UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

AVALIAÇÃO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA DO TIPO CICLO COMPLETO EM FUNÇÃO DA OCORRÊNCIA DE CISTOS DE *Giardia* E OOCISTOS DE *Cryptosporidium*

DÉBORA PEREIRA DA SILVA

GOIÂNIA
2020

sistema de bibliotecas ufg

PRPG
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO

UFG

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: [X] **Dissertação** [ ] **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

Nome completo do autor: Vívora Pereira da Silva

Título do trabalho: AVALIAÇÃO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA DO TIPO CICLO COMPLETO EM FUNÇÃO DA OCORRÊNCIA DE CISTOS DE GIARDIA E OOCISTOS DE CRYPTOSPORIDIUM

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento [X] SIM [ ] NÃO[1]

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.

Vívora Pereira da Silva
Assinatura do(a) autor(a)[2]

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)[2]

Data: 23 / 01 / 2020

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Casos de embargo:
- Solicitação de registro de patente
- Submissão de artigo em revista científica
- Publicação como capítulo de livro
- Publicação da dissertação/tese em livro

[2] A assinatura deve ser escaneada.

DÉBORA PEREIRA DA SILVA

AVALIAÇÃO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA DO TIPO CICLO COMPLETO EM FUNÇÃO DA OCORRÊNCIA DE CISTOS DE *Giardia* E OOCISTOS DE *Cryptosporidium*

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Goiás como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre.

Área de Concentração: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Orientadora: Prof. Dr. Paulo Sérgio Scalize

GOIÂNIA
2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Silva, Débora Pereira da
Avaliação de Estações De Tratamento de água do tipo ciclo completo em função da ocorrência de cistos de Giardia e oocistos de Cryptosporidium [manuscrito] / Débora Pereira da Silva. - 2020.
102 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Scalize.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e Ambiental(EECA), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, Goiânia, 2020.
Bibliografia. Apêndice.
Inclui siglas, mapas, fotografias, abreviaturas, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Giardia. 2. Cryptosporidium. 3. Água. 4. Ciclo completo. 5. Filtração. I. Scalize, Paulo Sérgio, orient. II. Título.

CDU 628

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº **001** da sessão de Defesa de Dissertação de **Débora Pereira da Silva**, que confere o título de Mestre em **Engenharia Ambiental e Sanitária**, na área de concentração em **Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.**

Aos **vinte e três dias do mês de janeiro de dois mil e vinte**, a partir das **oito horas**, na **Sala de Reuniões do LABITECC,** da **Escola de Engenharia Civil e Ambiental**, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada **"Avaliação de estações de tratamento de água do tipo ciclo completo em função da ocorrência de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium*"**. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor **Paulo Sérgio Scalize (PPGEAS/EECA)** com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professora Doutora **Lilian Carla Carneiro (IPTSP/UFG)**, membro titular externo; Professor Doutor **Antônio João Carvalho de Albuquerque (PPGEAS/EECA)**, membro titular interno. Durante a arguição os membros da banca **não** sugeriram alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido a candidata **aprovada** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor **Paulo Sérgio Scalize**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA

Documento assinado eletronicamente por **Paulo Sérgio Scalize**, **Professor do Magistério Superior**, em 23/01/2020, às 09:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **Lilian Carla Carneiro**, **Professor do Magistério Superior**, em 23/01/2020, às 09:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **Antonio João Carvalho de Albuquerque**, **Usuário Externo**, em 28/01/2020, às 21:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1107262** e o código CRC **F7B11BF0**.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida.

Aos meus pais, Maria de Fátima e Osvaldo, pelo amor, cuidado e por não medirem esforços para que eu pudesse alçar vôos mais altos no âmbito profissional e pessoal. Obrigada por apoiarem todos os meus projetos, por se disporem à me acompanhar nas coletas de campo, organizar a logística das coletas e por me motivarem a conquistar o mundo.

Às minhas irmãs, Bárbara e Julia, pela amizade e companheirismo. Em especial, agradeço a Julia que me auxiliou na etapa mais desafiadora da minha pesquisa, que foi a leitura das lâminas.

Aos meus sobrinhos, Ícaro Henrique, João Victor e Maria Luisa, que tornaram essa fase alegre e agitada.

Ao meu noivo Hebert, pelo companheirismo e por escolher todos os dias partilhar dos mesmos sonhos e objetivos. Obrigada por trazer calmaria nessa fase, pela disponibilidade em estar no laboratório aos finais de semana e por acreditar em nós.

Ao meu orientador, Professor Dr. Paulo Sérgio Scalize, por quem tenho enorme respeito, pela pessoa e profissional que é, por se doar complemente ao desenvolvimento de pesquisas e constranger a todos com o todo o amor e empenho dedica à sua profissão. Obrigada pela prestatividade e orientação a distância, por confiar a mim essa pesquisa e fornecer todo o apoio necessário. Que as Instituições Públicas de ensino tenham mais profissionais como você.

Ao Ivan Canale, biólogo do Serviço Municipal de Água e Esgoto (SEMAE) de Piracicaba, pelo treinamento de aplicação da técnica de Filtração em Membrana, realizado na ETA Capim Fino em Piracicaba, e por se dispor a sanar todas as dúvidas relativas à utilização da técnica.

À empresa Saneago, representada pela Gerente Maura Francisca da Silva, pela disponibilização dos dados operacionais de qualidade da água e caderno de projetos hidráulicos, por conceber recursos humanos para a coleta das amostras de água bruta nos mananciais pertencentes à microrregião de Ceres e por toda a atenção despreendida pela equipe da Gerência Regional de São Lúis dos Montes Belos e Sanclerlândia.

À Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e Ambiental e ao corpo docente do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária pelos ensinamentos e condições de trabalho proporcionadas.

À Professora Dra. Lilian Carla Carneiro e Célia pela oportunidade de parceria com o Centro de Referência em Oftalmologia (Cerof) do Hospital das Clínicas (HC) para utilização do microscópio.

Ao meu aluno Cleomar, por abraçar essa pesquisa e por se deslocar de Jataí até Goiânia com o próposito de me dar suporte nas análises laboratoriais.

Ao Laboratório de Análises de Águas, em especial a Dra. Ellen Flávia Moreira, pelo suporte e atenção dispensada durante todo o trabalho, e por alegrar o ambiente de trabalho.

À amiga Jéssica Rodrigues pelo auxilio prestado durante os experimentos.

À colega Isabella Almeida pelo desenvolvimento dos mapas apresentados nesse trabalho e por todos os conselhos.

A todos os colegas de mestrado, pela amizade e companheirismo.

À Capes pela bolsa concebida.

A todas as pessoas que de maneira direta ou indireta contribuíram para a conclusão dessa fase na minha vida

"Dizem que antes de um rio entrar no mar, ele treme de medo. Olha para trás, para toda jornada que percorreu, para os cumes, as montanhas, para o longo caminho sinuoso que trilhou através de florestas e povoados, e vê à sua frente um oceano tão vasto, que entrar nele nada mais é do que desaparecer para sempre. Mas não há outra maneira. O rio não pode voltar. Ninguém pode voltar. Voltar é impossível na existência. O rio precisa se arriscar e entrar no oceano. Somente ao entrar no oceano o medo irá desaparecer, porque apenas então o rio saberá que não se trata de desaparecer no oceano, mas de tornar-se oceano." (Khalil Gilbran)

RESUMO

Os protozoários *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp. são agentes etiológicos responsáveis pela transmissão de gastroenterites devido, principalmente, ao consumo de água contaminada. Os (oo)cistos são resistentes às condições ambientais adversas, bem como à maioria dos processos físico-químicos utilizados nas Estações de Tratamento de Água (ETA). Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a ocorrência e remoção sazonal desses protozoários em ETAs com tecnologia do tipo ciclo completo do Estado de Goiás. Dentre os 15 mananciais superficiais analisados em função das variáveis: *Escherichia coli* na água bruta; turbidez da água filtrada e área de pastagem na bacia hidrográfica de captação; selecionou-se o Ribeirão Cerrado destinado ao abastecimento de Sanclerlândia (ETA I) e Riberão Santana de São Luís de Montes Belos (ETA II), geridos pela delegatária Saneago, visto que o predomínio de pastagem indica risco de surtos de cryptosporidiose, uma vez que esses indicadores (*Cryptosporidium* spp. e área de pastagem) apresentaram correlação positiva (p=0,0461). Foram coletadas 6 amostras de água bruta e filtrada para determinação dos protozoários, utilizando o método de Filtração em Membrana, e análise dos parâmetros físicos turbidez e pH em conformidade com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Nos ensaios de precisão inicial, com água ultrapura, os testes atingiram os critérios da USEPA (2012) para *Giardia* (78,13% ± 0%) e para *Cryptosporidium* (60,63% ± 32,65%), entretanto, em água bruta, a recuperação foi inferior devido à turbidez. No monitoramento sazonal, a água bruta dos mananciais apresentaram concentrações de patógenos com valores máximos de 50 cistos/L e 200 oocistos/L, sendo que, a eficiência de remoção máxima de *Cryptosporidium* foi 99,69% e 98,75%, na ETA I e II, respectivamente. O material filtrante dos filtros rápidos da ETA I apresentam granulometria bem graduada (T_{ef}=0,60mm; C_u=2,15), que promoveu um melhor desempenho do filtro com relação à turbidez do efluente filtrado. Os filtros rápidos da ETA II constituídos de material uniforme (T_{ef}=0,61mm; C_u=1,623) apresentaram concentração média do parâmetro turbidez de 0,35 NTU e 0,33 NTU, no período seco e chuvoso, logo a água filtrada com menor turbidez visa prevenir a veiculação de doenças e pode aprimorar a eficiência de remoção de patógenos. No balanço de massa analisou-se a influencia das etapas antecedentes ao processo de filtração, com relação aos parâmetros físico-químicos e microbiológicos. O incremento de turbidez na água bruta durante o período chuvoso, não afetou a água filtrada, sendo que esse parâmetro variu de de 0,34 – 0,93 NTU na ETA I e 0,28 – 1,27 NTU na ETA II. A eficiência de remoção foi superior à 99%, relativo aos parâmetros turbidez, coliformes totais e *E. coli.* , Conclui-se que as ETA I e II apresentaram eficiência de remoção dos patógenos abaixo de 99%, relatado na literatura, no qual releva a importância do estudo da distribuição dos protozoários no meio ambiente aquático do Estado de Goiás e as respectivas fontes de contaminação, assim como a necessidade de implementação de tecnologias para aprimorar o tratamento de água e garantir a inativação dos protozoários.

Palavras-chave: *Giardia*; *Cryptosporidium*; água; ciclo completo; filtração.

ABSTRACT

The protozoa *Giardia* spp. and *Cryptosporidium* spp. are etiological agents responsible for the transmission of gastroenteritis mainly due to the consumption of contaminated water. The (oo)cysts are resistant to harsh environmental conditions, as well as to most of the physicochemical processes used at Water Treatment Plants (WTP). Thus, the objective of this work was to evaluate the seasonal occurrence and removal of these protozoa in WTPs with complete cycle technology of the State of Goiás. Among the 15 analyzed according to the variables: *Escherichia coli* in raw water; filtered water turbidity and pasture area in the catchment area; The Cerrado Stream was selected for the supply of Sanclerlândia (WTP I) and Santana Stream de São Luís de Montes Belos (WTP II), managed by the Saneago delegate, since the predominance of pasture indicates a risk of cryptosporidiosis outbreaks. These indicators (*Cryptosporidium* spp. and pasture area) showed a positive correlation ($p = 0.0461$). Six samples of raw and filtered water were collected for protozoan determination using the Membrane Filtration method and analysis of the physical parameters turbidity and pH in accordance with the *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. In the initial precision tests with ultrapure water, the tests met the USEPA (2012) criteria for *Giardia* (78.13% ± 0%) and *Cryptosporidium* (60.63% ± 32.65%), however, in raw water the recovery was lower due to turbidity. In the seasonal monitoring, the raw water from the superficial water source presented pathogen concentrations with maximum values of 50 cysts / L and 200 oocysts / L, and the maximum removal efficiency of *Cryptosporidium* was 99.69% and 98.75% in WTP I and II, respectively. The filter material of the quick filters of WTP I have well graded particle size (Tef = 0.60mm; Cu = 2.15), which promoted better filter performance in relation to the turbidity of the filtered effluent. WTP II quick filters made of uniform material (Tef = 0.61mm; Cu = 1.623) presented average turbidity parameter concentration of 0.35 NTU and 0.33 NTU in the dry and rainy season, thus the filtered water with lower Turbidity aims to prevent the spread of disease and can improve the efficiency of pathogen removal. In the mass balance, the influence of the steps preceding the filtration process was analyzed in relation to the physicochemical and microbiological parameters. The increase in raw water turbidity during the rainy season did not affect the filtered water, and this parameter ranged from 0.34 - 0.93 NTU in WTP I and 0.28 - 1.27 NTU in WTP II. The removal efficiency was higher than 99%, regarding turbidity, total coliforms and *E. coli* parameters. It can be concluded that WTP I and II presented pathogen removal efficiency below 99%, reported in the literature, which highlights the importance of studying the distribution of protozoa in the aquatic environment of the State of Goiás and the respective sources of contamination. , as well as the need to implement technologies to improve water treatment and ensure protozoa inactivation.

