIARDIA</i> SP. EM AMOSTRAS AMBIENTAIS .....	43
<b>4.</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>47</b>
4.1	LOCAL DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA .....	47
4.2	AMOSTRAGEM .....	51
4.2.1	Pontos de coleta .....	51
4.2.2	Coletas para análises físico-químicas e bacteriológicas .....	54
4.2.3	Coletas para pesquisa de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> e cistos de <i>Giardia</i> .....	54
4.3	TÉCNICAS DE CONCENTRAÇÃO DE PROTOZOÁRIOS EM ÁGUA .....	55
4.3.1	Floculação por carbonato de cálcio (VESEY <i>et al.</i> , 1993).....	55
4.3.2	Técnica de filtração por membranas (ALDOM e CHAGLA, 1995, adaptado por FRANCO <i>et al.</i> , 2001).....	56
4.4	IDENTIFICAÇÃO MICROSCÓPICA DOS PROTOZOÁRIOS .....	57
4.4.1	Técnica de Imunofluorescência Direta (IFD) .....	57
4.4.2	Teste de confirmação por Contraste de Fase .....	59
4.5	QUANTIFICAÇÃO DE CISTOS E OOCISTOS NAS AMOSTRAS AMBIENTAIS.. .....	59
4.5.1	Critérios de positividade .....	59

4.6	AVALIAÇÃO DA SENSIBILIDADE DAS TÉCNICAS DE CONCENTRAÇÃO DE PROTOZOÁRIOS .....	61
4.7	CONTROLE POSITIVO E NEGATIVO .....	62
4.8	INDICADORES BACTERIOLÓGICOS DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	62
4.9	INDICADORES FÍSICO-QUÍMICOS DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	63
4.10	DADOS PLUVIOMÉTRICOS .....	63
4.11	ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	64
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>65</b>
5.1	TESTES DE SENSIBILIDADE DAS TÉCNICAS DE CONCENTRAÇÃO .....	65
5.1.1	Características físico-químicas das matrizes .....	65
5.1.2	Recuperação de cistos e oocistos quanto às técnicas de concentração (floculação com CaCO <sub>3</sub> e filtração em membranas) .....	65
5.1.3	Desempenho das técnicas de floculação com CaCO <sub>3</sub> e filtração em membranas considerando as matrizes utilizadas.....	67
5.2	OCORRÊNCIA DE CISTOS DE <i>Giardia</i> E OOCISTOS DE <i>Cryptosporidium</i> NOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	70
5.2.1	Mananciais Superficiais .....	70
5.2.2	Estações de Tratamento de Água.....	73
5.3	CORRELAÇÃO DE CISTOS E OOCISTOS COM OS INDICADORES DE QUALIDADE DA ÁGUA .....	77
5.4	AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE CISTOS E OOCISTOS PELOS PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA ESTUDADOS.....	80
5.4.1	Tratamento Convencional.....	81
5.4.2	Filtração Direta .....	82
5.4.3	Flotofiltração.....	84
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>85</b>
<b>7.</b>	<b>RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>86</b>
<b>8.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>87</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>97</b>
	<b>ANEXO A – ESPECIFICAÇÕES DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS .....</b>	<b>97</b>
	<b>ANEXO B – RESULTADOS DETALHADOS DOS TESTES DE SENSIBILIDADE DAS TÉCNICAS .....</b>	<b>98</b>

<b>ANEXO C – RESULTADOS DAS ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DAS AMOSTRAS DO SISTEMA CARAPINA (A), E DADOS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DO PERÍODO DE ESTUDO.....</b>	<b>99</b>
<b>ANEXO D – RESULTADOS DAS ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DAS AMOSTRAS DO SISTEMA VALE ESPERANÇA (B), E DADOS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DO PERÍODO DE ESTUDO.....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXO E – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN DOS PROTOZOÁRIOS COM PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, BACTERIOLÓGICOS E PLUVIOMÉTRICOS .....</b>	<b>104</b>
<b>ANEXOS F – GRÁFICOS DE DISPERSÃO DOS PARÂMETROS CORRELACIONADOS NA ÁGUA BRUTA DOS SISTEMAS A E B. ....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXO G - REMOÇÃO (log) DOS PROTOZOÁRIOS Giardia E Cryptosporidium NOS DIFERENTES PROCESSOS DE TRATAMENTO DOS SISTEMAS CARAPINA E VALE ESPERANÇA.....</b>	<b>108</b>

# 1. INTRODUÇÃO

O abastecimento público de água é uma preocupação constante da sociedade, uma vez que a escassez do recurso água, acompanhada do aumento da demanda e deterioração dos corpos hídricos, encontra-se em níveis alarmantes. O desenvolvimento industrial, crescimento demográfico, urbanização e a ocupação do solo de forma desordenada e intensa têm provocado o comprometimento da qualidade da água destinada ao consumo humano e à recreação, levando ao aumento dos riscos de doenças de veiculação hídrica.

Segundo a “World Health Organization” (WHO, 2003), cerca de quatro milhões de pessoas morrem anualmente, devido às doenças associadas ao consumo da água contaminada e ao esgotamento sanitário inadequado. Os principais problemas de contaminação da água estão relacionados aos agentes biológicos patogênicos introduzidos ocasionalmente, representados principalmente pelas bactérias, vírus e parasitos.

A emergência, nas últimas décadas, dos protozoários *Cryptosporidium parvum* e *Giardia lamblia* como principais causadores de doenças gastrintestinais relacionadas ao consumo de água em países desenvolvidos e em desenvolvimento, tem chamado a atenção das organizações internacionais de saúde para uma intervenção nos padrões de qualidade da água para abastecimento público. A criptosporidiose e a giardíase acometem, principalmente, crianças, idosos e pessoas imunodeficientes, apresentando sintomas diversos (diarréias severas, dores abdominais, náuseas, febre e dores de cabeça), e em alguns casos, podendo levar ao óbito. A *Giardia* tem a importância de ser o parasita mais diagnosticado em humanos, e o *Cryptosporidium* destaca-se por ser recentemente documentada sua transmissão pela água.

A veiculação hídrica de oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia* é facilitada pelo longo período que permanecem viáveis no ambiente, pela baixa dose infecciosa, resistência à cloração, e no caso dos oocistos, pelo tamanho reduzido que facilita sua passagem pelo leito filtrante. A qualidade da água potável distribuída à população deve ser assegurada pelo conceito de múltiplas barreiras, que envolve desde a proteção das fontes (superficiais ou subterrâneas), até a otimização dos processos de tratamento e manutenção adequada dos sistemas de distribuição.

Alguns países desenvolvidos já estabeleceram limites de aceitação para cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* em água para abastecimento. A “United States Environmental Protection Agency” (USEPA, 1999), estabeleceu como meta a ausência de protozoários, e

---

define que o limite de remoção com inativação de cistos e oocistos deva ser de 3 e 2 log, respectivamente. Em termos de transmissão, nos Estados Unidos é tolerado um risco anual de infecção de 1:10.000 ( $10^{-4}$ ). Já no Reino Unido, o “Drinking Water Inspectorate” (DWI, 2005) indica que o limite máximo adotado é de um oocisto em 10L, com risco anual de 1:10 ( $10^{-1}$ ).

No Brasil, o Ministério da Saúde através da Portaria N° 518/2004, apenas recomenda a pesquisa de oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia* com o objetivo de atingir um padrão de ausência. A não exigência do monitoramento destes protozoários patogênicos em água para abastecimento público no Brasil pode estar colocando em risco a saúde da população, uma vez que a associação com os principais indicadores de qualidade da água não é bem entendida.

A utilização de técnicas mais sensíveis e específicas para a identificação de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* tem sido um grande desafio para as pesquisas relacionadas a estes protozoários em água. O custo elevado e o número de etapas são considerados fatores limitantes para a implantação das metodologias de detecção de *Giardia* e *Cryptosporidium* em laboratórios de controle de qualidade da água. No entanto, uso de técnicas alternativas de maior simplicidade e de baixo custo, mas com rigoroso controle de qualidade, é uma saída para os laboratórios que são desprovidos de altos investimentos.

A região da Grande Vitória é abastecida por dois mananciais superficiais, o Rio Jucú e Santa Maria da Vitória, cujas águas são captadas pelos sistemas de tratamento Vale Esperança e Carapina, respectivamente. Segundo o Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA, s/d), as duas bacias apresentam problemas semelhantes que prejudicam a qualidade da água, como o desmatamento, assoreamento, uso indiscriminado de agrotóxicos, lançamento de efluentes domésticos e industriais, atividades pecuaristas nas margens dos rios, e despejo de resíduos sólidos domésticos e hospitalares.

Considerando a escassez de trabalhos associados à presença de *Cryptosporidium* e *Giardia* em estações de tratamento de água no Estado do Espírito Santo, a presente pesquisa teve como objetivo investigar a ocorrência dos protozoários em águas destinadas ao abastecimento público na região da Grande Vitória. O trabalho foi realizado por um período de 12 meses, através de amostragens mensais da água bruta, filtrada e tratada de dois sistemas de tratamento de água que abastecem a região.

---

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

A presente pesquisa tem como objetivo geral avaliar a presença e a remoção de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. nos dois principais sistemas de tratamento de água na região da Grande Vitória, ES.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a sensibilidade das técnicas de concentração por floculação com carbonato de cálcio e filtração em membranas na recuperação dos protozoários;
  - Comparar qualitativamente os mananciais superficiais em termos de concentração de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium*;
  - Relacionar a presença e/ou ausência de oocistos e cistos com indicadores físico-químicos e bacteriológicos de qualidade da água, e índice pluviométrico, visando buscar parâmetros que possam ser utilizados como medida indireta da presença de oocistos e cistos;
  - Avaliar a remoção de oocistos e cistos nos diferentes sistemas de tratamento de água, indicando a opção de tratamento com melhor eficiência na remoção dos protozoários.
-

## 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 *Cryptosporidium* E *Giardia*: UMA QUESTÃO DE SAÚDE PÚBLICA

As doenças relacionadas ao consumo de água são responsáveis pela grande maioria das patologias que acometem os seres humanos. Mais de 40% da população mundial não têm acesso aos serviços sanitários aceitáveis e, como consequência, cerca de quatro milhões de pessoas morrem anualmente, devido às doenças associadas ao consumo da água contaminada e ao esgotamento sanitário inadequado (WHO, 2003).

Os protozoários e os vírus têm substituído às bactérias patogênicas como agentes de maior preocupação na transmissão de doenças de veiculação hídrica e, de modo geral, são mais infecciosos do que os agentes bacterianos (GALE & STANFIELD, 2000). A emergência de um novo grupo de protozoários presentes na água, responsáveis por diversos casos de doenças gastrintestinais em seres humanos, e que têm sido registrados em vários países, demonstra que a qualidade microbiológica da água não pode mais ser determinada simplesmente pela contagem de bactérias do grupo coliformes.

O *Cryptosporidium* e a *Giardia* são parasitas responsáveis pelas doenças criptosporidiose e giardíase, respectivamente. Estes gêneros de protozoários são capazes de causar doenças em animais e humanos, e têm sido associados a numerosos surtos de doenças gastrointestinais em diversos países. Nos EUA, segundo Moore *et al.* (1993), dos 23 surtos associados a ingestão de água em que foram identificados os agentes etiológicos, a maioria estava relacionada com os parasitas *Giardia* e *Cryptosporidium*.

Na população humana existem subgrupos com diferentes susceptibilidades ao parasitismo causado pelos protozoários patogênicos, que incluem crianças, idosos, pessoas desnutridas, prejudicadas por outras doenças (ex. diabetes), e imunocomprometidos (pacientes com SIDA, transplantados e que realizam quimioterapia). O *Cryptosporidium* aparece com maior patogenicidade em indivíduos imunocomprometidos do que em outros grupos, apresentando altas taxas de mortalidade (50%) (ROSE, 1997; ADDISS, *et al.*, 1995; JURANEK, 1995).

As doenças causadas por estes protozoários representam o principal problema de saúde pública, no que se refere ao consumo de água. Segundo Rose (1997), o *Cryptosporidium* é reconhecido como um dos contaminantes da água mais importantes. As vias de contaminação e contato são amplamente conhecidas, no entanto surtos ocorrem anualmente em vários países, desde zonas tropicais a temperadas (O'DONOGHUE, 1995).

---

Os principais casos de criptosporidiose e giardíase estão associados à água de abastecimento público. Isto ocorre porque os cistos de *Giardia* e, especialmente, os oocistos de *Cryptosporidium* são capazes de ultrapassar a etapa de filtração, possuem resistência à cloração e pressões ambientais, tem potencial zoonótico e a dose infectante é baixa. Apesar dos protozoários estarem em elevadas concentrações no material fecal, sua detecção em água é dificultada devido às grandes limitações das técnicas de identificação.

A presença de *Cryptosporidium* spp e *Giardia* sp. já foi relatada por diversos estudos, em águas ambientais e tratadas, tanto em países em desenvolvimento quanto nos desenvolvidos (FRANCO *et al.*, 2001; HASHIMOTO *et al.*, 2002; MULLER, 1999). Pesquisas indicam que o *Cryptosporidium* spp. esteve presente em 65% a 97% das águas superficiais monitoradas (ROSE, 1988; ROSE *et al.*, 1991; LE CHEVALLIER *et al.*, 1991). Um aumento dramático na incidência de criptosporidiose em diversos países evidenciou que oocistos de *Cryptosporidium* podem sobreviver aos processos convencionais de tratamento de água.

Os protozoários apresentam ainda outros meios de transmissão, como água de recreação, água subterrânea, alimentos contaminados (especialmente aqueles consumidos crus), animais-pessoas e pessoa-pessoa. Kramer *et al.* (1996 e 2001) relataram a presença de cistos de *Giardia* e/ou oocistos de *Cryptosporidium* em águas recreacionais de 12 localidades diferentes, oito somente dos EUA. As investigações nestes lugares foram realizadas após se detectar casos de giardíase ou criptosporidiose. A água do mar também pode apresentar riscos, já que Leal *et al.* (2008) e Johnson *et al.* (1995) detectaram a presença de *Giardia* e *Cryptosporidium* neste tipo de água. No Brasil, Leal *et al.* (2008) relataram a presença de oocistos de *Cryptosporidium* em ostras e berbigões destinados ao consumo.

Vários estudos têm documentado surtos associados ao consumo de alimentos, como os casos relatados nos estados de Maine e Nova Iorque (EUA) devido à ingestão de cidra fresca prensada (MILLARD *et al.*, 1994; FAYER e MORGAN, 2000), leite mal pasteurizado no Reino Unido (GELLETLIE *et al.*, 1997), salada de frango no estado do Minnesota (CDC, 1996), cebolas verdes mal cozidas em Washington (CDC, 1998), e vegetais e frutas contaminadas pela manipulação de cozinheiros em uma cafeteria em Washington (QUIROZ *et al.*, 2000).

No Brasil, a portaria nº 518/04 do Ministério da Saúde recomenda a pesquisa de oocistos de *Cryptosporidium* spp e cistos de *Giardia* sp, com exigência de ausências em todas as amostras coletadas. Entretanto, pouco se tem registrado no país sobre a real extensão do problema, incluindo informações epidemiológicas sobre estes parasitas. Apesar da importância e

---

urgência de controle destes protozoários em sistemas de abastecimento de água, a detecção dos mesmos passa a ser um fator importante na implementação de ações preventivas, devido à dificuldade metodológica de detecção.

### 3.2 CASOS DE CRIPTOSPORIDIOSE E GIARDÍASE ASSOCIADOS À ÁGUA

Casos de giardíase têm sido relatados desde a década de 40, mas os registros dos primeiros surtos foram na década de 60. Na década de 70, *Giardia lamblia* foi o agente etiológico mais identificado em água para abastecimento nos EUA. Já os relatos de *Cryptosporidium* como causador de doenças gastrintestinais de via hídrica são mais recentes, documentados em meados dos anos 80. Apesar de hoje as tecnologias de tratamento de água estar difundidas em quase todos os países, surtos de veiculação hídrica continuam acontecendo (CARDOSO *et al.*, 2002). A tabela 1 apresenta a ocorrência de surtos em vários países.

Problemas metodológicos de identificação de *Giardia* e *Cryptosporidium* são uns dos principais impasses na detecção de um surto ocasionado por estes protozoários. Muitas vezes, em episódios de surtos de criptosporidiose via hídrica, os parasitas não são identificados na água distribuída a população. Mas em alguns casos, a detecção dos protozoários em água tratada tornou-se evidente a origem e gravidade dos surtos de doenças gastrintestinais causadas pelos parasitas.

De 1983 a 1999, foram relatados 69 surtos de criptosporiose em países como EUA, Reino Unido, Canadá, Japão, Nova Zelândia e Austrália. Somente na América do Norte, de 1985 a 1997, 12 surtos foram registrados, sendo que em dois destes (em Milwaukee e Las Vegas) as taxas de mortalidade em pessoas imunocomprometidas variou de 52 a 68% (ROSE, 1997). O surto ocorrido em Milwaukee (1993) foi o que teve maior repercussão, atingindo cerca de 400.000 pessoas. Estes surtos ocorreram em localidades nas quais a qualidade da água distribuída a população atendia aos padrões de potabilidade exigido pela legislação, e em três delas o tratamento de água superficial captada incluía filtração (CARDOSO *et al.*, 2002). Durante o surto acontecido em Milwaukee (EUA), foram registradas 73 mortes de pacientes portadores de SIDA (33 com *Cryptosporidium*), e os hospitais da região atenderam pacientes com sintomas característicos de infecção por este protozoário por cerca de 440 dias, representando um custo médico adicional de US\$ 760.000,00 (GILSON, *et al.*, 1994).

---

A Organização Mundial da Saúde (OMS), em 1999, relatou que 10% dos registros de surtos de doenças ocasionadas pela água contaminada na Europa, tinham como responsáveis os protozoários *Cryptosporidium parvum* e *Giardia lamblia*. Segundo Kramer e colaboradores (2001), nos EUA estes mesmos parasitas foram responsáveis por 20% das doenças relacionadas à água. Dados do “Center for Disease Control and Prevention” (CDC, 2008) descrevem o aumento do número de casos de criptosporidiose de 3.411 em 2004, para 8.300 em 2007. Somente o Estado de Utah foi responsável por 1.902 casos, registrados entre os meses de junho e dezembro de 2007, e a principal causa foi associada a águas de recreação.

Tabela 1. Registros de surtos de criptosporidiose e giardíase em vários países (Fonte: BERINO, 2004).

Referência	Local	Parasita	Fonte	Ocorrências
<b>Akim e Jakubowski (1986)</b>	Colorado, EUA	Giardia	AB	123 casos
<b>Rose (1990)</b>	Inglarerra	Cryptosporidium	AB	16 casos (1983)
<b>Rose (1990)</b>	Inglarerra	Cryptosporidium	AB	50 casos (1985)
<b>Rose (1990)</b>	EUA	Cryptosporidium	AB	2.006 casos (1984)
<b>Rose (1990)</b>	EUA	Cryptosporidium	AB	13.000 casos (1987)
<b>Rose (1990)</b>	Escócia	Cryptosporidium	AB	27 casos (1988)
<b>Rose (1990)</b>	Swendon/ Oxford	Cryptosporidium	AB	5.000 casos (1989)
<b>Richardson et al. (1991)</b>	Inglarerra	Cryptosporidium	AT	19 surtos
<b>Rose et al. (1991)</b>	EUA	Cryptosporidium	AR/AT	106 casos (entre 1965-1988)
<b>Kramer et al. (1996)</b>	Indiana, EUA	Giardia	AR	80 casos em piscina (1994)
<b>Kramer et al. (1996)</b>	Maryland, EUA	Giardia	AR	12 casos em lago (1993)
<b>Kramer et al. (1996)</b>	Missouri, EUA	Cryptosporidium	AR	101 casos em piscina (1994)
<b>Kramer et al. (1996)</b>	Nova Jersey, EUA	Giardia	AR	43 casos em lago (1993)
<b>Kramer et al. (1996)</b>	Nova Jersey, EUA	Cryptosporidium	AR	418 casos em lago (1994)
<b>Kramer et al. (1996)</b>	Washington, EUA	Giardia	AR	6 casos em rio (1993)
<b>Kramer et al. (1996)</b>	Wiscosin, EUA	Cryptosporidium	AR	174 casos em piscina (1993)
<b>Kramer et al. (1996)</b>	Minesota, EUA	Cryptosporidium	AT	27 casos em lagos (1993)
<b>Kramer et al. (1996)</b>	Nevada, EUA	Cryptosporidium	AT	103 casos em lagos (1993)
<b>Kramer et al. (1996)</b>	Pensilvânia, EUA	Giardia	AT	20 casos em água subterrânea (1993)
<b>Kramer et al. (1996)</b>	South Dakota, EUA	Giardia	AT	7 casos em água subterrânea (1993)
<b>Kramer et al. (1996)</b>	Tennessee, EUA	Giardia	AT	304 casos em reservatório (1994)
<b>Kramer et al. (1996)</b>	New Hampshire, EUA	Giardia	AT	18 casos em reserv. e 36 em lagos (1994)
<b>Kramer et al. (1996)</b>	Washington, EUA	Cryptosporidium	AT	7 casos em água subterrânea (1993)

<b>Kramer et al. (1996)</b>	Washington, EUA	Cryptosporidium	AT	134 casos em água subterrânea (1994)
<b>Kramer et al. (1996)</b>	Wiscosin, EUA	Cryptosporidium	AT	403000 casos em lagos (1993)
<b>Kramer et al. (2001)</b>	Inglarerra	Crypto e Giardia	AR/AT	13 surtos de Criptosporidiose e 1 de giardíase (1986/96)
<b>Kramer et al. (2001)</b>	Malta	Giardia	AR/AT	1 surto (1996)
<b>Kramer et al. (2001)</b>	Eslovênia	Giardia	AR/AT	2 surtos (1996)
<b>Kramer et al. (2001)</b>	Espanha	Crypto e Giardia	AR/AT	1 surto de criptosporidiose e 7 de giardíase (1996)
<b>Kramer et al. (2001)</b>	Suécia	Crypto e Giardia	AR/AT	1 surto de criptosporidiose e 4 de giardíase (1996)
<b>Outbreak (2000)</b>	Florida, EUA	Cryptosporidium	AR	170 surtos
<b>Barwick et al. (2000)</b>	EUA (97/98)	Cryptosporidium	AR	49 eventos; 4211 doentes; 5 mortes
<b>Hellard et al. (2000)</b>	Austrália	Cryptosporidium	AR	11 casos em 7 famílias
<b>Cartwright e Colbourne (2001)</b>	Mediterrâneo	Cryptosporidium	AR	172 turistas britânicos afetados
<b>Craun et al. (1998)</b>	EUA	Cryptosporidium	AT	19 surtos
<b>Newman et al. (1999)</b>	Brasil (NE)	Cryptosporidium	AT	1.476 episódios de diarreia (crianças)
<b>Slifko et al. (2000)</b>	EUA	Cryptosporidium	AR	9 casos (1997-98)
<b>Rose e Huffman (2002)</b>	Inglarerra	Cryptosporidium	-	5.794 casos em 2000 e 3681 em 2001

AB – água bruta.

AR – água recreacional.

AT – água tratada.

No Brasil, segundo Wuhib *et al.* (1994), o protozoários *Cryptosporidium* foi o mais comum causador de diarreia em pacientes com SIDA e sugere que as transmissões pela água sofreu influências da sazonalidade, sendo a maioria dos casos associados a episódios de chuvas. As mudanças climáticas podem direta ou indiretamente potencializar as incidências de doenças de veiculação hídrica. Fortes chuvas, enchentes e inundações favorecem a dispersão e o contato do hospedeiro com os parasitas.

Dados de ocorrência e surtos destes patógenos na população brasileira ainda são escassos. Fagundes Neto e Oliva (1996) relataram que os protozoários *Giardia lamblia* e *Cryptosporidium* spp. estão entre os enteropatógenos mais frequentemente envolvidos com as doenças diarreicas no Brasil. Gennari-Cardoso *et al.* (1996), em pesquisa feita em fezes diarreicas de 94 crianças, entre 0 e 12 anos, identificaram oocistos de *Cryptosporidium* em 4,26% pacientes. No nordeste do país, Weikel *et al.* (1985) relataram que *Cryptosporidium* foi o quarto patógeno mais comum associado com diarreia. Nesta mesma região, Newman *et al.* (2001) identificaram *Giardia lamblia* em 27,4% (43/157) das crianças pesquisadas. Em um hospital de referência no Município de Vitória, ES, Sadovsky (2005) detectou, em crianças de até três anos com diarreia aguda, a prevalência de 11,4 e 14,8% de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia lamblia*, respectivamente.

### 3.3 O PARASITO *CRYPTOSPORIDIUM*

#### **Histórico**

O gênero *Cryptosporidium* compreende protozoários parasitas que receberam grande atenção nos últimos 20 anos como patógenos humanos clinicamente importantes. Foi descrito pela primeira vez por Ernest Edward Tyzzer em 1907. Por muito tempo pensou-se que fossem patógenos de animais de ocorrência raras e oportunistas. O primeiro caso de criptosporidiose humana foi relatado nos Estados Unidos em 1976 e envolveu uma criança de 3 anos residente em área rural, que sofria de uma severa gastroenterite.

Com base na morfologia e em estudos de transmissão cruzada, são reconhecidas as seguintes espécies do gênero *Cryptosporidium*: *C. hominis*, responsável por mais de 70% das doenças causadas por *Cryptosporidium* em crianças de países em desenvolvimento; *C. parvum*, causador de infecções intestinais e respiratórias nos mamíferos; *C. muris*, que tem sido descrito por infectar apenas o estômago de roedores; *C. baileyi*, que infecta as aves; *C. serpentis* que infecta os répteis, *C. nasorum*, infeccioso para os peixes e *C. felis* capaz de infectar felinos. Portanto, os animais silvestres e domésticos podem constituir reservatórios da infecção humana, uma vez que está demonstrada a transmissão entre animais e humanos.

Os primeiros estudos sobre a ocorrência ambiental de *Cryptosporidium* começaram em 1985, e em 1988, a USEPA incluiu o *Cryptosporidium* na “Drinking Water Protection List” (DWPL), após surtos de criptosporidiose ocorridos no Texas, Georgia e na cidade de Milwaukee (BUTLER & MAYFIELD, 1996).

#### **Ciclo Biológico**

O ciclo de vida do *Cryptosporidium* pode ser dividido em seis segmentos distintos: o desencistamento, a merogonia (assexual), a gametogamia (sexual), a fertilização, a formação da parede do oocisto e a esporogonia (Figura 1).

---

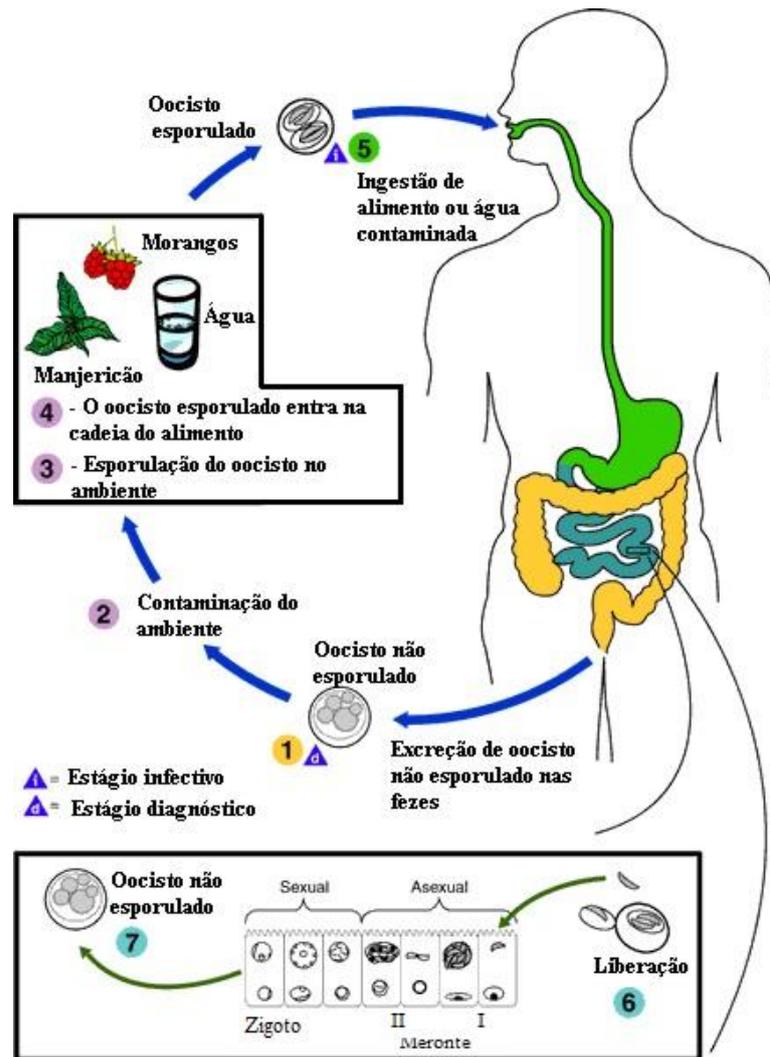


Figura 1. Ciclo de vida do *Cryptosporidium* spp. (Fonte: JURANEK, 2000 apud CDC, 2008).