Key words: *Giardia*; *Cryptosporidium*; water; conventional treatment; filtration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do ciclo de vida do protozoário *Cryptosporidium* spp. no epitélio intestinal. 31

Figura 2 - Representação do ciclo de vida do protozoário *Giardia* spp. 34

Figura 3 - Fluxograma das etapas de seleção das duas ETAs que operam com a tecnologia de ciclo completo..... 44

Figura 4 - Localização dos pontos amostrais pertencentes aos 15 mananciais superficiais de abastecimento de água do Estado de Goiás..... 46

Figura 5 – Etapas do método de Filtração em Membrana (FM): concentração dos protozoários através da filtração da amostra (A); Eluição da membrana (B); Centrifugação (C); Montagem das lâminas (D). 48

Figura 6 - Critérios de visualização microscópica do oocisto de *Cryptosporidium* spp. (A) e *Giardia* spp. (B) utilizando a técnica RID/FA. 51

Figura 7 - Aspirador de pó e líquido profissional marca Karcher, modelo NT 38/1 Me Classic, o reservatório em inox (A) e os acessórios como a mangueira de sucção, tubo de sucção e bicos (B). 54

Figura 8 - Etapas de preparação para os ensaios de caracterização, contendo o desmanche dos torrões (A); pesagem de 1 kg da amostra (B) e determinação da umidade no solo (C). 55

Figura 9 - Percentual de turbidez da água filtrada, referente ao ano de 2018, nos mananciais superficiais de captação..... 59

Figura 10 - Oocisto de *Cryptosporidium* spp. (A) e cisto de *Giardia* spp. (B) identificados em amostras de campo..... 62

Figura 11 – Localização da ETA I, delimitação do município de Sanclerlândia no Estado de Goiás e da bacia hidrográfica de captação do Ribeirão Cerrado..... 65

Figura 12 – Decantadores da Estação de Tratamento de Água em Sanclerlância (A) e conjunto de floculadores hidráulicos (B)..... 66

Figura 13 - Localização da ETA II, delimitação do município de São Luís de Montes Belos no Estado de Goiás e da bacia hidrográfica do Ribeirão Santana. 68

Figura 14 - Estação de Tratamento de Água em São Luís de Montes Belos (A) e conjunto de floculadores hidráulicos (B). 69

Figura 15 - Gráfico box plot sem outliers dos valores de turbidez (NTU) na água filtrada da ETA I em Sanclerlândia. 76

Figura 16 - Curva granulométrica da camada filtrante dupla, constituída de areia e antracito, pertencente ao filtro rápido da ETA I em Sanclerlândia, assim como a abertura da peneira que deixa passar 10% (d10) e 60% (d60) das partículas. 77

Figura 17 - Gráfico box plot sem outliers dos valores de turbidez (NTU) na água filtrada ETA II em São Luís dos Montes Belos, no período chuvoso e seco. 80

Figura 18 - Curva granulométrica da camada filtrante dupla, constituída de areia e antracito, pertencente ao filtro rápido da ETA II em São Luís dos Montes Belos, assim como a abertura da peneira que deixa passar 10% (d10) e 60% (d60) das partículas. 81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Espécies do gênero *Cryptosporidium* spp. e seus principais hospedeiros. 30

Tabela 2 - Espécies e genótipos do gênero *Giardia* spp. e seus principais hospedeiros..... 33

Tabela 3 - Classificação dos sistemas de abastecimento de água em função da concentração média de oocistos de *Cryptosporidium* e tratamentos adicionais requeridos para redução dessas concentrações segundo a LT2ESWTR..... 39

Tabela 4 – Ocorrência de *E. coli* no período de 2009 a 2018 (frequência e amplitude) nos mananciais superficiais de captação do Estado de Goiás..... 57

Tabela 5 – Percentual da área de pastagem, bem como a área total da bacia e de pastagem (Km²) dos 15 mananciais superficiais de captação..... 60

Tabela 6 – Aplicação do coeficiente de correlação de Spearman (r) entre *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp., com a área de pastagem..... 60

Tabela 7 – Concentração de *Cryptosporidium* spp., *Giardia* spp., turbidez e pH da água bruta dos 15 mananciais superficiais destinados ao abastecimento público. 61

Tabela 8 - Limite de Detecção ((oo)cistos/L) da técnica de análise de protozoários em função do volume de amostra concentrado, volume final do pellet e volume do pellet analisado (nº de alíquotas de 10µL) – campanha piloto. 63

Tabela 9 – Aplicação do coeficiente de correlação de Spearman (r) entre *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp, com a turbidez. 64

Tabela 10 – Percentual de uso de solo referente ao ano de 2017 da bacia hidrográfica Ribeirão do Cerrado localizada em Sanclerlândia. 65

Tabela 11 - Dados técnicos e operacionais do Sistema Ribeirão Cerrado (SRC) em Sanclerlândia. 67

Tabela 12 – Percentual de uso de solo referente ao ano de 2017 da bacia hidrográfica Ribeirão Santana localizada em São Luís dos Montes Belos. 68

Tabela 13 - Dados técnicos e operacionais do Sistema Ribeirão Santana (SRS) em São Luís dos Montes..... 70

Tabela 14 - Precisão e recuperação inicial em água ultrapura, contendo os (oo)cistos inoculados, recuperados, eficiência de recuperação, media, desvio padrão (DP) e Coeficiente de Variação (CV). 71

Tabela 15 - Precisão e recuperação continuada em água bruta com turbidez 8,20 uT, contendo os (oo)cistos inoculados, recuperados, eficiência de recuperação, media, desvio padrão (DP) e Coeficiente de Variação (CV). 71

Tabela 16 – Critérios de aceitação do controle de qualidade analítica estabelecido pela USEPA (2012) com relação ao intervalo da recuperação média e desvio padrão do método de análise dos protozoários utilizando água ultrapura e amostra com efeito da matriz. 72

Tabela 17 - Concentração de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. na água bruta e filtrada, bem como a eficiência de remoção da ETA I localizada em Sanclerlândia. 74

Tabela 18 - Concentração de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. na água bruta e filtrada, bem como a eficiência de remoção da ETA II localizada em São Luís dos Montes Belos..... 78

Tabela 19 - Parâmetros físicos, químicos e microbiológicos das amostras de água bruta do Ribeirão Cerrado e efluente filtrado da ETA I. 82

Tabela 20 - Parâmetros físicos, químicos e microbiológicos das amostras de água bruta do Ribeirão Santana e efluente filtrado da ETA II. 82

Tabela 21 - Aplicação do coeficiente de correlação de Spearman (r) entre *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp, com os parâmetros Coliformes totais e *E. coli*, na água bruta. 84

Tabela 22 - Ocorrência de *E. coli* no período de 2009 a 2017 nos 97 mananciais superficiais de captação do Estado de Goiás, destinados ao tratamento de água do tipo ciclo completo..... 99

Tabela 23 - Análises parasitológicas das amostras da água bruta do Ribeirão Cerrado, o Limite de Detecção (LD) da técnica de Filtração em Membrana e a Turbidez da amostra. 102

Tabela 24 - Análises parasitológicas das amostras da água filtrada do Ribeirão Cerrado, o Limite de Detecção (LD) da técnica de Filtração em Membrana e a Turbidez da amostra... 102

Tabela 25 - Análises parasitológicas das amostras da água bruta do Ribeirão Santana, o Limite de Detecção (LD) da técnica de Filtração em Membrana e a Turbidez da amostra. 102

Tabela 26 - Análises parasitológicas das amostras da água filtrada do Ribeirão Santana, o Limite de Detecção (LD) da técnica de Filtração em Membrana e a Turbidez da amostra... 103

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIDS	*Acquired Immunodeficiency Syndrome*/ Síndrome da Imunodeficiência Adquirida
CA	Cor Aparente
DNA	*Deoxyribonucleic acid*/ácido desoxirribonucleico
E. coli	*Escherichia coli*
EECA	Escola de Engenharia Civil e Ambiental
EPA	*Environmental Protection Agency*
Emater	Agência Goiana de Assistência Técnica, Extensão Rural e Pesquisa Agropecuária
ETA	Estações de Tratamento de Água
FITC	Isotiocianato de fluoresceína
FM	Filtração em Membranas
HC	Hospital das Clínicas
HIV	*Human Immunodeficiency Virus*/Vírus da Imunodeficiência Humana
IFG	Instituto Federal de Goiás
IMS	Separação Imunomagnética
LD	Limite de Detecção
LT2ESWTR	*Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule/* Regra aprimorada de tratamento de águas superficiais a longo prazo 2
MP	Ministério Público de Goiás
MS	Ministério da Saúde
NMP	Número Mais Provável
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PCFC	*Portable Continuous Flow Centrifuge/Centrífuga de Fluxo Contínuo Portátil*
PCR	*Polymerase Chain Reaction*/Reação em cadeia da polimerase

PNSI	Parque Nacional da Serra do Itajaí
RHTA	Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia
RID	Reação de Imunofluorescência Direta
SAA	Sistemas de Abastecimento de Água
SAMAE	Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto
SDF	Sólidos Dissolvidos Fixos
SDV	Sólidos Dissolvidos Voláteis
SRC	Sistema Ribeirão Cerrado
SRS	Sistema Ribeirão Santana
SSF	Sólidos Suspensos Fixos
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
STF	Sólidos Totais Fixos
STV	Sólidos Totais Voláteis
T	Turbidez
Tef	Tamanho Efetivo
UFG	Universidade Federal de Goiás

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 24

1.1 OBJETIVOS 26

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 28

2.1 CARACTERÍSTICAS E CICLO DE VIDA DOS PROTOZOÁRIOS PATOGÊNICOS: *Giardia e Cryptosporidium* 28

2.2 OCORRÊNCIA DE PROTOZOÁRIOS EM MANANCIAIS DE ABASTECIMENTO 34

2.3 OCORRÊNCIA DE PROTOZOÁRIOS EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA 36

2.4 LEGISLAÇÃO DE QUALIDADE DA ÁGUA DE CONSUMO HUMANO RELACIONADOS AOS PROTOZOÁRIOS 37

2.5 MÉTODOS ANÁLITICOS DE PROTOZOÁRIOS 39

3 MATERIAIS E MÉTODOS 43

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 43

3.2 CAMPANHA DE AMOSTRAGEM 47

3.3 MONITORAMENTO DA CARREIRA DE FILTRAÇÃO 52

3.4 BALANÇO DE MASSA 53

3.5 CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FILTRANTE 53

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS 56

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 57

4.1 SELEÇÃO DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA 57

4.2 CONTROLE DE QUALIDADE DO MÉTODO DE FILTRAÇÃO EM MEMBRANA 70

4.3 EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DOS PROTOZOÁRIOS NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA 74

4.4 BALANÇO DE MASSA DA ÁGUA BRUTA E FILTRADA 82

5 CONCLUSÃO 85

5.1 RECOMENDAÇÕES 86

REFERÊNCIAS 87

APÊNDICE A - PLANILHA DE LEVANTAMENTO DAS CARACTERISTICAS TÉCNICAS E OPERACIONAIS DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA) 95

APÊNDICE B – OCORRÊNCIA DE *E. coli* NOS MANANCIAIS SUPERFICIAIS DE CAPTAÇÃO DO ESTADO DE GOIÁS 99

APÊNDICE C – RESULTADOS DAS ANÁLISES PARASITOLÓGICAS 102

1 INTRODUÇÃO

A nível mundial, o Brasil ocupa o primeiro lugar entre os países ricos em recursos hídricos de água doce natural do mundo (FAO, 2003). A água consiste em uma fonte de veiculação hídrica de doenças à população humana, ocasionando relevantes problemas de saúde pública e gerando 2 milhões de mortes no mundo por ano (WHO, 2019), quando contaminada por esgotos domésticos tratados e não tratados (CHENG *et al.*, 2009), assim como por escoamento superficial oriundo de fazendas de gado (IMRE *et al.*, 2017), e destinada ao consumo e atividades recreativas.

As doenças de veiculação hídrica são responsáveis por 2 milhões de mortes no mundo por ano, incluindo doenças diarreicas que incidem com maior intensidade em crianças menores de cinco anos (WHO, 2019). As mortes provocadas por diarreias em todo o mundo são atribuídas a água contaminada, infraestrutura de saneamento básico inadequado e falta de higiene (UNICEF; WHO, 2009).

A problemática da saúde publica é intensificada nos países em desenvolvimento, em decorrência da infraestrutura sanitária deficitária, visto que no Brasil, no ano de 2017, apenas 46% dos esgotos gerados eram submetidos à algum tipo de tratamento, enquanto que o estado de Goiás apresentou indicadores superiores à média brasileira que corresponde a 47,95% de esgoto tratado e nos municípios de Sanclerlância e São Luís de Montes Belos, foco do estudo em questão, os serviços de coleta, transporte e tratamento de esgoto sanitário abrangiam 52,16% e 74,56% da população, respectivamente (SNIS, 2019).

De acordo com Craun *et al.* (1998), os países desenvolvidos, que apresentam elevados índices de abastecimento urbano de água e tratamento de esgoto, também enfretam surtos epidêmicos de doenças de transmissão pela água, em casos de tratamento de água inadequado.

Dentre os protozoários que podem ser transmitidos pela água, destacam-se os gêneros *Cryptosporidium* spp. (4,0 a 6,0 μm de diâmetro) e *Giardia* spp. (8 - 18 μm de comprimento por 5 - 15 μm de largura), amplamente distribuídos em países desenvolvidos e em desenvolvimento (COTRUVO *et al.*, 2004), que foram responsáveis por inúmeros surtos de veiculação, diante de tal cenário os autores Karanis *et al.* (2007) relataram 524 surtos em todo o mundo entre os anos de 1984 e 2004, posteriormente, Baldursson e Karanis (2011) analisaram o período compreendido entre 2004 e 2010 e constataram a ocorrência de 199 e 325 surtos

epidêmicos de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp., respectivamente, e Efstratiou *et al.* (2017b) estudaram 381 surtos atribuídos à água entre 2011 e 2016, sendo 63% (239) de *Cryptosporidium* spp. e 37% (142) de *Giardia* spp. A ocorrência desses surtos pode ser atribuída à alta resistência ao meio ambiente desses organismos (KARANIS, 2011) e à alta infectividade (THOMPSON, 2004).

Os surtos de protozoários são bem documentados em esfera mundial pelos países desenvolvidos, caracterizando como os principais agentes etiológicos das doenças associadas à água, denominadas de criptosporidiose e giardíase, em que o principal sintoma é diarreia intensa (EFSTRATIOU *et al.*, 2017).

Os protozoários e vírus apresentam maior risco à saúde pública, quando comparado com as bactérias, devido à sua elevada infectivadade (GALE; STANFIELD, 2000). A variação temporal e sazonal desses patógenos no meio ambientes e em sistemas de abastecimento e distribuição de água justificam a importância do seu monitoramento em mananciais destinados ao consumo humano, visto que pode haver ocorrência de protozoários ainda que o monitoramento microbiológico registre contagem zero, e por isso não é considerado um indicador padrão da prevalência de protozoários (GALE; STANFIELD, 2000).

Diante do cenário de subnotificação desses protozoários nos países em desenvolvimento e sua alta infectividade, visto que a ingestão de poucos (oo)cistos causam infecção (FRANCO *et al.*, 2012a), verifica-se a necessidade de utilização de técnicas de detecção rápidas e efetivas para identificação de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. na água bruta captada para o consumo humano, na água filtrada e tratada.

As metodologias empregadas para o diagnóstico da presença de protozoários segundo Franco *et al.* (2012b) são: filtração em cartuchos, a filtração em membranas, a floculação em carbonato de cálcio e o Método 1623:1 (USEPA, 2012). No entanto, as técnicas apresentam alta variabilidade de resultados (FRANCO *et al.*, 2012a), baixa reprodutibidade, proporcional ao aumento da turbidez (FRANCY *et al.*, 2004), e alto custo quando comparado com os demais parâmetros de qualidade da água (ATHERHOLT *et al.*, 1998).

No Brasil, o monitoramento de protozoários patogênicos em água destinada ao consumo humano tornou-se obrigatória a partir da Portaria nº 2.914 (BRASIL, 2011), atual Portaria de Consolidação nº 5 (BRASIL, 2017), sendo que os mananciais a serem pesquisados são selecionados de acordo com a concentração de *Escherichia coli*. No entanto, vários fatores

justificam a ausência de monitoramento desses protozoários pelas delegatárias dos serviços de saneamento básico, sendo eles: complexidade dos métodos de detecção; falta de recursos humanos qualificados e custo elevado das análises. Nesse contexto, as empresas responsáveis pelo tratamento e controle de qualidade da água adotam indicadores de filtração, principalmente a turbidez (BRASIL, 2006).

Diante da relevâncias desses protozoários para a saúde pública e devido à resistências dos (oo)cistos aos processos físico-quimicos comumentes utilizados nas Estações de Tratamento de Água (ETA), justifica-se o monitoramento sazonal desses protoários em amostras de água bruta e filtrada de ETAs que captam água de mananciais de captação ineridos em bacias hidrográficas com alta ocorrência de área de pastagem e qualidade da água deteriorada do Estado de Goiás.

Em ETAs que utilizam a tecnologia do ciclo completo no tratamento da água conseguem remover, no geral, 99% dos oocistos de *Cryptosporidium* spp. nas unidades de sedimentação e filltração (BUSTAMANTE *et al.,* 2001), em condições otimizadas de coagulação. No entanto, durante o processo de filtração, os oocistos têm seu tamanho reduzido devido a compressibilidade no filtro (HSU; YEH, 2003), o que pode promover a passagem, principalmente, de *Cryptosporidium* spp. para a água tratada. Logo, torna-se necessário a análise das influências das características granulométricas do meio filtrante na remoção desses organismos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

A presente pesquisa tem como objetivo geral avaliar a ocorrência e remoção de (oo)cistos de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. em Estações de Tratamento de Água (ETA) com tecnologia do tipo ciclo completo do Estado de Goiás.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Identificar os mananciais superficiais de captação do Estado de Goiás com qualidade da água deteriorada em função da concentração de *E. coli* superior à média geométrica anual estabelecida no Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 (BRASIL, 2017);

- Avaliar o potencial de remoção de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. por meio do tratamento de água do tipo ciclo completo, através da análise parasitológica na água bruta e filtrada;
- Avaliar a eficiência das etapas de pré-tratamento, tratamento e desinfecção das ETAs, bem como monitorar a carreira de filtração dos filtros rápido em relação ao parâmetro turbidez;
- Caracterizar a granulometria do meio filtrante constituinte dos filtros rápidos;
- Avaliar a relação da ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp., na água bruta e filtrada, com os parâmetros físico-químicos e microbiológicos, bem como aos aspectos de uso do solo na bacia hidrográfica de captação;
- Realizar o diagnóstico técnico e operacional dos sistemas existentes nas ETAs.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nos últimos anos, a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu em conferências internacionais, estratégias e objetivos globais em prol do desenvolvimento sustentável. Em 2015, a Agenda 2030 surgiu como um plano de ação para a erradicação da pobreza em todas as suas formas e dimensões, através de medidas desafiadoras para promover o desenvolvimento sustentável que foram denominadas como os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (ONU, 2019).

O acesso ao saneamento básico corresponde a uma ferramenta capaz de prevenir e controlar a propagação de doenças, amplamente abordados nos ODS, com enfoque aos recursos hídricos que podem promover a veiculação de diversas doenças, por via direta através de águas contaminadas por bactérias, vírus e protozoários; de forma indireta pelo consumo de alimentos ou bebidas preparadas com água contaminada; e atividades de lazer e profissionais desenvolvidas no meio aquático.

Dentre os protozoários que podem ser transmitidos pela água, destacam-se gênero *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp., que nos últimos anos foram responsáveis por inúmeros surtos de veiculação hídrica em mundo todo (KARANIS *et al.*, 2007).

2.1 CARACTERÍSTICAS E CICLO DE VIDA DOS PROTOZOÁRIOS PATOGÊNICOS: *Giardia e Cryptosporidium*

O gênero *Cryptosporidium* spp. é caracterizado como emergente, não pelo fato de ser recém-descoberta, mas em decorrência dos registros recentes de surtos e epidemias da doença criptosporidiose em todo o mundo (PADUA, 2009), sendo que o maior surto ocorreu em Milwaukee nos Estados Unidos, no ano de 1993 e teve como fonte de transmissão a água potável (MACKENZIE *et al.*, 1994). Por outro lado, a transmissão do gênero *Giardia* spp. associada ao consumo de água contaminada é bem documentada (THOMPSON, 2004).

Logo, para aprimorar a remoção desses protozoários e reduzir o risco de infecção por esses agentes é fundamental o controle de qualidade dos SAA, visto que esses patógenos apresentam maior resistência ao processo tradicional de desinfecção da água utilizando cloro (FRICKER; CRABB, 1988), bem como ozônio (LANE; LLOYD, 2002).

O monitoramento operacional do processo de filtração também é crucial para o fornecimento de água potável e segura, em conformidade com o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 (BRASIL, 2017), pois o filtro constitui a principal barreira para microrganismos durante o tratamento da água (ARORA *et al.*, 2001). Os protozoários podem transpassar o meio filtrante e resistir ao processo de desinfecção em decorrência das suas dimensões reduzidas e a resistência encistada (FREITAS *et al.*, 2010).

Pádua (2009), descreveu as principais dificuldades que justificam a elevada preocupação com a transmissão de protozoários por meio das plantas de abastecimento, sendo elas: i) limitação da tecnologia de tratamento do tipo ciclo completo na remoção e/ou inativação de (oo)cistos de *Cryptosporidium* spp. e de *Giardia* spp.; ii) ausência de correlação entre as bactérias do grupo coliforme e outros indicadores com a ocorrência dos protozoários, tornando assim insuficiente o controle tradicional da qualidade da água; iii) limitações dos métodos de análise de protozoários em amostras de água; iv) dificuldade de estimar os riscos à saúde vinculados à presença de protozoários, em pequena quantidade, em águas de consumo humano; v) compreensão da atuação dos animais como fonte de propagação de doenças no meio ambiente.

2.1.1 *Cryptosporidium* spp. e suas características gerais

Em 1907, Ernest Edward Tyzzer descreveu pela primeira vez o protozoário *Cryptosporidium* muris, frequentemente encontrado em glândulas gástricas de camundongos de laboratório (CAREY *et al.*, 2004; FAYER, 2004). Em humanos, os primeiros relatos de infecção ocasionadas pelo gênero *Cryptosporidium* spp. foram registrados em 1976 (MEISEL *et al.*, 1976; NIME *et al.*, 1976).

O *Cryptosporidium* spp. é um protozoário intestinal que pertence ao filo Apicomplexa, sendo responsável pela doença diarreica denominada criptosporidiose, que ocorre em todas as classes de vertebrados, especialmente na espécie dos mamíferos (KARANIS, 2011; RYAN; FAYER; XIAO, 2014). Esse protozoário apresentam formato esférico a oval contendo quatro esporozoítos em seu interior e tamanho típico de 4,0 a 6,0 μm de diâmetro (USEPA, 2012).

Com base nos aspectos morfológicos, biológicos e moleculares, os autores Ryan, Fayer e Xiao (2014) relataram 26 espécies de *Cryptosporidium* spp., conforme apresentado na Tabela 1. No entanto, nem todas as espécies ocasionam transtornos gastrointestinais aos humanos, sendo que

as principais espécies responsáveis pelos casos de cryptosporidiose são *C. hominis e C. parvum*, transmitidos por múltiplas rotas (XIAO, 2010; RYAN; FAYER; XIAO, 2014).

Tabela 1 - Espécies do gênero *Cryptosporidium* spp. e seus principais hospedeiros.

Espécie	Principal hospedeiro	Espécie	Principal hospedeiro
C. andersoni	Bovinos	*C. molnari*	Peixes
C. baileyi	Aves	*C. muris*	Roedores
C. bovis	Bovinos	*C. parvum*	Bovinos, ovinos, caprinos
C. canis	Cães	*C. ryanae*	Bovinos
C. cuniculus	Coelho	*C. scrofarum*	Porcos
C. erinacei	Ouriços e cavalos	*C. serpentis*	Cobras e lagartos
C. fayeri	Marsupiais*	*C. suis*	Porcos
C. felis	Gatos	*C. tyzzeri*	Roedores
C. fragile	Sapos	*C. ubiquitum*	Ruminantes, roedores e homem
C. galli	Aves	*C. varanii*	Lagartos
C. hominis	Homem	*C. viatorum*	Homem
C. macropodum	Marsupiais*	*C. wrairi*	Porquinho-da-Índia
C. meleagridis	Aves e homem	*C. xiaoi*	Ovinos e caprinos

* Mamíferos desprovidos de placenta completa, contendo os marsúpios para transporte dos filhotes como cangurus, gambás e cuícas.

Fonte: Adaptado de Ryan, Fayer e Xiao (2014).

A transmissão da infecção inicia-se com a ingestão de oocistos por intermédio da via de contaminação fecal-oral, sendo que um único oocisto é capaz de infectar um hospedeiro susceptível (KARANIS, 2011). A transmissão pode ocorrer pelo método direto através do contato entre pessoas e entre pessoas e animais, em decorrência da ausência de hábitos higiênicos, bem como pelo método indireto através da ingestão de água contaminada por fezes, atividades recreativas e águas de superfície contaminadas, além da ingestão alimentos infectados (RYAN; FAYER; XIAO, 2014; PLUTZER; KARANIS, 2016).

O ciclo de vida desse protozoário apresenta estágios de reprodução sexuada e assexuada, sendo que essas fases se desenvolvem dentro de um único hospedeiro, denominado ciclo monogênico (TZIPORI; WARD, 2002; KARANIS, 2011), conforme ilustrado na Figura 1.

No trato gastrointestinal ocorre a excistação do oocisto com liberação de quatro esporozóitos (Figura 1a), esses aderem à membrana celular (Figura 1b), alojando-se na superfície das microvilosidades da célula epitelial hospedeira. A localização intracelular e extracitoplasmática dos esporozoítos promove a proteção à resposta imunológica do hospedeiro e ao ambiente hostil do intestino, bem como possibilita o acesso aos nutrientes (TZIPORI; WARD, 2002; KARANIS, 2011).

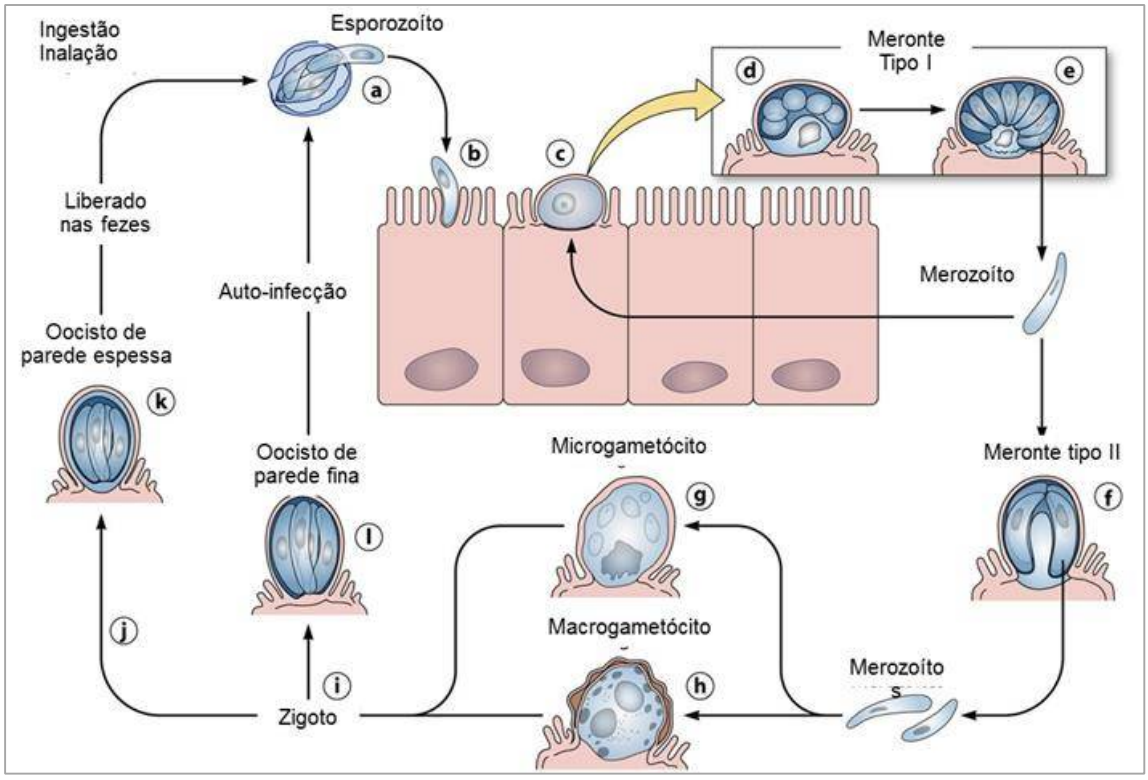


Figura 1 - Representação do ciclo de vida do protozoário *Cryptosporidium* spp. no epitélio intestinal.

Fonte:Adaptado de Bouzid *et al.* (2013)

Na célula epitelial os esporozoítos sofrem diferenciação, tornando-se trofozoítos (Figura 1c) e inicia-se a reprodução assexuada que produz oito merozoítos pertencentes à geração meronte Tipo I (Figura 1e), esses podem infectar novas células epiteliais hospedeiras, aumentando a produção de merozóito Tipo I, ou evoluem para a geração meronte Tipo II (Figura 1f). Os merozóitos (Tipo II) iniciam a reprodução sexuada que se diferenciam em micro (Figura 1g) e macrogametócito (Figura 1h), os quais, após unirem-se, dão origem ao zigoto (Figura 1i). Na reprodução assexuada do zigoto, formam-se oocistos maduros de parede espessa e de parede delgada (TZIPORI; WARD, 2002; FAYER, 2004; KARANIS, 2011).

Os oocistos de paredes espessas (Figura 1k), resistentes às condições ambientais adversas, são liberados nas fezes e podem causar infecção em novos indivíduos de forma direta, sem a necessidade de maturação ou esporulação. Enquanto que os oocistos de parede fina (Figura 1l) permanecem no intestino promovendo um processo auto infeccioso (KARANIS, 2011). Segundo Fayer (2004), a duração desse ciclo de vida, desde a ingestão do oocisto até a liberação nas fezes, demanda de 3 a 5 dias ou pode levar até duas semanas.

Após a infecção, as manifestações clínicas da cryptosporidiose surgem entre 2 e 10 dias, sendo que os principais sintomas abrangem diarreia aquosa, dores abdominais, vômito e febre. Em indivíduos imunocompetentes o processo de recuperação é rápido, já em indivíduos pertencentes ao grupo de risco como crianças, grávidas e imunodeprimidos, portadores de Vírus da Imunodeficiência Humana (HIV) e Síndrome da Imunodeficiência Adquirida (AIDS), a infecção apresenta manifestações graves podendo afetar outros órgãos, ou ser fatal (FAYER, 2004).

Para a prevenção da cryptosporidiose, deve-se realizar o rastreamento das fontes de contaminação do *Cryptosporidium* spp. e a avaliação do risco de infecção para humanos e animais, no entanto, essas medidas representam um desafio diante da pouca ou nenhuma especificidade do hospedeiro (XIAO; FAYER, 2008).

Logo, as ferramentas de caracterização molecular como reação em cadeia de polimerase (PCR) e análise do sequenciamento de ácido desoxirribonucleico (DNA) são utilizadas para diferenciar os genótipos e espécies (RYAN; FAYER; XIAO, 2014), identificando assim as possíveis fontes de contaminação.

2.1.2 *Giardia* spp. e suas características gerais

O gênero *Giardia* spp. é um protozoário flagelado e binucleado que pertence à Classe Zoomastigophorea e Ordem Diplomonadida, caracterizado também como agente causador da giardíase, doença mais frequente transmitida pela água (THOMPSON, 2000; KARANIS, 2011).