Os estágios de vida do parasito são todos intracelulares. O esporozoítio se diferencia em um trofozoítio esférico e em seguida a multiplicação assexuada ocorre formando 2 tipos de merontes (ou esquizontes): o tipo 1 contém 6-8 núcleos os quais se tornam incorporados em 6-8 merozoítos quando o meronte está maduro. Cada merozoítio é capaz de infectar uma nova célula hospedeira e depois se desenvolver tanto em um novo tipo 1 de meronte ou em um meronte tipo 2 o qual contém apenas 4 merozoítos quando maduro. Os merozoítos de tipo 2 também invadem novas células do hospedeiro, e iniciam a multiplicação sexual se diferenciando em estágios macho (microgametócito) e fêmeas (macrogametas). Após fertilização, o macrogameta fertilizado ou zigoto se desenvolve em um oocisto e cada oocisto contém 4 esporozoítos potencialmente infecciosos (GOODGAME, 1996).

A forma mais importante é a do oocisto esporulado, com diâmetro de 4 a 6  $\mu\text{m}$ , que é eliminado nas fezes dos hospedeiros. A parede do oocisto é espessa, o que confere uma

proteção robusta aos esporozoítos em momentos de estresse e, também resistência contra os desinfetantes clorados. Nos mamíferos, a infecção ocorre frequentemente no trato gastrintestinal (FAYER, 1997).

Cada geração de parasita pode se desenvolver e maturar em um período de 12-14 horas. O ciclo de vida rápido somado aos ciclos autoinfectivos podem produzir grandes números de parasitas no intestino.

### **Transmissão**

A criptosporidiose é transmitida principalmente pela ingestão de água contaminada, mas também pode ser veiculada pela ingestão de alimentos contaminados, através do contato de animal com pessoas e via contato pessoa-pessoa. Em qualquer destas situações, a probabilidade de transmissão, mesmo com pequenas quantidades de oocistos, é muito alta. Segundo Dupont *et al* (1995), a dose infecciosa mínima necessária para infectar 50% (ID50) de indivíduos adultos saudáveis é de apenas 132 oocistos de *C. parvum*. A ID50 para indivíduos imunocomprometidos é de 35 a 50 oocistos, no entanto, alguns trabalhos sugerem que apenas dois oocistos são capazes de causar infecção.

### **Manifestações Clínicas**

A criptosporidiose pode atingir indivíduos de todas as idades, mas exige maior preocupação quando atinge crianças, idosos e imunocomprometidos. Os sintomas podem variar desde portador assintomático até diarréias severas semelhante à da cólera, e dores abdominais, náuseas, anorexia, febre e dor de cabeça (ANDRADE NETO e ASSEF, 1996).

Nos pacientes imunodeprimidos infectados pelo vírus da SIDA, o grau de imunodeficiência correlaciona-se com a severidade da infecção, podendo ocorrer desequilíbrio eletrolítico, má absorção, emagrecimento acentuado e mortalidade elevada (NEVES, 2000).

---

## Epidemiologia

O *Cryptosporidium* tem sido considerado em vários países o parasita intestinal mais importante, superando outros protozoários. A infecção por *Cryptosporidium* já foi relatada em mais de 60 países distribuídos nos seis continentes, acometendo pessoas entre 3 e 97 anos de idade (ROSE, 1990; FLANIGAN e SOAVE, 1993). As pessoas mais suscetíveis de serem infectadas pelo *Cryptosporidium* são: crianças em creches, pessoas que utilizam água não tratada, pessoas em contato com pacientes contaminados em hospitais, veterinários em contato com animais de fazenda, e principalmente indivíduos imunodeficientes.

Estudos realizados em diversos países mostraram que a criptosporidiose tem uma prevalência média de 1% a 3% nos países desenvolvidos, e em países em desenvolvimento os índices podem variar de 5% a 10%, podendo atingir até 15% em algumas regiões. Em algumas regiões do Brasil, os índices chegam acima de 20% para crianças e indivíduos portadores da SIDA (LIMA, 2000). Segundo o Ministério da Saúde, no período de 1980 a abril de 1999 foram notificados 155.590 casos de SIDA, nos quais consta a ocorrência de criptosporidiose em 4.691.

## Patogênese

A patogenia da criptosporidiose é influenciada por vários fatores que incluem, entre eles, a idade, a competência imunológica do indivíduo infectado, e a associação com outros patógenos. Durante algum tempo foi considerada uma doença que acometia apenas indivíduos com algum tipo de imunodeficiência, mas nos últimos anos tem sido observada uma frequência considerável em pessoas imunocompetentes (LIMA, 2000).

Após o processo de excitação quatro esporozoítos são liberados e aderem à superfície da mucosa intestinal através de um fator de aderência identificado como uma lectina. Após esta interação, alguns estudos sugerem que as células da mucosa intestinal liberam citocinas que ativam fagócitos residentes. Estas células ativadas liberam fatores solúveis que aumentam a secreção de água e cloretos do intestino e inibem a sua absorção. Assim, as células intestinais seriam danificadas por um dos seguintes processos: a morte das células seria um resultado direto da invasão, multiplicação e extrusão do parasito ou de uma resposta inflamatória que produziria atrofia das vilosidades e hiperplasia das cristas intestinais (GOODGAME *et al*, 1996).

---

## Tratamento

A administração de somente nitazoxamida, ou combinada com paramomicina pode ser usada para o tratamento de criptosporidiose, apresentando grande atividade em pacientes imunocomprometidos por SIDA. Em adultos e crianças imunocompetentes, a nitazoxamida tem sido recomendada nos EUA (ROSSIGNOL, 2009).

### 3.4 O PARASITO *GIARDIA*

#### Histórico

A *Giardia* foi, possivelmente, o primeiro protozoário intestinal humano a ser conhecido. A primeira descrição foi atribuída a Anton van Leeuwenhock, em 1681, que notou microrganismos móveis em suas próprias fezes. Nos últimos 20 anos, a *Giardia* tem sido bastante estudada, devido à grande disseminação nas populações.

O gênero *Giardia* é descrito como parasita de várias espécies animais, como a *Giardia duodenalis* capaz de infectar espécies de aves, répteis e mamíferos; *G. muris*, infecta roedores, aves e répteis; *G. agilis*, infecta anfíbios; *G. psittaci*, parasita periquitos; e *G. ardeae*, que acomete as garças azuis. A espécie que parasita o homem possui três denominações, *G. duodenalis*, *G. lamblia* e *G. intestinalis* (SOGAYAR e GUIMARÃES, 2000).

#### Ciclo Biológico

A *Giardia* é um parasito monoxênico de ciclo biológico direto. O ciclo inicia-se com a ingestão dos cistos e o desencistamento no estômago pelo meio ácido, completando-se no duodeno e jejuno, onde ocorre a colonização do intestino delgado pelos trofozoítos. Estes se reproduzem por divisão binária longitudinal (assexuada). O ciclo se completa pelo encistamento pelo parasito e sua eliminação para o meio exterior. Dentro do cisto ocorre a nucleotomia, podendo apresentar-se então com quatro núcleos (figura 2). Recentemente, a *Giardia* foi classificada como também de reprodução sexuada. Algumas pesquisas demonstraram que espécimes isolados de *Giardia duodenalis* tem funcionalidade diplóide,

---

que apresentam recombinação ou reprodução sexual (COOPER, *et al.*, 2007; Morrison *et al.*, 2007).

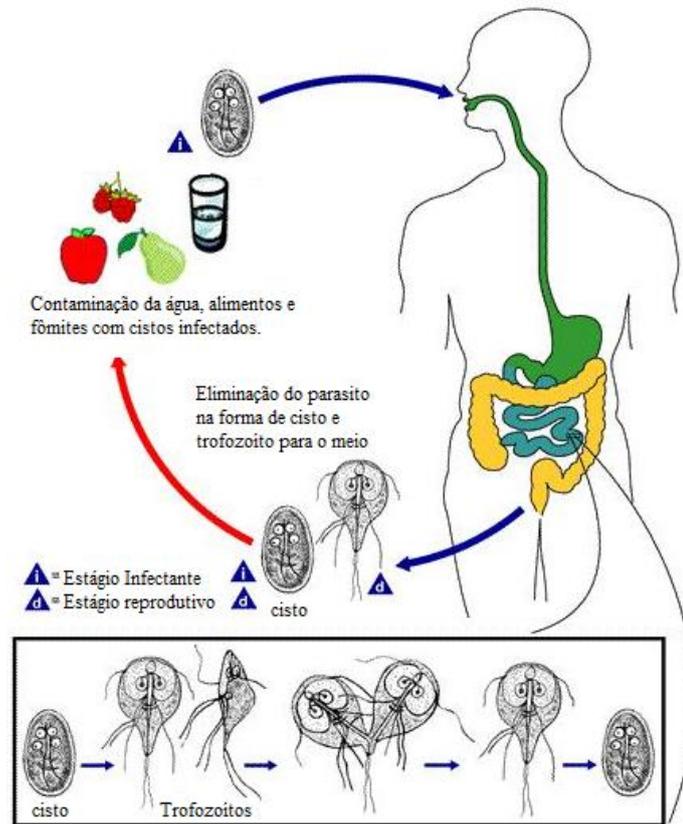


Figura 2. Ciclo de vida de *Giardia lamblia*. (Fonte: CDC, 2008)

## Transmissão

A principal via de infecção do homem é através da ingestão de cistos maduros, que se transmite principalmente pela ingestão de água contaminada e sem tratamento, ou com tratamento inadequado (somente cloração), alimentos contaminados, e contato pessoa-pessoa e animal-pessoa. Em voluntários humanos, verificou-se que um pequeno número de cistos (10 a 100) é suficiente para produzir infecção (NEVES, 2000).

## Manifestações Clínicas

A giardíase pode se manifestar de forma assintomática em adultos, mas em crianças são freqüentes os sintomas de diarreia crônica podendo persistir por meses, perda de peso, anemia, e em alguns casos, dor abdominal. As principais complicações de giardíase crônica

estão associadas à má-absorção de gordura, e nutrientes como vitaminas lipossolúveis, vitamina B12, ferro, xilose e lactose.

### **Epidemiologia**

A giardíase é encontrada em todo mundo, acometendo principalmente crianças de oito meses a 12 anos. Altas prevalências são descritas em regiões tropicais e subtropicais e entre pessoas que não tem acesso ao saneamento básico. O cisto é capaz de resistir até dois meses no meio exterior, em boas condições de umidade e temperatura, e ao processo de cloração no tratamento de água.

A maior parte dos casos de diarreia não-bacteriana na América do Norte é causada pela *Giardia*, onde se estima que 2% da população estejam infectadas pelo protozoário (US-FDA, 2006). Os principais surtos da doença foram associados ao consumo de água proveniente de sistemas que não utilizam a filtração ou que apresentam deficiências no processo de tratamento. No Brasil, a prevalência de giardíase é de 4% a 30% (SOGAYAR e GUIMARÃES, 2000).

### **Patogênese**

Os mecanismos que levam ao quadro clínico de diarreia e má absorção causada por *Giardia*, não são bem elucidados. O indivíduo parasitado pode apresentar mudanças na mucosa intestinal, atrofia parcial ou total das vilosidades. Os trofozoítos aderidos ao epitélio intestinal podem romper e distorcer as microvilosidades do lado que o disco adesivo entra em contato com a membrana da célula. Há evidências de que o parasito libere substâncias citotóxicas na luz intestinal. Entretanto, os processos inflamatórios desencadeados pelo parasito também pode ser a causa dos principais sintomas. O atapetamento da mucosa intestinal pelos trofozoítos, também é citado como contribuinte para a má absorção e episódios de diarreias.

---

## Tratamento

A giardíase pode ser tratada efetivamente com nitroimidazol, metronidazol ou tinidazol, utilizando uma única dose. Albendazol e nitazoxamida também são efetivos no tratamento da giardíase, mas requerem múltiplas doses (ROSSIGNOL, 2009).

### 3.5 DISSEMINAÇÃO E SOBREVIVÊNCIA NO AMBIENTE AQUÁTICO

Diversos estudos têm divulgado a ocorrência de *Giardia* e *Cryptosporidium* em águas destinadas ao abastecimento. Os protozoários estão presentes no ambiente na forma de cistos e oocistos, que lhes conferem a capacidade de sobreviver sob as mais variadas condições ambientais (BUTLER e MAYFIELD, 1996). A presença destes microorganismos na água se deve ao lançamento de esgoto sanitário não tratado nos corpos hídricos, descartes de águas residuárias, resíduos de abatedouros, deposição direta de fezes de animais, e indireta pela lixiviação do solo contaminado com fezes de animais domésticos e silvestres, podendo ser intensificada quando há episódios de precipitação intensa (XIAO *et al.*, 2001; GARY *et al.*, 1983; JELLISON, *et al.*, 2002).

A contaminação do ambiente aquático por oocistos de *Cryptosporidium* tem sido fortemente associada à deposição de fezes de animais, através do lançamento direto ou lixiviação, considerando que um único bezerro infectado pode eliminar de  $10^5$  a  $10^7$  oocistos por grama de fezes, e um animal adulto  $10^4$  oocistos por grama de fezes. Os cistos de *Giardia* são encontrados com maior frequência em fezes humanas do que em dejetos de animais, podendo ser eliminados em concentrações de 1010 cistos por dia por apenas um paciente (ATHERHOLD *et al.*, 1998). O lançamento de esgoto e a lixiviação de solos contaminados por fezes de animais são fontes significantes de *Giardia* e *Cryptosporidium* viáveis, já que o material fecal protege os cistos e oocistos de dessecação, prolongando a viabilidade no ambiente.

Além da detecção de *Giardia* e *Cryptosporidium* em águas superficiais, os protozoários também podem ser encontrados no ambiente marinho. O lançamento de esgoto sanitário, tratado ou não, nos oceanos é uma prática comum em todo mundo. Apesar da salinidade reduzir a viabilidade dos cistos e oocistos, em oceanos que apresentam temperatura frias, os

protozoários são significativamente mais resistentes, fato que pode representar sérios riscos a saúde de banhistas e consumidores de frutos do mar (JOHNSON *et al.*,1997; ROSE, 1997).

A sobrevivência destes protozoários em ambientes aquáticos pode ser afetada por diferentes fatores ambientais (LIM *et al.*,1999; OLSON *et al.*,1999; NASSER *et al.*,2003). A temperatura é a variável ambiental que mais afeta a sobrevivência dos patógenos entéricos, que em casos extremos, pode facilmente reduzir a viabilidade dos protozoários (ROSE, 1997). Temperaturas abaixo de 0°C e acima de 60°C são capazes de eliminar a maioria dos protozoários presentes, mas não completamente. O estudo realizado por Robertson e colaboradores (1992) demonstrou que uma pequena proporção de oocistos de *Cryptosporidium* permaneceu viável após exposição a temperaturas inferiores a -22°C por longos períodos (775h).

Assim como temperaturas extremas influenciam na viabilidade dos patógenos, altos e baixos valores de pH também são capazes de afetar a sobrevivência dos protozoários. Campbell *et al.* (1992) relatou que a exposição por 1h em pH próximo de 1 ou 13 inativa significativamente os oocistos de *Cryptosporidium*. O aumento da acidez e temperatura é capaz elevar a permeabilidade da parede dos cistos e oocistos, permitindo a transdução de sinais externos em toda a parede para os esporozoítos, acarretando uma resposta intracelular parasito-específica que dá início a excitação (SMITH *et al.*, 2005).

### 3.6 CISTOS DE *Giardia* E OOCISTOS DE *Cryptosporidium* EM ÁGUA DESTINADA AO ABASTECIMENTO PÚBLICO

Diante dos diversos casos relatados de giardiase e criptosporidiose relacionados com o consumo de água, fatos que foram documentados principalmente nos EUA, as autoridades de saúde pública alertaram-se para a importância da obtenção de dados de ocorrência e distribuição destes parasitas, tornando-se necessário o estabelecimento de medidas de controle e vigilância da água para o consumo humano. Atualmente, um grande desafio para a produção de água de elevado padrão de qualidade é o monitoramento de patógenos, como *Giardia*, *Cryptosporidium* e vírus entéricos (HELLER *et al.*, 2007).

No Brasil, a Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde propõe a utilização de indicador não-biológico complementar como a turbidez, para garantir água isenta de *Giardia* e *Cryptosporidium*. Nesse instrumento, a turbidez é admitida como parâmetro de natureza

---

sanitária, assumindo-se que baixa turbidez, por um lado, propicia maior eficiência da desinfecção na eliminação de bactérias e vírus e, por outro, é indicativa da remoção de (oo)cistos de protozoários pela filtração. São recomendados reduzidos valores de turbidez para água filtrada (<0,5 uT), “com vistas a assegurar a adequada eficiência de remoção de enterovírus, cistos de *Giardia* spp. e oocistos de *Cryptosporidium* spp.” em instalações compostas por filtros rápidos.

No Reino Unido o monitoramento de oocistos de *Cryptosporidium* na água tratada é indicado pela legislação que regula a qualidade de água distribuída a população. Sistemas de abastecimento de água que apresentam riscos para *Cryptosporidium* são obrigados a realizar monitoramentos contínuos da água tratada. O limite estabelecido é de um oocisto em 10 litros de água tratada. O monitoramento foi regulamentado após a pesquisa realizada 201.136 amostras de água tratada, entre os anos de 2000 a 2004. Os oocistos foram detectados em 16% das amostras, com concentração máxima de 0,49 oocistos/L (DWI, 2005).

### Ocorrência em Águas Superficiais

Em águas de mananciais superficiais, pesquisas têm sido feitas em vários países com o objetivo de avaliar o grau de contaminação dos ambientes aquáticos naturais e das fontes de abastecimento. Os protozoários *Giardia* e *Cryptosporidium*, por serem provenientes de várias fontes de contaminação e considerando a resistência às pressões ambientais, estes microrganismos são frequentemente encontrados em águas captadas para abastecimento público, assim como relatado por inúmeros trabalhos. Mas, as limitações metodológicas e ausência de indicadores confiáveis ainda dificultam o controle destes parasitos.

Na tabela 2 podem-se visualizar algumas pesquisas de identificação de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* realizadas em mananciais superficiais de diversos países.

Tabela 2. Ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia* em mananciais superficiais.

Local/ Fonte	Parasito	Amostras Positivas	Concentração (oo) cistos/L	Referência
17 estados EUA/ água superficial	<i>Cryptosporidium</i>	55%	0,43	Rose <i>et al.</i> (1991)
	<i>Giardia</i>	16%	0,03	
EUA/ bacias de Malcom e N5; e Ribeirão Ashokan	<i>Cryptosporidium</i>	88,43%	-	Jiang <i>et al.</i> (2005)

<b>British Columbia, Canadá/ 3 mananciais protegidos</b>	<i>Giardia</i>	-	0,03; 2,29; 0,3	Issac Renton <i>et al.</i> (1996)
<b>EUA/ reservatórios e cursos d' água; e mananciais protegidos</b>	<i>Cryptosporidium</i>	-	99; 2	Rose (1988)
<b>14 estados EUA/ mananciais</b>	<i>Giardia</i>	-	200	Le Chevalier e Norton (1995)
	<i>Cryptosporidium</i>	-	240	
<b>14 estados e uma província Canadá/ mananciais</b>	<i>Cryptosporidium</i>	97%	-	Le Chevalier <i>et al.</i> (1991)
<b>Utah, EUA/ manancial</b>	<i>Giardia</i>	-	48 - 101	Nieminski e Orgerth (1995)
	<i>Cryptosporidium</i>	-	67 - 256	
<b>Washington e Califórnia</b>	<i>Cryptosporidium</i>	100%	-	Ongerth e Stibbs (1987)
<b>Honduras/ quatro mananciais</b>	<i>Giardia</i>	-	240 - 2100	Solo-Gabriele <i>et al.</i> (1998)
	<i>Cryptosporidium</i>	-	58 - 260	
<b>Pittsburg, EUA/ manancial</b>	<i>Giardia</i>	-	34	States <i>et al.</i> (1997)
	<i>Cryptosporidium</i>	-	31	
<b>Escócia</b>	<i>Cryptosporidium</i>	-	0,6 - 230	Smith <i>et al.</i> (1991)
<b>Canadá/ duas bacias</b>	<i>Giardia</i>	100%	-	Ong <i>et al.</i> (1996)
	<i>Cryptosporidium</i>	100%	-	
<b>EUA/ Rio Delaware</b>	<i>Giardia</i>	-	0,5	Atherholt <i>et al.</i> (1998)
	<i>Cryptosporidium</i>	-	0,1	
<b>Costa Rica/ Manancial</b>	<i>Cryptosporidium</i>	85,7%	-	Luna <i>et al.</i> (2002)
<b>Taiwan/ Rio Kau-Ping</b>	<i>Giardia</i>	92%	1.956	Hsu <i>et al.</i> (2000)
	<i>Cryptosporidium</i>	61%	4.776	
<b>Paris, França/ Bacias dos rios Sena e Marne</b>	<i>Giardia</i>	-	9,28	Rouquet <i>et al.</i> (2001)
	<i>Cryptosporidium</i>	-	2,18	
<b>Rússia e Bulgária/ 18 mananciais superficiais</b>	<i>Giardia</i>	38,89%	150,71	Karanis <i>et al.</i> (2006)
	<i>Cryptosporidium</i>	94,44%	21,70	
<b>Alemanha/ 6 mananciais</b>	<i>Giardia</i>	-	0,88	Karanis <i>et al.</i> , (1998)
	<i>Cryptosporidium</i>	76,2%	1,16	
<b>Espanha/ manancial</b>	<i>Cryptosporidium</i>	100%	0,43 – 1,36	Montemayor <i>et al.</i> (2005)
<b>Irlanda/ manancial</b>	<i>Cryptosporidium</i>	20,83%	-	Chalmers, <i>et al.</i> (1997)
<b>Taiwan/ manancial</b>	<i>Giardia</i>	-	0,09	Hu (2002)
	<i>Cryptosporidium</i>	-	0,19	
<b>Malásia/ manancial</b>	<i>Giardia</i>	90%	0 – 60	Ahmad <i>et al.</i> (1997)
	<i>Cryptosporidium</i>	ausente	-	
<b>Japão/ manancial</b>	<i>Giardia</i>	92%	17	Hashimoto <i>et al.</i> (2002)
	<i>Cryptosporidium</i>	100%	40	
<b>Canadá/ 72 mananciais</b>	<i>Giardia</i>	21%	-	Wallis <i>et al.</i> (1996)
	<i>Cryptosporidium</i>	4,5%	-	
<b>Itália/ manancial</b>	<i>Giardia</i>	57,14%	0,02	Vernile <i>et al.</i> (2008)
	<i>Cryptosporidium</i>	ausente	-	

No Brasil, tem-se intensificado as pesquisas referentes a estes patógenos em água, demonstrando que os protozoários também estão presentes nos mananciais do país. Muller (1999) relatou a presença de oocistos de *Cryptosporidium* spp. em 75 e 73,91% das amostras de dois mananciais que abastecem a região metropolitana de São Paulo, quando concentradas por floculação por  $\text{CaCO}_3$  e filtração em membranas, respectivamente. A autora encontrou concentrações médias de 36,1 oocistos/L pela técnica de floculação, e 20,93 oocistos/L pela filtração. Em 2002, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) divulgou os resultados da pesquisa protozoários realizada em 28 pontos de captação, durante 19 meses. Os resultados obtidos indicaram a presença de cistos *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* em 27 e 2,5% das amostras analisadas, respectivamente (HACHICH, 2004).

No município de Campinas, Cantusio Neto (2004) analisou a presença de protozoários no Rio Atibaia e em uma estação de tratamento de água. Detectou cistos de *Giardia* em 90% das amostras de água bruta no primeiro experimento e, em 100% das amostras no segundo experimento, totalizando uma concentração média de 34,3 cistos/L. Não foram detectados oocistos de *Cryptosporidium* na água bruta. Ainda no Estado de São Paulo, no município de Araras, Dias Júnior (1999) descreveu a ocorrência e circulação de oocistos e cistos em 58,4 e 66,7%, respectivamente, das águas superficiais analisadas. Nos rios Araras e Mogi-Guaçu foram encontradas densidades de cistos que variaram de 10 a 298/L, enquanto que as de oocistos foram de 6 a 148/L.

Branco (2006), analisando a qualidade parasitológica de águas minerais naturais de nascentes no município de Campos do Jordão, São Paulo, detectou a presença de *Giardia* e *Cryptosporidium* em 25% das amostras analisadas (3/12). As fontes estudadas apresentaram concentrações de 0,2 a 0,3 oocistos/L e 0,07 a 0,1 cistos/L.

Berino (2004) investigou a presença de cistos e oocistos nas águas brutas de quatro afluentes do Lago Guaíba, em Porto Alegre, Estado do Rio Grande do Sul. Os seguintes resultados foram obtidos para os rios Taquari, Caí, Sinos e Gravataí, respectivamente: 75, 42, 33 e 25% das amostras foram positivas para *Cryptosporidium* e 92, 83, 67 e 50% para *Giardia*. Os valores médios observados foram: 0,8 oocistos e 1,76 cistos/L no rio Taquari; 0,47 oocistos e 0,66 cistos/L no rio Caí; 19 oocistos e 53 cistos / 100L no rio Sinos; e 0,16 oocistos e 0,92 cistos/L no rio Gravataí. O autor afirma que estes resultados podem estar subestimados devido à baixa recuperação dos métodos analíticos empregados.

---

No município de Viçosa, Minas Gerais, Bastos *et al.* (2002) e Dias (2007) detectaram cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* em duas fontes de água destinadas ao abastecimento público. Em 2002, no Ribeirão São Bartolomeu foram encontrados 0 – 140 cistos/L e 0 – 510 oocistos/L, e no Rio Turvo 0 – 130 cistos/L e 0 – 330 oocistos /L. Na primeira campanha realizada por Dias (2007) entre 2003 e 2004, os protozoários foram identificados nos quatros trimestres, com concentrações médias de 20,2 cistos/L e 15,3 oocistos/L. Na segunda campanha, realizada entre os meses de janeiro e junho de 2007, os protozoários foram detectados em oitos pontos, com médias de concentração de 13,51 cistos/L e 30,54 oocistos/L.

Na cidade de Recife, PE, Machado (2006) identificou oocistos de *Cryptosporidium* em 5% das amostras analisadas de quatro mananciais da região, com concentrações variando de 16 a 40 oocistos/L. Na mesma região, Borges e colaboradores (2007) verificaram a ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium* na água do mar destinada à manutenção dos peixes-boi marinhos, e encontraram a presença do protozoário em 66,67% das amostras coletadas, nas concentrações de oito a 56 oocistos/L, mesmo depois de esta água ter recebido o tratamento físico-químico.

A presença de *Giardia* e *Cryptosporidium* em mananciais superficiais de diversas regiões do país, como relatado na literatura, demonstra que estes protozoários estão disseminados nas principais fontes de abastecimento de água do Brasil. A ocorrência de cistos e oocistos nos mananciais mostra a importância do controle e monitoramento destes patógenos na água distribuída à população.

### **Ocorrência em Estações de Tratamento de Água**

A transmissão de giardíase e criptosporidiose via água de consumo tem recebido atenção nas últimas décadas pela já constatada possibilidade de veiculação via água tratada. A ocorrência quase que global dos protozoários em águas naturais associada às limitações dos processos convencionais de tratamento contribui para aumentar os riscos à saúde da população. Considerando a importância desses protozoários como causadores de doenças de veiculação hídrica, vários estudos têm sido realizados com o objetivo de avaliar a fragilidade dos sistemas de tratamento de água na remoção de cistos e oocistos.

---

A tabela 3 apresenta a ocorrência de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* em estações de tratamento de água no Brasil e em outros países.

Tabela 3. Presença de protozoários patogênicos em sistemas de tratamento de água.

Referências	Local	Tipo de tratamento	Água bruta		Água filtrada		Água tratada	
			Ooc./L	Cist. /L	Ooc./L	Cist. /L	Ooc./L	Cist./L
Hsu <i>et al.</i> (2000)	Taiwan	Convencional *	0,56	0,11	0,047	0,04	0,047	0
Kfir <i>et al.</i> (1995)	África do Sul	ni	6	30	na	na	0	2
Hsu <i>et al.</i> (2001)	Taiwan/ 26 ETAs	ni	na	na	na	na	0,22	0,79
LeChevallier <i>et al.</i> (1991)	Canadá	Filtração direta	na	na	0,01	0,04	na	na
Muller (1999)	São Paulo, Brasil	Convencional	30,38	na	na	na	0,26	na
Ali <i>et al.</i> (2004)	Egito	Convencional	2,5	0,5	nd	nd	nd	nd
Hu (2002)	Taiwan	Filtração direta	0,19	0,09	na	na	0,65	0,48
Hashimoto <i>et al.</i> (2002)	Japão	Convencional	0,4	0,17	0,001	0,0008	na	na
Ahmad <i>et al.</i> (1997)	Malásia	Convencional	nd	21,4; 2,7	na	na	nd	nd
Vernile <i>et al.</i> (2008)	Itália	Convencional	nd	0,02	na	na	nd	nd
Oliveira (2004)	Viçosa, Brasil	Convencional	20,02	30	na	na	0	0
Bastos <i>et al.</i> (2002)	Viçosa, Brasil	Convencional	70,26	20,18	1,29	0,49	na	na
		Filtração direta	70,26	20,18	0,21	0,46	na	na
Cantusio Neto (2004)	São Paulo, Brasil	Convencional	nd	34,3	nd	nd	na	na

\* Tratamento convencional com utilização de ozônio.

na – não analisada.

nd – não detectado.

ni – não informado.

### 3.7 REMOÇÃO DE PROTOZOÁRIOS PELOS PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA

A frequência de detecção de oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia* em águas tratadas, mesmo em baixas concentrações, e os ocasionais surtos de doenças de veiculação hídrica acontecidos nas últimas décadas, demonstram que os processos convencionais de tratamento de água não são completamente efetivos na remoção ou inativação de protozoários. A parede espessa e o tamanho relativamente pequeno dos oocistos de

*Cryptosporidium* são os principais fatores determinantes da elevada resistência deste protozoário aos processos de convencionais de tratamento de água.