Esses cistos apresentam formato redondo a oval ou elipsoide com dimensões variando de 8 - 18 μm de comprimento por 5 - 15 μm de largura (USEPA, 2012). Nessa fase, o organismo é altamente resistente ao processo de desinfecção com cloro e ozônio (LANE; LLOYD, 2002).

Com base em características morfológicas, Thompson (2002), relatou seis espécies de *Giardia* spp. conforme apresentado na Tabela 2. A espécie *Giardia duodenalis* apresentam um conjunto de divisões genéticas, denominadas assembleias, que compreende uma ampla variedade de genótipos que se diferenciam entre si pela especificidade dos hospedeiros, conforme indicado na Tabela 2. Assim, na Assembleia A e B, apenas os subgenótipos AI e BIII apresentam potencial zoonótico (THOMPSON, 2004).

Tabela 2 - Espécies e genótipos do gênero *Giardia* spp. e seus principais hospedeiros.

Espécie	Genótipo	Principal hospedeiro
G. duodenalis	A	Humanos, gado, gatos, cães, castores, porquinho-da-índia e slow lóris
	B	Humanos, slow lóris, roedores, cães, castores, ratos, primatas
	C e D	Cães
	E	Bovinos, suínos e ovelhas
	F	Gatos
	G	Ratos domésticos
	Vole	Roedores silvestres
G. muris	-	Roedores
G. microti	-	Roedores (rato-do-mato e rato-almiscarado)
G. psicatti	-	Aves (Periquito-australiano)
G. ardeae	-	Aves (Garça e íbis)
G. agilis	-	Anfíbios (sapos)

Fonte: Adaptado de Thompson (2004).

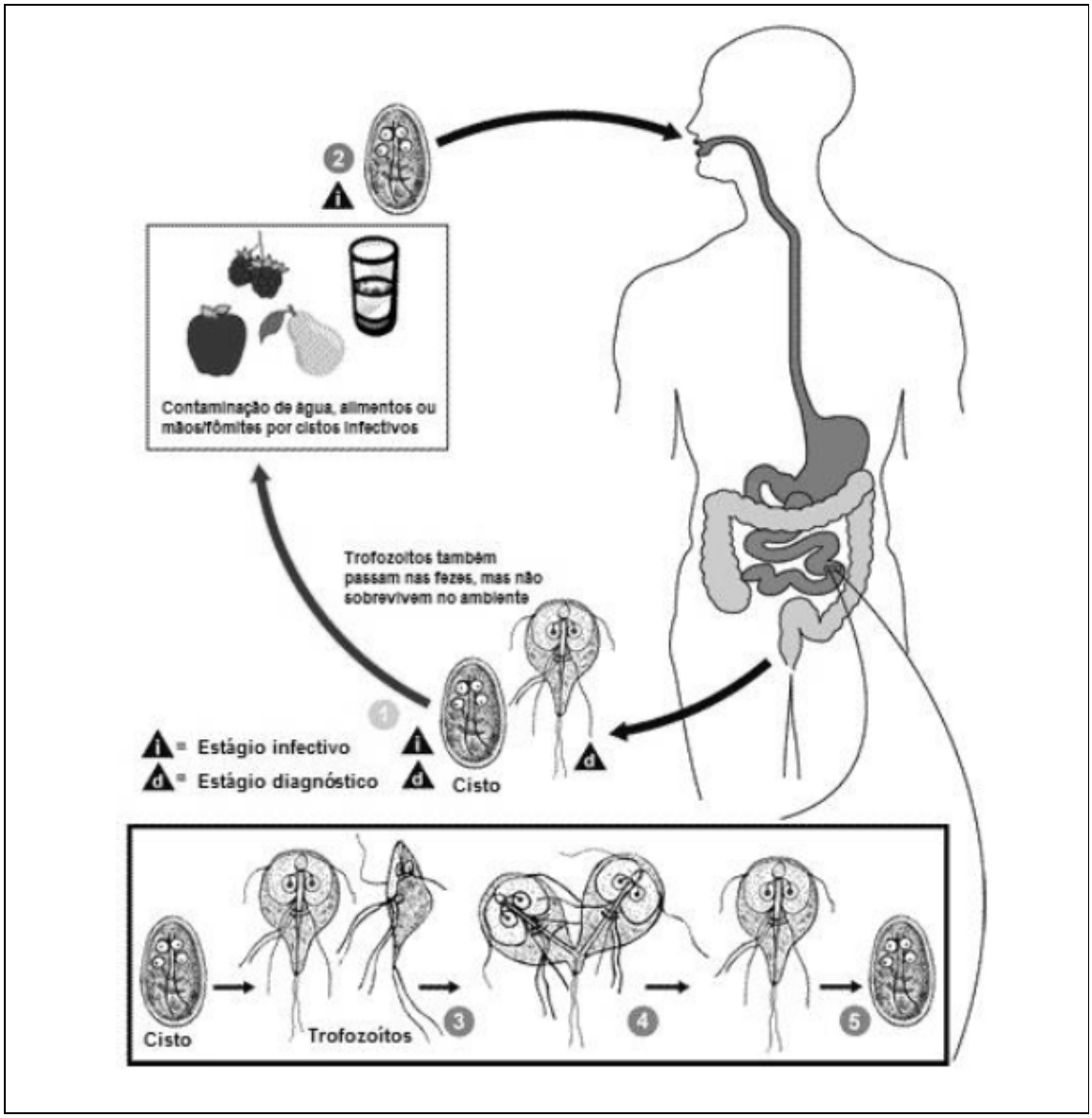
Esse protozoário desenvolve o seu ciclo de vida no trato intestinal de praticamente todas as classes de vertebrados (LEVINE 1980; THOMPSON, 2000; THOMPSON, 2004), no entanto, apenas a *Giardia duodenalis*, também denominada de *Giardia intestinalis* e *Giardia lamblia*, representa a causa mais comum de surtos de doenças gastrintestinais em humanos anualmente, em países desenvolvidos (LANE; LLOYD, 2002).

Com relação aos meios de transmissão, Thompson (2004) ressalta que pode ocorrer indiretamente por meio da ingestão acidental de cistos em água ou alimentos contaminados, ou diretamente em ambientes de higiene insuficiente. No qual, a infecção ocorre com a ingestão de menos de 10 cistos, exclusivamente por via oral (KARANIS, 2011).

A *Giardia duodenalis* tem um ciclo de vida que compreende dois estágios conforme ilustrado na Figura 2, sendo eles: o estágio de trofozoíto e o estágio de cisto infecioso que apresenta resistência ao meio ambiente externo (GUERDEN; OLSON, 2011; KARANIS, 2011).

A infecção inicia-se com a ingestão dos cistos, sendo que a exposição aos ácidos estomacais e aos sais biliares estimula a excistação com a liberação dos trofozoítos. No intestino delgado, os trofozoítos se aderem às superfícies das células epiteliais através de um disco adesivo ventral e realizam a divisão binária de forma assexuada (KARANIS, 2011). Os trofozoítos podem ocupar outras áreas do trato gastrointestinal, no entanto, geralmente permanecem anexados ao lúmen do intestino delgado (KARANIS, 2011).

Por fim, a exposição aos sais biliares do intestino delgado desencadeia o encistamento, no qual, promovem a formação dos cistos infecciosos. Em seguida, os cistos são eliminados pelas fezes, permitindo a conclusão do ciclo de vida em até 72 horas após a infecção. (GUERDEN; OLSON, 2011; KARANIS, 2011).



Os trofozoítos e cistos podem ser encontrados nas fezes (1); Os cistos são altamente resistentes às condições do meio ambiente, podendo sobreviver por longos período e os meios de transmissão são por via fecal-oral (2); No intestino delgado, ocorre a excistação com liberação dos trofozoítos (3); Os trofozoítos se reproduzem por divisão binária assexuada e se aderem às superfícies das células epiteliais (4); O encistamento dá origem aos cistos infeciosos que são liberados nas fezes (5).

Figura 2 - Representação do ciclo de vida do protozoário *Giardia* spp.

Fonte: CCD (2017)

2.2 OCORRÊNCIA DE PROTOZOÁRIOS EM MANANCIAIS DE ABASTECIMENTO

Mundialmente, diversas pesquisas foram realizadas em prol de compreender a densidade dos protozoários patogênicos em mananciais superficiais, investigando a interação desses parasitas

com as condições climáticas, ambientais, temperatura, variáveis físico-químicas e microbiológicas (LECHEVALLIER *et al.,* 1997) e analisando o impacto à saúde pública, pois essas águas, no geral, são aduzidas aos sistemas de abastecimento público para consumo humano.

Entretanto, em países em desenvolvimento, como o Brasil, os surtos de doenças de veiculação hídrica transmitida pela água são subnotificados (EFSTRATIOU *et al.*, 2017).

Esse cenário pode ser comprovado pelos autores Karanis *et al.* (2007), que analisaram os surtos mundiais associados aos protozoários transmitidos pela água durante um período de quase 100 anos, no qual foram relatados 325 surtos, com predomínio de *Giardia duodenalis* e *Cryptosporidium parvum*, sendo que 60% foram registrados na América do Norte, 32,6% na Europa, 4% na Nova Zelândia, 2% na Austrália e 1% no Japão.

A ocorrência desses protozoários em mananciais destinados ao abastecimento público no Brasil, foi documentada em pesquisas cientificas, conforme descrito a seguir:

Grott *et al.* (2016) avaliou a ocorrência de (oo)cistos de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. nos mananciais superficiais de captação de água de quatro ETAs do Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMAE) de Blumenau, assim como coletou amostras no Parque Nacional da Serra do Itajaí (PNSI), onde há predomínio de áreas nativas. Não foi relatado ocorrência de protozoários nas ETAs localizadas em regiões com alto índice de florestas nativas, no entanto, os mananciais sob influência de atividades antrópicas, como lançamento de efluentes e área de pastagem com presença de animais silvestres, apresentaram concentração máxima de 454 (oo)cistos/L.

A pesquisa desenvolvida por Franco *et al.* (2001), analisou a presença dos protozoários patogênicos na água de captação do Rio Atibaia em Campinas – SP, na entrada da ETA, durante o período chuvoso. Observa-se que todas as amostras foram positivas para *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp., sendo que as concentrações mínimas e máximas identificadas foram 33 e 95 cistos/L e 44,5 e 60,8 oocistos/L. Constatou-se também uma maior eficiência de recuperação do método de Filtração em Membrana com raspagem da membrana em comparação com a etapa de eluição realizada com dissolução em acetona.

Freitas *et al.* (2015), analisaram a presença de protozoários na bacia hidrográfica do Rio Beberice em Pernambuco – RE, que fornece água para abastecimento de 10% da Região Metropolitana de Recife (RMF). A contaminação do rio foi verificada de forma qualitativa, no qual 75% das amostras foram positivas para *Cryptosporidium* spp. (12/16) e 50% para *Giardia*

spp. (8/16), a qualidade parasitológica pode ser justificada pelos lançamentos de efluentes domésticos.

No Estado de Goiás, estudos relacionados à ocorrência de protozoários em mananciais superficiais foram relatados no Ribeirão Piancó em Anápolis (GO), quanto ausência de oocistos de *Cryptosporidium* spp. em todas as amostras (VIEGAS *et al.*, 2019), no Rio Meia Ponte e Ribeirão João Leite, destinados ao abastecimento público, e nos lagos Bosque dos Buritis e Parque Vaca Brava, localizados em Goiânia (GO), sendo foi relatado a ocorrência de oocistos no Rio Meia Ponte e lago Vaca Brava, no qual a espécie de *Cryptosporidium parvum* foi confimada no Rio Meia Ponte, enquanto que os cistos de *Giardia* spp. foram encontrados no Ribeirão João Leite (SANTOS, 2008). No entato, os mananciais de captação contidos na Tabela 4 não foram monitorados, quanto a circulação desses protozoários.

2.3 OCORRÊNCIA DE PROTOZOÁRIOS EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

As tecnologias de tratamento de água existentes são destinadas a remoção efetiva dos patógenos *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp., no entanto, verifica-se que alguns (oo)cistos ultrapassam as barreiras físicas, mesmo com a ausência de falhas operacionais no sistema e com baixos índices de turbidez (KARANIS, 2011), em decorrência da resistência desses parasitas às condições ambientais variáveis, desinfetantes tradicionais, além do pequeno tamanho de *Cryptosporidium* spp. (4,0 a 6,0 μm de diâmetro) e *Giardia* spp. (8 - 18 μm de comprimento por 5 - 15 μm de largura) (MOORE *et al.*, 1998).

Tal cenário tem preocupado as concessionárias de água, em países desenvolvidos e em desenvolvimento, visto que os processos de tratamento do tipo ciclo completo apresentam limitações na remoção e inativação de patógenos (BEVILACQUA *et al.*, 2002). Logo, a otimização do funcionamento dos processos de tratamento é primordial para aprimorar a eficiência das ETAs na remoção dos patógenos (DUGAN *et al.*, 2001).

Constata-se que a etapa de filtração é a principal barreira para remoção de organismos durante o tratamento da água (ARORA *et al.*, 2001).

Bastos *et al.* (2004) relataram a presença de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp., bem como de *Clostridium perfringens*, em três ETAs da cidade de Minas Gerais para verificar a eficiência de remoção das tecnologias empregadas. A ETA com tratamento do tipo ciclo completo

apresentou o pior desempenho na remoção de ambos os protozoários, em comparação com a tecnologia de filtração rápida de fluxo ascendente. Verificou-se também concentrações de (oo)cistos com média geométrica de 4,37 e 8,03 cistos/L de *Giardia* spp. e 6,63 e 24,12 oocistos de *Cryptosporidium* spp. no Rio São Bartolomeu e Rio Turvo, respectivamente, em decorrência das características de uso do solo, como agricultura e criação de animais.

A pesquisa desenvolvida em Bagdá no Iraque pelos autores Baqer *et al*. (2018), analisou a ocorrência de *Cryptosporidium* spp. em duas ETAs, assim como nas caixas d'água de uso doméstico. Identificou-se o protozoário em todas as amostras de água bruta captada, com valores máximos de 40 e 42 oocistos na ETA Al-Wahdaa e Al-Rasheed, respectivamente. Dados preocupantes também foram obtidos na água potável, sendo que 93,75% (15/16) das amostras apresentaram ocorrência do protozoário patogênico, indicando assim baixa eficiência da tecnologia de tratamento empregada.

As autoras Stancari e Correia (2010), analisaram a qualidade parasitológica da água bruta e tratada pertencente à cinco ETAs dos municípios abrangidos pela Divisão Regional de Saúde de Bauru – SP, através do método de filtração em membrana de policarbonato com aplicação da técnica de separação imunomagnética (IMS). Observou-se a presença de *Giardia* spp. na água bruta (0,10 cistos/L) e tratada (0,03 cistos/L) da ETA II, essa capta água de fontes subterrâneas e o tratamento abrange apenas a filtração, indicando assim que essa tecnologia é ineficaz para a remoção desses patógenos. A ETA IV também apresentou *Giardia* spp. na água bruta, que foi retida durante o tratamento utilizando a tecnologia do tipo ciclo completo.