As estações de tratamento de água utilizam de uma forma geral, as etapas de clarificação e desinfecção para fins de remoção/ inativação de organismos patogênicos. A clarificação tem o objetivo de remover partículas em suspensão (dentre elas os patogênicos) por meio de combinação dos processos de coagulação, floculação, sedimentação e filtração. A desinfecção realizada com produtos á base de cloro, tem a finalidade de inativar os organismos eventualmente presentes na água. Mas a remoção físico-química dos protozoários patogênicos tem recebido atenção especial devido às dificuldades de inativação química desses organismos (HUCK *et al.*, 2002).

No entanto, a otimização dos processos de tratamento de água para abastecimento poderia reduzir o número de oocistos e cistos encontrados na água tratada. Há influências quanto à sequência de tratamento empregada anterior ao processo de filtração, se coagulação somente, se coagulação e pré-floculação caracterizando a filtração direta, se coagulação, floculação e sedimentação caracterizando o tratamento convencional. A característica do material filtrante empregado nos filtros também influencia a remoção destes patógenos.

No Brasil, a tecnologia de tratamento convencional ou ciclo completo, composta por coagulação, floculação, sedimentação e filtração rápida é a mais difundida, mas observa-se também a grande presença de ETAs por filtração direta. A escassez de dados sobre a qualidade da água bruta captada, grande variação da qualidade desta água e a não realização de experimentos em escala piloto faz com que a opção do tratamento convencional seja mais utilizada (FAGUNDES, 2006).

A filtração direta é mais indicada para tratar águas com turbidez, cor e algas em concentrações reduzidas. Isto porque apresenta algumas vantagens como menor número de unidades de tratamento, utilização de menor área física, menor consumo de produtos químicos, operação e manutenção mais simples e menor produção de lodo. Entretanto, a filtração direta apresenta menos barreiras sanitárias e limitações no tratamento de águas de alta turbidez (FAGUNDES, 2006).

O avanço das pesquisas relacionadas ao tratamento de água acompanhado da difusão do conceito de múltiplas barreiras contra os protozoários patogênicos tem elevado significativamente os cuidados com a água distribuída a população. O sistema por múltiplas barreiras inclui desde a proteção das fontes de água, até a utilização de etapas de tratamento

---

de água confiáveis (pré-tratamento, coagulação, floculação, sedimentação, filtração, desinfecção), e proteção das redes de distribuição de água (BERGER e OSHIRO, 2002; LECHEVALLIER, 2002).

### **Tratamento Convencional**

O tratamento convencional, ou também chamado de tratamento em ciclo completo, é composto de cinco etapas basicamente, coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. A denominação “tratamento convencional” surgiu em 1890 no estado de Ohio (EUA) quando foi recomendada por George Fuller a etapa de clarificação precedendo a filtração para as águas turvas do rio Ohio. A partir daí, a tecnologia que abarcasse aplicação de coagulante na unidade de mistura rápida e as etapas de floculação, sedimentação e filtração passaria a ser denominada “convencional” (LIBÂNIO, 2005).

Neste tipo de tratamento, a água bruta é coagulada pelo processo de mistura rápida, geralmente com sais de alumínio ou de ferro no mecanismo de varredura, no qual ocorre formação de precipitados do metal coagulante, nos quais são aprisionadas as impurezas. Em seguida, a água coagulada é submetida à agitação lenta para a formação dos flocos com tamanho e massa específica suficiente para que sejam removidos por sedimentação nos decantadores, ou por flotação com ar dissolvido. A água clarificada, produzida nos decantadores é finalmente filtrada em unidades com escoamento descendente, e posteriormente clorada no processo de desinfecção (DI BERNARDO e DANTAS, 2005). O tratamento convencional é recomendado para água bruta que apresenta turbidez e cor verdadeira com valores elevados, a qual não seria possível ser tratada pelos tratamentos mais simples. Este tipo de tratamento exige maior consumo de coagulante e área para alocação do decantador.

O tratamento convencional tem sido estudado em diversos países quanto à remoção de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium*. Nieminski (1997) estudou a remoção para cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* em sistema por filtração direta e convencional de tratamento de água e, obteve resultados semelhantes nos diferentes sistemas. Médias de remoção de 3,26 log e 3,87 log para *Giardia* no tratamento convencional e filtração direta, respectivamente. As taxas de remoção de *Cryptosporidium* foram menores em ambos os sistemas estudados, com 2,25 log de remoção no tratamento convencional e 2,79 log na filtração direta. Segundo o pesquisador, a comparação das taxas de remoção nos diferentes

---

sistemas de tratamento de água não pôde ser realizada, devido os experimentos terem sido desenvolvidos em dias diferentes, com conseqüente variação da qualidade da água bruta. Mas, obtiveram resultados de correlação da remoção da turbidez com a remoção de protozoários no sistema convencional e filtração direta. Observou que a redução da turbidez no efluente final era acompanhada pela redução da concentração dos protozoários.

Bastos *et al.* (2002) avaliou a remoção de *Giardia* e *Cryptosporidium* em três ETAs, duas que operam por tratamento convencional e uma por filtração direta. Uma ETA por tratamento convencional e a outra por filtração direta são abastecidas pelo mesmo manancial, e apresentaram protozoários nos seus efluentes filtrados. No tratamento convencional a remoção de *Giardia* foi de 0,84 a 2,79 log, e *Cryptosporidium* 0,08 a 3,23 log. Na filtração direta a *Giardia* foi encontrada somente em uma amostra, com de remoção de 1,39 log, e o *Cryptosporidium* em apenas duas amostras com taxa de remoção de 0,94 e 1,38 log. Na outra ETA por tratamento convencional, abastecida por um manancial diferente, não foram detectados protozoários no seu efluente filtrado, mesmo quando a água captada apresentou altos níveis de contaminação de *Giardia* (130 cistos/L) e *Cryptosporidium* (330 oocistos/L). Na mesma cidade, Heller *et al.* (2004) estudaram três ETAs por tratamento convencional, e detectaram protozoários em duas delas, apresentando taxas de remoção que variaram de 1 a 4 log. O pior desempenho de uma das ETA foi justificada pela reconhecida deficiências operacionais, mais especificamente a deterioração acentuada dos leitos filtrantes, além da inadequação da granulometria da areia e da obsolescência de alguns equipamentos.

Vernile *et al.* (2008) relataram boa eficiência do tratamento convencional na remoção de cistos de *Giardia*, não sendo detectada a presença de cistos no efluente filtrado. Mas cabe ressaltar que as concentrações afluentes foram consideradas baixas. Hashimoto e colaboradores (2002) avaliaram a eficiência de uma ETA por tratamento convencional, e obtiveram taxas médias de remoção de *Cryptosporidium* de 2,47 log (1,88 a 3,00 log), e de *Giardia* 2,53 log (1,74 a 3,06 log). Não constataram correlação da remoção de protozoários com a remoção de turbidez.

### **Filtração Direta**

A filtração direta não apresenta etapa de decantação, e em alguns casos a floculação não é necessária antes da filtração. Esta tecnologia foi primeiramente mencionada em 1685, pelo médico italiano Porzio. A coagulação é realizada com sais de alumínio ou de ferro, e o

---

mecanismo por neutralização de cargas com menor consumo de coagulante e formação de flocos menores de grande resistência às forças de cisalhamento durante a filtração. Os filtros podem operar no sentido descendente ou ascendente, com taxas de 360 e 120 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, respectivamente. A filtração direta é destinada a água bruta com menor teor de impurezas, geralmente turbidez menor que 25 uT e cor aparente menor que 20 mg/L Pt-Co. Esta tecnologia por não apresentar a etapa de decantação, apresenta significativa redução dos custos de implantação e operação, exigindo até 50% a menos de área do que o tratamento convencional (LIBÂNIO, 2005).

A filtração direta por ser bastante difundida no Brasil e em outros países, já foi estudada por diversos pesquisadores quanto a remoção de protozoários. LeChevallier *et al.* (1991), quando compararam a filtração em que se utiliza o filtro de areia, a filtração dupla ou a filtração mista, foi observado que o número de amostras positivas para os oocistos de *Cryptosporidium* é maior quando se emprega o tratamento com o filtro de areia, e que o problema com a filtração está associado ao tamanho dos oocistos de *Cryptosporidium* spp., que varia de 3 a 6 µm, de forma que atravessa facilmente o processo de filtração. As unidades de filtração com carvão ativado são freqüentemente usadas quando a qualidade da água é muito precária, e os autores demonstraram que mais de 60% dos efluentes filtrados por esse tipo de leito apresentaram oocistos de *Cryptosporidium* spp., superior aos filtros de areia, nas quais as amostras positivas dos efluentes filtrados superaram o valor de 36%.

Hu (2002) estudou o desempenho de uma ETA por filtração direta na remoção de *Giardia* e *Cryptosporidium*, em Taiwan. O autor observou baixas taxas de remoção de ambos os protozoários, 0,52 a 0,67 log para *Giardia* e 0,85 a 1,74 log para *Cryptosporidium*.

No estudo realizado por Marques (2006) foi demonstrado uma diferença na eficiência da filtração ascendente e descendente na remoção de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium*. O filtro ascendente de areia promoveu uma remoção efetiva de cistos de oocistos, devido possivelmente a uma pequena porosidade do meio granular, a elevada espessura do leito filtrante e a taxa de filtração reduzida. Já os filtros descendentes de areia, e de areia e antracito não demonstraram a mesma eficiência, sendo encontrados cistos de *Giardia* na água filtrada, e em maior número oocistos de *Cryptosporidium*.

Em estudos em ETAs piloto e escala real, Nieminski e Orgerth (1995) não observaram diferenças significantes entre o tratamento convencional e filtração direta. As remoções médias dos tratamentos piloto foram as seguintes: 3,4 log de remoção para *Giardia* e 2,98 log para *Cryptosporidium* com tratamento convencional; 3,3 log para *Giardia* e 2,97 log para

*Cryptosporidium* com filtração direta. No sistema de tratamento em escala real, os autores registraram remoção de 3,26 log para *Giardia* e 2,25 log para *Cryptosporidium* com tratamento convencional; 2,87 log para *Giardia* e 2,79 log para *Cryptosporidium* com filtração direta.

### **Flotofiltração**

O tratamento por flotofiltração envolve o processo de flotação com ar dissolvido na mesma unidade de filtração. A flotofiltração é indicada no tratamento de águas que possuem elevada concentração de algas e cor verdadeira relativamente alta. Para o funcionamento ideal deste tipo de tratamento a água captada deve ter turbidez menor que 25 uT em 90% do tempo e menor que 100 uT em 100% do tempo, e cor verdadeira menor que 200 mg/L Pt-Co. A água bruta é coagulada no mecanismo de varredura e em seguida floculada. Na entrada de cada unidade de flotofiltração tem-se a mistura da água de recirculação (água filtrada, pressurizada e com ar dissolvido) na proporção de até 10% da vazão da água floculada. O material sólido flota com a mesma taxa com que o subnadante é filtrado. Em geral, os filtros funcionam com taxa e nível de água constante e o material flotado é raspado periodicamente. (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

A flotofiltração é pouco empregada no Brasil, e os trabalhos relacionados à remoção de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* por este tipo de tratamento são escassos. A tecnologia que utiliza a flotação com ar dissolvido em uma unidade separada da filtração (flotadores) é mais difundida e já apresenta alguns poucos trabalhos de remoção de protozoários.

### **3.8 DETECÇÃO DE OOCISTOS DE CRYPTOSPORIDIUM SPP. E CISTOS DE GIARDIA SP. EM AMOSTRAS AMBIENTAIS**

Um dos principais problemas ao se avaliar as rotas de transmissão de protozoários de veiculação hídrica como *Criptosporidium* e *Giardia* é a dificuldade de recuperar estes organismos a partir de amostras ambientais e, os métodos propostos atualmente para a detecção são de custo elevado e de eficiência limitada. Apesar de existirem diferentes

---

métodos conhecidos pela comunidade científica, na maioria dos países ainda não são padronizados.

A 21ª edição do “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2005)” (AWWA, 2005) cita as principais técnicas utilizadas para a detecção de *Giardia* e *Cryptosporidium* em água, mas não determina uma técnica de concentração específica, apenas expõe as limitações de cada uma.

O método 1623 preconizado pela USEPA (filtração em filtro espuma, eluição, purificação por separação imunomagnética, identificação por imunofluorescência e confirmação por contraste diferencial de fase) e o método da ASTM (filtração em cartuchos, eluição, centrifugação, purificação com gradientes de densidade, identificação por imunofluorescência) apresentam custo elevado e longo período para execução. Estas metodologias também possuem limitações, tornando difícil assegurar a qualidade da água de abastecimento (SMITH e ROSE, 1998). As técnicas de floculação com carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e filtração em membranas, para a concentração de amostras é considerada por alguns autores como uma metodologia simples, eficiente e econômica, tendo grande aceitação da comunidade científica (VESEY *et al.*, 1993; SHEPHERD e WYN-JONES, 1996; ALDOM e CHAGLA, 1995; FRANCO *et al.*, 2001).

Segundo VESEY *et al.* (1993), um dos problemas associados à concentração por filtração é a compactação de partículas sobre ou ao redor dos cistos e oocistos encobrindo-os e, conseqüentemente, levando a resultados falso-negativos, ou até mesmo ao acúmulo de partículas autofluorescentes, como as algas, levando ao falso-positivo durante a análises por imunofluorescência. O pesquisador indica um método de concentração por floculação e precipitação pelo carbonato de cálcio, que evita os problemas de compactação e agregação das partículas. Os testes realizados por Vesey *et al.* (1993) mostraram uma recuperação de 76% para água deionizada, 73,7% para água de torneira e 75,6% para água de manancial, mas outros estudos indicaram que a recuperação desta técnica depende da qualidade da água empregada nos testes. Fricker e Crabb (1998) relataram recuperação entre 30 e 40%. Shepherd e Wyn-Jones (1996) conseguiram recuperações de 71,3 a 73,6% para *Cryptosporidium*, e 72,5 a 77,1 % para *Giardia* com a técnica de floculação.

Aldom e Chagla (1995) desenvolveram a técnica de filtração em membranas para a detecção de cistos e oocistos em água tratada, que posteriormente também foi utilizado para determinação em água bruta. Consiste na captura de cistos e oocistos em membranas derivadas de celulose de tamanho de poro compatível com estas formas, seguida de eluição

por dissolução das mesmas em acetona e etanol, ou raspagem e lavagem da superfície da membrana filtrante. A turbidez é o principal fator limitante, pois pode obstruir os poros da membrana com conseqüente redução do volume filtrado. A etapa de eluição com solventes pode reduzir a infectividade dos cistos e oocistos impossibilitando o estudo de viabilidade (CARRENO *et al.*, 2001). A filtração em membranas é capaz de recuperar até 70,5% dos protozoários (ALDOM e CHAGLA, 1995).

Franco *et al.* (2001) fizeram adaptações na técnica de filtração em membranas proposta por Aldom e Chagla (1995), com o objetivo de reduzir os custos e perdas, e agilizar os procedimentos de eluição, mas com taxas de recuperação similares. As alterações incluíram a redução do tamanho da membrana de 293 mm para 47 mm e, o procedimento de eluição realizado mediante a raspagem e lavagens sucessivas da superfície da membrana. Quando a metodologia é aplicada à água bruta, utiliza-se membrana de porosidade de 3,0 µm e o volume filtrado é menor devido à rápida saturação da membrana ocasionada pelos sólidos presentes neste tipo de água. Para águas clarificadas, o volume filtrado é de 10 litros e as membranas utilizadas são de 1,2µm. As taxas de recuperação dos protozoários podem variar de 25,3 a 91,8% (FRANCO e CANTUSIO NETO, 2002; CANTUSIO NETO, 2004).

Medema *et al.* (1998) propuseram a utilização da técnica de citometria de fluxo como método alternativo para a detecção de *Giardia* e *Cryptosporidium* em grandes volumes de água e análise de imunofluorescência em até 2 horas. Interferentes contidos na água e o custo elevado dos equipamentos são as principais limitações para o uso desta técnica.

A técnica de identificação por imunofluorescência (IFD) tem se mostrado específica e simples de ser aplicada, e é considerada um dos procedimentos mais indicados para a pesquisa de *Giardia* e *Cryptosporidium* (VESEY *et al.*, 1993; FAYER, 1997; LEE *et al.*, 1999). O uso de anticorpos monoclonais dirigidos contra epítomos específicos dos oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia* evita a reação cruzada com outros organismos e forma um complexo antígeno-anticorpo estável, facilitando a identificação (JONHSON *et al.*, 1995). A identificação por contraste de fase, contraste diferencial por interferência (DIC – “Differential Interference Contrast”) e fluorescência do 4,6 diamino 2 fenilindol (DAPI) também têm sido utilizados como métodos alternativos para detecção de protozoários em água, sendo muitas vezes recomendados como testes de confirmação para o método de imunofluorescência.

A técnica de separação imunomagnética (IMS – “Immuno-Magnetic Separation”) para a purificação dos cistos e oocistos é um procedimento interessante para reduzir possíveis

interferentes contidos nas amostras ambientais e de processos. No entanto, a IMS ainda apresenta custos elevados, necessitando altos investimentos para sua realização.

Métodos genéticos, considerados mais rápidos e sensíveis, como a técnica de Reação em Cadeia de Polimerase (PCR – “Polymerase Chain Reaction”), têm sido utilizados para melhorar a efetividade na detecção dos cistos e oocistos. Porém, substâncias húmicas presentes em águas ambientais, podem inibir e alterar as reações por PCR (JAKUBOWSKI *et al.*, 1996).

De acordo com Nieminski (1997), as influências dos diversos fatores de natureza das amostras sobre os processos de recuperação de cistos e oocistos devem ser consideradas na interpretação dos resultados, bem como o número de etapas envolvidas na detecção de oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia*. Os dados obtidos da ocorrência dos protozoários e taxas de remoção devem ser interpretados como resultados esperados, já que pode ser subestimados ou superestimados.

Apesar das dificuldades metodológicas relatadas na literatura, a pesquisa de protozoários torna-se indispensável para assegurar da qualidade da água distribuída à população. A presença constante de *Giardia* e *Cryptosporidium* na maioria dos mananciais superficiais, e a resistência comprovada aos processos convencionais de desinfecção evidenciam a necessidade da implantação de tecnologias de detecção na rotina dos laboratórios de controle de qualidade de água.

Neste trabalho, foram utilizadas as técnicas de concentração de protozoários por floculação com  $\text{CaCO}_3$  e filtração em membranas, por apresentarem menor custo e eficiência considerável.

---

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 LOCAL DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

A pesquisa envolveu a coleta de amostras nos sistemas de tratamento de água Carapina e Vale Esperança, sob concessão da Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN). Os sistemas são abastecidos por mananciais superficiais distintos, e responsáveis pelo abastecimento da maior parte da Grande Vitória, ES (Figura 3). As amostras foram analisadas no Laboratório de Saneamento Ambiental - DEA - UFES.

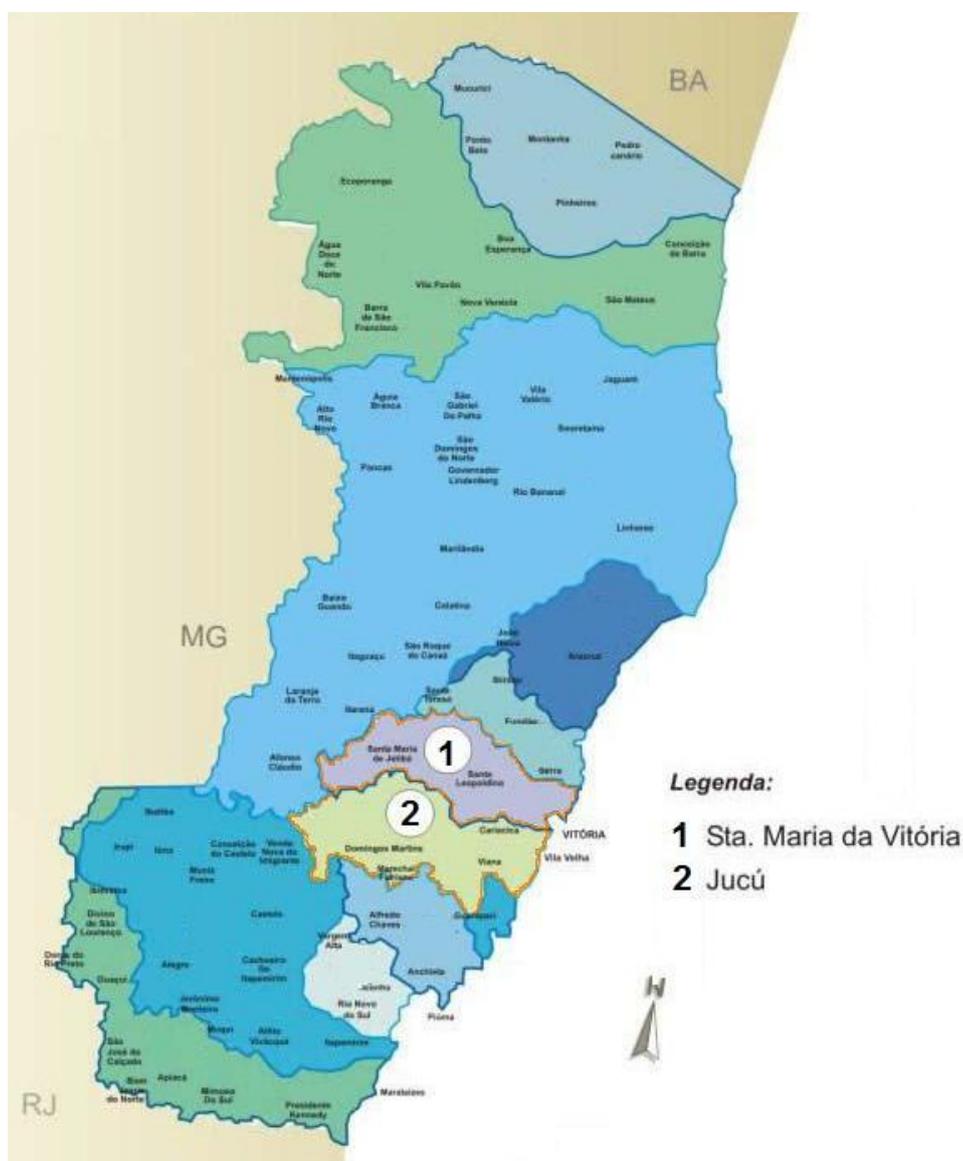


Figura 3. Localização das bacias do Rio Santa Maria da Vitória (1) e do Rio Jucú (2), no Estado do Espírito Santo. (Fonte: SEP, 2008).

O sistema Carapina, denominado neste trabalho de Sistema A, encontra-se no município de Serra, ES, e faz a captação do Rio Santa Maria da Vitória pertencente à bacia de mesmo nome. Carapina responde pelo abastecimento da região norte da Grande Vitória (lado norte do município de Vitória, Serra e Fundão). O sistema A possui uma linha de tratamento com duas opções de operação na mesma ETA (figura 4), a filtração direta (coagulação, filtração e desinfecção) e flotofiltração (coagulação, flotação associada à filtração, e desinfecção). A filtração direta é utilizada quando a turbidez da água bruta encontra-se menor que 50 uT, e acima deste valor utiliza-se o processo de flotofiltração.



Figura 4. ETA Carapina, Serra - ES. (fonte: CESAN).

O Sistema Vale Esperança, denominado de Sistema B, está localizado no município de Cariacica/ ES, e capta água bruta do Rio Jucú pertencente à bacia de mesmo nome. Responde pelo abastecimento da região sul da Grande Vitória (lado sul do município de Vitória, Cariacica, Vila Velha e Viana). O sistema B possui duas linhas de tratamento, uma ETA com tratamento convencional (coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção) (figura 5) e a outra por filtração direta (coagulação, filtração e desinfecção). As duas ETAs operam paralelamente, recebendo água bruta do mesmo ponto de captação. A sequência de

tratamentos dos sistemas A e B está apresentada na Figura 6. Os parâmetros de projeto das ETAs estão apresentados na tabela 4.



Figura 5. ETA Vale Esperança, tratamento convencional.

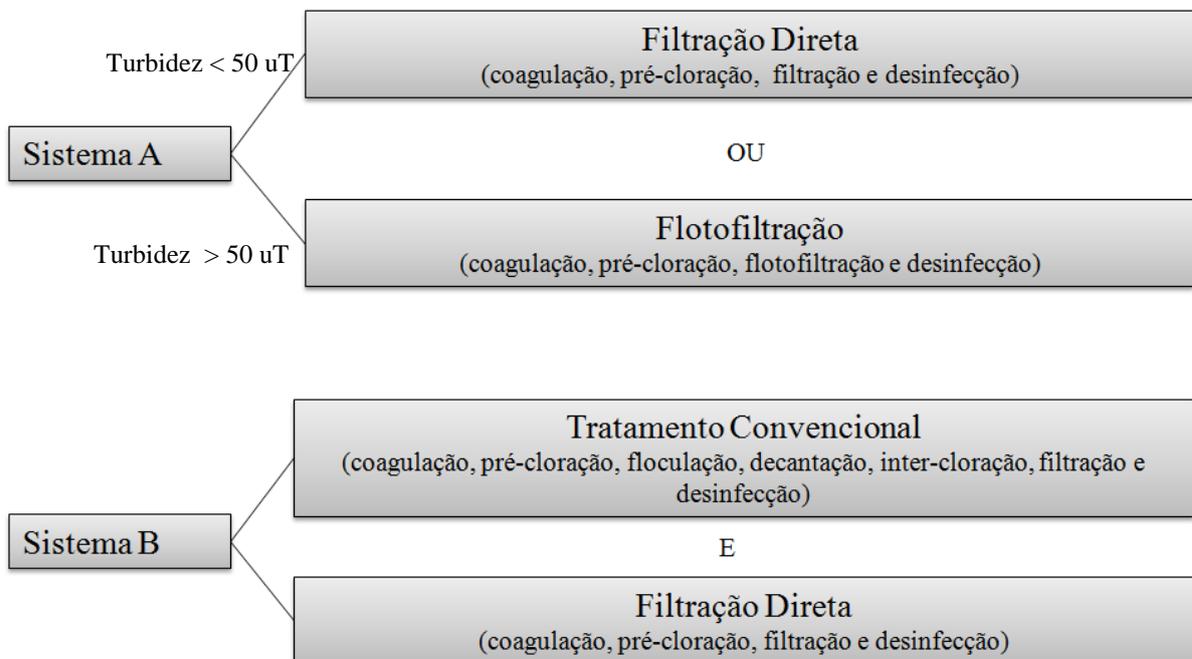


Figura 6. Tratamentos de água efetuados pelo sistema A e B.

Tabela 4. Parâmetros de projeto das ETAs dos Sistemas Carapina e Vale Esperança.

Parâmetro de projeto	Sistema Carapina	Sistema Vale Esperança	
	Filtração direta/ flotofiltração	Sistema convencional	Filtração direta
Média da vazão de entrada (L/s)	2000		2700
Média da vazão de saída (L/s)	2000	1400	1200
Capac. Max. de produção (L/s)	2500	1800	1500
Nº de tanques de mistura rápida	3	Dado não fornecido	Dado não fornecido
Dimensão tanque m. rápida (m)	3,80 x 11,69 x 2,90	Dado não fornecido	Dado não fornecido
Tempo detenção mistura rápida (s)	Dado não fornecido	0,21	Dado não fornecido
Nº de flocladores	-	8	-
Agitação nos flocladores	-	Hidráulica	-
Dimensão dos flocladores (m)	-	22,85 x 21,15 x 3,2	-
Capacidade dos flocladores (m <sup>3</sup> )	-	1546,48	-
Tempo detenção flocladores (min)	-	36,4	-
Nº de decantadores	-	2	-
Tipo de decantador	-	Dado não fornecido	-
Dimensão decantador (m)	-	27,3 x 22,3 x 4,3	-
Capacidade decantador (m <sup>3</sup> )	-	2617,8	-
Tempo detenção decantador (min)	-	24,24	-
Nº filtros	6	5	5
Tipo de filtro	Rápido descendente	Rápido descendente	Rápido descendente
Composição leito filtrante/ altura camada/ DE	Suporte (h 0,34 m; DE *); Areia (h 0,30m; DE 0,45mm); Antracito (h 0,80m; DE 1,0mm)	Areia (h 0,30m; DE 0,5mm); Antracito (h 0,45m; DE 0,9mm)	Areia (h 0,30m; DE 0,5mm); Antracito (h 0,90m; DE 1,2mm)
Altura total do leito filtrante (m)	1,44	0,75	1,20
Área dos filtros (m <sup>2</sup> )	113,16	108,5	139,7
Capacidade filtro (m <sup>3</sup> )	162,95	81,38	167,64
Tempo detenção filtro (min)	9,05	3,76	9,31
Taxa de filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	324,5	242	360
Nº reservatório que abastece	3	5	5
Capacidade dos reservatórios (m <sup>3</sup> )	Carapina: elevado = 1500 (1) e enterrado = 10000 (2)	Vale Esperança: Apoiado = 20000 (1) e Lavagem de filtros = 1500 (2)	
Tempo detenção reserv.1 (min)	12,5		123,4
Tempo detenção reserv. 2 (min)	83		9,25
Nº canais água bruta	1	1	1
Nº canais água tratada	3	5	2
Oxidante utilizado	Cloro Gasoso Cl <sub>2</sub>	Cloro Gasoso Cl <sub>2</sub>	Cloro Gasoso Cl <sub>2</sub>
Tanque de contato	1	1	1
Capacidade tanque de contato (m <sup>3</sup> )	10000	1000	1000
Tempo de contato (min)	83	10	10
Média consumo diário Cl <sub>2</sub> (Kg/dia)	620	878	672
Nº etapas de cloração	2	3	2
Média dosagem diária Cl <sub>2</sub> (g/m <sup>3</sup> )	3,58	7,25	6,48
Alcalinizante utilizado	Hidróxido de cálcio Ca(OH) <sub>2</sub>	Hidróxido de cálcio Ca(OH) <sub>2</sub>	Hidróxido de cálcio Ca(OH) <sub>2</sub>
Média consumo diário Ca(OH) <sub>2</sub> (Kg/dia)	1320	1063,3	691,6
Média dosagem Ca(OH) <sub>2</sub> (g/m <sup>3</sup> )	7,64	8,79	6,67
Coagulante utilizado	Sulfato de alumínio	Sulfato de alumínio	Sulfato de alumínio

	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>
<b>Média do consumo diário Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> (Kg/dia)</b>	3104,12	3576,03	1708,01
<b>Média dosagem diária Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> (mg/L)</b>	18,58	22,95	10,98
<b>Intervalo médio lavagem filtros (h)</b>	12	22	12
<b>Tempo médio lavagem filtros (min)</b>	5	6	9
<b>Volume médio gasto lavagem filtros (m<sup>3</sup>)</b>	432	900	600
<b>Limite turbidez início flotação (uT)</b>	30	-	-
<b>Pressão de saturação (mca)</b>	50	-	-
<b>Taxa de recirculação (%)</b>	10	-	-
<b>Tempo de saturação (min)</b>	2	-	-
<b>Velocidade ascendente (cm/min)</b>	15	-	-

## 4.2 AMOSTRAGEM

Amostras simples de água bruta, filtrada e do reservatório foram coletadas mensalmente nos sistemas de tratamento de água Carapina e Vale Esperança, responsáveis pelo abastecimento da região da Grande Vitória, ES, entre os meses de abril de 2008 a março de 2009.