2.4 LEGISLAÇÃO DE QUALIDADE DA ÁGUA DE CONSUMO HUMANO RELACIONADOS AOS PROTOZOÁRIOS

No que diz respeito à legislação de qualidade da água para consumo humano, com enfoque nos protozoários *Cryptosporidium* e *Giardia*, cada país institui suas regulamentações e diretrizes em prol de reduzir os riscos de doenças de veiculação hídrica.

No Brasil, a Portaria de Consolidação nº 5 (BRASIL, 2017), estabelece o padrão de potabilidade, bem como as normas e procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano sob responsabilidade do Ministerio da Saúde.

O Anexo XX dessa Portaria apresenta uma abordagem específica sobre o controle dos protozoários em águas de abastecimento, estabelecendo a obrigatoriedade em realizar o

monitoramento de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. aos sistemas de abastecimento e soluções alternativas coletivas que possuem a média geométrica anual de *E. coli* na água de captação superior à 1000 NMP/100 mL.

Além do indicador microbiológico *E. coli*, a legislação brasileira também estabelece a turbidez como um parâmetro de natureza sanitária, uma vez que a baixa turbidez promove maior eficiência da desinfecção e eliminação de bactérias e vírus, além de indicar a remoção de (oo)cistos de protozoários pela filtração. A Portaria recomenda que o efluente filtrado de filtros rápidos apresente valores inferiores à 0,5 uT em 95% das amostras, sendo que, quando for identificado na água bruta concentração de *Cryptosporidium* spp. igual ou superior à 3 oocistos/L, deve-se obter turbidez no efluente filtrado de 0,3 uT.

Diante das adequações na legislação brasileira, a partir de 2011, com a inserção do monitoramento dos protozoários patogênicos em mananciais de abastecimento, observa-se avanços no que concerne à obtenção de dados desses organismos nos mananciais superficiais, bem como a preocupação do Ministério da Saúde com relação a transmissão das doenças de veiculação hídrica.

Nos Estados Unidos, a Agência de Proteção Ambiental (EPA) é responsável por definir normativas para proteger a água de abastecimento público contra contaminantes de fontes naturais ou antrópicas.

Normas adicionais e recentes, sobre os agentes patogênicos, a *Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule* (SWTR) (LT2ESWTR), de 2006, estabelece níveis de remoção mínimo de oocistos para atender ao risco aceitável de 10^{-4} infecções por pessoa por ano, ao consumir água tratada (USEPA, 2006).

A LT2ESWTR também classifica os sistemas de abastecimento em categoriais que variam em função da concentração média de oocistos na água de captação, resultante do monitoramento de um ou mais anos. Além da classificação, esse documento estabelece a eficiência de remoção dos oocistos em unidades logarítmicas para cada tipo de tratamento de água, sendo que o tratamento do tipo ciclo completo deve apresentar remoção de *Cryptosporidium* spp. de 2,5 log conforme apresentado na Tabela 3 a seguir:

Tabela 3 - Classificação dos sistemas de abastecimento de água em função da concentração média de oocistos de *Cryptosporidium* e tratamentos adicionais requeridos para redução dessas concentrações segundo a LT2ESWTR.

Concentração média de oocistos de *Cryptosporidium*	**Classificação (Bin)**	**Tratamento adicional requerido**	
		Tratamento do tipo ciclo completo, filtração em terra de diatomácea ou filtração lenta	**Filtração direta**
< 0,075 oocisto/L	1	Nenhum tratamento adicional	Nenhum tratamento adicional
≥ 0,075 a < 1,0 oocisto/L	2	Adição de tratamento que remova 1,0 log da concentração de oocistos	Adição de tratamento que remova 1,5 log da concentração de oocistos
≥ 1,0 a < 3,0 oocistos/L	3	Adição de tratamento que remova 2,0 log da concentração de oocistos	Adição de tratamento que remova 2,5 log da concentração de oocistos
≥ 3,0 oocistos/L	4	Adição de tratamento que remova 2,5 log da concentração de oocistos	Adição de tratamento que remova 3,0 log da concentração de oocistos
NA	1	Nenhum tratamento adicional	Nenhum tratamento adicional

NA = Não se aplica

Fonte: Adaptado de USEPA (2006).

2.5 MÉTODOS ANÁLITICOS DE PROTOZOÁRIOS

Segundo a USEPA (2012), os métodos de detecção de detecção de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. em amostras de água abrangem três etapas cruciais: i) Coleta e concentração da amostra através da filtração; ii) Etapa de eluição e separação que permite a recuperação dos (oo)cistos; iii) Visualização e enumeração dos (oo)cistos corados em lâminas.

As metodologias empregadas para o monitoramento da ocorrência dos (oo)cistos em amostras de águas superficiais brutas, água filtrada, tratada e distribuída à população segundo Franco *et al.* (2012b) são: filtração em cartuchos, a filtração em membranas, a floculação em carbonato de cálcio e o Método 1623:1 (USEPA, 2012).

2.5.1 Método de Floculação em Carbonato de Cálcio

O método de floculação em carbonato de cálcio foi desenvolvido por Vesey *et al*. (1993), para concentrar o protozoário *Cryptosporidium* spp. em amostras de 10 L de água bruta, visto que, essa técnica não é recomendada para amostras com baixa turbidez (<1uT), como a água tratada.

A metodologia consiste em submeter a amostra de água à agitação rápida, após a adição 100 ml das soluções de cloreto de cálcio (1M) e bicarbonato de sódio (1M). Em seguida, adiciona-se a solução de hidróxido de sódio (1M) com a finalidade de elevar o pH (10). A seguir, a amostra é submetida ao período de sedimentação (*overnight*), ao final, o sobrenadante é aspirado e o precipitado passa pelo processo de dissolução utilizando 200mL da solução de ácido sulfâmico a 10%. Posteriormente, o sedimento é concentrado por sucessivas centrifugações (3.000 x g; 10 min) até a obtenção de um pellet, o pellet é utilizado para a montagem das lâminas que são examinadas por microscopia de fluorescência.

Na pesquisa desenvolvida por Franco *et al.* (2012b), a eficiência de recuperação da técnica de floculação em carbonato de cálcio foi de 39,9±22,1 cistos e 26,8±5,3 oocistos, ao analisar as amostras de água bruta superficial do Córrego Ressaca em Belo Horizonte (MG) com turbidez média de 14,5 uT. Essa técnica atendeu aos critérios de performance estabelecidos pela USEPA (2012) de 8 - 100±97 para o protozoário *Giardia*.

O não atendimento aos critérios da normativa internacional (USEPA, 2012) referente a taxa de recuperação do protozoário *Cryptosporidium*, pode ser associado as limitações do método, como a deformação nos (oo)cistos devido ao processo de precipitação ocorrer em pH elevado, ao período prolongado de precipitação e à dissolução do sedimento utilizando soluções ácidas, consequentemente, dificulta a visualização do protozoário no microscópio (FRANCO *et al.*, 2012a).

No Brasil, essa técnica tem sido empregada em amostra de água bruta superficiais do Estado de São Paulo (HACHICH *et al.*, 2000) e em água de lavagem de filtro submetidas a recirculação (FREITAS *et al.*, 2010).

2.5.2 Método de Filtração em Membrana

A técnica de Filtração em Membrana adaptada por Franco *et al.* (2001), do procedimento estabelecido por Shepherd e Wyn-Jones (1996), abrange a metodologia a seguir: filtração da amostra de água em membrana de èsteres mistos de celulose com diâmetro de 47 mm, utilizando bomba a vácuo e conjunto porta-filtro; após a filtração, o material é eluído a partir da raspagem da superfície da membrana utilizando a solução de Tween 80 a 0,1%. Em seguida, o material eluído é concentrado por dupla centrifugação (1.050 x g; 10 minutos). A limitação dessa técnica consiste no efeito da turbidez da água, visto que quanto maior a concentração da turbidez, os poros da membrana serão obstruídos mais rapidamente, sendo necessário a troca pois quanto

maior é a turbidez mais rapidamente ocorre a obstrução dos poros da membrana, o que gera a necessidade de trocar as membranas para filtrar todo o volume estipulado para a amostra.

A eficiência de recuperação média relatada na literatura dessa técnica consiste em 43,5±8,3 cistos e 15,3±7,0 oocistos, em amostras de água com turbidez média de 14,5 uT pertencente ao Córrego Ressaca em Belo Horizonte (MG). Verifica-se que apenas a performance de recuperação da *Giardia* spp. atendeu aos intervalos estabelecidos pela USEPA (2012), de 8-100±97.

No Brasil, esse método tem sido empregado em análises da prevalência de protozoários em amostras ambientais diversas, tais como água bruta superficial (Franco *et al.*, 2001; SATO *et al.*, 2013), água bruta e tratada de ETAs públicas (ALMEIDA *et al.*, 2015) e em efluentes de esgoto tratado (MIGLIOLI *et al.*, 2017).

2.5.3 Método 1623:1 (USEPA, 2012)

Para aplicação do Método 1623:1, validado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 2012), pode-se utilizar para filtração das amostras as cápsulas de amostragem Envirochek, sistema Filta-Max e Centrífuga de Fluxo Contínuo Portátil (PCFC).

O procedimento metodológico consiste na filtração das amostras de água, em seguida, realiza-se a eluição com solução tampão e o líquido resultante é submetido a centrifugação (1500 x g por 15 minutos). Na etapa de eluição emprega-se a separação imunomagnética (IMS) que concentra os protozoários por meio de microesferas magnetizadas recobertas com anticorpo monoclonal anti-*Cryptosporidium* e anti-*Giardia*.

Na IMS o líquido resultante é centrifugado durante 60 minutos, no qual as microesferas magnéticas aderem aos protozoários. Em seguida, a suspensão contendo o parasita e microsesferas são inseridas em um imã que possibilita a adesão dos mesmos na parede do tubo de Leighton. Posteriomente, o líquido é descartado e as microsesferas são liberadas do imã. A dissociação das microesferas podem ser realizadas usando a lavagem com ácido (dissociação ácida) ou por aquecimento a 80°C (dissociação térmica). A seguir, os (oo)cistos presentes na amostra resultante são transferidos para o poço da lâmina de imunofluorescência, esses são incubadas com anticorpos direcionados e visualizados por microscopia.

Na pesquisa realizada por Franco *et al.* (2012b), utilizando o sistema Filta-Max, observou-se que a eficiência de recuperação da técnica foi de 41,3±4,0 cistos e 22,0±8,3 oocistos em amostras de água bruta superficial do Baixo Cotia em São Paulo (SP) com turbidez de 17,9 a

18,5 uT. Semelhante à performance das técnicas Floculação em Carbonato de Cálcio e Filtração em Membrana, essa técnica atendeu aos critérios de performance estabelecidos pela USEPA (2012) apenas para o protozoário *Giardia*, mas, no geral, Franco *et al.* (2012b) constatou que a Filta-Max apresentou as melhores taxas de recuperação, por isso é caracterizado como o método de referência internacional.

No Brasil, essa técnica foi utilizada para a avaliação de prozoários na água de reservatórios (LOPES *et al.*, 2011) e na água bruta e de lavagem de filtros (LECHEVALLIER *et al.*, 2000).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, estão descritos os materiais e métodos utilizados para a concretização deste trabalho.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange duas ETAs localizadas no Estado de Goiás. O Estado com extensão territorial de 340.106,492 km², pertence à região Centro-Oeste do país e faz limite com os Estados de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Tocantins, Bahia, Minas Gerais e Distrito Federal. Destaca-se economicamente no setor de serviços com atividades de comércio e imobiliárias, setor industrial e agropecuário com produção de carnes e grãos para exportação (IMB, 2019).

Com relação a variável população censitária total, o Estado de Goiás possui 6.003.788 habitantes (IBGE, 2010) distribuídos em 246 municípios, sendo que 201 apresentam população inferior à 50 mil habitantes (ANA, 2010).

Em relação aos rios, esses alimentam três importantes Regiões Hidrográficas do território goiano, como a região do Paraná, Tocantins-Araguaia e São Francisco (IMB, 2019). As fontes hídricas superficiais são responsáveis pelo abastecimento de 74,39% dos municípios goianos através de sistemas isolados, no entanto, 45,53% requer investimentos para adequação do sistema existente ou identificação de novos mananciais, em decorrência do não atendimento à demanda de água (ANA, 2010).

Do total de sedes urbanas, verifica-se que 226 são geridas pela empresa prestadora de serviços, a Saneamento de Goiás S/A (Saneago), no qual foram selecionadas duas ETAs que operam com a tecnologia de ciclo completo com filtro rápido e realizam a captação de água bruta em mananciais superficiais. A seleção considerou as cinco etapas conforme Fluxograma apresentado na Figura 3 e descritos nos itens subsequentes.

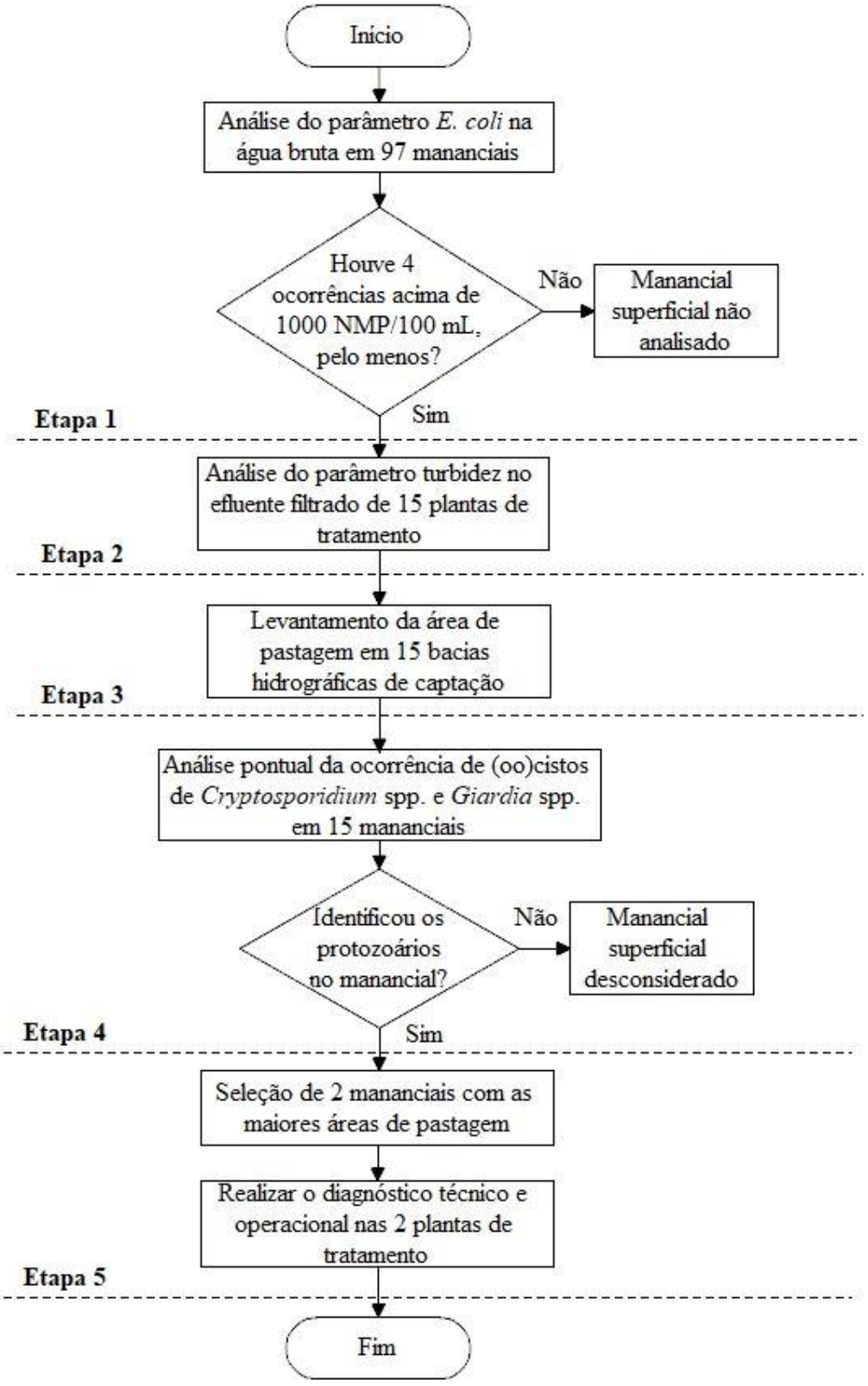


Figura 3 - Fluxograma das etapas de seleção das duas ETAs que operam com a tecnologia de ciclo completo.

3.1.1 Etapa 1 – Análise do parâmetro *Escherichia coli*

Realizou-se a seleção dos mananciais superficiais de captação que apresentaram média geométrica anual de *E. coli* superior à 1000 NMP/100 mL, em pelo menos quatro anos no período de 2009 e 2018, com base nos dados disponibilizados pela Diretoria de Produção da Saneago (Ofício nº 4299/2019). Visto que, de acordo com o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 (BRASIL, 2017), essa variável representa um indicador da ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. nos mananciais de captação.

3.1.2 Etapa 2 – Análise do parâmetro turbidez no efluente filtrado

Analisou-se os dados operacionais de turbidez na água filtrada obtidos junto à Saneago referente ao ano de 2018 (Ofício nº 4299/2019). Visto que, esse parâmetro representa um indicador da prevalência de protozoários no efluente filtrado (BRASIL, 2017).

De acordo com o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 (BRASIL, 2017), o Valor Máximo Permitido (VMP) para efluente de filtração rápida corresponde a 0,5 NTU com percentual de aceitação de 95%, os demais 5% devem ser inferiores ao limite máximo de 1,0 NTU. Vale destacar, que deve-se garantir valores de turbidez menor ou igual a 0,3 NTU na saída dos filtros rápidos, em casos de concentração de oocistos de *Cryptosporidium* spp. maior ou igual a 3,0 oocistos/L na água bruta (BRASIL, 2017).

3.1.3 Etapa 3 – Área de pastagem nas bacias hidrográficas de captação

Os dados de ocupação do solo, relativo a área de pastagem, foram obtidos através do software ArcGIS em conjunto com o banco de dados do MapBiomas - Coleção.3.0 (Projeto MapBiomas, 2018) referente ao ano de 2017.

3.1.4 Etapa 4 – Análise pontual da ocorrências dos protozoários

Com a finalidade de rastrear as concentrações ambientais dos protozoários *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp na água de captação, realizou-se uma coleta pontual de amostra de água bruta em agosto de 2019 (período seco) nos 15 mananciais superficiais contidos na Tabela 4 e ilustrado na Figura 4.

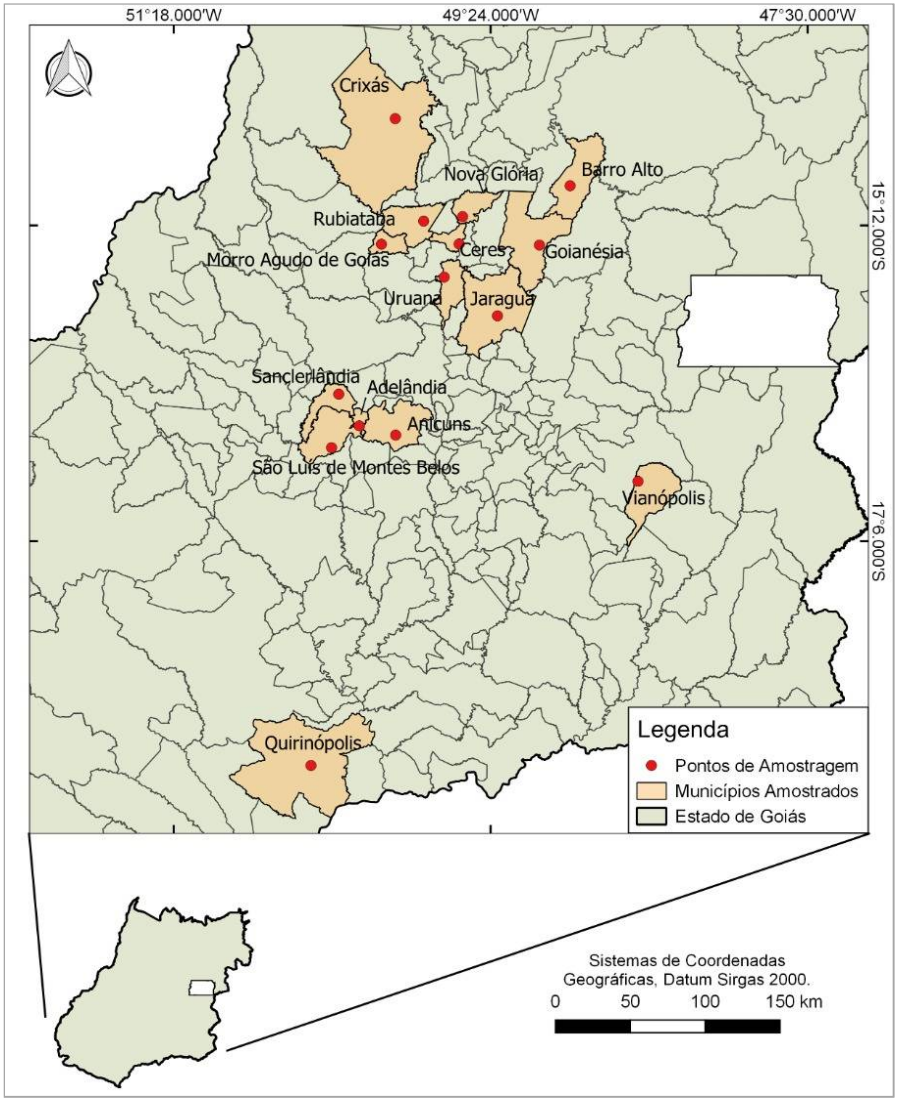


Figura 4 - Localização dos pontos amostrais pertencentes aos 15 mananciais superficiais de abastecimento de água do Estado de Goiás.

Segundo Grott *et al.* (2016) os indicadores bacterianos, tal como *E. coli*, não são correlacionados com a ocorrência dos protozoários. Logo, o monitoramento do manancial para a presença desses protozoários independe das análises de qualidade da água atualmente empregadas nas plantas de tratamento no Brasil, pois o atendimento aos padrões microbiológicos da água tratada estabelecido no Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 (BRASIL, 2017) não são preditivos para a ausência de (oo)cistos viáveis e infecciosos (FRICKER e CRABB, 1988).

3.1.5 Etapa 5 - Diagnóstico Técnico e Operacional das ETAs

As características técnicas e operacionais das ETAs selecionadas foram analisadas por intermédio de uma visita *in loco* para a avaliação das etapas de pré-tratamento, tratamento e desinfecção utilizando a planilha contida no Apêndice A, bem como através da análise do caderno de projetos hidráulicos, memorial de cálculo e descritivo disponibilizados pela Saneago (Ofício nº 16102/2019).

3.2 CAMPANHA DE AMOSTRAGEM

As coletas de água bruta (afluente), na entrada da ETA, e água filtrada (efluente), na saída dos filtros rápidos, foram realizadas em 6 campanhas, sendo três nos meses de setembro e três em dezembro de 2019, que abrange a estação seca e chuvosa, respectivamente.

Optou-se pela coleta da água filtrada ao invés da água tratada, visto que a unidade de filtração corresponde à última barreira física para a redução dos parâmetros indicadores de qualidade da água, com ênfase na remoção de protozoários e microrganismos (USEPA, 2004).

3.2.1 Análises parasitológicas

As análises parasitológicas foram desenvolvidas utilizando o método de Filtração em Membranas (FM) com a aplicação da técnica de Reação de Imunofluorescência Direta (RID) na etapa de preparação das lâminas. Sendo que, não foi analisado a viabilidade dos (oo)cistos.

3.2.1.1 Técnica de concentração por Filtração em Membranas (FM)

As amostras foram coletadas conforme preconizado no Método 1623:1 (USEPA, 2012), utilizando frascos de polipropileno com capacidade de 20 L, previamente higienizados e lavados com detergente, enxaguados com água de torneira, água ultrapura e solução Tween 80 a 0,1%. A filtração das amostras seguiu o protocolo de Franco *et al.* (2001), adaptado do procedimento de Shepherd e Wyn-Jones (1996), volume de amostra processada variou de 250 mL a 2 L, com água bruta, e de 10 L a 20 L, com água filtrada (CANALE, 2014), vale destacar que as amostras de água filtrada foram coletadas na saída do filtro rápido para evitar que a adição de cal para correção de pH e de produtos de desinfecção ocasionassem a obstrução dos poros da membrana.

O método FM abrange as etapas a seguir: i) concentração dos protozoários por intermédio da filtração de amostras a granel em membranas de ésteres mistos de celulose (Millipore®) (Figura 5A); ii) eluição para a recuperação dos (oo)cistos (Figura 5B); iii) Centrifugação e concentração do material resultante da eluição (Figura 5C); iv) Preparação da lâmina pela técnica de Reação de Imunofluorescência Direta (RID) empregando o *Kit* Merifluor® (Meridian Bioscience Diagnostics, Cincinnatti, EUA) (Figura 5D); v) Leitura das lâminas.

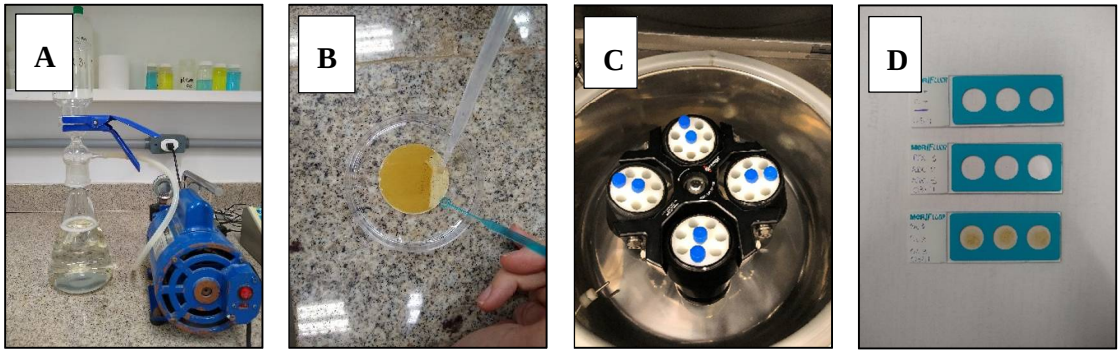


Figura 5 – Etapas do método de Filtração em Membrana (FM): concentração dos protozoários através da filtração da amostra (A); Eluição da membrana (B); Centrifugação (C); Montagem das lâminas (D).

Na etapa de concentração dos protozoários, utilizou-se o sistema de bomba a vácuo modelo Pump 37 (EXIPUMP) e o conjunto porta-filtro, com pressão 535 mmHg, para filtração de cada amostra em membranas de ésteres mistos de celulose (Millipore®), com diâmetro de 47 mm e porosidade nominal de 3,0 µm (água bruta) e 1,2 µm (água filtrada).

Posteriormente, as membranas foram retiradas com o auxílio de uma pinça metálica e transferida para uma placa *Petri* esterilizadas contendo, aproximadamente, 2 mL de solução de eluição.

Na etapa de eluição, para recuperação dos (oo)cistos presentes na amostra, promoveu-se a raspagem e lavagem do material retido na membrana. A raspagem foi realizada utilizando uma alça plástica macia do *kit* Merifluor®, durante 10 a 15 minutos, para desprendimento do material retido, seguida de lavagem manual com solução de eluição (Tween 80 a 0,1%).

A lavagem manual foi realizada com auxílio de uma pipeta *Pasteur* de plástico de 3 mL, adicionando pequenos volumes (1 mL) da solução de eluição aquecida (37 a 45ºC), em seguida, executou-se a homogeneização da solução sobre a placa e o material eluído foi transferido para os tubos de centrífuga até a marcação de 12 mL.

Na etapa de centrifugação e concentração, o material resultante foi submetido ao processo de dupla centrifugação por 15 minutos (1500 x g) conforme preconizado no USEPA (2012), com o auxílio da Centrífuga Excelsa® 4 (Modelo 280-R) devidamente balanceada, com temperatura controlada de 23,9 °C. Destaca-se que a força de rotação foi superior à adotada pela metodologia de Franco *et al.* (2001) que corresponde a 1050 x g por 10 minutos.

Após a primeira centrifugação, o sobrenadante foi aspirado com cuidado, evitando a aspiração de (oo)cistos, deixando aproximadamente 2 mL do sedimento no tubo. Em seguida, o sedimento era completamente ressuspenso utilizando o equipamento vórtex modelo Vx – 28 - Bivolt (Warmnest). Os tubos de centrífuga foram completados com água ultrapura (Milli-Q®) até o volume de 12 mL e submetidos a uma nova centrifugação com a mesma rotação e tempo.

O sobrenadante da segunda centrifugação foi descartado, obtendo-se assim o sedimento ou pellet final de aproximadamente 0,5 mL, em seguida, realizou-se a homogeneização no vórtex e o sedimento resultante foi transferido para o tubo eppendorf (1,5 mL), em casos de sedimento muitos densos, utilizou-se uma alça plástica para desprendimento do *pellet.*

Esse sedimento resultante foi submetido à etapa de preparação das lâminas pela técnica de Reação de Imunofluorescência Direta (RID) para visualização e detecção simultânea dos (oo)cistos, sendo que empregou-se o *Kit* Merifluor® (Meridian Bioscience Diagnostics, Cincinnatti, EUA) conforme as orientações do fabricante. Os reagentes de detecção do *kit* contêm mistura de anticorpos monoclonais marcados com o fluorocromo FICT direcionados contra antígenos de (oo)cistos.

As alíquotas constituídas de 10 μL foram aplicadas no poço da lâmina, sendo que, por padronização, as amostra de água bruta e filtrada foram analisadas em triplicata e duplicata, respectivamente. Após a secagem das amostras na lâmina por um período de 1 h, fixou-se com 1 gota de metanol absoluto em cada poço para cobrir o esfregaço por 10 minutos.