As análises físico-químicas e microbiológicas das águas de estudo foram realizadas após a chegada das amostras ao Laboratório de Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo (LABSAN-UFES).

### 4.2.1 Pontos de coleta

As amostras de água bruta foram coletadas na chegada da captação das ETAs. Para as amostras de água filtrada foram realizadas coletas compostas na saída dos filtros, nos pontos em que os operadores realizam as coletas para controle operacional e sanitário. A água tratada foi amostrada na saída dos reservatórios, nos pontos mais acessíveis das ETAs. No Sistema B, a amostragem da água da saída do reservatório foi feita na torneira localizada na portaria de acesso ao sistema de tratamento de água, por ser o primeiro ponto localizado a jusante do reservatório. No Sistema A, a água do reservatório foi coletada em uma torneira localizada a jusante do reservatório elevado (Figura 7). Nas figuras 8 e 9 estão apresentadas fotos dos pontos de coleta, na forma de mosaicos.

Os horários de coleta das amostras foram estabelecidos conforme o tempo de detenção em cada etapa do tratamento das ETAs estudadas, tendo como objetivo a amostragem da mesma água nos diferentes processos de tratamento. As amostras água bruta dos sistemas pesquisados foram coletas sempre às 8h da manhã. Os efluentes filtrados das ETAs de filtração direta e

flotofiltração foram coletados após 10 minutos da coleta da água bruta, e a água filtrada da ETA de tratamento convencional após 65 minutos (considerando o tempo de detenção dos flocluladores e decantadores). A água tratada dos reservatórios foi coletada nos seguintes tempos: Sistema Carapina, 105 minutos após a coleta de água bruta; Sistema Vale Esperança, 198 minutos após a amostragem de água bruta.

A frequência das amostragens foi definida em função dos recursos financeiros e do tempo necessário para a realização das análises das amostras considerando a capacidade do laboratório em termos de equipamentos, vidrarias, armazenamento de amostras e das pessoas envolvidas no projeto.

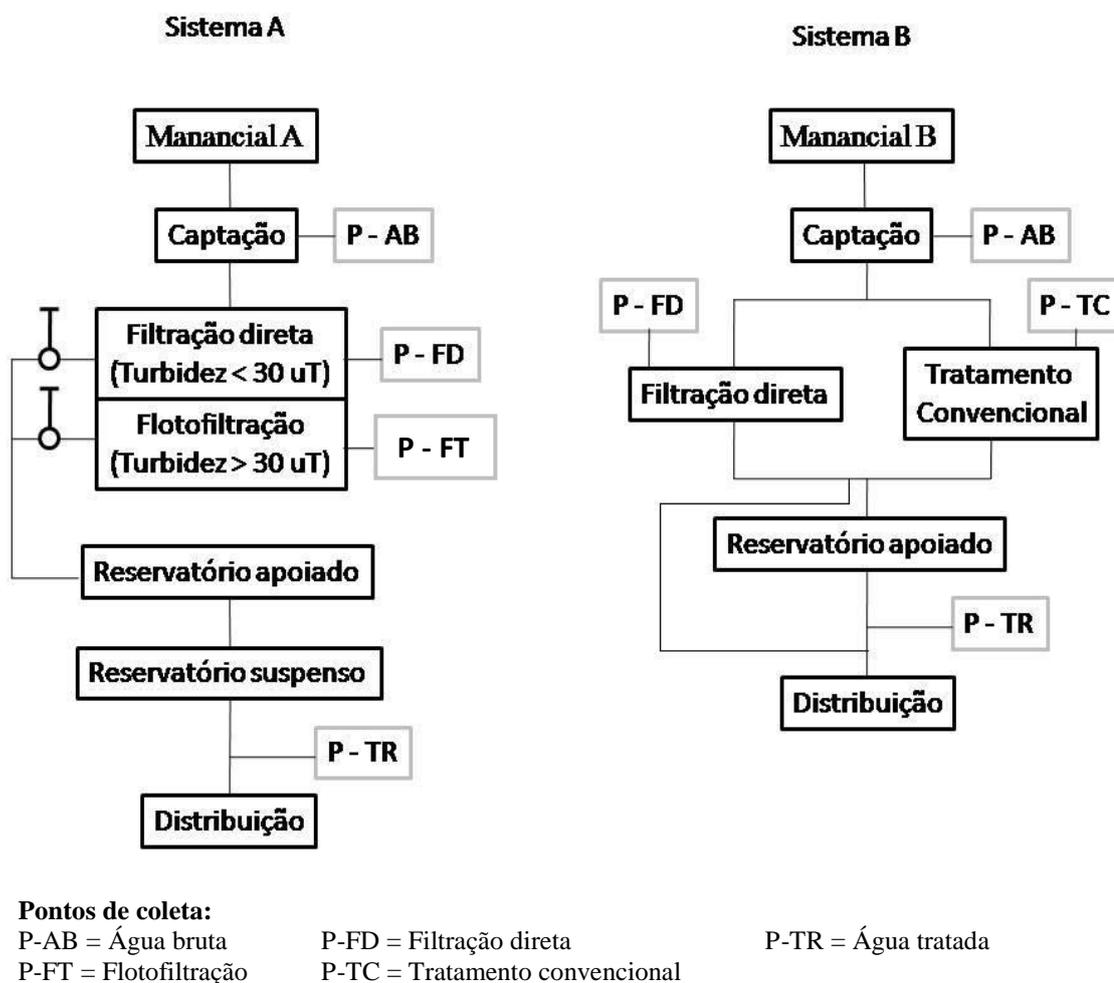


Figura 7. Fluxograma dos processos de tratamento de água e pontos de coleta nos sistemas A e B.



Figura 8. Pontos de coleta no Sistema Vale Esperança (A – Chegada de água bruta; B – Ponto de coleta dos filtros da ETA FD; C – Ponto de coleta dos filtros da ETA TC; D – Ponto de coleta do reservatório apoiado).

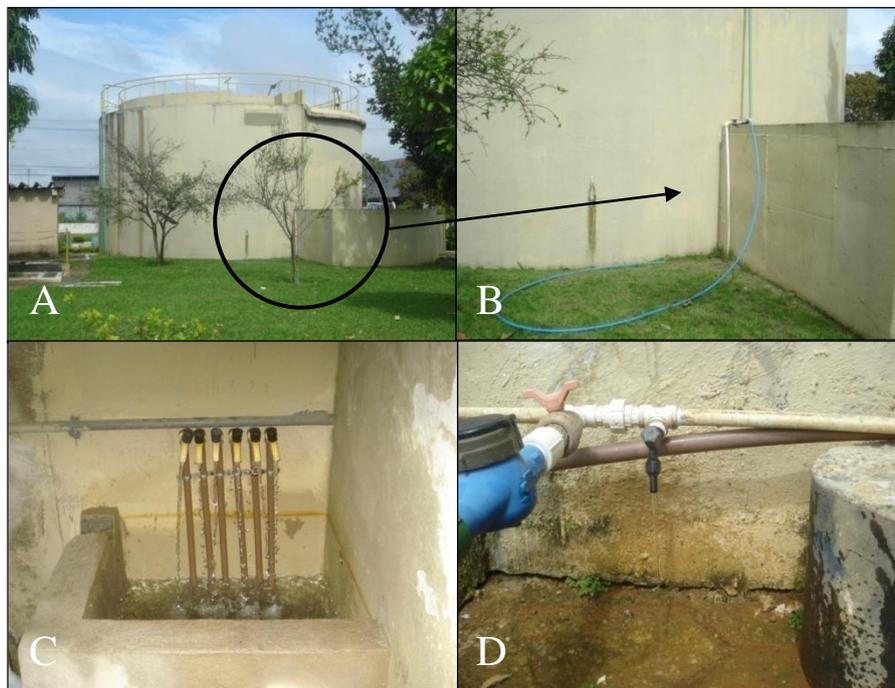


Figura 9. Pontos de coleta no Sistema Carapina (A – Chegada de água bruta; B – Ponto de coleta de água bruta; C – Ponto de coleta dos filtros da ETA FD/FT; D – Ponto de coleta do reservatório elevado).

#### 4.2.2 Coletas para análises físico-químicas e bacteriológicas

As amostras para análise dos parâmetros cor verdadeira e aparente, alcalinidade, cloro residual, turbidez e pH foram coletadas em frascos de polietileno previamente desinfetados (hipoclorito de sódio 2%), lavados (detergente neutro, água da torneira e água destilada/deionizada) e secos (estufa). A medição de temperatura foi realizada em campo, no momento da coleta. As amostras para as determinações de coliformes totais e *E. coli* foram coletadas em frascos de polietileno de 125 ml previamente lavados e autoclavados. Nas amostras cloradas destinadas as análises bacteriológicas (água do reservatório e filtrada) foram adicionadas 0,5 ml de tiosulfato de sódio 1,8%. Todas as amostras foram conservadas entre 4 e 8 °C até a chegada ao laboratório e, imediatamente analisadas. Todos os procedimentos de coleta, preparo dos frascos de coleta, transporte e acondicionamento das amostras destinadas as análises físico-químicas e bacteriológicas seguiram as recomendações do “Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água” (CETESB, 1987) e “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21TH ed.” (APHA, 2005).

#### 4.2.3 Coletas para pesquisa de oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia*

As coletas das amostras para a pesquisa de oocistos e cistos foram realizadas em frascos de polipropileno, desinfetados com solução de hipoclorito de sódio a 10% e peróxido de hidrogênio a 6%, e previamente lavados com solução Tween 80 1%. A concentração das amostras foi realizada por duas técnicas. Para a técnica de floculação por carbonato de cálcio foram coletados dez litros em cada amostra. Para filtração por membranas também utilizou o volume de dez litros para a água filtrada e tratada da saída do reservatório, exceto para água bruta, que foram utilizados dois litros. As amostras foram conservadas a 8 °C até a chegada ao laboratório. Os procedimentos de coleta, transporte e acondicionamento das amostras seguiram as recomendações do “Method 1623: *Cryptosporidium* and *Giardia* in water by Filtration/IMS/FA” (USEPA, 2001).

### 4.3 TÉCNICAS DE CONCENTRAÇÃO DE PROTOZOÁRIOS EM ÁGUA

#### 4.3.1 Flocculação por carbonato de cálcio (VESEY *et al.*, 1993)

O método se baseia na flocculação promovida pelo carbonato de cálcio, que irá precipitar as partículas em suspensão, principalmente os cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium*, concentrando-os no fundo do balão de 12L (Vidrolabor®). O carbonato de cálcio é produzido a partir da adição e reação do cloreto de cálcio com o bicarbonato de sódio e hidróxido de sódio. Após o período de decantação, o sedimento é dissolvido com ácido sulfâmico e lavado com solução Tween 80 0,01%.

Adicionou-se à amostra de 10L, 100 ml de cloreto de cálcio 1M e 100 ml de bicarbonato de sódio 1M, em balões de 12 L (Figura 10). O pH foi ajustado para 10 com hidróxido de sódio 1N e a amostra deixada em repouso por “overnight” em temperatura ambiente. O sobrenadante foi aspirado com cuidado para não ressuspender as partículas sedimentadas. O precipitado foi dissolvido em 200 ml de ácido sulfâmico 10% com agitação vigorosa e, posteriormente, transferido para tubos de centrífuga de 50 ml. Os balões de 12L foram lavados com 200 ml de solução Tween 80 0,01% e o líquido transferido novamente para os tubos de centrífuga. Os tubos foram centrifugados a 3000 x g por 10 minutos em temperatura ambiente, o sobrenadante descartado deixando somente 5 ml e o sedimento ressuspendido por vortex. Este procedimento foi realizado até o volume da amostra ser reduzido para ser transferida para o tubo de 15 ml. A centrífuga utilizada possui rotor horizontal do tipo “swing out”. Após a última centrifugação anotou-se o volume do sedimento final, e o sobrenadante descartado, sendo o sedimento ressuspendido em solução eluente (Tween 80 1%, SDS 1%, PBS 10X, Anti-foam A). Se o sedimento apresentasse volume até 0,1 ml era ressuspendido para 1 ml em solução eluente. Caso o precipitado tivesse volume superior a 0,1 ml era ressuspendido para 10 ml, para facilitar a diluição do sedimento e leitura da amostra. Alíquotas de 10 µL foram transferidas para as lâminas para a realização da técnica de imunofluorescência direta (IFD). O restante das amostras foi estocado a 4° C.



Figura 10. Amostras de água bruta, filtrada e tratada em repouso para decantação dos protozoários.

#### 4.3.2 Técnica de filtração por membranas (ALDOM e CHAGLA, 1995, adaptado por FRANCO *et al.*, 2001)

As amostras foram inicialmente filtradas em membranas de éster de celulose utilizando um sistema de filtração que envolve uma bomba de vácuo acoplada a um porta-filtro (Nalgene®), mantendo-se uma pressão de vácuo de  $200 \pm 10$  mmHg. Amostras de dois litros de água bruta foram filtradas em membranas de 47 mm de diâmetro de porosidade nominal de  $3,0 \mu\text{m}$  (Millipore®), e para as amostras de 10 litros de água filtrada e tratada foram utilizadas membranas de  $1,2 \mu\text{m}$  de porosidade (Figura 11). Após a filtração, as membranas foram eluídas por meio de extração mecânica utilizando uma alça de inoculação de plástico descartável e lavada com solução de eluição contendo Tween 80 1% e Anti-foam A. A seguir o líquido foi transferido para um tubo de centrífuga de 15 ml e centrifugado a  $3000 \times g$  por 10 minutos em temperatura ambiente. A centrífuga utilizada possui rotor horizontal do tipo “swing out”. O sobrenadante foi descartado e o sedimento ressuspensionado em solução eluente (Tween 80 1%, SDS 1%, PBS 10X, Anti-foam A). O sedimento final foi ressuspensionado para 1 ml em solução eluente. Alíquotas de  $10 \mu\text{L}$  foram transferidas para as lâminas para a realização da técnica de imunofluorescência direta (IFD). O restante das amostras foi estocado a  $4^\circ \text{C}$ .

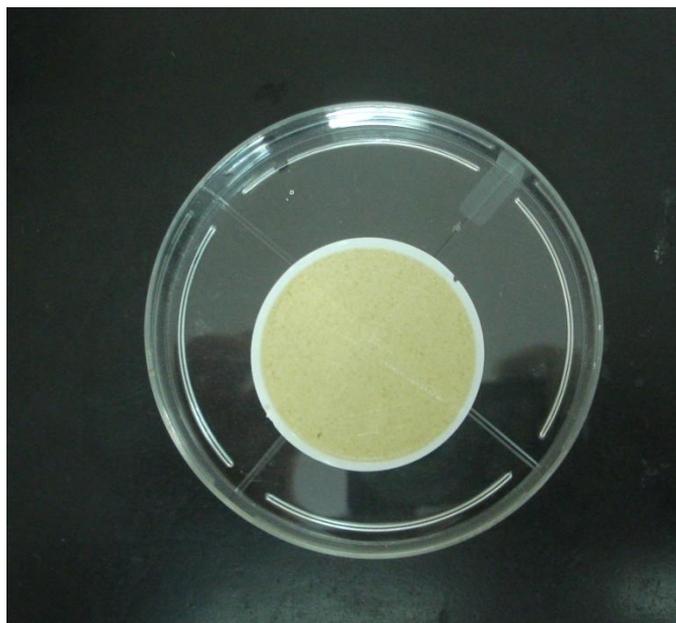


Figura 11. Membrana após filtração da amostra de água bruta.

#### 4.4 IDENTIFICAÇÃO MICROSCÓPICA DOS PROTOZOÁRIOS

##### 4.4.1 Técnica de Imunofluorescência Direta (IFD)

O método consiste na utilização de anticorpos monoclonais gênero-específicos para antígenos dos cistos de *Giardia* spp. e oocistos de *Cryptosporidium* spp., conjugados ao isotiocianato de fluoresceína (FITC – “fluorescein isothiocyanate”). Os testes de imunofluorescência foram realizados com o kit MeriFluor® para detecção de *Cryptosporidium*/Giárdia (Meridian Diagnostics, Cincinnati, Ohio, EUA), seguindo o protocolo do kit. Segundo o fabricante, o teste apresenta especificidade de 99 e 100% para oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp., respectivamente, e sensibilidade de 100% para ambos os gêneros.

As lâminas foram devidamente identificadas com a data, número, tipo e procedência da amostra. Adicionou-se a cada poço das lâminas alíquotas de 10 µL da amostra e, posteriormente, foram secas em estufa a 37° C. Após a secagem, as lâminas foram fixadas com 10 µL de metanol absoluto e deixadas secar em temperatura ambiente por 10 minutos. Adicionou-se em cada poço uma gota do reagente de detecção contendo anticorpos marcados com FITC e uma gota do contra-corante (solução negro de ericromo). As gotas foram

homogeneizadas com o auxílio de alça de inoculação e colocadas em repouso por 30 minutos, em temperatura ambiente e câmara escura. Retirou-se o excesso de reagentes com a lavagem das lâminas com solução de lavagem do kit e, posteriormente, aspirado com o auxílio de uma micropipeta. Adicionou-se uma gota do meio de montagem (contendo glicerol, formalina e antiqúedante) em cada poço, cobrindo com uma lamínula evitando bolhas no espaço entre a lâmina e lamínula. Para cada amostra foram preparadas duas lâminas, e a contagem foi realizada por dois analistas.

Os cistos de *Giardia* sp. e oocistos de *Cryptosporidium* spp. apresentam-se com formas arredondadas ou ovaladas, e coloração fluorescentes verdes brilhantes com 8-12 e 4-6  $\mu\text{m}$ , respectivamente. As lâminas foram examinadas em microscópio de epifluorescência (ZEISS TM Axioplan HBO 50, com filtros de 450-490nm de excitação e 510nm de supressão) com um aumento de 200X, 400X e imersão em 630X (Figura 12). Para cada rodada de análises realizadas foi feita uma lâmina com controle positivo e negativo do kit.



Figura 12. Microscópio de Epifluorescência utilizado para identificação de protozoários (ZEISS TM Axioplan HBO 50, com filtros de 450-490nm de excitação e 510nm de supressão).

#### 4.4.2 Teste de confirmação por Contraste de Fase

A microscopia de contraste de fase foi adotada como método de confirmação para a identificação dos cistos *Giardia* sp e os oocistos de *Cryptosporidium* spp., utilizando as mesmas lâminas observadas por IFD. Nesta técnica foi possível visualizar a parede e as estruturas internas, como suturas nos oocistos e, o axonema e núcleos nos cistos. A visualização foi feita por iluminação transmitida no microscópio ZEISS TM Axioplan HBO 50, em aumento de 400X e imersão 630X.

#### 4.5 QUANTIFICAÇÃO DE CISTOS E OOCISTOS NAS AMOSTRAS AMBIENTAIS

Para a quantificação dos cistos e oocistos foram preparadas três lâminas para cada amostra. Em cada lâmina utilizou-se dois poços para a contagem. A leitura foi feita percorrendo todos os campos de cada poço, conforme USEPA (2001). A contagem das lâminas foi realizada por duas pessoas, em seguida calculada a média aritmética, e aplicada a equação (1) a seguir (PALMATEER *et al.*, 1996):

$$\text{N}^\circ \text{ (oo)cistos/L} = \frac{\text{Média da contagem de (oo)cistos} \times \text{Vol. total final (ml)} \times 100}{\text{Volume total da amostra (L)}} \quad (1)$$

##### 4.5.1 Critérios de positividade

Para a identificação de oocistos e cistos foram considerados os seguintes critérios de positividade:

Imunofluorescência Direta

- Grau de fluorescência definida pela intensidade verde-maçã brilhante (comparável àquela exibida por mais de 50% dos oocistos e cistos presentes nas suspensões controles positivos).
  - Tamanho e formato compatíveis: 4–6 µm de diâmetro para oocistos e forma esférica; para cistos, 8–12 µm e forma ovalada (Figura 13).
-

### Contraste de Fase

- Estruturas internas como a presença de sutura e parede para oocistos; para cistos, a presença de axonema, visualização dos núcleos (1 a 4) e parede (Figura 14).

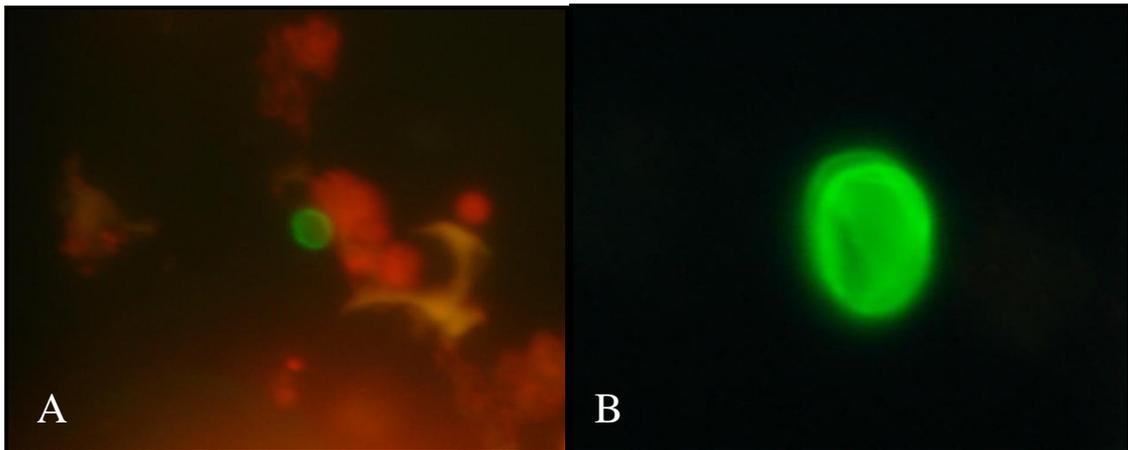


Figura 13. Oocistos de *Cryptosporidium* (A), em aumento de 400 X, e cistos de *Giardia* (B), em aumento de 630 X, visualizados por IFD.

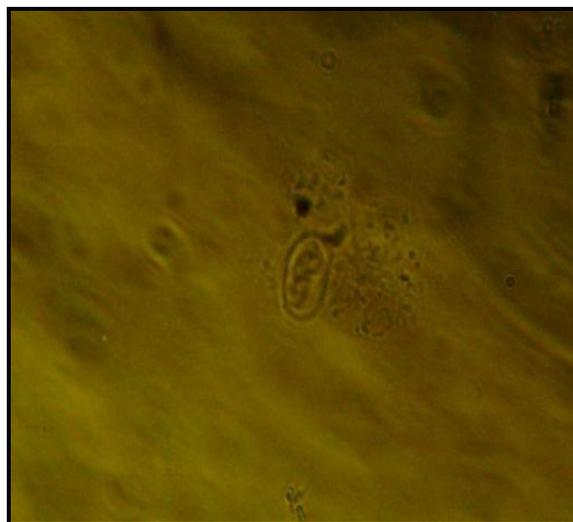


Figura 14. Cistos de *Giardia* visualizados por contraste de fase.

Nas situações em que a turbidez da água bruta esteve consideravelmente aumentada, a visualização microscópica dos protozoários foi prejudicada, principalmente pela técnica de contraste de fase, devido a presença de partículas suspensas nas amostras que encobrem os cistos e oocistos.

---

#### 4.6 AVALIAÇÃO DA SENSIBILIDADE DAS TÉCNICAS DE CONCENTRAÇÃO DE PROTOZOÁRIOS

Nos testes de sensibilidade das metodologias foram utilizados oocistos de *Cryptosporidium* purificados a partir de fezes de bezerros recém-nascidos em gradiente de sacarose, lavados em água e tampão-fosfato, e suspensos em solução tampão-fosfato (PBS) contendo antibióticos (PEN/STREP – 10.000 µg/mL) e Tween 20 0,01%. Os oocistos foram adquiridos do Departamento de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba-MG. Os cistos de *Giardia* foram purificados a partir de fezes humanas por técnica de gradiente de sacarose 1.0 M e 0.75 M, e suspensos em solução tampão-fosfato (PBS) contendo miconazol (25µg/ml) e enrofloxacina (125µg/ml), segundo Roberts-Thompson *et al.*,(1976). Os cistos foram fornecidos pelo Departamento de Patologia Básica da Universidade Federal do Paraná.

Os ensaios foram realizados através da inoculação de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* purificados em três matrizes diferentes: água bruta, filtrada e destilada. A água bruta foi coletada no sistema Carapina, por localizar-se mais próximo do Laboratório de Saneamento Ambiental da UFES. A água filtrada foi coletada na ETA de tratamento convencional do sistema Vale Esperança, por produzir efluente filtrado mais clarificado que os outros processos de tratamento e apresentar menos interferentes.

A inoculação foi feita, em triplicata, nas concentrações de  $10^3/L$  e  $10^2/L$ . 10L de água bruta, filtrada e destilada foram utilizados para a técnica de floculação por carbonato de cálcio. Já para filtração em membrana, utilizou 2L para a água bruta e 10L para a água filtrada e destilada.

Para reduzir os erros de quantificação nos testes realizados na água bruta e filtrada, devido à possibilidade das matrizes estarem contaminadas naturalmente, foram realizadas análises em de paralelos para a detecção de cistos e oocistos nas mesmas amostras utilizadas nos testes de sensibilidade. A concentração de protozoários encontrada naturalmente nas amostras foi descontada no número de cistos e/ ou oocistos recuperados. Os procedimentos realizados nestes ensaios foram os mesmos adotados para concentração e identificação das amostras das águas de estudo, segundo os itens 4.4, 4.5 e 4.6.

A eficiência de recuperação (ER) de cada técnica de concentração foi estimada através da porcentagem recuperada a partir da concentração inoculada. Utilizou-se a seguinte equação (2):

$$ER (\%) = \frac{n^{\circ} \text{ (oo)cistos recuperados} \times 100}{n^{\circ} \text{ de (oo)cistos semeados}} \quad (2)$$

#### 4.7 CONTROLE POSITIVO E NEGATIVO

Para controle positivo foi utilizado os cistos e oocistos fornecidos no kit de identificação, seguindo os mesmos procedimentos descritos no item 4.5. O controle negativo foi realizado com água destilada estéril processada de acordo com os itens 4.4, 4.5 e 4.6.

#### 4.8 INDICADORES BACTERIOLÓGICOS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Para a análise de coliformes totais e *E. coli* foi utilizado o método de substrato cromofluorogênico (Colilert® Idexx) em cartelas com 97 poços (Quanti-Tray/2000® Idexx), conforme o método 9223 do “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, APHA, AWWA, WEF, 21º ed., 2005. A figura 15 apresenta uma cartela com os critérios de positividade.

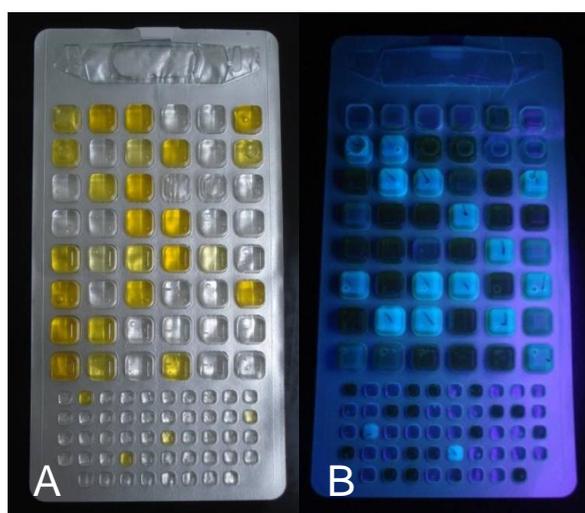


Figura 15. Cartelas positivas. A - Coliformes totais (poços amarelos); e B - *E.coli* (poços azuis fluorescentes).

#### 4.9 INDICADORES FÍSICO-QUÍMICOS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Os parâmetros físico-químicos avaliados nas amostras de água bruta, filtrada e tratada estão relacionados na tabela 5. Todas as análises físico-químicas foram realizadas a  $20 \pm 2$  °C. As especificações dos equipamentos utilizados para as análises físico-químicas das amostras estão descritas no anexo A.

Tabela 5. Descrição das análises físico-químicas realizadas nas águas de estudo.

Parâmetro	Método	Referência	Equipamento	Faixa de trabalho
<b>Turbidez</b>	Nefelométrico	2130 B- APHA 20° ed., 1998	Turbidímetro HACH® 2100P	0 a 1000 uT
<b>Cor verdadeira</b>	Colorimétrico	2120 C- APHA 20° ed., 1998	Espectrofotômetro HACH® DR2700	3 a 500 mg/L PtCo
<b>Cor aparente</b>	Colorimétrico	2120 C- APHA 20° ed., 1998	Espectrofotômetro HACH® DR2700	3 a 500 mg/L PtCo
<b>pH</b>	Potenciométrico	4500 B- APHA 20° ed., 1998	Phmetro QUALXTRON® 8010	0 a 14
<b>Alcalinidade</b>	Titulométrico	2320 B- APHA 20° ed., 1998	Vidrarias	0 a 20; e >20 mg/L CaCO <sub>3</sub>
<b>Temperatura</b>	Termômetro de mercúrio	2550 B- APHA 20° ed., 1998	Termômetro de mercúrio	0 a 100 °C
<b>Cloro residual</b>	Colorimétrico DPD	4500 CI- APHA 21° ed., 2005	Espectrofotômetro HACH® DR2700	0,01 a 4 mg/L

#### 4.10 DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Os dados de precipitação pluviométrica foram adotados com o objetivo de avaliar, através do teste de correlação de Spearman, a associação da presença de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* com o volume de chuva acumulado nos últimos sete dias que antecederam cada coleta. O volume acumulado de chuva foi utilizado devido a influência prolongada das precipitações na qualidade da água das bacias. Os dados pluviométricos foram obtidos através de uma estação meteorológica automática localizada no Município de Vitória, ES (Lat.: -20.3156°; Long.: -40.3172°; Alt.: 9.00 m), monitorada pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

#### 4.11 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados dos testes de sensibilidade das técnicas de concentração de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* foram avaliados pela estatística descritiva e análise de variância (ANOVA), com o objetivo de se comparar a eficiência das técnicas de concentração de protozoários por floculação com  $\text{CaCO}_3$  e filtração em membranas. A comparação da concentração de cistos e oocistos nos mananciais foi avaliada pelo teste *t* de amostras independentes e estatística descritiva. Os efluentes filtrados foram avaliados através da estatística descritiva. Para a determinação de associação de cistos e oocistos com indicadores físico-químicos e bacteriológicos de qualidade da água, e índices pluviométricos, utilizou-se o teste não-paramétrico de correlação de Spearman ( $r_s$ ). A eficiência de remoção de cistos e oocistos foi avaliada através de estatística descritiva. As análises estatísticas, gráficos e tabelas foram feitas nos softwares SPSS 11.5.0 e Microsoft Excel 2007.

---

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 TESTES DE SENSIBILIDADE DAS TÉCNICAS DE CONCENTRAÇÃO

#### 5.1.1 Características físico-químicas das matrizes

A tabela 6 apresenta os resultados dos parâmetros físico-químicos analisados nas matrizes em cada batelada de testes. Considerando as limitações de materiais e pessoas, os testes foram realizados nas duas técnicas simultaneamente, e uma concentração e água por vez, portanto houve variação nos parâmetros de qualidade de cada água testada.

Tabela 6. Parâmetros físico-químicos analisados nas matrizes em cada ensaio.

Água	Inóculo (org./L)	Parâmetros				
		Turbidez (uT)	pH	Condut. ( $\mu$ S/cm)	Cor verd. (U PtCo)	Cor apar. (U PtCo)
Destilada	$10^2$	0,12	6,84	0,96	ND	ND
	$10^3$	0,09	6,86	0,85	ND	ND
Filtrada	$10^2$	0,19	6,23	48,70	ND	0,44
	$10^3$	0,39	6,12	50,43	0,53	4,63
Bruta	$10^2$	95,60	7,55	41,26	140,1	364,16
	$10^3$	36,10	6,68	40,26	74,23	146,51

ND – Não detectado.

#### 5.1.2 Recuperação de cistos e oocistos quanto às técnicas de concentração (floculação com $\text{CaCO}_3$ e filtração em membranas)

A eficiência das técnicas de concentração de protozoários foi avaliada através da estatística descritiva (tabela 7) e do teste ANOVA (tabela 8), no qual se analisou o desempenho da floculação e filtração (fontes de variação) na recuperação de *Giardia* e *Cryptosporidium* (variáveis). Os resultados detalhados da recuperação dos protozoários em cada ensaio podem ser visualizados no anexo B.

Tabela 7. Análise descritiva dos testes de sensibilidade das técnicas de concentração por filtração em membranas e floculação com  $\text{CaCO}_3$  para recuperação de cistos e oocistos.

Técnica	N	<i>Cryptosporidium</i> (%)			<i>Giardia</i> (%)		
		Média	DP	DPR	Média	DP	DPR
Filtração	18	29,01	16,68	57,50	25,81	19,23	74,50
Floculação	18	28,24	16,31	57,75	48,30	22,72	47,04

DP - Desvio padrão.

DPR – Desvio padrão relativo.

Tabela 8. Teste ANOVA do desempenho das técnicas de concentração em cada protozoário pesquisado.

Variável	Fonte de variação	F	p –valor *
<i>Cryptosporidium</i>	Técnicas	0,030	0,865
<i>Giardia</i>	Técnicas	20,093	0,000

\* Nível de significância de 5%.

O protozoário *Cryptosporidium* teve recuperação de 29,01% pela técnica de filtração em membranas e 28,24% pela floculação com  $\text{CaCO}_3$ . Os resultados dos testes ANOVA revelaram não haver diferença entre as técnicas na recuperação deste parasito ( $p \geq 0,05$ ), corroborando os resultados apresentados por Muller (1999), Farias (2000) e Ongerth e Stibbs (1987). Muller (1999) obteve recuperação de oocistos de 37,95% na floculação e 37,72% na filtração utilizando água destilada e bruta; e Farias (2000) relatou recuperação de oocistos de 44,4% na filtração e 44,6% na floculação, utilizando um litro de água destilada para cada inóculo. Por outro lado, Shepherd e Wyn-Jones (1996) observaram diferenças entre as técnicas na recuperação de oocistos de *Cryptosporidium*, a floculação teve resultados melhores que a filtração, 72,45 e 29,85% respectivamente. Os testes foram realizados em água bruta e tratada.

A média da recuperação de oocistos para as duas técnicas testadas (floculação por  $\text{CaCO}_3$  e filtração em membrana) enquadraram-se nos critérios de aceitação de controle de qualidade para *Cryptosporidium* estabelecidos pela USEPA (2001), que é de 24 a 100%. Mas, a precisão das técnicas de floculação por  $\text{CaCO}_3$  (57,75%) e filtração em membrana (57,50%), representada pelo desvio padrão relativo (DPR), foi insatisfatória, estando pouco acima do valor de aceitação (55%). Com base nos resultados de média de recuperação, ambas as técnicas podem ser utilizadas para a pesquisa de oocistos de *Cryptosporidium* em água de qualidade semelhante às testadas, desde que seja corrigida a precisão das técnicas.

Já para os cistos de *Giardia*, a eficiência das técnicas de concentração foi diferente significativamente ( $p \leq 0,05$ ), a floculação química recuperou 48,30% e a filtração em

membranas 25,81% (tabela 6). Shepherd e Wyn-Jones (1996) também relataram a maior eficiência na floculação com  $\text{CaCO}_3$  do que na filtração em membranas, as recuperações foram de 74,8 e 58,45%, respectivamente. Os testes foram realizados em água bruta e tratada. Segundo Farias *et al.* (2002), a filtração em membranas promove a compactação das partículas presente na água dificultando a eluição dos protozoários. Acredita-se que a floculação com  $\text{CaCO}_3$  pode ter melhor recuperação dos parasitos, porque promove menor compactação e agregação das partículas.

A média da recuperação de cistos para as duas técnicas testadas (floculação por  $\text{CaCO}_3$  e filtração em membrana) enquadraram-se nos critérios de aceitação de controle de qualidade para *Giardia* estabelecidos pela USEPA (2001), que é de 24 a 100%. A precisão da técnica de floculação por  $\text{CaCO}_3$  (47,04%) também esteve dentro dos padrões de aceitação (49%), por outro lado, a precisão da filtração em membrana (74,50%) foi inaceitável. Com base nos resultados de média de recuperação e precisão, sugerem que a técnica de floculação com  $\text{CaCO}_3$  seja mais indicada para pesquisa de cistos de *Giardia* em água.

De acordo com os resultados obtidos nos testes de sensibilidade de cada técnica de concentração sugere-se para pesquisas de *Cryptosporidium* e *Giardia*, em águas com qualidade semelhante às testadas, a utilização da técnica de floculação com  $\text{CaCO}_3$  para concentração das amostras, considerando que os procedimentos laboratoriais são simples, de menor custo e melhor eficiência na recuperação de *Giardia*. Caso seja pesquisado somente o protozoário *Cryptosporidium*, tanto a filtração em membranas quanto a floculação química poderiam ser utilizadas, visto o desempenho semelhante de ambas as técnicas para este parasito. Em águas clarificadas, a filtração em membranas permite a utilização de um volume maior de amostra, o que poderia possibilitar o aumento da sensibilidade da técnica.

### **5.1.3 Desempenho das técnicas de floculação com $\text{CaCO}_3$ e filtração em membranas considerando as matrizes utilizadas**

A tabela 9 apresenta os resultados da estatística descritiva das técnicas de concentração por floculação com  $\text{CaCO}_3$  e filtração em membranas, nas matrizes estudadas (água bruta, filtrada e destilada). O teste ANOVA foi utilizado para avaliar o desempenho das matrizes testadas quanto à recuperação de cada protozoário (tabela 10).

---

Tabela 9. Estatística descritiva da recuperação dos protozoários em cada matriz concentrada por floculação com CaCO<sub>3</sub> e filtração em membranas.

Técnica	Água	N	<i>Cryptosporidium</i> (%)		<i>Giardia</i> (%)	
			Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
Filtração	Destilada	6	13,49	4,95	10,46	8,41
	Filtrada	6	34,75	18,54	24,07	11,79
	Bruta	6	38,78	11,60	42,90	20,27
Floculação	Destilada	6	18,49	10,60	36,29	23,84
	Filtrada	6	23,24	8,86	35,92	7,90
	Bruta	6	43,00	17,56	72,71	7,28

Tabela 10. Teste ANOVA do desempenho das matrizes em cada protozoários pesquisado.

Variável	Fonte de variação	F	p –valor *
<i>Cryptosporidium</i>	Matrizes	10,458	0,000
<i>Giardia</i>	Matrizes	17,667	0,000

\* Nível de significância de 5%.

A floculação com CaCO<sub>3</sub> teve melhor recuperação de protozoários na maioria das matrizes (tabela 9). Exceto na água filtrada, na qual o *Cryptosporidium* foi mais bem recuperado pela técnica de filtração (34,75%) do que a floculação (23,24%).

O teste ANOVA revelou que as matrizes apresentaram diferenças significativas na recuperação de ambos os protozoários ( $p \leq 0,05$ ). Através da estatística descritiva foi possível indicar a água bruta como a matriz que melhor recuperou os cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium*, tanto pela técnica e floculação quanto pela filtração. De acordo com Le Chevallier *et al.* (1995), a presença de partículas suspensas na água bruta auxilia a precipitação dos organismos junto ao sedimento, aumentando a recuperação, principalmente quando se utiliza a floculação com CaCO<sub>3</sub>. Por outro lado, o excesso de partículas pode encobrir os cistos e oocistos impedindo a ligação antígeno-anticorpo e, conseqüentemente, levando a resultados falso-negativos (VESEY *et al.* 1993). A dificuldade na visualização dos protozoários, ocasionada pela turbidez, acontece principalmente quando é utilizada a técnica de concentração por filtração em membranas.

Shepherd e Wyn-Jones (1995) estudaram a recuperação de *Cryptosporidium* em dois tipos de água (bruta e tratada), concentradas pelas mesmas técnicas deste estudo, e relataram maior recuperação de oocistos em água tratada. Os autores, em outra pesquisa realizada no ano de

1996, não detectaram diferenças significativas entre as águas na recuperação de *Giardia* e *Cryptosporidium*.

As concentrações de  $10^2$  e  $10^3$  (oo)cistos/L utilizadas nos testes de sensibilidade não apresentaram diferenças significativas na recuperação de ambos os protozoários ( $p \geq 0,05$ ), sugerindo que a concentração do inóculo não influenciou na recuperação de cistos e oocistos (tabelas 11 e 12).

Tabela 11. Estatística descritiva da recuperação dos protozoários em cada concentração testada por floculação com  $\text{CaCO}_3$  e filtração em membranas.

Técnica	Concentração	N	<i>Cryptosporidium</i> (%)		<i>Giardia</i> (%)	
			Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Filtração	$10^2$ /L	9	22,95	9,07	18,35	10,02
	$10^3$ /L	9	35,07	20,65	33,26	23,68
Floculação	$10^2$ /L	9	35,41	17,62	53,99	23,81
	$10^3$ /L	9	21,07	11,80	42,61	21,39

Tabela 12. Teste ANOVA para o desempenho das concentrações de inóculo em cada protozoários pesquisado.

Variável	Fonte de variação	F	p –valor *
<i>Cryptosporidium</i>	Concentração	0,062	0,805
<i>Giardia</i>	Concentração	0,123	0,728

\* Nível de significância de 5%.

A dificuldade da comparação dos resultados dos testes de sensibilidade com os dados da literatura existe, devido à variabilidade da qualidade das matrizes utilizadas nos diferentes estudos, do tempo de armazenamento das águas, forma de conservação, habilidades do corpo técnico, e as diferentes técnicas de contagem adotadas. Segundo Fricker e Crabb (1998), dados das porcentagens de recuperação são normalmente apresentados nos trabalhos, porém, poucas são as informações sobre a qualidade da água utilizada.

Em conclusão, os testes de sensibilidade mostraram que para recuperação de cistos de *Giardia* a técnica de concentração por floculação com  $\text{CaCO}_3$  apresentou melhores resultados. Já para os oocistos de *Cryptosporidium* a filtração em membranas teve melhores resultados na água filtrada, o que contribuiu para que esta técnica se equiparasse a floculação com  $\text{CaCO}_3$  na recuperação deste parasito. Com relação aos tipos de água testados, a recuperação de cistos e oocistos foi melhor na água bruta.

## 5.2 OCORRÊNCIA DE CISTOS DE *Giardia* E OOCISTOS DE *Cryptosporidium* NOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

De acordo com os resultados obtidos nos testes de sensibilidade realizados previamente, optou-se por utilizar a técnica de floculação com  $\text{CaCO}_3$  para a concentração das amostras. Nesta pesquisa foram coletadas 12 amostras mensais de água bruta e filtrada, e 10 amostras de água tratada do reservatório, dos sistemas de abastecimento de água Carapina (A) e Vale Esperança (B).

### 5.2.1 Mananciais Superficiais

Os resultados da frequência encontrada de oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia* na água bruta dos sistemas A e B estão apresentados na tabela 13. A tabela 14 mostra a estatística descritiva dos resultados da detecção de cistos e oocistos. Os resultados detalhados da pesquisa de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium*, e de todos os parâmetros de qualidade de água analisados podem ser consultados nos anexos C e D.

Tabela 13. Frequência de ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia* na água bruta dos sistemas Carapina e Vale Esperança.

Sistema	n	<i>Giardia</i>	<i>Cryptosporidium</i>
Carapina (A)	12	9 (75,00 %)	8 (66,67 %)
Vale Esperança (B)	12	12 (100,00 %)	10 (83,33 %)

Tabela 14. Estatística descritiva dos resultados da pesquisa de oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia* na água bruta dos sistemas Carapina e Vale Esperança.

Sistema	n	Cistos de <i>Giardia</i> / L				Oocistos de <i>Cryptosporidium</i> / L			
		Max	Min	Média	Desvio padrão	Max	Min	Média	Desvio padrão
Carapina (A)	12	400,00	ND	130,62	140,79	562,50	ND	105,62	200,29
Vale Esperança (B)	12	333,33	25,00	127,77	92,40	700,00	ND	160,41	203,51

ND – Não detectado.

A água bruta do sistema B apresentou a maior positividade de protozoários, os cistos de *Giardia* e oocistos *Cryptosporidium* foram encontrados em 100 e 83,33%, respectivamente, das amostras analisadas. A concentração de *Giardia* na água bruta do sistema B variou de 25 a 333,33 cistos/L, e de *Cryptosporidium* de não detectável a 700 oocistos/L. Na água bruta do

sistema A, os cistos foram detectados em 75% das amostras e os oocistos em 66,67%. As concentrações *Giardia* variaram de não detectável a 400 cistos/L e o *Cryptosporidium* de não detectável a 562,5 oocistos/L.

O teste *t* de amostras independentes foi utilizado com o objetivo de apontar se existe ou não diferenças entre os dois mananciais estudados, quanto à presença dos protozoários (tabela 15). A análise estatística demonstrou que os mananciais utilizados para abastecimento encontram-se no mesmo nível de contaminação, não apresentando diferenças entre si quanto à concentração dos protozoários ( $p \geq 0,05$ ).

Tabela 15. Teste *t* de amostras independentes da concentração dos protozoários nos dois mananciais estudados.

<b>Protozoário</b>	<b>t</b>	<b>p - valor*</b>
<i>Giardia</i>	0,092	0,928
<i>Cryptosporidium</i>	- 0,873	0,401

\* Ao nível de significância de 5%.

As frequências de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* encontradas na água bruta dos sistemas A e B indicam que estes protozoários estão disseminados nos mananciais que abastecem a região da Grande Vitória, ES. Segundo dados do IEMA (s/d), as bacias dos rios Santa Maria da Vitória e Jucú estão sujeitas ao lançamento de águas residuárias sem tratamento, atividades pecuaristas e desmatamento nas proximidades dos rios, o que pode contribuir para a presença dos parasitos nas águas dos mananciais. Le Chevallier *et al.* (1991) associaram maior concentração de oocistos e cistos em águas de rios que recebem descargas de esgoto e efluentes industriais. Hansen e Ongerth (1991) observaram que a concentração de oocistos foi consideravelmente maior no ambiente aquático de áreas que recebiam influência de fazendas de gado bovino.

Os resultados da presença de protozoários em mananciais superficiais corroboram os dados publicados por outras pesquisas realizados no Brasil (HELLER *et al.*, 2004; HACHICH, 2004; BASTOS *et al.*, 2002; MULLER, 1999; CANTUSIO NETO, 2004; BERINO, 2004; DIAS JÚNIOR, 1999) e em outros países (ROSE *et al.*, 1991; LE CHEVALIER e NORTON, 1995; JIANG *et al.*, 2005; KARANIS *et al.*, 2006; HASHIMOTO *et al.*, 2002). Dias Júnior (1999) detectou a ocorrência de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* em 58,4 e 66,7%, respectivamente, das amostras de águas superficiais no município de Araras, SP. Em 2002, a CETESB identificou a presença de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium*

em 27 e 2,5 %, respectivamente, dos 28 pontos de captação analisados no estado de São Paulo. No Japão, Hashimoto e colaboradores (2002) identificaram *Giardia* em 92% das amostras, e *Cryptosporidium* em todas as amostras analisadas. Ong *et al.* (1996) detectaram cistos e oocistos em todas as amostras de duas bacias no Canadá.

As concentrações dos protozoários encontradas no presente estudo, nos dois diferentes mananciais estudados, corroboram os resultados de trabalhos publicados no Brasil e em outros países (LE CHEVALIER e NORTON, 1995; SOLO-GABRIELE *et al.* 1998; HSU *et al.*, 1999; BASTOS *et al.*, 2002). Le Chevalier e Norton (1995) encontraram concentrações médias de *Giardia* de 200 cistos/L e de *Cryptosporidium* de 240 oocistos/L. Hsu e colaboradores (1999) detectaram concentrações ainda maiores em um manancial abastecedor em Taiwan, 1.956 cistos/L e 4.776 oocistos/L. Em dois mananciais superficiais do município de Viçosa-MG, Bastos *et al.* (2002) relataram concentrações máximas de *Giardia* de 140 cistos/L, e de *Cryptosporidium* de 510 oocistos/L. Outros estudos detectaram concentrações menores dos parasitos em água de mananciais, demonstrando que as concentrações encontradas na presente pesquisa devem servir de alerta e indicando considerável grau de contaminação fecal. Atherholt *et al.* (1998) detectaram concentrações médias de 0,5 cistos/L e 0,1 oocistos/L; Karanis *et al.* (1998), 0,88 cistos/L e 1,16 oocistos/L; Vernille *et al.* (2008), 0,02 cistos/L e não detectou oocistos de *Cryptosporidium*; e Dias (2007), 20,2 cistos/L e 15,3 oocistos/L.

Estudos têm apontado vários fatores que podem influenciar na concentração de cistos e oocistos na água de mananciais, como as características das bacias, variações pluviométricas, carga de efluentes domésticos e industriais, temperatura, distribuição não homogênea, atividade humana no entorno do manancial e metodologias utilizadas para análise (LE CHEVALIER *et al.*, 1991; LE CHEVALIER e NORTON, 1995 apud CANTUSIO NETO, 2004). Rose *et al.* (2002) indica a precipitação pluviométrica como principal fator de influência na dispersão dos parasitos que estão presentes no solo; e Atherholt *et al.* (1998) acrescenta que chuvas intensas podem promover a ressuspensão de sólidos e de material fecal presentes no leito dos rios. Porém, Thurman *et al.* (1998) indica que a ocorrência dos protozoários na água não obedece a padrões de sazonalidade.

No Brasil e em outros países, ainda não foram estabelecidos limites aceitáveis para de cistos e oocistos em águas superficiais para abastecimento público. A USEPA estabeleceu em 1996 o limite de 10 cistos/oocistos por litro para águas superficiais captadas para abastecimento nos EUA. Torna-se importante a definição de limites para estes protozoários em águas de

---

mananciais destinadas ao abastecimento, a fim de assegurar a compatibilidade dos tipos de tratamento utilizados e avaliar os riscos de contaminação caso estas águas sejam utilizadas para recreação. A concentração média dos protozoários encontrada nos mananciais estudados está cerca de 10 vezes maior que o limite estabelecido pela USEPA, sugerindo que os processos de tratamento de água podem estar sujeitos ao transpasse de protozoários.

Em algumas amostras de água bruta foi detectada a presença de algas que reagiram positivamente com anticorpos fluorescentes dos kits de identificação. Para evitar resultados falso-positivos foi utilizada a microscopia de contraste de fase para a confirmação da presença de cistos e oocistos, através da análise da morfologia interna e da parede dos cistos e oocistos. Mas, em águas de alta turbidez a confirmação foi prejudicada pelo excesso de material suspenso depositado na lâmina, o que dificultou a visualização dos cistos e oocistos por luz transmitida (contraste de fase), barrando a passagem do feixe luminoso e encobrendo os organismos, assim como relatado por BRIANCESCO *et al.* (1999).

### 5.2.2 Estações de Tratamento de Água

Os resultados da frequência dos protozoários *Giardia* e *Cryptosporidium* nas águas filtradas e tratadas podem ser visualizados na tabela 16. A tabela 17 apresenta a estatística descritiva das concentrações de cistos e oocistos nas águas em foram detectados. Os resultados detalhados da pesquisa de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium*, e de todos os parâmetros de qualidade das águas filtradas e tratadas podem ser consultados nos anexos C e D.

Tabela 16. Frequência de ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia* na água filtrada e tratada dos sistemas Carapina e Vale Esperança.

Sistema	n	<i>Giardia</i>	<i>Cryptosporidium</i>
<b>Carapina (A)</b>			
Filtrada FD	6	1 (16,67 %)	ND
Filtrada FT	6	3 (50,00 %)	4 (66,67 %)
Tratada	10	ND	ND
<b>Vale Esperança (B)</b>			
Filtrada FD	12	2 (16,67 %)	5 (41,67 %)
Filtrada TC	12	ND	ND
Tratada	10	ND	ND

FD = filtração direta.

FT = flotofiltração.

TC = tratamento convencional.

ND = não detectado.

Tabela 17. Estatística descritiva dos resultados da pesquisa de oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia* nas águas em que foram encontrados.

Sistema	n	Cistos de <i>Giardia</i> / L				Oocistos de <i>Cryptosporidium</i> / L			
		Max	Min	Média	Desvio padrão	Max	Min	Média	Desvio Padrão
<b>Carapina (A)</b>									
Filtrada FD	6	7,50	ND	1,25	3,06	ND	ND	ND	ND
Filtrada FT	6	5,00	ND	1,67	2,04	17,50	ND	5,00	6,52
<b>Vale Esperança (B)</b>									
Filtrada FD	12	20,00	ND	2,71	6,52	22,50	ND	3,33	6,42

FD = filtração direta.

FT = flotação.

ND = não detectado.

Na água filtrada do tratamento convencional e tratada dos reservatórios dos dois sistemas de tratamento não foi detectada a presença dos protozoários *Giardia* e *Cryptosporidium*. Já o efluente filtrado do tratamento por flotação do sistema A apresentou maior positividade de protozoários dentre as águas filtradas analisadas. Neste tipo de tratamento foram identificados cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* em 50,00 e 66,67% das amostras, respectivamente. As concentrações de *Giardia* variaram de não detectável a 5 cistos/L, e *Cryptosporidium* de não detectável a 17,50 oocistos/L.

No efluente filtrado do tratamento por filtração direta do sistema B também foi detectada a presença dos parasitos, mas com menor frequência do que na flotação. Os cistos estiveram presentes em 16,67% e os oocistos de 41,67% as amostras. A maior concentração de *Giardia* (20 cistos/L) foi encontrada no efluente filtrado desta ETA. O *Cryptosporidium* foi encontrado em concentrações que variaram de não detectável a 22,50 oocistos/ L.

Na água filtrada do tratamento por filtração direta do sistema A não foram identificados oocistos de *Cryptosporidium*. E os cistos de *Giardia* estiveram presentes em somente uma amostra (16,67%), com concentração de 7,50 cistos/L.

As maiores frequências de protozoários foram encontradas nos efluentes filtrados da flotação e filtração direta do sistema B, o que podem ser explicadas pela turbidez maior que 0,5 uT encontrada em 100 e 58,33% das amostras, respectivamente (anexos E e F), e por estar operando com água bruta de turbidez acima dos limites recomendados por Di Bernardo e Dantas (2005) para estes tipos de tratamento de água (filtração direta  $\leq 25$  uT, em 100% do tempo; flotação  $\leq 25$  uT, em 90% do tempo).

A carreira curta de filtração nestas ETAs, devido à ausência da etapa de clarificação antecedente a filtração, pode ser outro fator que potencializa os riscos. A maior frequência de lavagem dos filtros deixa o tratamento vulnerável à passagem de cistos e oocistos, já que os filtros entram em operação normal, aproximadamente, 1,5h após a lavagem (LIBÂNIO, 2005). Já a melhor eficiência da ETA filtração direta do sistema A, dentre aquelas que não possui etapa de clarificação antes da filtração, se deve a manutenção de baixa turbidez no efluente filtrado na maioria das amostras, ocasionada pela turbidez reduzida do afluente (água bruta), que também ocasiona tempos maiores de carreira de filtração.

O Ministério da Saúde, através da Portaria nº 518/2004, recomenda que a turbidez de efluentes filtrados de tratamentos por filtração rápida seja inferior a 0,5 uT, em 95% das amostras, para se atingir o padrão de ausência de *Giardia* e *Cryptosporidium*. A USEPA (2003) preconiza a manutenção de turbidez dos efluentes filtrados abaixo de 0,3 uT, em 95 % das amostras, e nunca ultrapassar turbidez de 1 uT. Os valores de turbidez maiores que o recomendado, encontrados na maioria das amostras de efluentes filtrados das ETAs por flotofiltração e filtração direta do sistema B, demonstra que estes tipos de tratamento possam estar incompatíveis com a qualidade da água bruta captada ou apresentam problemas operacionais, que possibilitam o transpasse de protozoários quando há picos de turbidez e de protozoários.

A presença dos parasitos em águas com turbidez inferior a 0,5 uT, como registrado no tratamento por filtração direta dos dois sistemas, indica que o padrão de ausência de protozoários, medido pela limite de turbidez de 0,5 uT, não garante a ausência de riscos à população. Hsu *et al.* (2001) e Hashimoto *et al.* (2002) também relataram a presença de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* em águas filtradas de baixa turbidez, indicando que o limite de aceitação para a turbidez deveria ser ainda menor. O estudo realizado por Patania e colaboradores (1995) revelou que a remoção efetiva de cistos e oocistos só foi garantida quando o efluente filtrado apresentou turbidez de 0,1 uT, e quando a turbidez esteve maior que 0,2 uT foi detectada a presença de *Giardia* e *Cryptosporidium* no efluente filtrado. Outros pesquisadores (HUCK *et al.*, 2001 e 2002; EMELKO, 2001) também obtiveram conclusões similares, e acrescentam que no final dos ciclos de filtração a qualidade dos efluentes pode deteriorar possibilitando a passagem de oocistos de *Cryptosporidium*. Huck *et al.* (2001 e 2002) e Patania *et al.* (1995) relataram o aumento da passagem de oocistos de *Cryptosporidium* pelos filtros durante a primeira hora de operação após a lavagem.