Em seguida, adicionou-se uma gota do reagente de detecção contendo anticorpo monoclonal anti-*Cryptosporidium* e anti-*Giardia* marcado com fluoresceína e do contra-reagente, posteriormente, as lâminas foram mantidas em câmara úmida, protegidas da luz, por 30 minutos, à temperatura ambiente. Ao findar a coloração dos poços, retirou-se o excesso dos reagentes por intermédio da lavagem de cada poço com solução tampão diluída 1:20, após secagem, aplicou-se 1 gota do meio de montagem contendo glicerina em cada poço e cobriu com uma lamínula.

A etapa de leitura das lâminas foi realizada empregando o Microscópio Axio Imager.M2 (Zeiss) com filtros apropriados para epifluorescência (filtro de excitação: 450-490 nm; filtro de barreira: 520 nm), localizado no Centro de Referência em Oftalmologia (Cerof) do Hospital das Clínicas (HC) da Universidade Federal de Goiás (UFG). Utilizou-se a ampliação de 400x para a detecção e enumeração dos (oo)cistos.

Os critérios para a identificação de (oo)cistos utilizando a técnica RID/FA foram a fluorescência definida pela cor verde-maçã brilhante; ausência de poros ou apêndices; tamanho de 8-18 μm de comprimento, 5 -15 μm de largura e formato oval para cistos de *Giardia* spp.; tamanho de 4 - 6 μm de diâmetro, formato esférico e presença (não obrigatória) de sutura para os oocistos de *Cryptosporidium* spp. (CANTUSIO NETO, 2008; USEPA, 2012), conforme ilustrados na Figura 6.

Após a enumeração dos (oo)cistos presentes nas amostras, os resultados foram expressos em (oo)cistos/L de acordo com a Equação (1) descrita por Cantusio Neto e Franco (2004) e calculou-se a eficiência de remoção dos protozoários nas ETAs conforme apresentado na Equação (2):

$$CP = \frac{\text{Nº de (oo)cistos visualizados}}{\text{Volume de sedimento analisado (μL)}} x \frac{\text{Volume de sedimento obtido (μL)}}{\text{Volume filtrado da amostra (L)}} \quad (1)$$

Em que:

CP=Concentração de protozoários ((oo)cistos/L).

$$\text{Eficiência de remoção}(\%) = \frac{(\text{CP na água bruta} - \text{CP na água filtrada})}{\text{CP na água bruta}} \quad (2)$$

As amostras foram processadas considerando os prazos máximos estabelecidos pela USEPA (2012), sendo de 96 horas entre a etapa de coleta das amostras e o início da eluição; 1 dia para realização do processo de eluição, centrifugação e concentração, aplicação nas lâminas e secagem; 72 horas entre a fase de secagem das lâminas e coloração das mesmas; e por fim, 7 dias para a visualização dos (oo)cistos. O procedimento analítico foi realizado no Laboratório de Análises de Águas (LAnA) da Escola de Engenharia Civil e Ambiental (EECA) da Universidade Federal de Goiás (UFG).

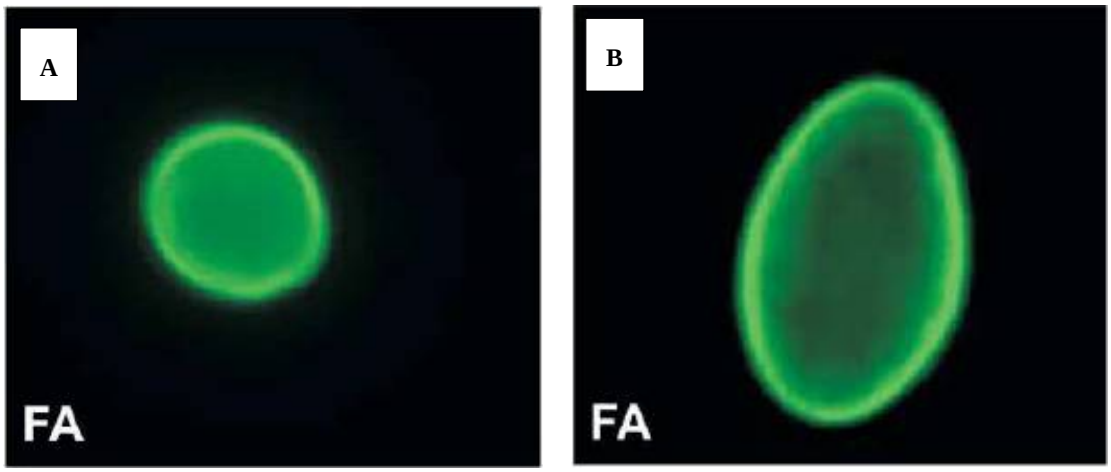


Figura 6 - Critérios de visualização microscópica do oocisto de *Cryptosporidium* spp. (A) e *Giardia* spp. (B) utilizando a técnica RID/FA.

Fonte: USEPA (2012).

3.2.1.2 Controle de qualidade analítica

Para verificação da confiabilidade e sensibilidade do método empregado quanto a recuperação de (oo)cistos foi realizado o controle de qualidade analítica. No controle positivo, examinou-se a taxa de recuperação em triplicata com 2 L de água ultrapura (Milli-Q®), para a verificação da precisão e recuperação inicial, e com 1 L de água bruta *in natura* do Ribeirão Santana localizado em São Luís de Montes Belos, para a análise da precisão e recuperação continuada.

Para a contaminação das amostras, utilizou-se 10 µL do inóculo de protozoários do *Kit* Merifluor®, diluído na proporção de 1:10, sendo que a concentração média de protozoários foi quantificada em duas alíquotas de 10 µL do inóculo.

A eficiência de recuperação foi determinada pela Equação (3) (USEPA, 2012):

$$R = \frac{N}{T} x\, 100 \qquad (3)$$

Em que:

R = eficiência de recuperação (%);

N = nº de cistos e oocistos recuperados;

T = nº de cistos e oocistos inoculados;

No controle negativo, avaliou-se uma possível contaminação durante as etapas de análises, então, após o procedimento de concentração de uma amostra de água bruta, realizou-se o processamento de 1 L de água ultrapura (Milli-Q®), em duplicada. Na etapa de controle negativo deve apresentar ausência de cistos/oocistos (CANTUSIO NETO, 2008).

A partir dos dados obtidos, calculou-se: i) a média da porcentagem de recuperação dos (oo)cistos em relação ao número inoculado (Equação (3)); ii) o Desvio Padrão (DP); e iii) o Coeficiente de Variação (CV) das análises. Os resultados foram correlacionados com os padrões estabelecidos pelo Método 1623:1 (USEPA, 2012).

3.2.1.3 Determinação do Limite de Detecção (LD)

O Limite de Detecção (LD), consiste no número mínimo de organismos recuperáveis em um volume de amostra analisado (ONGERTH, 2013), sendo que esse parâmetro varia em função do volume de amostra de água processada, do volume total de pellet e do volume das alíquotas examinadas nas lâminas.

Para o desenvolvimento do cálculo, utiliza-se a Equação (4) (CANTUSIO NETO, 2008):

$$LD = \frac{1}{\text{Volume de sedimento analisado } (\mu L)} x \frac{\text{Volume de sedimento obtido } (\mu L)}{\text{Volume filtrado da amostra } (L)} \qquad (4)$$

3.3 MONITORAMENTO DA CARREIRA DE FILTRAÇÃO

Para a avaliação da carreira de filtração e a aferição do desempenho do filtro rápido, que corresponde à última barreira física da tecnologia do tipo ciclo completo, mediu-se continuamente a turbidez na água filtrada utilizando o equipamento Turbidímetro HACH® a Laser de Baixa Faixa (modelo TU5300 sc) em conjunto com o controlador HACH® (modelo SC200).

As medições da turbidez foram realizadas por um período mínimo de 4 dias, com registros a cada 5 minutos, em prol de analisar o impacto das características do meio filtrante e da variação da taxa de filtração, de acordo com o protocolo desenvolvido por Dugan *et al.* (2001).

Na ETA I, o monitoramento contínuo da turbidez foi realizado no filtro com pior desempenho, em função da análise prévia da turbidez na água decantada, visto que a maior concentração de material particulado remanescentes (turbidez) dos decantadores caracterizam o cenário mais

crítico. As análises foram realizadas entre os dias 15 e 22 de setembro e 15 e 19 de dezembro, relativo à estação de estiagem e chuvosa, respectivamente.

Na ETA II, realizou-se o monitoramento da turbidez no efluente combinado do filtro, devido as características construtivas e conforme recomendado pelo USEPA (2004). O período de análise foi entre 07 e 15 de setembro e 8 e 15 de dezembro, referente à estação de estiagem e chuvosa, respectivamente.

3.4 BALANÇO DE MASSA

As múltiplas barreiras de proteção que compõem o tratamento do tipo ciclo completo são processos independentes, em que a falha eventual em uma das etapas, pode ser absorvida pelas barreiras subsequentes. Com isso, realizou-se o diagnóstico das etapas de tratamento das ETAs pelo método de balanço de massa, com frequência quinzenal, nos meses de setembro e dezembro de 2019.

Os pontos de amostragem são: água bruta na entrada da ETA (P1) e efluente na saída da unidade de filtração rápida (P2), uma vez que foram as amostras submetidas às análises parasitológicas.

Os parâmetros físico-químicos monitorados foram turbidez (T), cor aparente (CA), cor verdadeira (CV), pH e temperatura da água (TA) conforme preconizado pelo *Standart Methods* (APHA; AWWA; WEF, 2012). Para isso, coletou-se 1 L de água em frascos de polipropileno higienizados conforme o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB, 2011).

Os parâmetros microbiológicos analisados foram os coliformes totais (CT) e *E. coli* utilizando o Método 9223 através do substrato cromogênico, empregando o *Kit* Colilert (IDEXX) para a determinação do Número Mais Provável (NMP) (APHA; AWWA; WEF, 2012). Utilizou-se frascos de polipropileno estéreis de 250 mL para a realização das coletas.

3.5 CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FILTRANTE

A tecnologia de tratamento de água do tipo ciclo completo contempla um sistema constituído de múltiplas barreiras, o qual a unidade de filtração corresponde à última barreira física para a redução dos parâmetros indicadores de qualidade da água, com ênfase na variável turbidez e na remoção de protozoários e microrganismos presentes na água afluente ao filtro rápido (USEPA, 2004).

Diante da importância da unidade de filtração nas ETAs do tipo ciclo completo, verificou-se a necessidade de realizar a caracterização granulométrica do meio filtrante.

A coleta da camada filtrante foi realizada somente no mês de novembro de 2019, considerando que não há modificação do meio filtrante em decorrência das alterações sazonais da qualidade da água. As coletas foram realizadas na unidade de filtração rápida submetida à análise parasitológica.

A coleta do material filtrante contemplando todo o perfil transversal do leito do filtro rápido foi realizada com o auxílio de um tubo PVC esgoto série normal com diâmetro de 50 mm para delimitação da área e o Aspirador de pó e líquido profissional com reservatório em inox da marca Karcher, modelo NT 38/1 Me Classic com potência de 1500 W responsável pela sucção do material, conforme ilustrado na Figura 7.

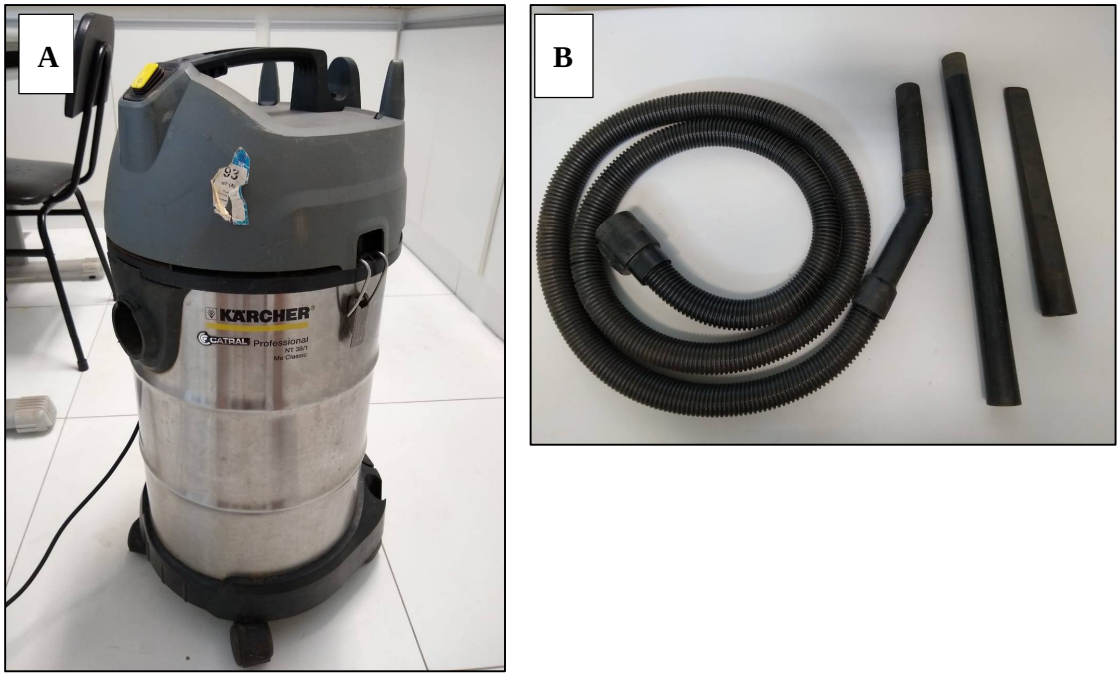


Figura 7 - Aspirador de pó e líquido profissional marca Karcher, modelo NT 38/1 Me Classic, o reservatório em inox (A) e os acessórios como a mangueira de sucção, tubo de sucção e bicos (B).

Em seguida, realizou-se o acondicionamento do material filtrante em sacos plásticos para posterior análise no Laboratório de Mecânica dos solos do Instituto Federal de Goiás (IFG) – Câmpus Jataí.

A metodologia de preparação das amostras para os ensaios de caracterização foi preconizada pela NBR 6457 (ABNT, 2016) e abrange as etapas a seguir: i) preparação da amostra com

secagem prévia; ii) desmanche dos torrões utilizando almofariz (Figura 8A); iii) passagem do material na peneira com abertura de 76 mm; iv) pesagem de 1 kg de amostras para grãos menores que 5 mm (Figura 8B); v) determinação do teor de umidade com 30 g de material, em média, à temperatura de 105 ºC a 110 ºC (Figura 8C).

Os procedimentos utilizados no peneiramento grosso e fino foram estabelecidos pela NBR 7181 (ABNT, 2017) seguindo as etapas: i) pesagem de 1 kg da amostra seca ao ar; ii) passar o material na peneira 2 mm; iii) lavar o material retido na peneira 2 mm, secar em estufa à 105 ºC e realizar a pesagem do material seco em estufa; iv) peneiramento grosso com agitação mecânica; v) lavar o material passante na peneira 0,075 mm, secar em estufa à 105 ºC e pesar a massa final; vi) peneiramento fino com agitação mecânica.

Ao findar a realização dos ensaios em laboratório, realizou-se a plotagem da curva característica de análise granulométrica para obtenção dos parâmetros: Tamanho Efetivo (T_{ef}) e Coeficiente de Uniformidade (C_u).