---

Na amostras de efluentes filtrados em que foram identificados cistos de *Giardia*, a concentração deste protozoário esteve superior ao “nível de alerta” de 0,03 a 0,05 cistos/L, sugerido por Wallis *et al.* (1996) para que ocorra riscos de surtos. Os oocistos de *Cryptosporidium* também estiveram em concentrações superiores ao “nível de alerta” de 0,1 a 0,3 oocistos/L (HAAS e ROSE, 1995), em todas amostras em que foram identificados. A USEPA sugere medidas ainda mais restritivas, recomenda o nível de risco de infecção de 1:10.000 ( $10^{-4}$ ). Segundo Rose *et al.* (1991), para atingir este nível as concentrações de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* não deve exceder  $10^{-5}$  cisto/L e  $6 \times 10^{-7}$  oocisto/L na água tratada.

A não detecção dos protozoários na água tratada dos reservatórios e efluente filtrado do tratamento convencional pode enquadrar estas águas nos requisitos estabelecidos pelas normas nacionais e internacionais de controle de qualidade da água, assim como também demonstrado por Cantusio Neto (2004) e Bastos *et al.* (2002), em estudos com tratamento convencional. Mas, a não identificação de cistos e oocistos nestas águas não deve ser encarada como ausência total dos protozoários. Cabe ressaltar, que as técnicas utilizadas para a concentração de cistos e oocistos não apresenta 100% de recuperação e utilizam pequenos volumes de amostras, podendo os resultados de ausência estar subestimados (VERNILLE *et al.*, 2008; ALLEN *et al.*, 2000). O limite de detecção estimado de protozoários nas metodologias utilizadas foi de 1,67 (oo)cistos/L. Além disso, diversos trabalhos têm identificado a presença de *Giardia* e *Cryptosporidium* em efluentes filtrados e tratados de ETAs por tratamento convencional (MULLER, 1999; NIEMINSKI, 1997), fato que indica que este tipo de tratamento também pode ser vulnerável ao transpasse de protozoários.

Dados de literatura, que demonstram a resistência dos cistos de *Giardia* e, principalmente, dos oocistos de *Cryptosporidium* aos processos convencionais de desinfecção, reforçam a idéia de subestimação dos resultados. Korich *et al.* (1990) afirma que são necessárias altas concentrações de cloro (80 ppm), acima das usualmente dosadas nas ETAs, por tempo prolongado (90 minutos) para atingir 90% de inativação.

Segundo USEPA (2001), os compostos químicos utilizados nos processos de tratamento de água, tais como coagulantes de ferro e alumínio e polímeros, podem resultar em interferência adicional. O processo de cloração também pode interferir na detecção dos parasitos, Moore *et al.* (1998) afirmam que pode ocorrer remoção dos epítomos específicos da parede dos cistos e oocistos pelo cloro sem necessariamente ocorrer inativação, impedindo que os anticorpos marcados com o reagente de detecção se aderem à superfície dos microrganismos. Isto pode

---

ter ocorrido tanto na água tratada quanto no efluente filtrado do processo de tratamento convencional, já que neste último ocorrem duas outras adições de cloro antes da etapa de desinfecção (pré-cloração e inter-cloração).

A morfologia de alguns cistos e oocistos, encontrados nas amostras de água bruta e filtrada, apresentava-se levemente alterada ou distorcida. Muller (1999) afirma que estas alterações morfológicas podem ser devidas a perda de viabilidade ou inativação dos parasitos em consequência de fatores ambientais ou dos processos de tratamento.

Em água filtrada os oocistos apresentavam parede levemente identificável. Para facilitar a identificação dos protozoários, as confirmações da presença de cistos e oocistos eram realizadas na objetiva de maior aumento na presença de dois analistas.

Os resultados obtidos demonstram que ETAs por filtração direta e flotofiltração operadas com água bruta de turbidez superior à recomendada para estes tipos de tratamento, podem estar sujeitas ao transpasse de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium*. Mas quando operadas dentro das recomendações para cada tratamento, podem garantir a ausência de parasitos nos seus efluentes e reduzir os riscos associados. O tratamento convencional manteve a qualidade de seu efluente dentro dos limites aceitáveis mesmo quando a água bruta apresentou turbidez elevada.

### 5.3 CORRELAÇÃO DE CISTOS E OOCISTOS COM OS INDICADORES DE QUALIDADE DA ÁGUA

O coeficiente de correlação de Spearman ( $r_s$ ) foi utilizado para avaliar a associação dos protozoários com os indicadores físico-químicos e bacteriológicos de qualidade da água, e os dados pluviométricos. Para o teste de correlação foram utilizados os resultados da técnica de concentração por floculação com  $\text{CaCO}_3$ , por apresentar melhor desempenho nos testes de sensibilidade. Os coeficientes de correlação para todos os parâmetros analisados estão apresentados no anexo E. Os gráficos de dispersão dos parâmetros correlacionados na água bruta dos dois sistemas de tratamento de água estudados estão apresentados no anexo F.

Os protozoários identificados na água bruta do sistema A apresentaram correlação positiva entre si e com outros cinco parâmetros analisados. A *Giardia* correlacionou-se com *Cryptosporidium* ( $r_s = 0,633$ ), coliformes totais ( $r_s = 0,689$ ) e cor verdadeira ( $r_s = 0,677$ ) ao

---

nível de significância de 5%; e com turbidez ( $r_s = 0,829$ ), *E. coli* ( $r_s = 0,841$ ) e cor aparente ( $r_s = 0,813$ ) ao nível de significância de 1%. Os oocistos de *Cryptosporidium* tiveram correlação com turbidez ( $r_s = 0,717$ ) ao nível de significância de 1%, e com coliformes totais ( $r_s = 0,622$ ), *E. coli* ( $r_s = 0,603$ ), cor verdadeira ( $r_s = 0,681$ ) e cor aparente ( $r_s = 0,670$ ), ao nível de significância de 5%.

Na água bruta do sistema B, os cistos de *Giardia* apenas se correlacionaram com a turbidez ( $r_s = 0,594$ ), e o *Cryptosporidium* com coliformes totais ( $r_s = 0,688$ ), *E. coli* ( $r_s = 0,671$ ) e turbidez ( $r_s = 0,625$ ), ao nível de significância de 5%. Os parâmetros pH, alcalinidade, temperatura e precipitação pluviométrica não apresentaram correlação com os protozoários nos dois sistemas estudados. Não foi possível realizar os testes de correlação com os resultados obtidos nas águas filtradas das ETAs, devido ao baixo número de amostras positivas para cistos e oocistos.

O coeficiente de correlação da concentração dos protozoários com os valores de turbidez encontrado nos dois mananciais revelou que em episódios de turbidez elevada, os cistos e oocistos são encontrados em maior concentração. Alguns pesquisadores (HU, 2002; HSU *et al.*, 2000; CARMENA *et al.*, 2007) também relataram a associação significativa dos valores de turbidez com a presença de protozoários na água bruta. A correlação com turbidez sugere uma atenção maior na operação das ETAs, principalmente naquelas que não apresentam etapa de clarificação, que em momentos de picos de turbidez na água captada podem apresentar riscos de transpasse de parasitos, devido ao aumento também da concentração dos protozoários no afluente.

Por outro lado, há trabalhos que mostram não existir associação de turbidez com a presença de *Giardia* e *Cryptosporidium* em água bruta (THURMAN *et al.*, 1998; AHMAD *et al.*, 1997; HSU *et al.*, 2001), indicando que o parâmetro turbidez deve ser utilizado com cuidado para estimar estes organismos. A presença de protozoários em águas com valores de turbidez dentro dos limites estabelecidos pelo Ministério da Saúde, e os relatos da literatura (Hsu *et al.*, 2001; Hashimoto *et al.*, 2002) fica evidente que o controle de turbidez não é a melhor forma de eliminar os riscos. Estas informações reforçam a idéia de que o monitoramento constante dos protozoários na água destinada ao abastecimento não deve ser substituído pelo controle de turbidez no efluente filtrado.

Cabe ressaltar, que a equação utilizada para quantificação de cistos e oocistos (Equação 1) considera o volume de sedimento final (“pellet”) da amostra, sendo este parâmetro diretamente proporcional à concentração dos protozoários aplicada na equação. Portanto, os

resultados de correlação de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* com turbidez podem estar subestimados ou superestimados devido à influência do volume do sedimento obtido após centrifugação na quantificação final dos organismos.

A correlação de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* com os parâmetros bacteriológicos foi observada na água bruta do sistema B. Já no sistema A houve associação somente de *Cryptosporidium* com coliformes totais e *E.coli*. Vernile e colaboradores (2008) também observaram correlação da concentração de *Giardia* com parâmetros bacteriológicos. Atherholt *et al.* (1998) observaram uma correlação significativa entre as concentrações de *Giardia* e *Cryptosporidium* com coliformes totais, termotolerantes e *Clostridium perfringens*.

Contrariamente, muitos trabalhos demonstram não haver correlação entre os cistos e oocistos com os parâmetros bacteriológicos, indicando que a presença dos protozoários também não pode ser estimada por apenas a contagem de bactérias do grupo coliformes, já que estes organismos têm diferentes comportamentos no ambiente aquático e são menos resistentes que os protozoários (LEMARCHAND e LEBARON, 2003; HÄNNINEN *et al.*, 2005; HSU *et al.*, 2001; THURMAN *et al.*, 1998; BASTOS *et al.*, 2002; MULLER, 1999). Segundo Kramer *et al.* (1996), nos EUA ocorreram vários surtos de cryptosporidiose associados à água de consumo humano, mesmo quando os padrões bacteriológicos estavam de acordo com a legislação.

Os parâmetros de cor verdadeira e aparente apresentaram correlações com as concentrações de cistos e oocistos somente na água bruta do sistema Carapina. No sistema Vale Esperança e nos dados da literatura não foi encontrada associação dos valores de cor com a presença de protozoários, sugerindo não ser adequada a utilização destes parâmetros para estimar a concentração de cistos e oocistos.

No presente estudo, a precipitação pluviométrica não apresentou correlação com os protozoários, mas observou-se que os picos de cistos, oocistos, turbidez e contagem de bactérias do grupo coliformes nas águas brutas foram no período chuvoso (outubro a março). Thurman *et al.* (1998) e, Skerrett e Holland (2000) também não encontraram correlação de cistos e oocistos com dados pluviométricos, no entanto identificaram picos de protozoários após períodos de chuva forte. Altherholt e colaboradores (1998) pesquisaram protozoários no Rio Delaware, USA, e revelaram que a chuva foi um fator significativo para o aumento da concentração de *Giardia* e *Cryptosporidium*, devido ao aumento da turbidez causada pela ressuspensão do sedimento do rio e escoamento superficial.

---

Davies *et al.* (2004), em experimento piloto, observaram que em episódios de chuvas fortes em solos sem cobertura vegetal, a água da enxurrada apresentou maior concentração de oocistos do que em solo cobertos. A lixiviação de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium*, provenientes de dejetos de animais, pode ser uma considerável fonte de contaminação dos mananciais, já que as bacias estudadas recebem precipitação anual média de 1500 mm, com episódios de chuvas fortes e constantes no verão (IEMA, s/d).

O pequeno número de amostras positivas nos efluentes filtrados impossibilitou a realização dos testes de correlação dos cistos e oocistos com os parâmetros indicadores de qualidade de água. Apesar de a turbidez ser utilizada como medida para se garantir a ausência de protozoários em água em países como Brasil e EUA, dados da literatura relatam ausência de correlação entre a concentração e remoção dos protozoários com turbidez (BASTOS *et al.*, 2002; MENGE *et al.*, 2001; HASHIMOTO *et al.*, 2002). Por outro lado, Nieminski (1997) encontrou correlação entre a remoção de turbidez com a remoção dos protozoários em uma ETA por tratamento convencional e outra por filtração direta. Eles observaram que a redução dos valores de turbidez era acompanhada pela redução da concentração de protozoários.

As dificuldades reconhecidas de detecção de *Giardia* e *Cryptosporidium* em água, em termos de custo e limitações metodológicas, estimulam a busca de indicadores indiretos de presença destes protozoários. Mas, a determinação de indicadores confiáveis também é considerada um problema, já que a comunidade científica ainda não reconheceu parâmetros alternativos que indiquem precisamente a ocorrência de *Giardia* e *Cryptosporidium*. A discrepância dos resultados dos trabalhos publicados, quanto à correlação da remoção e concentração de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* com outros indicadores de qualidade de água, pode ser explicada pela diferença da qualidade das águas examinadas ou diferença nos métodos e equipamentos analíticos utilizados para detecção dos parasitas (VERNILE *et al.*, 2008).

#### 5.4 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE CISTOS E OOCISTOS PELOS PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA ESTUDADOS

A eficiência dos processos de tratamento de água foi avaliada através da estatística descritiva das concentrações de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* em cada ponto amostrado (tabela 18), e da remoção (log) dos protozoários nos processos de tratamento em que foram detectados no efluente filtrado (anexo G). A análise da remoção de cistos e

---

oocistos foi realizada com os resultados obtidos pela técnica de concentração por floculação com  $\text{CaCO}_3$ , por apresentar melhor desempenho nos testes de sensibilidade.

Tabela 18. Resultados da estatística descritiva da concentração de protozoários nos diferentes processos de tratamentos de água.

Parâmetro	Tratamento	Água	N válido	Média	Desvio padrão
<i>Giardia</i>	Convencional	Bruta	10	97,50	60,61
		Filtrada	10	ND	ND
		Tratada	10	ND	ND
	Filtração direta	Bruta	15	98,33	92,32
		Filtrada	15	0,50	1,93
		Tratada	15	ND	ND
	Flotofiltração	Bruta	5	130	102,16
		Filtrada	5	1,00	1,37
		Tratada	5	ND	ND
<i>Cryptosporidium</i>	Convencional	Bruta	10	82,50	71,73
		Filtrada	10	ND	ND
		Tratada	10	ND	ND
	Filtração direta	Bruta	12	60,00	67,34
		Filtrada	12	0,83	1,81
		Tratada	12	ND	ND
	Flotofiltração	Bruta	5	137,5	238,48
		Filtrada	5	2,50	2,50
		Tratada	5	ND	ND

ND – Não detectado.

#### 5.4.1 Tratamento Convencional

De acordo com a estatística descritiva, o tratamento convencional foi o processo com melhor eficiência na remoção de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium*, pois em seus efluentes filtrados não detectados protozoários. Os resultados corroboram os dados encontrados por Cantusio Neto (2004), que também não detectou os parasitos na água filtrada de duas ETAs de tratamento convencional na cidade de Campinas, SP. A “Health Canada” (2004), através do “Guidelines for Canadian Drinking Water Quality”, relata que o tratamento em questão pode apresentar média de remoção de cistos e oocistos de 3,0 log. A USEPA (2006) estabelece mínimo de remoção dos protozoários para tratamentos com filtração, 3,0 log para *Giardia* e 2,0 log para *Cryptosporidium*.

Nieminski (1997) encontrou remoção de 3,26 log para *Giardia* e 2,25 log para *Cryptosporidium*, enquadrando-se nas recomendações da USEPA. Bastos *et al.* (2002) estudaram a remoção de *Giardia* e *Cryptosporidium* em duas ETAs por tratamento convencional, e observaram remoção de 100% de *Giardia* e *Cryptosporidium* em uma destas

ETAs. A outra apresentou remoção de 0,84 a 2,79 log para a *Giardia* e 0,08 a 3,23 log para *Cryptosporidium*. Os pesquisadores associaram a presença de protozoários no efluente filtrado às deficiências operacionais, mais especificamente a deterioração acentuada dos leitos filtrantes e obsolescência de alguns equipamentos, além da inadequação da granulometria da areia.

A boa eficiência do tratamento convencional na remoção de protozoários se deve ao maior número de etapas de clarificação que antecede a filtração, fazendo com que os filtros sejam poupados, em parte, das partículas em suspensão presentes na água, e operem dentro das condições ótimas (EMELKO, 2003; JAKUBOWSKI e CRAUN, 2002). O presente estudo não avaliou a remoção na água decantada, mas de acordo com a “WHO” (2004) as etapas de coagulação, floculação (com adição de polímeros) e sedimentação podem contribuir com até 1,6 log de remoção. De acordo com os resultados da presente pesquisa, a não detecção de protozoários no efluente filtrado demonstra que este tipo de tratamento atende as recomendações do Ministério da Saúde e dos órgãos internacionais. Mas, a não detecção dos parasitos não implica a ausência dos parasitos, pois se deve considerar os interferentes químicos adicionados no processo de tratamento (sulfato de alumínio e cloro), a eficiência da técnica de concentração de cistos e oocistos, principalmente na recuperação dos protozoários, e o limite de detecção.

#### 5.4.2 Filtração Direta

A filtração direta do sistema A teve remoção de cistos de 1,37 log, e os oocistos não foram detectados no efluente deste processo de tratamento. A filtração direta do sistema B apresentou remoção média de 0,91 log para *Giardia* e 1,47 log para *Cryptosporidium* (Anexo G). A remoção de protozoários observada revelou que para as condições de tratamento, para o número de protozoários presentes e para o limite de detecção não foi possível enquadrar a eficiência dos sistemas às recomendações da USEPA (3,0 log para *Giardia*, e 2,0 log para *Cryptosporidium*). No entanto, os resultados de remoção dos protozoários (log) podem estar subestimados, uma vez que não foi possível a detecção dos parasitos em concentrações inferiores ao limite de detecção (1,67 cistos e oocistos/L).

Bastos *et al.* (2002) também observaram baixa remoção de protozoários em uma ETA por filtração direta, quando estes foram detectados no efluente filtrado, 1,39 log para cistos de *Giardia* e 1,16 log para oocistos de *Cryptosporidium*. Hu (2002) estudou o desempenho de

---

uma ETA por filtração direta na remoção de *Giardia* e *Cryptosporidium*, em Taiwan. O autor observou baixa remoção de ambos os protozoários, 0,52 a 0,67 log para *Giardia* e 0,85 a 1,74 log para *Cryptosporidium*. Já Nieminski e Orgerth (1995) observaram melhor desempenho da filtração direta, 2,87 log para *Giardia* e 2,79 log para *Cryptosporidium*.

Apesar da filtração direta do sistema A apresentar 1,37 log de remoção de *Giardia*, este protozoário foi encontrado somente em uma das seis amostras do efluente filtrado. A baixa positividade de cistos de *Giardia* na água filtrada da filtração direta do Sistema A e, principalmente, de oocistos de *Cryptosporidium* pode ser explicada pela não detecção e/ ou baixa concentração dos protozoários na água bruta nos momentos das amostragens. Cabe ressaltar, que esta linha de tratamento do sistema A esteve em operação no período em que foram registrados os menores valores de turbidez (3,33-8,50 uT), e em momentos que não detectou-se protozoários no afluente. Portanto, a eficiência deste processo de tratamento pode ter sido influenciada pela qualidade da água bruta captada.

A filtração direta do sistema B operou durante os 12 meses da pesquisa, e recebeu cargas contínuas de protozoários provenientes da água captada. Na água bruta deste sistema foi detectada a presença de protozoários em todos os meses estudados, portanto o processo de tratamento empregado recebeu cargas de cistos e oocistos com maior frequência. Apesar da média de remoção de *Giardia* estar abaixo da recomendada, este parasito esteve presente em duas das 12 amostras de água filtrada. O *Cryptosporidium* foi encontrado com maior frequência (em cinco das 12 amostras), o que sugere que este tipo de tratamento é vulnerável ao transpasse de oocistos. O tamanho reduzido dos oocistos de *Cryptosporidium* (3 a 4µm) e a operação da ETA em condições de turbidez acima da recomendada para este tipo de tratamento, podem representar os principais fatores que influenciam na vulnerabilidade da filtração direta. Cabe ressaltar, que as ETAs por filtração direta estudadas não apresentam a etapa de floculação, o que pode contribuir para o transpasse de cistos e oocistos nos filtros, devido à formação de flocos pequenos que são pouco retidos no leito filtrante.

Mesmo que a remoção média de protozoários foi baixa nos momentos de pico de turbidez e de parasitos na água bruta, pode-se afirmar que este tipo de tratamento possui potencial de remoção para atingir as recomendações das normas, desde que seja operado dentro das condições recomendadas. Isto demonstra que para garantir a eficiência do tratamento os procedimentos de operação devem ser otimizados e a qualidade da água bruta estar dentro dos limites estabelecidos para este tipo de tratamento.

---

### 5.4.3 Flotofiltração

A média de remoção de oocistos de *Cryptosporidium* foi a menor (1,45 log) dentre os processos de tratamento que não apresentam a etapa de decantação, por outro lado a remoção de cistos de *Giardia* foi maior (1,77 log) (Anexo G), mas também não foi possível verificar o padrão de remoção recomendado pela USEPA (3,0 log para *Giardia* e 2,0 log para *Cryptosporidium*). Os resultados de remoção dos protozoários (log) neste tipo de tratamento também podem estar subestimados, uma vez que não foi possível a detecção dos parasitos em concentrações inferiores ao limite de detecção.

O desempenho da flotofiltração pode estar relacionado às condições de operação que são aplicadas, principalmente quando operada em momentos de pico de turbidez na água bruta. A dificuldade de se atingir turbidez  $\leq 0,5$  uT no efluente filtrado, nas condições em que é colocada em funcionamento, evidencia as limitações na remoção de cistos e oocistos. Apesar da média de remoção de *Cryptosporidium* estar abaixo da recomendada, no mês de novembro de 2008 a remoção foi de 2,36 log, respectivamente. Isto demonstra que este processo de tratamento também tem potencial para remover protozoários, desde que esteja operando dentro das condições ótimas de funcionamento. A densidade baixa dos oocistos também pode ter contribuído para a remoção nos meses de abril e novembro estarem dentro das recomendações, já que o tratamento depende da flutuabilidade das partículas. Este tipo de tratamento deve ser testado em momentos de turbidez menores que  $\leq 50$  uT, para permitir a avaliação do processo nas condições recomendadas para este tipo de tratamento.

As menores remoções de oocistos de *Cryptosporidium* na flotofiltração podem ter sido influenciadas pela ausência da etapa de floculação, que impossibilita a formação do floco de tamanho e densidade ideal para garantir a eficiência do tratamento. A literatura relata que este tipo de tratamento deve ser composto pelas etapas de coagulação, floculação, flotofiltração e desinfecção para que seja operado com segurança (DI BERNARDO e DANTAS, 2005; PÁDUA, 2006).

A flotofiltração é pouco empregada no Brasil, e os trabalhos relacionados à remoção de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* por este tipo de tratamento são escassos. A tecnologia que utiliza a flotação com ar dissolvido em uma unidade separada da filtração (flotadores) é mais difundida e apresentam alguns trabalhos de remoção de protozoários, mas não permitem compará-los com os resultados da presente pesquisa.

---

## 6. CONCLUSÕES

Considerando a delimitação do trabalho, principalmente, no que diz respeito ao número de amostras coletadas e as limitações metodológicas, pode-se concluir que:

- Nos testes de sensibilidade realizados para as duas técnicas adotadas para concentração de protozoários, a floculação com  $\text{CaCO}_3$  se destacou em relação a filtração em membrana por apresentar maior eficiência, podendo ser recomendada como técnica de concentração de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium*;
  - Os resultados indicam que os cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* estão amplamente disseminados no ambiente aquático dos rios Santa Maria da Vitória e Jucú, não havendo diferença significativa entre estes, podendo oferecer riscos à saúde caso os tratamentos de água não sejam eficientes na remoção destes protozoários;
  - A presença de protozoários apresentou correlação com os parâmetros de qualidade coliformes totais, *E.coli*, turbidez, cor aparente e verdadeira na água bruta, mas para obtenção de resultados mais consistentes seria necessário um número maior de análises;
  - A não detecção de protozoários no efluente filtrado do tratamento convencional sugere que este processo de tratamento é o mais indicado para a remoção de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium*. Já a presença de parasitos nos efluentes filtrados da filtração direta e flotofiltração indica que estes processos de tratamento são vulneráveis e devem ser otimizados para se evitar os riscos à saúde pública, considerando que a cloração é apontada como ineficaz na inativação dos protozoários;
  - O presente trabalho foi importante para mostrar a real situação de dois sistemas de abastecimento de água na região da Grande Vitória quanto à presença de cistos de (valores inferiores a 400/L) e oocistos (valores inferiores a 700/L) e remoção destes protozoários patogênicos, evidenciando a importância do monitoramento de *Giardia* e *Cryptosporidium* em águas destinadas ao abastecimento público.
-

## 7. RECOMENDAÇÕES

- Monitoramento dos mananciais com tempo mínimo de dois anos para se definir o tratamento adequado ou otimização dos processos já existentes na remoção de *Giardia* e *Cryptosporidium*.
  - Pesquisar cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* na água de lavagem de filtros, para se determinar o risco do reuso.
  - Monitorar a qualidade da água bruta, filtrada e tratada em momentos de chuva intensa, a fim de identificar picos de protozoários e otimizar os processos de tratamento.
  - Realização de testes de sensibilidade em água tratada, para definir a taxa de recuperação dos protozoários neste tipo de matriz.
  - Realização de ensaios em escala de bancada e piloto com objetivo de avaliar a compatibilidade dos tipos de tratamento propostos com a qualidade da água captada.
  - Utilização de técnicas de purificação de *Giardia* e *Cryptosporidium*, buscando eliminar os interferentes analíticos que possam gerar resultados falso-positivos ou falso-negativos.
  - Utilização de técnicas mais sensíveis, que permitam a quantificação dos protozoários em concentrações inferiores ao limite de detecção encontrado nesta pesquisa (1,67 cistos e oocistos/L).
  - Realização da Análise Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM), com o objetivo de estimar numericamente as consequências de exposição aos protozoários patogênicos.
  - Pesquisar continuamente cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* nos sistemas de abastecimento público de água, a fim avaliar riscos e controlar a eficiência dos processos de tratamento na remoção destes protozoários.
-

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADDISS, D.G.; ARROWOOD, M.J.; BARTLETT, M.E.; COLLEY, D.G.; JURANEK, D.D. Assessing the public health threat associated with waterborne cryptosporidiosis: report of a workshop. **MMWR** 44:1-20, 1995.
- AHMAD, R.A.; LEE, E.; TAN, I.T.L; MOHAMAD-KAMEL, A.G. Occurrence of *Giardia* cysts and *Cryptosporidium* oocysts in raw and treated water from two water treatment plants in Selangor, Malaysia. **Wat. Res.**, 31 (12): 3132-3136, 1997.
- ALDOM, J.E.; CHAGLA, A.H. Recovery of *Cryptosporidium* oocysts from water by membrane filter dissolution methods. **Let. Appl. Microbiol.**, 20: 186-187, 1995.
- ALLEN, M.J.; CLANCY, J.L.; RICE, E.W. The plain, hard truth about pathogen monitoring. **J. AWWA**, 92: 64-76, 2000.
- ALI, M.A.; AL-HERRAWY, A.Z.; EL-HAWAARY, S.E. Detection of enteric viruses, *Giardia* and *Cryptosporidium* in two different types of drinking water treatment facilities. **Wat. Res.**, 38: 3931-3939, 2004.
- ALTHERHOLT, T.B.; LECHEVALLIER, M.W.; NORTON, W.D.; ROSEN, J.S. Effect of rainfall on *Giardia* and *Crypto*. **J. Am. Wat. Work Assoc.**, 90: 66-80, 1998.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. American Water Works Association, Water Environmental Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Ed. Washington, 1998.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. American Water Works Association, Water Environmental Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Ed. Washington, 2005.
- ANDRADE NETO, J. L.; ASSEF, M. C. V. Criptosporidiose e Microsporidiose. In: **Tratado de Infectologia**. Veronesi, R., 1996, p.1170-2.
- BASTOS, R.K.X.; VIEIRA, M.B.M; BRITO, L.A.; BEVILACQUA, P.D.; NASCIMENTO, L.E.; HELLER, L. *Giardia* sp cysts and *Cryptosporidium* spp. Oocysts dynamics in Southeast Brazil: occurrence in surface water and removal in water treatment processes. **International Symposium on Waterborne Pathogens**, AWWA, 2002.
- BERINO, E.C.S. Ocorrência de Detecção de *Cryptosporidium* sp. e *Giardia* sp. em Águas Brutas de Abastecimento de Formadores do Lago Guaíba. **Tese de Doutorado - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul**. 2004. 173 p.
- BERGER, P.S.; OSHIRO, R.K. Source water protection: Microbiology of source water, pp. 2967–2978, 2002. In: BITTON, G. **Encyclopedia of Environmental Microbiology**, Wiley-Interscience, N.Y.
- BORGES, J.C.G.; ALVES, L.C.; FAUSTINO, M.A.G.; GOMES, J.K.N.; LIMA, R.P. Ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium* spp. na água destinada a manutenção dos peixes-boi marinho (*Trichechus manatus*) em cativeiro. **Biotemas**, 20(3): 67-74, 2007.
- BRANCO, N. Avaliação da presença de *Cryptosporidium* spp e *Giardia* spp. em águas minerais naturais de nascentes e enteroparasitoses em duas comunidades rurais da cidade de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Dissertação de mestrado - Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas**. 2006. 113p.
-

- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 518/2004**. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e à vigilância da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. 2004.
- BRIANCESCO, R.; DELLA LIBERA, S.; SEMPRONI, M.; BONADONNA, L. Relationship between *Cryptosporidium* and microbiological water quality parameters in raw water. **Journal of Preventive Medicine and Hygiene**, 40: 39-42, 1999.
- BUTLER, B. J. & MAYFIELD, D. I. *Cryptosporidium* spp. – A review of the organism, the disease, and implications for managing water resources. **Waterloo Centre for Groundwater Research Waterloo**. Ontario: Canada, 1996.
- CAMPBELL, A.T.; ROBERTSON, L.J.; SMITH, H.V. Viability of *Cryptosporidium parvum* oocysts, correlation of *in vitro* excystation with inclusion/exclusion of fluorogenic vital dyes. **Appl. Environ. Microbiol.**, 58:3488-3493, 1992.
- CANADA. Health Canada. Guidelines for Canadian Drinking Water Quality: Supporting Documentation. **FPT Committee on Health and the Environmental**. Ottawa, 2004
- CANTUSIO NETO, R. Ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. em diferentes pontos do processo de tratamento de água, em Campinas, São Paulo, Brasil. **Dissertação de mestrado - Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas**. 2004. 99p.
- CARDOSO, L.S.; BERINO, E.; DEUS, A.B.S.; DE LUCA, S.J. *Cryptosporidium* e *Giardia* em águas e efluentes: estado da arte. In: Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental, Cancún. **Anais**, Cancún:Aidis, 2002., 8p.
- CARRENO, R.A.; POKORNY, N.J.; WEIR, S.C.; LEE, H.; TREVORS, J.T. Decrease in *Cryptosporidium parvum* oocyst infectivity *in vitro* by using the membrane filter dissolution method for recovering oocyst from water samples. **Appl. Environ. Microbiol**, 67 (7): 3309-3313, 2001.
- CARMENA, D.; AGUINAGALDE, X.; ZIGORRAGA, C.; CRESPO, J.; OCIO, J. Presence of *Giardia* cysts and *Cryptosporidium* oocysts in drinking water supplies in northern Spain. **J. Appl. Microbiol.**, 102 (3): 882-882, 2007.
- CENTER FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION - CDC. Foodborne outbreak of diarrheal illness associated with *Cryptosporidium parvum* – Minnesota, MMWR Morb. Mortal. **Wkly. Rep.** 45: 783-784, 1996.
- CENTER FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION - CDC. Foodborne outbreak of Cryptosporidiosis – Spokane, Washington, 1997, MMWR Morb. Mortal. **Wkly. Rep.** 47: 565-567, 1998.
- CENTER FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION - CDC. Laboratory Identification of Parasites of Public Health Concern, 2008.URL <http://www.dpd.cdc.gov/dpdx/HTML/Giardiasis.htm>. Acesso em: 12 de dezembro de 2008.
- CHALMERS, R.M.; STURDEE, A.P.; MELLORS, P.; NICHOLSON, V.; LAWLOR, F.; KENNY, F.; TIMPSON, P. *Cryptosporidium parvum* in environmental samples in the Sligo area, Republic of Ireland: a preliminary report. **Let. Appl. Microbiol**, 25: 380-384, 1997.
- COOPER, M.A.; ADAM, R.D.; WOROBEY, M.; STERLING, C.R. Population genetics provides evidence for recombination in *Giardia*. **Current Biology**, 17: 1984-1988, 2007. Apud: THOMPSON, R.C.A. The Impact of *Giardia* on Science and Society. In: ORTEGA-PIERRES, G.; CACCIÒ, S.; FAYER, R.; MANK, T. G.; SMITH, H.V.; THOMPSON,
-

- R.C.A. *Giardia* and *Cryptosporidium* from molecules to disease. CABI: Massachusetts, 2009. 499p.
- DAVIES, C.M.; FERGUSON, C.M.; KAUCNER, C.; KROGH, M.; ALTAVILLA, N.; DEERE, D. A.; ASHBOLT, N. J. Dispersion and transport of *Cryptosporidium* oocysts from fecal pats under simulated rainfall events. **Appl. Environ. Microbiol.**, 70 (2): 1151-1159, 2004.
- DIAS JUNIOR, O. J. Ocorrência de Cistos de *Giardia* sp. e Oocistos de *Cryptosporidium* spp. em águas superficiais e esgoto no município de Araras-SP. **Dissertação de mestrado - Universidade Prebiteriana Mackenzie**. São Paulo, 1999.
- DIAS, G.M.F. 2007. Qualidade Microbiológica da Água da Bacia do Ribeirão São Bartolomeu, Viçosa, MG: Análise Epidemiológica, Ambiental e Espacial. **Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Viçosa**. 161p.
- DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 2 ed. São Carlos: Rima Editora. 2005. v.1. 792p.
- DRINKING WATER INSPECTORATE – DWI. Department of Environmental. **Standard Operating Protocol for the monitoring of *Cryptosporidium* oocysts in treated water supplies to satisfy the water supply (water quality) regulations**. United Kingdom, 2005.
- DUPONT, H. L.; CHAPPELL, C. L.; STERLING, C. R.; OKHUYSEN, P. C.; ROSE, J. B.; JABUBOWSKI, W. The infectivity of *C. parvum* in healthy volunteers. **N. Engl. J. Med.**, 332:855-9, 1995.
- EMELKO, M.B. Removal of *Cryptosporidium parvum* by Granular Media Filtration. **Tese de doutorado - Universidade de Waterloo**, Ontario, EUA. 2001.
- EMELKO, M. B. Removal of viable and inactivated *Cryptosporidium* by dual- and tri-media filtration. **Wat. Res.** 37: 2998-3008, 2003.
- FAGUNDES NETO, U.; OLIVA, C. A. G. Infecções diarreicas agudas e persistentes em pediatria – abordagem clínica. IN: VERNONESSI, R.; FOCACCIA, R. **Tratado de infectologia**. São Paulo: Editora Atheneu, p.777-783. 1996.
- FAGUNDES, A.P. Remoção de oocistos de *Cryptosporidium* por filtração direta – influência de alguns aspectos operacionais. **Dissertação de mestrado - Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal de Brasília**. 2006. 166p.
- FARIAS, E.W.C. Pesquisa de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e *Salmonella* spp. em amostras de águas de esgoto e águas de córrego da cidade de São Paulo. **Dissertação de mestrado - Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo**. 2000. 109p.
- FARIAS, E.W.C.; GAMBA, R.C.; PELLIZARI, V.H. Detection of *Cryptosporidium* spp. Oocysts in raw sewage and creek water in the city of São Paulo, Brazil. **Braz. J. Microbiol.**, 33(1):41-43, 2002.
- FAYER, R.; MORGAN, U.; UPTON, S.J. Epidemiology of *Cryptosporidium*: transmission, detection and identification, **Int. J. Parasitol.** 30: 1305–1322, 2000.
- FAYER, R. ***Cryptosporidium* and *Cryptosporidiosis***. Boca Raton: CRC Press, 1997.
- FLANIGAN, T. P. & SOAVE, R. *Cryptosporidiosis*. **Prog Clin Parasitol**, 1 – 20, 1993.
- 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. **Rev. Inst. Med. trop. S. Paulo**, v.43, n.2, p.109-111. 2001.
-

- FRANCO, R.M.B.; CANTUSIO NETO, R. Occurrence of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts in bottled mineral water commercialized in the city of Campinas, State of São Paulo, Brazil. **Mem. Inst. Oswaldo Cruz**, 97: 205-207, 2002.
- FRICKER, C.R.; CRABB, J. Waterborne Cryptosporidiosis: Detection methods and treatment options. **Advanced Parasitology**, 40: 241-278, 1998.
- GALE, P.; STANFIELD, G. Cryptosporidium during a simulate outbreak. **J. AWWA**, v.92, n.9, p. 105-116, 2000.
- GARY, H.L.; JOHNSON, S.R.; PONCE, S.L. Cattle grazing impact on surface water quality in a Colorado front range stream. **J. Soil Water Conserv**, 38:124-128, 1983.
- GELLETLIE, R.; STUART, J.; SOLTANPOOR, R.; ARMSTRONG, R.; NICHOLS, G. Cryptosporidiosis associated with school milk. **Lancet** 350: 1005-1006, 1997.
- GENNARI-CARDOSO, M.L.; COSTA-CRUZ, J.M.; CASTRO, E.; LIMA, L.M.F.S.; PRUDENTE, D.V. *Cryptosporidium* sp. in children suffering from acute diarrhea at Uberlândia City, State of Minas Gerais, Brazil. **Mem. Inst. Oswaldo Cruz**, 97(5): 551-554, 1996.
- GILSON, I.; BUGGY, B.P.; BRUMMITT, C.F.; BUSALACCHI, M.; IVANTIC, K. Impact of a community-wide outbreak of cryptosporidiosis on patients with AIDS. **Int. Conf. AIDS**, Yokohama, Japão, 1994.
- GOODGAME, R. W. Understanding intestinal spore-forming protozoa: cryptosporidia, microsporidia, isospora and cyclospora. **Ann Intern Med**, 124 (4): 429-41. 1996.
- HAAS, C.N.; ROSE, J.B. Developing an action level for *Cryptosporidium*. **J. AWWA**, 87 (9): 81-84, 1995.
- HACHICH, E. M.; SATO, M. I.; GALVANI, A. T.; MENEGON, J. R.; MUCCI, J. L. *Giardia* and *Cryptosporidium* in source waters of São Paulo State, Brazil. **Wat. Sci. Technol**, 50 (1): 239-245, 2004.
- HÄNNINEN, M.L.; HÖRMAN, A.; RIMHANEN-FINNE, R.; VAHTERA, H.; MALMBERG, S.; HERVE, S.; LAHTI, K. Monitoring of *Cryptosporidium* and *Giardia* in the Vantaa river basin, southern Finland. **Int. J. Environ-Health**, 208: 163-171, 2005.
- HANSEN, J.S.Ç ONGERTH, J.E. Effects of time and watershed characteristics on the concentration of *Cryptosporidium* oocysts in river water. **Appl. Environ. Microbiol.**, 57 (10): 2790-5, 1991.
- HASHIMOTO A, KUNIKANE S, HIRATA T. Prevalence of *Cryptosporidium* oocysts and giardia cysts in the drinking water supply in Japan. **Wat. Res.**, v.36, n.13, p. 519-26, 2002.
- 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. **Epidemiol. Serv. Saúde**, 13:2, 79-92, 2004.
- HELLER, L.; VIEIRA, M. B. C. M.; BRITO, L. L. A.; SALVADOR, D. P. Association between the concentration of protozoa and surrogates in effluents of the slow sand filtration for water treatment. **Braz. J. Microbiol.**, v.38, p. 337-345, 2007.
- HU, T.L. *Giardia* cysts and *Cryptosporidium* oocysts detection in the intake and rapid filter system in a water purification plant. **Biotechnology letters**, 24: 1683-1686, 2002.
-

- HUCK, P. M.; EMELKO, M. B.; COFFEE, B. M.; MAURIZIO, D. D.; O'MELIA, CH. R. Filter operation effects on pathogen passage. **AWWAR**, Denver, CO, 2001. 285 p.
- HUCK, P.M.; COFFEY, B.M.; EMELKO, M.B.; MAURIZIO, D.D.; SLAWSON, R.M.; ANDERSON, W.B.; OEVER, J.V.D.; DOUGLAS, I.P.; O'MELIA, C.R. Effects of filter operation on *Cryptosporidium* removal. **J. AWWA**, 94(6): 97-111, 2002.
- HSU, B.; HUANG, C.; HSU, C. L.; HSU, Y. F.; YEH, J. H. Occurrence of *Giardia* and *Cryptosporidium* in the Kau-Ping river and its watershed in Southern Taiwan. **Wat. Res.**, n.33, n.11, p.2701-2707, 1999.
- HSU, B.M.; HUANG, C.; HSU, C.L.; HSU, Y.F.; HSU, C.L. Examination of *Giardia* and *Cryptosporidium* in water samples and fecal specimens in Taiwan. **Wat. Sci. Technol.**, 41: 87-92, 2000.
- HSU, B.M.; HUANG, C.; HSU, C.L.L. Analysis for *Giardia* cysts and *Cryptosporidium* oocysts in water samples from small water systems in Taiwan. **Parasitol. Res.**, 87: 163-168, 2001.
- IEMA - INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. SUBGERÊNCIA DE PLANOS DE BACIA HIDROGRÁFICA E APOIO A COMITÊS. As Águas da Bacia do Rio Jucú e Santa Maria da Vitória. Disponível em: <http://www.iema.es.gov.br/default.asp>. Acesso em: 01 de novembro de 2008.
- ISAAC-RENTON, J.; MOOREHEAD, W.; ROSS, A. Longitudinal studies of *Giardia* contamination in two community drinking water supplies: cyst level, parasite viability, and health impact. **Appl. Environ. Microbiol.**, 62(1): 47-54, 1996.
- JAKUBOWSKI, W.S., BOUTROS, S., FABER, F., FAYER, F., GHIORSE, W., LeCHEVALLIER, M., ROSE, J.B., SHAUB, S., SINGH, A., STERWART, M. Environmental methods for *Cryptosporidium*. **J. AWWA.**, 88:107-121, 1996.
- JAKUBOWSKI, W.; CRAUN, G. F. Update on the control of *Giardia* in water supplies. In: OLSON, B. E.; OLSON, M. E.; WALLIS, P. M. (Eds), ***Giardia the cosmopolitan Parasite***. CABI Publishing, Wallingford, UK, 217-238, 2002.
- JELLISON, K.L.; HEMOND, H.F.; SCHAUER, D.B. Sources and species of *Cryptosporidium* oocysts in the Wachusett Reservoir watershed. **Appl. Environ. Microbiol.**, 68:569-575, 2002.
- JIANG, J.; ALDERISIO, K.A.; XIAO, L. Distribution of *Cryptosporidium* Genotypes in Storm Event Water Samples for tree Watershed in New York. **Appl. Environ. Microbiol.**, 71(8): 4446-4454, 2005.
- JOHNSON, D.C.; REYNOLDS, K.A.; GERBA, C.P.; PEPPER, I.L.; ROSE, J.B. Detection of *Giardia* and *Cryptosporidium* in marine water. **Wat. Sci. Tech.**, 31: 439-442, 1995.
- JOHNSON, D. C.; ENRIQUEZ, C.E.; PEPPER, I.L.; DAVIS, T.L.; GERBA, C.P.; ROSE, J.B. Survival of *Giardia*, *Cryptosporidium*, poliovirus and *Salmonella* in marine water. **Wat. Sci. Tech.**, 35: 261-268, 1997.
- JURANEK, D.D. Cryptosporidiosis: source of infection and guidelines for prevention. **Clin. Infect. Dis.** 21:57-61, 1995.
- JURANEK, D.D. Cryptosporidiosis. In: Strickland G.T., Hunter's Tropical Medicine and Emerging Infectious Diseases, 8th ed., Philadelphia: WB Saunders, 2000. Apud FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION – CDC, Laboratory Identification of Parasites of Public Health Concern, 2008. URL
-

<http://www.dpd.cdc.gov/dpdx/HTML/Cryptosporidiosis.htm> Acesso em: 10 de outubro de 2008.

KARANIS, P.; SCHOENEN, D.; SEITZ, H.M. Distribution and removal of *Giardia* and *Cryptosporidium* in water supplies in Germany. **Wat. Sci. Tech**, 37(2): 9-18, 1998.

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**, 102: 260-271, 2006.

KFIR, R.; HILNER, C.; PREEZ, M.; BATEMAN, B. Studies on the prevalence of *Giardia* cysts and *Cryptosporidium* oocysts in South Africa water. **Wat. Sci. Tech**, 31(5-6): 435-438, 1995.

KORICH, D.G., MEAD, J.R., MADORE, M.S., SINCLAIR, N.A., STERLING, C.R. Effects of ozone, chlorine dioxide, chlorine and monochloramine on *Cryptosporidium parvum* oocyst viability. **Appl. Environ. Microbiol.** 56,1423–1428, 1990.

KRAMER, M.H.; HERWALDT, B.L.; CRAUN, G.F.; CALDERON, R.L.; JURANEK, D.D. Waterborne disease: 1993 and 1994. **J. AWWA**, 66-80, 1996.

KRAMER, M.H.; QUADE, G.; HARTEMANN, P.; EXNER, M. Waterborne diseases in Europe – 1986-96. **J. AWWA**, 48-53, 2001.

LEAL, D.A.G.; PEREIRA, M.A.; FRANCO, R.M.B.; BRANCO, N.; CANTUSIO NETO, R. First report of *Cryptosporidium* spp. oocysts in oysters (*Crassostrea rhizophorae*) and cockles (*Tivela mactroides*) in Brazil. **Journal of Water and Health**, IWA, 1-7, 2008.

LECHEVALLIER, M. W.; NORTON, W. D.; LEE, R. G. Occurrence of *Giardia* and *Cryptosporidium* in surface water supplies. **Appl. Environ. Microbiol.**, v. 57, n. 9, p. 2.607-2.610, 1991.

LECHEVALLIER, M.W.; NORTON, W.D. *Giardia* and *Cryptosporidium* in raw water and finished water. **J. AWWA** , 87: 54-68, 1995.

LECHEVALLIER, M.W. Microbial removal by pretreatment, coagulation and ion exchange. pp. 2012–2019, 2002. In: G. Bitton. **Encyclopedia of Environmental Microbiology**, Wiley-Interscience, N.Y.

LEE, Y.M., JOHNSON, P.W., CALL, J.L., ARROWOOD, M.J. & TSANG, V.C.W. Detection of *Cryptosporidium parvum* oocysts in environmental water and human fecal samples by electrochemiluminescence assay in: **International Symposium on Waterborne Pathogens**. Exteno Abstracts. Milwaukee-Wisconsin. 1999.

LEMARCHAND, K; LEBARON, P. Occurrence of *Salmonella* and *Cryptosporidium* spp. In French coastal watershed: relationship with fecal indicators. **FEMS Microbiology Letters**, 218: 203-209, 2003.

LIBÂNIO, M. **Fundamento de Qualidade e Tratamento de Água**. Campinas: Editora Átomo, 2005. 444p.

LIM, Y.A.L; AHMAD, R.A.; OSMAN, A.; ZULKEFLIE, Z. Survival of *Cryptosporidium parvum* oocysts in river and soil environmental. **Trop. Biomed.**, 16:7-15, 1999.

LIMA, J. D. Sarcocystis, Isospora e *Cryptosporidium*. In: NEVES, D. P. **Parasitologia Humana**. São Paulo: Atheneu, 2000.

---

- LUNA, S; LILIANA REYES, L; CHINGILLA, M; CATARINELLA, G. Presencia de ooquistes de *Cryptosporidium* spp en aguas superficiales en Costa Rica. **Parasitologia Latinoamericana**. 57:63-65, 2002.
- MACHADO, E.C.L. Ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium* spp. em Águas Superficiais na Região Metropolitana de Recife/PE. **Dissertação de Mestrado - Departamento de Nutrição, Universidade Federal de Pernambuco**. 2006.141p.
- MARQUES, A, D. Avaliação da Filtração Direta na Remoção de Criptosporídio e Giárdia em Águas para Abastecimento. **Dissertação de mestrado - Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo**. 2006.
- MEDEMA, G.J.; SCHETS, F.M.; TEUNIS, P.F.M.; HAVELAAR, A. H. Sedimentation of free and attached *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts in water. **Appl. Environ. Microbiol.**,64(11): 4460-4466, 1998.
- MENGE, J.G.; HAARHOFF, J.; KONIG, E.; MERTNES, R.; VAN DER MERWE, B. Occurrence and removal of *Giardia* and *Cryptosporidium* at the Goreangab Reclamation Plant. **Wat. Sci Tech.**, IWA, 1(1): 97-106, 2001.
- MILLARD, P.S.; GENSHEIMER, K.F.; ADDISS, D.G.; SOSIN, D.M.; BECKETT, G.A.; HOUCK-JANKOSKI, A.; HUDSON, A. An outbreak of cryptosporidiosis from fresh-pressed apple cider, **J. Am. Med. Assoc.**, 272: 1592-1596, 1994.
- MONTEMAYOR, M.; VALERO, F.; JOFRE, J.; LUCENA, F. Occurrence of *Cryptosporidium* spp. oocysts in raw and treated sewage and river water in north-eastern Spain. **J. Appl. Microbiol.**, 99: 1455-1462, 2005.
- MORRISON, H.G.; MCARTHUR, A.G.; GILLIN, F.D. Genomic minimalism in the early diverging intestinal parasite *Giardia lamblia*. *Science* 317: 1921-1926, 2007. Apud: THOMPSON, R.C.A. The Impact of *Giardia* on Science and Society. In: ORTEGA-PIERRES, G.; CACCIÒ, S.; FAYER, R.; MANK, T. G.; SMITH, H.V.; THOMPSON, R.C.A. *Giardia* and *Cryptosporidium* from molecules to disease. CABI: Massachusetts, 2009. 499p.
- MOORE, A.G.; HERWALDT, B.L.; CRAUN, G.F; CALDERON, R.L.; HIGHSMITH, A.K.; JURANEK, D.D. Surveillance for waterborne disease outbreaks United States, 1991-1992. **MMWR CDC Surveill Summ.**, 42: 1-22, 1993.
- MOORE, A.G.; VESEY, G.; CHAMPION, A.; SCANDIZZO, P.; DEERE, D.; VEAL, D.; WILLIAMS, K.L. Viable *Cryptosporidium parvum* oocysts exposed to chlorine or other oxidising conditions may lack identifying epitopes. **International Journal for Parasitology**, 28 (8): 1205-1212, 1998.
- MULLER, A. P. B. Detecção de oocistos de *Cryptosporidium* spp. em águas de abastecimento superficiais e tratadas da região metropolitana de São Paulo. **Dissertação de mestrado - Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo**. 1999.
- NASSER, A.M.; ZARUK, N.; TENENBAUM, L.; NETZAN, Y. Comparative survival of *Cryptosporidium*, Coxsackievirus A9 and *Escherichia coli* in stream, brackish and sea waters. **Water Sci. Tech.**, 47:91-96, 2003.
- NEVES, D. P. **Parasitologia Humana**. São Paulo: Atheneu, 2000. 428 p.
- NEWMAN, R.D.; MOORE, S. R.; LIMA, A. A.; NATARO, J. P.; GUERRANT, R. L.; SEARS, C.L.A. A longitudinal study of *Giardia lamblia* infection in north-east Brazilian children. **Trop. Med. Int. Health** , 6 (8): 624-634, 2001.
-

- NIEMINSKI, E.C.; ONGERTH, J.E. Removing *Giardia* and *Cryptosporidium* by conventional treatment and direct filtration. **J. AWWA**, 87 (9): 90-106, 1995.
- NIEMINSKI, E. C. **Removal of *Cryptosporidium* and *Giardia* through conventional water treatment and direct filtration**. Cincinnati: USEPA, 1997. 10 p.
- O'DONOGHUE, P. J. *Cryptosporidium* and Cryptosporidiosis in man and animals. **International Journal for Parasitology**, 25(2): 139-195, 1995.
- OLIVEIRA, A.A. Enteroparasitas em Populações Usuárias de Diferentes Sistemas de Abastecimento de Água em Viçosa-MG. **Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Viçosa**. 2004. 131p.
- OLSON, M.E.; GOH, J.; PHILLIPS, M.; GUSELLE, N.; McALLISTER, T.A. *Giardia* cysts and *Cryptosporidium* oocysts survival in water, soil, and cattle feces. **J. Environ. Qual.**, 28: 1991-1996, 1999.
- ONG, C.S.L.; MOOREHEAD, W.; ROSS, A.; ISAAC-RENTON, J. Studies of *Giardia* spp. and *Cryptosporidium* spp. in two adjacent watersheds. **Appl. Environ. Microbiol**, 62: 2798-2805, 1996.
- ONGERTH, J. E.; STIBBS, H. H. Identification of *Cryptosporidium* oocysts in river water. **Appl. Environ. Microbiol**. 53(4): 672-6, 1987.
- PÁDUA, V.L. Introdução ao tratamento de água. In: HELLER, L.; PÁDUA, V.L. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. 859p.
- PALMATEER, G.; ALDOM, J.; CHAGLA, A.; BOLESZCZUK,P.; BRODSKY, M.; LANGRIDGE, M. UNGER,S. Field investigation for the detection of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts using a membrane filter dissolution method. In: Proceedings 1996 Annual Conference Water Research, vol. C. AWWA, Toronto, ON. Apud. VIEIRA, M.B.C.M., 2002. 221f. Avaliação da eficiência da Filtração Lenta na remoção de oocistos de *Cryptosporidium* sp. E cistos de *Giardia* spp. em modelos reduzidos. Tese de Doutorado em Ciência Animal – Medicina Veterinária Preventiva e Epidemiologia. Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- PATANIA, N.L; JACANGELO, J.G.; CUMMINGS, L.; WILEZAK, A.; RILEY, K.; OPPENHEIMER, J. Optimization of Filtration for Cyst Removal. **AWWARF**, Denver, CO, 1995.
- QUIROZ, E.S.; BERN, C.; MAC ARTHUR, J.R.; XIAO, L.; FLETCHER, M.; ARROWOOD, M.J.; SHAY, D.K.; LEVY, M.E.; GLASS, R.I.; LAL, A. An outbreak of cryptosporidiosis linked to a foodhandler. **J. Infect. Dis.**, 181: 695-700, 2000.
- ROBERTSON, L.J.; CAMPBELL, A.T.; SMITH, H.V. Survival of *Cryptosporidium parvum* oocysts under various environmental pressures. **Appl. Environ. Microbiol.**, 58:3494-3500, 1992.
- ROSE, J. B. Occurrence and significance of *Cryptosporidium* in water. **J. AWWA**, v. 80, n.2, p. 8-53, 1988.
- ROSE, J.B. Occurrence and Control of *Cryptosporidium* in Drinking Water in: **Drinking water Microbiology**. New York (Springer-Verlag), p. 294-321, 1990.
- ROSE, J. B.; GERBA, C. P.; JAKUBOWSKI, W. Survey of potable water supplies for *Cryptosporidium* and *Giardia*. **Environ. Sci. Tech.**, v. 25, n.8, p. 1.393-1. 400, 1991.
-

- ROSE, J.D. Environmental ecology of *Cryptosporidium* and public health implications. **Annu. Rev. Public Health**, v.18, p.135-161, 1997.
- ROSE J.B.; HUFFMAN, D.E.; GENNACCARO, A. Risk and control of waterborne cryptosporidiosis. **FEMS Microbiology Reviews**, 26: 113-123, 2002.
- ROSSIGNOL, J.F. Drug Treatment and Novel Drug Targets Against *Giardia* and *Cryptosporidium*. In: ORTEGA-PIERRES, G.; CACCIÒ, S.; FAYER, R.; MANK, T. G.; SMITH, H.V.; THOMPSON, R.C.A. *Giardia* and *Cryptosporidium* from molecules to disease. CABI: Massachusetts, 2009. 499p.
- ROBERTS-THOMPSON, I.C; STEVENS, D.P.; MAHMOUD, A.A; WARREN, K.S. Giardiasis in the mouse: an animal model. **Gastroenterology**, 71:57-61, 1976.
- ROUQUET, V.; HOMER, F.; BRIGNON, J.M.; BONNE, P.; CAVARD, J. Source and occurrence of *Giardia* and *Cryptosporidium* in Paris rivers. **Wat. Sci. Tech.**, 41: 79-86, 2001.
- SADOVSKY, A. D. I. Agentes Infecciosos Associados à Diarréia Aguda em Crianças de até Três Anos de Idade: Estudo em um Hospital de Referências no Município de Vitória, ES. **Dissertação de mestrado - Núcleo de Doenças Infecciosas, Universidade Federal do Espírito Santo**. 2005.
- SECRETARIA DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO. Governo do Estado do Espírito Santo. 2008. URL [http://www.es.gov.br/site/espírito\\_santo/mapas.aspx](http://www.es.gov.br/site/espírito_santo/mapas.aspx). Acesso em: 31 de junho de 2009.
- SHEPHERD, K. M.; WYN-JONES, A. P. An evaluation of methods for the simultaneous detection of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts from water. **Appl Environ Microbiol.** 62(4): 1317–1322, 1996.
- SKERRETT, H.E.; HOLLAND, C.V. The occurrence of *Cryptosporidium* in environmental waters in the greater Dublin area. **Wat. Res.** 34 (15): 3755-3760, 2000.
- SMITH, H.V.; GRIMASON, A.M.; BENTON, C.; PARKER, J.F.W. The occurrence of *Cryptosporidium* spp. oocysts in Scottish water and the development of a fluorogenic viability assay for individual *Cryptosporidium* spp. oocysts. **Wat. Sci. Tech.**, 24(2): 169-172, 1991.
- SMITH, H.V.; ROSE, J.B. Waterborne cryptosporidiosis: current status. **Parasitology Today**, 14:14-22, 1998.
- SMITH, H.V.; NICHOLS, R.A.B.; GRIMASON, A.M. *Cryptosporidium* excystation and invasion – getting to the guts of the matter. **Trends Parasitol.**, 21:133-142, 2005.
- SOGAYAR, M. I. T. L.; GUIMARÃES, S. *Giardia lamblia*. In: NEVES, D. P. **Parasitologia Humana**. São Paulo: Atheneu, 2000.
- SOLO-GRABIELE, H.M.; LEROY AGER, A.; FITZGERALD LINDO, J.; DUBÓN, J.M.; NEUMEISTER, S.M.; BAUM, M.K.; PALMER, C.J. Occurrence of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts in water supplies of San Pedro Sula, Honduras. **Pan American Journal of Public Health**, 4(6): 398-400, 1998.
- STATES, S.; STADTERMAN, K.; AMMON, L.; VOGEL, P.; BALDIZAR, J.; WRIGHT, D.; CONLEY, L.; SYKORA, J. Protozoa in river water source, occurrence and treatment. **J. AWWA**, 89(9): 74-83, 1997.
- THURMAN, R.; FAULKNER, B.; VEAL, D.; CRAMER, G.; MEIKLEJOHN. Water quality in rural Australia. **J. Appl. Microbiol.**, 84: 627-632, 1998.
-

- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. National primary drinking water regulations: filtration, disinfection, turbidity, *Giardia lamblia*, viruses, *Legionella*, and heterotrophic bacteria, final rule. **Fed. Regist.**, 54 (124): 27485-27541, 1989.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **Alternative disinfectants and oxidants – guidance manual**. EPA 815-R-99-014, 1999.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **Method 1623: Cryptosporidium and Giardia in water by filtration/IMS/FA**. EPA 821-R-01-025. Washington, 2001.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **National Primary Drinking Water Regulations: Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule**, USEPA, Cincinnati, USA, 2006.
- UNITED STATES FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. Center for Food Safety and Applied Nutrition. **Foodborne pathogenic microorganisms and Natural Toxins Handbook**. 2006. URL: <http://www.vf.cfsan.fda.gov/~mow>. Acesso em: 07 maio de 2007.
- VERNILE, A.; NABI, A.Q.; BONADONNA, L.; BRIANCESCO, R.; MASSA, S. Occurrence of *Giardia* and *Cryptosporidium* in Italian water supplies. **Environ. Monit. Assess**, 152 (2): 203-207, 2008.
- VESEY, G., SLADE, J.P., BYRNE, M., SHEPERD, K. & FRICKER, C.R. A method for concentration of *Cryptosporidium* oocysts from water. **J. Appl. Bacteriol.**, 75:82-86, 1993.
- XIAO, L.; SINGH, A.; LIMOR, J.; GRACZYK, T.K.; GRADUS, S.; LAL, A. Molecular characterization of *Cryptosporidium* oocysts in samples of raw surface water and wastewater. **Appl. Environ. Microbiol.**, 67: 1097-1101, 2001.
- WALLIS, P.M.; ERLANDSEN, S.L.; ISAAC-RENTON, J.L.; OLSON, M.E.; ROBERTSON, W.J.; KEULEN, H. Prevalence of *Giardia* cysts and *Cryptosporidium* oocysts and characterization of *Giardia* spp. Isolated from drinking water in Canada. **Appl. Environ. Microbiol.**, 62(8): 2789-2797, 1996.
- WEIKEL, C.S.; JOHNSTON, L.I.; SOUZA, M.A.; GUERRANT, R.L. Cryptosporidiosis in Northeastern Brazil: association with sporadic diarrhea. **J. infect. Dis.**, 151: 963-965, 1985.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **The environment: where's the risk, and where are children safe?** Budapest, 2004.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. The Right to Water. **Health and human rights publication series**. n. 3. France, 2003.
- WUHIB, T.; SILVA, T.N.J.; NEWMAN, R.D.; GARCIA, L.S.; PEREIRA, M.L.D.; CHAVES, C.S.; WAHLQUIST, S.P.; BRYAN, R.T.; GUERRANT, R.L.; SOUSA, A.D. Cryptosporidial and microsporidial infections in human immunodeficiency virus-infected patients in northeastern Brazil. **J. Infect. Dis.** 170: 494-97, 1994.
-

# ANEXOS

## ANEXO A – ESPECIFICAÇÕES DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Especificações do turbidímetro.

Equipamento	Exatidão	Resolução	Repetitividade	Luz dispersa	Padronização	Célula das amostras	Faixa
Turbidímetro HACH® 2100P	± 2% mais luz dispersa (<0,02 uT)	0,01; 0,1 e; 1 uT	± 1% ou 0,01 uT	<0,02uT	Padrões primários de formazina e secundários Gelex®	Altura 60mm; largura 25mm	0 – 1000 uT

Especificações do espectrofotômetro.

Equipamento	Acurácia fotométrica	Repetitividade	Resolução	Dispersão da luz	Linearidade fotométrica	Célula das amostras
Espectrofotômetro HACH® DR2700	0,005 abs em 0,0 – 0,5 abs; 1% em 0,5-2,0 abs	<0,1nm	1nm	<0,1% T em 500nm com filtro OG570/3	0,5% em ≤2 abs; ≤ 1% em >2 abs	Altura 150mm largura 10mm

Especificações do peagâmetro.

Equipamento	Precisão	Faixa pH	Faixa temperatura	Resolução	Eletrodo	Padronização
Phmetro QUALXTRON® 8010	± 0,05 (a temperatura ambiente)	0,000 – 14,000	0,1 – 100°C	0,1; 0,01; 0,001	Vidro combinado; e temperatura	Soluções tampão pH 4,01 e 7,00

**ANEXO B – RESULTADOS DETALHADOS DOS TESTES DE  
SENSIBILIDADE DAS TÉCNICAS**

Água	Ensaio	Floculação por CaCO <sub>3</sub>				Filtração em membrana			
		Crypto		Giardia		Crypto		Giardia	
		10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>
<b>Destilada</b>	<b>1</b>	22,73%	12,27%	9,09%	5,91%	13,64%	22,73%	27,27%	26,36%
	<b>2</b>	13,64%	8,64%	4,55%	7,27%	31,82%	11,82%	59,09%	16,82%
	<b>3</b>	13,64%	10,00%	27,27%	8,64%	27,27%	3,64%	72,73%	15,45%
<b>Filtrada</b>	<b>1</b>	33,65%	51,52%	12,90%	29,50%	38,46%	18,08%	24,18%	38,75%
	<b>2</b>	9,62%	60,44%	19,34%	37,50%	28,85%	19,07%	29,02%	45,75%
	<b>3</b>	24,04%	29,23%	9,67%	35,50%	14,42%	20,56%	40,30%	37,50%
<b>Bruta</b>	<b>1</b>	48,80%	47,50%	20,31%	73,75%	65,70%	47,29%	75,00%	66,65%
	<b>2</b>	31,97%	56,00%	28,21%	60,00%	57,49%	25,67%	83,33%	62,50%
	<b>3</b>	68,99%	40,00%	33,85%	41,25%	41,06%	20,78%	75,00%	73,75%

**ANEXO C – RESULTADOS DAS ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DAS AMOSTRAS DO SISTEMA CARAPINA (A), E DADOS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DO PERÍODO DE ESTUDO.**

Data coleta	Amostra	FLOCULAÇÃO		C. totais (NMP/100ml)	<i>E.coli</i> (NMP/100ml)	Turb. (uT)	pH	Alcal. (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Temp. (°C)	Cor Verd. (mg Pt-Co/L)	Cor Apar (mg Pt-Co/L)	Cloro R. (mg/L)	Precip. acumulada 7 dias (mm)
		Giardia cistos/ L	Crypto oocistos/ L										
14/04/2008	Bruta	400	500	9,8 x 10 <sup>3</sup>	8,4 x 10 <sup>2</sup>	47,8	7,16	19,85	26,5	48	120	0	2,2
	Filtrada FT	5	17,5	0	0	0,89	5,31	13,8	25,5	0	0	0,31	
	Tratada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
28/05/2008	Bruta	17,5	5	2,13 x 10 <sup>3</sup>	2,0 x 10 <sup>2</sup>	6,43	7,1	22,42	23	22	35	0	0,4
	Filtrada FD	0	0	0	0	0,2	6,85	13	22	0	0	0,02	
	Tratada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16/06/2008	Bruta	325	50	1,61 x 10 <sup>3</sup>	3,1 x 10 <sup>2</sup>	5,31	6,97	21,16	21	51	60	0	0
	Filtrada FD	0	0	0	0	0,2	6,88	15,32	20,5	0	25	0,02	
	Tratada	0	0	0	0	0,6	7,43	26,75	21	8	19	1,16	
08/07/2008	Bruta	175	0	2,03 x 10 <sup>3</sup>	6,3 x 10 <sup>2</sup>	8,5	7,14	19,82	22	25	51	0	5,2
	Filtrada FD	7,5	0	0	0	0,47	6,58	15,83	20,5	15	25	0,04	
	Tratada	0	0	0	0	0,4	7,38	25,83	20,3	9	16	1,83	
05/08/2008	Bruta	0	0	1,35 x 10 <sup>3</sup>	2,0 x 10 <sup>2</sup>	4,3	7,31	19,28	21	38	57	0	2,6
	Filtrada FD	0	0	0	0	0,15	7,01	15,22	20	25	32	0,01	
	Tratada	0	0	0	0	0,3	9,22	37,94	21	9	15	1,52	

09/09/2008	Bruta	0	0	$2,13 \times 10^3$	$8,4 \times 10^1$	3,33	7,09	19,66	27	12	25	0	0
	Filtrada FD	0	0	0	0	0,26	7,07	14,84	25	9	9	0,01	
	Tratada	0	0	0	0	0,46	7,81	28,92	25	6	6	0,95	
06/10/2008	Bruta	0	25	$1,6 \times 10^3$	$10 \times 10^1$	6,21	7,09	21,93	28	28	35	0	0,8
	Filtrada FD	0	0	0	0	0,84	7,14	15,6	25,5	12	19	0,01	
	Tratada	0	0	0	0	0,88	9,51	33,8	27	9	9	1,1	
11/11/2008	Bruta	125	562,5	$6,7 \times 10^4$	$9,7 \times 10^3$	324	6,42	14,94	25	489	1291	0	77
	Filtrada FT	2,5	2,5	0	0	5,32	5,22	5,03	25	6	28	0,008	
	Tratada	0	0	0	0	1,2	7,57	29,89	25	6	12	1,27	
08/12/2008	Bruta	300	50	$2,41 \times 10^3$	$4,1 \times 10^2$	41,8	6,52	18,01	24	129	212	0	22,4
	Filtrada FT	0	5	0	0	1,08	6,12	6,88	23	2	6	0,02	
	Tratada	0	0	0	0	1,83	7,82	24,98	23	5	7	1,77	
06/01/2009	Bruta	125	50	$2,59 \times 10^4$	$3,1 \times 10^3$	109	6,43	10,72	25	143	357	0	60,2
	Filtrada FT	2,5	5	13,2	0	4,64	5,07	2,14	23	2	13	0	
	Tratada	0	0	0	0	8,74	6,58	9,8	25	3	27	1,31	
09/02/2009	Bruta	50	25	$4,88 \times 10^3$	$7,5 \times 10^2$	28,4	6,7	14,13	29	55	94	0	0,4
	Filtrada FT	0	0	0	0	1,81	6	5,52	27	4	6	0,04	
	Tratada	0	0	0	0	1,76	7,02	18,52	28	5	6	2,16	
10/03/2009	Bruta	50	0	$4,14 \times 10^3$	$4,1 \times 10^2$	30,9	6,1	13,61	28	36	76	0	7,8
	Filtrada FT	0	0	0	0	1,06	6,06	9,65	26,5	2	3	0,01	
	Tratada	0	0	0	0	0,48	6,72	18,52	28	1	1	1,59	

**ANEXO D – RESULTADOS DAS ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DAS AMOSTRAS DO SISTEMA VALE ESPERANÇA (B), E DADOS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DO PERÍODO DE ESTUDO.**

Data coleta	Amostra	FLOCULAÇÃO		C. totais (NMP/100ml)	<i>E.coli</i> (NMP/100ml)	Turb. (uT)	pH	Alcal. (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Temp. (°C)	Cor Verd. (mg Pt- Co/L)	Cor Apar (mg Pt- Co/L)	Cloro R. (mg/L)	Precip. acumulad a 7 dias (mm)
		Giardia cistos/ L	Crypto oocistos/ L										
22/04/2008	Bruta	333,3	700	1.11 x 10 <sup>4</sup>	8.6 x 10 <sup>2</sup>	70.72	6.21	18.03	25	124	410	0	26,2
	Filtrada TC	0	0	0	0	0.10	5.18	15.24	26	0	6	0.11	
	Filtrada FD	12,5	22,5	7.4	0	1.38	5.16	16.31	25	0	9	0.04	
	Tratada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
12/05/2008	Bruta	225	400	9.34 x 10 <sup>3</sup>	1.2 x 10 <sup>3</sup>	45.56	6.73	23.72	21.5	98	257	0	0
	Filtrada TC	0	0	0	0	0.32	5.64	11.04	21	0	3	0.09	
	Filtrada FD	0	5	0	0	1.1	5.34	9.9	21	0	16	0.11	
	Tratada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
23/06/2008	Bruta	125	50	2.11 x 10 <sup>3</sup>	5.2 x 10 <sup>2</sup>	18.20	7.12	21.73	20	102	159	0	0,6
	Filtrada TC	0	0	0	0	0.31	6.31	10.57	20	16	19	0.10	
	Filtrada FD	0	0	0	0	0.30	6.46	9.77	20	2	25	0.09	
	Tratada	0	0	0	0	1.02	7.63	28.45	22	4	7	1.02	
21/07/2008	Bruta	175	75	2.31 x 10 <sup>3</sup>	3.1 x 10 <sup>2</sup>	14.60	6.67	18.03	19.5	54	241	0	0,2
	Filtrada TC	0	0	0	0	0.37	6.33	8.74	19	6	15	0.18	
	Filtrada FD	0	2,5	0	0	0.39	6.75	9.22	19	6	28	0.28	
	Tratada	0	0	0	0	0.34	7.44	27.62	21	3	5	0.75	

18/08/2008	Bruta	50	175	$4.87 \times 10^3$	$1 \times 10^2$	11.60	7.02	21.93	21	44	73	0	19,2
	Filtrada TC	0	0	0	0	0.18	6.80	14.62	21	4	12	0.02	
	Filtrada FD	0	0	0	0	0.44	6.62	16.57	21	3	9	0.01	
	Tratada	0	0	0	0	1.02	10.82	53.62	22	3	4	1.14	
25/09/2008	Bruta	25	0	$2.08 \times 10^3$	$2.0 \times 10^2$	37.30	6.61	21.43	21	105	292	0	8
	Filtrada TC	0	0	0	0	0.48	6.07	14.96	21	3	9	0.03	
	Filtrada FD	0	0	0	0	1.53	6.11	16.78	21	6	9	0.01	
	Tratada	0	0	0	0	0.38	7.72	28.90	22	6	6	1.09	
20/10/2008	Bruta	75	25	$7.85 \times 10^3$	$2.0 \times 10^2$	9.99	6.67	22.71	25	38	130	0	13,8
	Filtrada TC	0	0	0	0	0.29	6.16	10.72	25	0	12	0.02	
	Filtrada FD	0	0	0	0	0.30	5.80	8.34	25	3	12	0.08	
	Tratada	0	0	0	0	0.51	6.13	11.48	25	3	3	2.08	
27/11/2008	Bruta	75	50	$1.58 \times 10^3$	$3.0 \times 10^2$	65.0	5.78	3.53	23	6	305	0	346,2
	Filtrada TC	0	0	0	0	0.97	5.08	3.9	22	2	5	0.02	
	Filtrada FD	0	5	0	0	4.47	4.94	1.46	22	1	11	0.02	
	Tratada	0	0	0	0	0.80	5.68	3.70	22	1	2	1.46	
15/12/2008	Bruta	150	100	$3.23 \times 10^4$	$3.1 \times 10^3$	75.0	6.44	9.23	22	79	264	0	12,4
	Filtrada TC	0	0	0	0	0.46	5.39	8.03	22	0	2	0.05	
	Filtrada FD	0	0	0	0	2.94	5.62	6.83	22	0	7	0.03	
	Tratada	0	0	0	0	0.55	5.12	9.59	22	0	0	1.71	
13/01/2009	Bruta	200	0	$4,04 \times 10^3$	$2.0 \times 10^2$	41,1	6,57	22,61	26	68	128	0	89,5
	Filtrada TC	0	0	0	0	0,77	6,01	8,44	26	2	3	0,01	
	Filtrada FD	0	0	0	0	1,35	5,73	6,89	26	3	8	0,01	
	Tratada	0	0	0	0	0,59	6,51	17,47	26	3	4	1,65	
03/02/2009	Bruta	50	150	$1,317 \times 10^4$	$1,45 \times 10^3$	59,1	6,38	20,63	27	57	189	0	18
	Filtrada TC	0	0	0	0	0,38	5,85	6,85	26	0	0	0,01	
	Filtrada FD	20	5	16	0	2,49	5,87	8,51	26	3	7	0,01	
	Tratada	0	0	0	0	1,64	5,99	6,85	27	1	5	1,31	

16/03/2009	Bruta	50	200	$5,45 \times 10^3$	$3,0 \times 10^2$	44,5	6,41	21,45	27,5	37	138	0	30
	Filtrada TC	0	0	0	0	0,25	5,79	7,34	27	1	0	0,06	
	Filtrada FD	0	0	98,7	13	0,46	6,15	9,75	27	1	1	0,01	
	Tratada	0	0	0	0	0,32	6,45	12,23	27	1	0	2,18	

**ANEXO E – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN DOS PROTOZOÁRIOS COM  
PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, BACTERIOLÓGICOS E PLUVIOMÉTRICOS**

Água bruta do sistema Carapina (Sistema A).

Variável		<i>Giardia</i>	<i>Crypto</i>	C. totais	E. coli	Turbidez	pH	alcalinidade	Temp.	C. verd.	C. apar.	Chuva
<i>Giardia</i>	$r_s$	1,000	0,628	0,404	0,637	0,558	-0,131	-0,042	-0,272	0,505	0,602	0,254
	Sig.		0,029*	0,193	0,026*	0,059	0,685	0,896	0,393	0,094	0,038*	0,427
<i>Crypto</i>	$r_s$	0,628	1,000	0,585	0,620	0,668	-0,306	-0,054	0,016	0,769	0,736	0,303
	Sig.	0,029*		0,046*	0,032*	0,018*	0,334	0,868	0,960	0,003*	0,006*	0,339

\* Nível de significância de 5%.

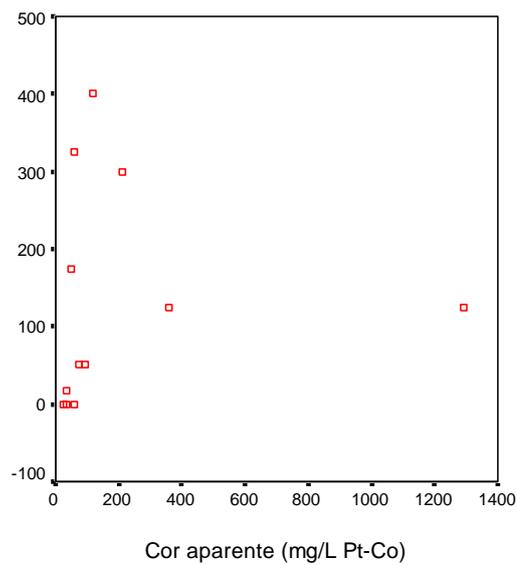
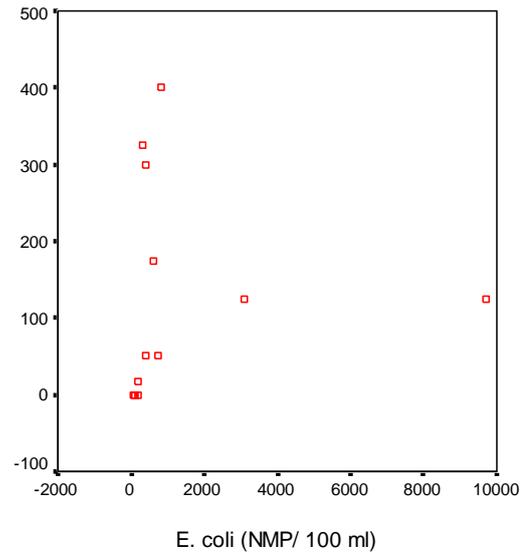
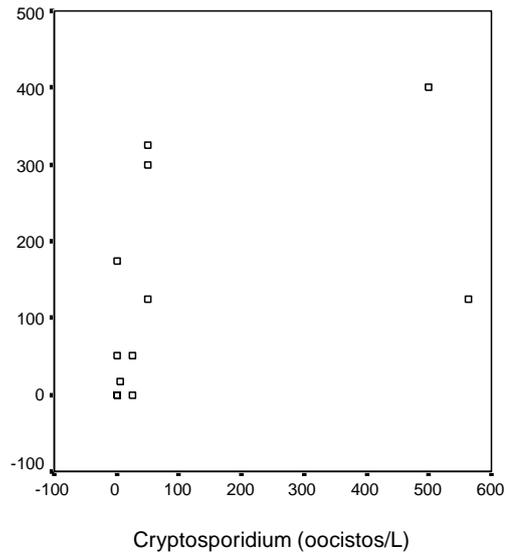
Água bruta do sistema Vale Esperança (Sistema B).

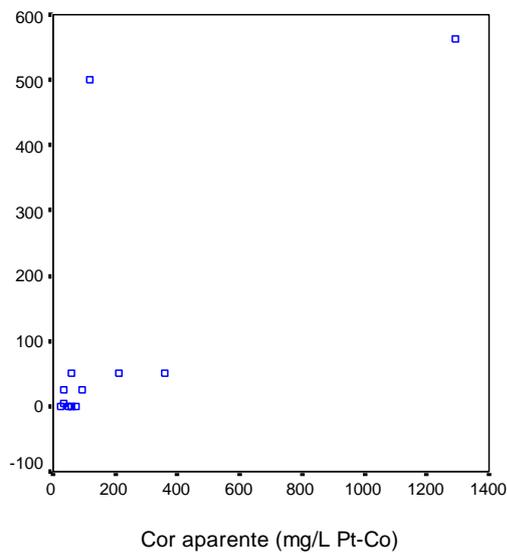
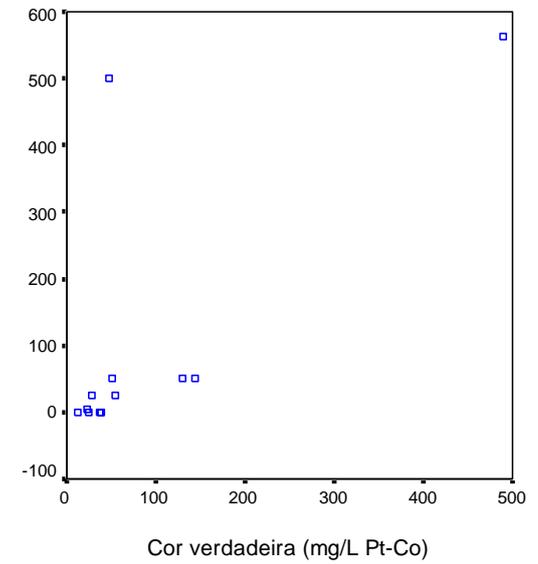
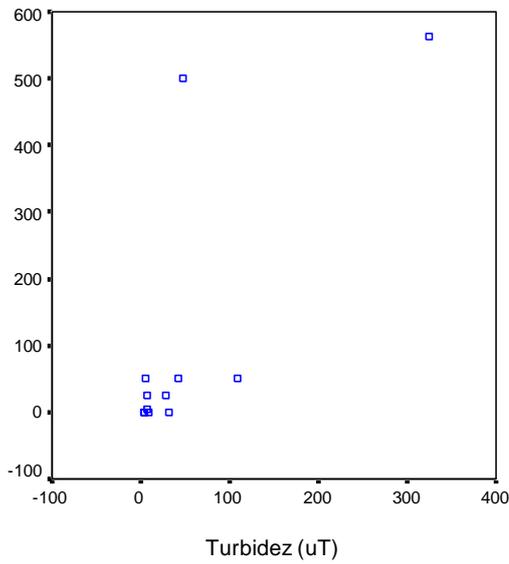
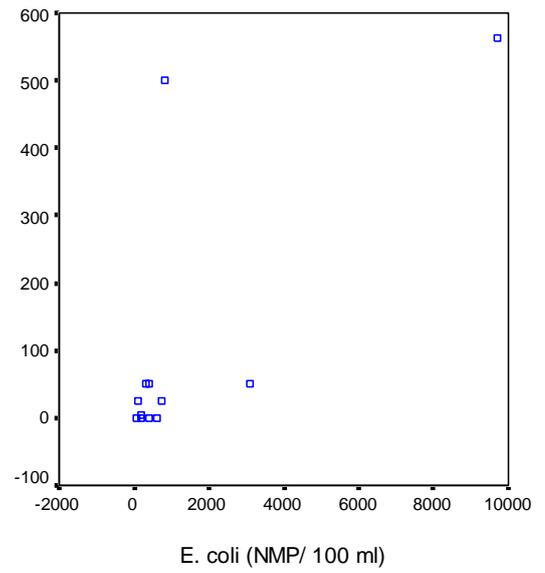
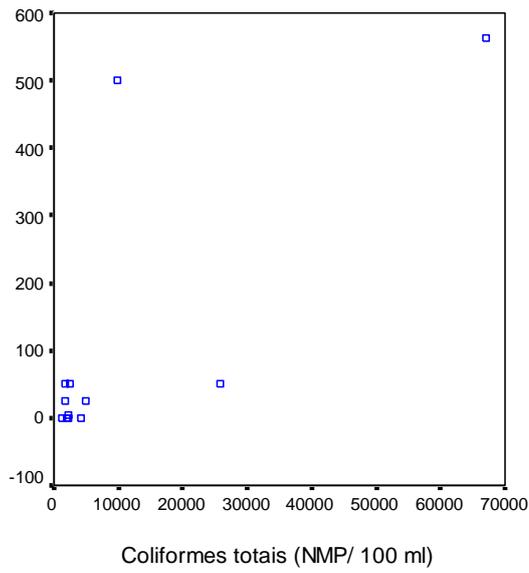
Variável		<i>Giardia</i>	<i>Crypto</i>	C. totais	E. coli	Turbidez	pH	alcalinidade	Temp.	C. verd.	C. apar.	Chuva
<i>Giardia</i>	$r_s$	1	0,271	0,272	0,415	0,307	0,005	0,039	-0,076	0,381	0,247	-0,148
	Sig.		0,395	0,393	0,180	0,332	0,987	0,905	0,814	0,222	0,439	0,646
<i>Crypto</i>	$r_s$	0,271	1	0,593	0,480	0,404	-0,144	-0,067	0,167	0,081	0,182	-0,035
	Sig.	0,395		0,042*	0,115	0,193	0,655	0,837	0,603	0,803	0,570	0,914

\* Nível de significância de 5%.

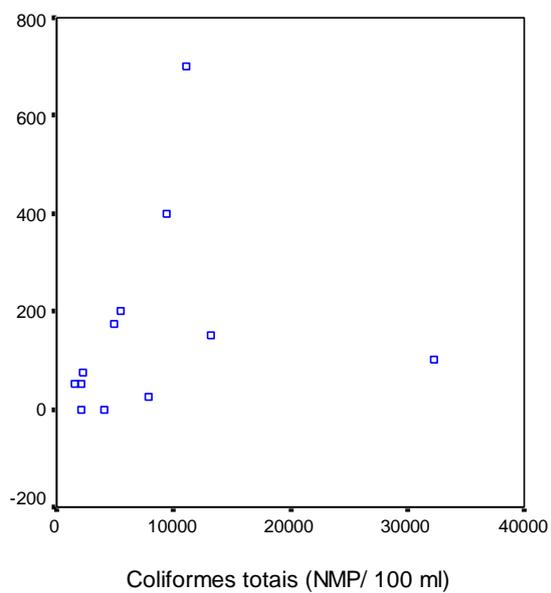
## ANEXOS F – GRÁFICOS DE DISPERSÃO DOS PARÂMETROS CORRELACIONADOS NA ÁGUA BRUTA DOS SISTEMAS A E B.

### Sistema de Tratamento de Água Carapina (Sistema A)





## Sistema de Tratamento de Água Vale Esperança (Sistema B)



**ANEXO G - REMOÇÃO (log) DOS PROTOZOÁRIOS *Giardia* E  
*Cryptosporidium* NOS DIFERENTES PROCESSOS DE  
TRATAMENTO DOS SISTEMAS CARAPINA (A) E VALE  
ESPERANÇA (B).**

Mês	<i>Giardia</i> (log)				<i>Cryptosporidium</i> (log)			
	FT-A	FD-A	FD-B	TC-B	FT-A	FD-A	FD-B	TC-B
<b>Abr/08</b>	1,91	NA	1,43	ND	1,45	NA	1,49	ND
<b>Mai/08</b>	NA	ND	ND	ND	NA	ND	1,91	ND
<b>Jun/08</b>	NA	ND	ND	ND	NA	ND	ND	ND
<b>Jul/08</b>	NA	1,37	ND	ND	NA	ND	1,48	ND
<b>Ago/08</b>	NA	ND	ND	ND	NA	ND	ND	ND
<b>Set/08</b>	NA	ND	ND	ND	NA	ND	ND	ND
<b>Out/08</b>	NA	ND	ND	ND	NA	ND	ND	ND
<b>Nov/08</b>	1,70	NA	ND	ND	<b>2,36</b>	NA	1,00	ND
<b>Dez/08</b>	ND	NA	ND	ND	1,00	NA	ND	ND
<b>Jan/09</b>	1,70	NA	ND	ND	1,00	NA	ND	ND
<b>Fev/09</b>	ND	NA	0,39	ND	ND	NA	1,48	ND
<b>Mar/09</b>	ND	NA	ND	ND	ND	NA	ND	ND
<b>Média</b>	<b>1,77</b>	-	<b>0,91</b>	-	<b>1,45</b>	-	<b>1,47</b>	-
<b>D.Padrão</b>	<b>0,12</b>	-	<b>0,73</b>	-	<b>0,64</b>	-	<b>0,32</b>	-

NA – Não analisado.

ND – Não detectado.

FT-A - Flotofiltração do sistema Carapina.

FD-A – Filtração direta do sistema Carapina.

FD-B – Filtração direta do sistema Vale Esperança.

TC-B – Tratamento convencional do sistema Vale Esperança.