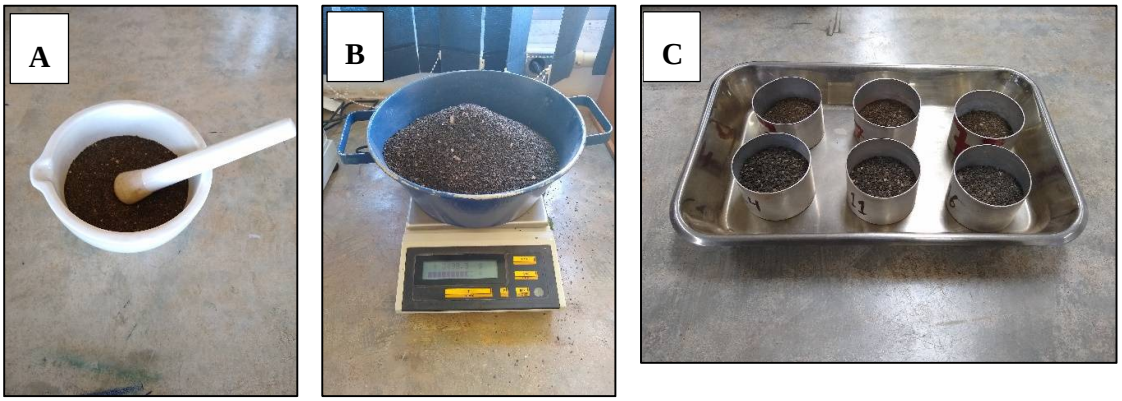


Figura 8 - Etapas de preparação para os ensaios de caracterização, contendo o desmanche dos torrões (A); pesagem de 1 kg da amostra (B) e determinação da umidade no solo (C).

O parâmetro tamanho efetivo representa a abertura da peneira em mm que deixa passar 10% do peso total da amostra conforme Equação (5), e o coeficiente de uniformidade refere-se ao diâmetro da peneira em mm, através do qual passam 60% do peso total da amostra com relação ao tamanho efetivo, conforme Equação (6)*:*

$$\text{Tamanho efetivo } (T_{ef}) = d_{10} \quad (5)$$

$$\text{Coeficiente de uniformidade } (C_u) = \frac{d60}{d10} \quad (6)$$

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Os resultados do monitoramento dos protozoários patogênicos nas amostras de água bruta e filtrada das ETAs foram analisados utilizando estatística descritiva: média aritmética, desvio padrão (DP) e valores máximos e mínimos, sendo que em caso de resultados nulos, acrescentou-se o valor 1. Enquanto que a variação sazonal da concentração dos protozoários foi analisada aplicando o teste ANOVA de fator único.

Para a análise da existência de correlação entre as concentrações de oocistos de *Cryptosporidium* spp., cistos de *Giardia* spp., variáveis físico-químicas e microbiológicas, bem como com a área de pastagem na bacia hidrográfica foi aplicado o teste não-paramétrico de coeficiente de correlação de Spearman (r) utilizado o software Excel 2016.

Em todas as análises estatísticas realizadas, o nível de significância utilizado foi de $p<0,05$ (95%).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, os resultados parciais serão descritos, bem como as discussões inerentes aos mesmos.

4.1 SELEÇÃO DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Dentre os 97 mananciais superficiais destinados ao tratamento com a tecnologia do tipo ciclo completo contidos na Tabela 22 (Apêndice B), selecionou-se 15 mananciais em função da ocorrência de *E. coli* na água bruta (frequência, amplitude), conforme apresentado na Tabela 4, relativo a Etapa 1.

Tabela 4 – Ocorrência de *E. coli* no período de 2009 a 2018 (frequência e amplitude) nos mananciais superficiais de captação do Estado de Goiás.

Município	**Manancial superficial de captação**	***E. coli* (NMP/100 mL) (mínimo - máximo)**	***E. coli* ≥ 1000 NMP/100 mL**
Adelândia	Córrego São Manoel	211 - 3890	6
Anicuns	Córrego Boa Esperança	8 - 2295	4
Barro Alto	Córrego Barro Alto	974 - 4685	**7**
Ceres	Rio das Almas	157 - 6432	5
Crixás	Córrego Forquilha	48 - 2727	6
Goianésia	Córrego Anda Só	284 - 5291	6
Jaraguá	Rio Pari	282 - 6429	6
Morro Agudo de Goiás	Córrego Olho D'água	630 - 4770	**8**
Nova Glória	Córrego Jatobá	473 - 9289	5
Quirinópolis	Ribeirão das Pedras	39 - 2003	5
Rubiataba	Rio Novo	498 - 6125	5
Sanclerlândia	Ribeirão Cerrado	**337 - 10089**	**7**
São Luís de Montes Belos	Ribeirão Santana	**366 - 10669**	5
Uruana	Rio Uru	187 - 4351	5
Vianópolis	Córrego Dirceu	Ausência - 4133	4

Verifica-se que o parâmetro microbiológico *E. coli,* segundo o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 (BRASIL, 2017), é um indicador da ocorrência de (oo)cistos de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. em recursos hídricos, entretanto, os autores Grott *et al.* (2016) e Bastos *et al.* (2004) não constataram correlação significativa entre a prevalência desses

organismos, ao analisarem águas de mananciais superficiais de Santa Catarina e Minas Gerais, respectivamente.

A ausência de correlação estatística, segundo Horman *et al*. (2004), pode ser associada, em partes, ao tempo de sobrevivência de casa espécie no meio ambiente aquático, visto que, o *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. podem sobreviver por vários meses.

Na Tabela 4, a presença da bactéria *E. coli* foi identificada em todos os pontos amostrais, com valores máximos de 1,0 x 10^4 NMP/100 mL no Ribeirão Cerrado e Santana, esse parâmetro é um indicador de contaminação fecal, ou seja, de dejetos humanos ou de animais de sangue quente (PONATH *et al.*, 2016).

A maior frequência da média geométrica de *E. coli* superior à 1000 NMP/100 mL foi identificada no Córrego Olho D'água, com 8 ocorrência e intervalo de variação entre 630 e 4770 NMP/100 mL, seguida do Córrego Barro Alto e Ribeirão Cerrado com 7 ocorrências que variaram de 8 a 2295 NMP/100 mL e 337 a 10089 NMP/100 mL, respectivamente.

No Ribeirão Cerrado, o parâmetro *E. coli* sofreu uma redução na concentração a partir do ano de 2016, justificável pela implementação do Projeto de Recuperação Ambiental e Produtiva do Ribeirão Cerrado desenvolvido pela Agência Goiana de Assistência Técnica, Extensão Rural e Pesquisa Agropecuária (Emater), em parceria com o Ministério Público de Goiás (MP), Saneago e prefeitura municipal (SANTOS; ARAUJO; SOUZA, 2016).

O percentual de turbidez no efluente filtrado, das 15 plantas de tratamento, foi analisado nos intervalos contidos na Figura 9, relativo a Etapa 2.

Na Figura 9, verifica-se que a ETA localizada em Sanclerlândia apresentou dados alarmantes relacionados à turbidez na água filtrada, sendo que 100% das medições apresentaram valores superiores a 0,5 NTU na saída dos filtros rápidos, em desacordo com o recomendado pela Portaria de Consolidação nº 5 (BRASIL, 2017), em seu Anexo XX.

As plantas de tratamento dos município de Adelândia e São Luís dos Montes Belos também apresentaram desempenho insatisfatório, visto que 79% e 68% dos resultados superaram o limite de 0,5 NTU, respectivamente, enquanto que, em São Luís dos Montes Belos 2% ultrapassaram o limite máximo de 1,0 NTU.

Pode-se constatar que todas as estações apresentaram baixo desempenho de tratamento, quanto ao valor estabelecido na Portaria. Dugan *et al.* (2001) ao analisar a eficiência de remoção em escala piloto de uma planta com tratamento do tipo ciclo completo, verificou que a remoção de

turbidez foi correlacionada positivamente com a remoção de *Cryptosporidium* spp. em amostras de água bruta e filtrada, sendo que o aumento da turbidez no efluente filtrado promoveu a redução da eficiência de remoção de oocistos. Indicando assim, o risco de ocorrência de surtos de cryptosporidiose nas populações locais.

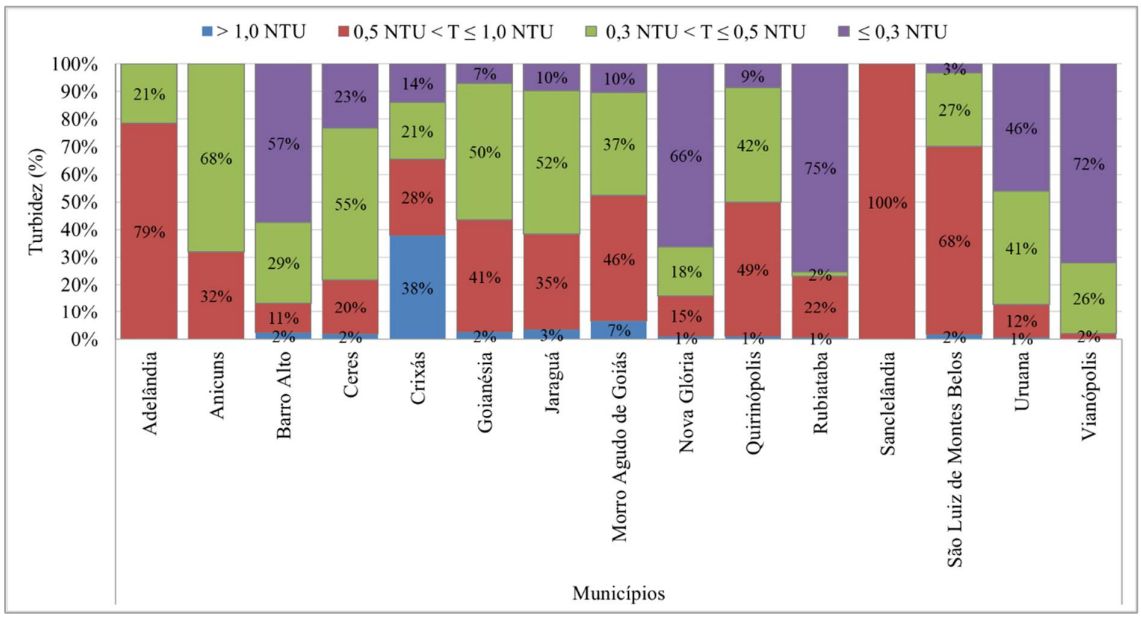


Figura 9 - Percentual de turbidez da água filtrada, referente ao ano de 2018, nos mananciais superficiais de captação.

Os dados da área de pastagem foram apresentados na Tabela 5, relativo a Etapa 3.

Na Tabela 5, observa-se o maior percentual da área de pastagem no Ribeirão Cerrado com 79,33%, seguido do Ribeirão Santana com 78,46% e Córrego São Manoel com 71,60%. A predominância de pastagens pode indicar a extensão da fonte de contaminação a montante do ponto de captação (ADAMSKA, 2015). Visto que, o acúmulo de resíduos bovinos promovem um risco de contaminação da água, conforme verificado pelos autores Baqer *et al.* (2018) que constataram a prevalência de oocistos de *Cryptosporidium* spp. na potável através de vazamentos na rede de distribuição, na região da capital Bagdá no Iraque.

O menor percentual de pasto foi identificado no Córrego Jatobá com 24,16%, seguido do Córrego Forquilha com 34,73% e do Córrego Dirceu com 35,95%. A relação estrita entre as características de uso do solo com a qualidade da água foi comprovada por Ribolzi *et al.* (2011), no qual contataram o impacto das áreas agrícolas, especificamente, no processo de erosão do solo e comprometimento da qualidade da água do manancial.

Tabela 5 – Percentual da área de pastagem, bem como a área total da bacia e de pastagem (Km²) dos 15 mananciais superficiais de captação.

Município	Manancial superficial de captação	Área total da bacia (Km²)	Área de pastagem (Km²)	Área de pastagem (%)
Adelândia	Córrego São Manoel	132,21	94,67	71,60
Anicuns	Córrego Boa Esperança	28,25	18,88	66,83
Barro Alto	Córrego Barro Alto	33,81	13,83	40,90
Ceres	Rio das Almas	10984,58	5737,11	52,23
Crixás	Córrego Forquilha	12,58	4,37	34,73
Goianésia	Córrego Anda Só	91,22	47,28	51,83
Jaraguá	Rio Pari	986,04	603,22	61,18
Morro Agudo de Goiás	Córrego Olho D'água	26,64	17,86	67,05
Nova Glória	Córrego Jatobá	18,29	4,42	24,16
Quirinópolis	Ribeirão das Pedras	216,10	98,51	45,59
Rubiataba	Rio Novo	217,81	133,10	61,11
Sanclerlândia	Ribeirão Cerrado	42,80	33,96	**79,33**
São Luís de Montes Belos	Ribeirão Santana	29,32	23,00	**78,46**
Uruana	Rio Uru	3836,37	1920,88	50,07
Vianópolis	Córrego Dirceu	14,93	5,37	35,95

A Tabela 6 apresenta os resultados do teste de correlação de Spearman. O patógeno *Cryptosporidium* spp. foi associado positivamente com a área de pastagem (p=0,0461), de forma significativa, indicando assim, o risco de ocorrência de surtos de cryptosporiose nos municípios que realizam a adução de água em mananciais superficiais com alto percentual de área de pastagem, como o Córrego São Manoel (71,60%), Córrego Cerrado (79,33%) e Córrego Santana (78,46%). Logo, selecionou-se os cursos d'água com maior predomínio de pastagem (Córrego Cerrado e Santana) para o monitoramento periódico das ETAs, quanto a ocorrência dos protozoários,visto que as características de uso do solo das bacias hidrográficas de captação influenciam na qualidade parasitológica da água bruta (DIAS *et al.*, 2008).

Tabela 6 – Aplicação do coeficiente de correlação de Spearman (r) entre *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp., com a área de pastagem.

Variável	***Cryptosporidium*** spp.		***Giardia*** spp.	
	r	**p**	**r**	**p**
Área de pastagem	0,5521	0,0461*	0,4170	0,1277

* Quando o valor de p <0,05, considera-se a correlação estatisticamente significante.

Uma vez que o monitoramento da qualidade da água bruta utilizando apenas os indicadores (*E. coli*) não é suficiente para avaliar a ocorrência de patógenos específicos (HORMAN *et al.*, 2004), justifica-se a avaliação da ocorrência de patógenos nos cursos d'água. Os resultados da

Etapa 4 são apresentados na Tabela 7. Nesse cenário, verifica-se que os (oo)cistos estão distribuídos no meio ambiente aquático do Estado de Goiás, sugerindo risco potencial a saúde pública da população.

Tabela 7 – Concentração de *Cryptosporidium* spp., *Giardia* spp., turbidez e pH da água bruta dos 15 mananciais superficiais destinados ao abastecimento público.

Município	**Manancial de captação superficial**	**Turbidez (NTU)**	**pH**	***Giardia*** spp. **(cistos/L)**	***Cryptosporidium*** spp. **(oocistos/L)**
Adelândia	Córrego São Manoel	6,80	7,89	66,67	208,33
Anicuns	Córrego Boa Esperança	6,86	7,94	100,00	175,00
Barro Alto	Córrego Barro Alto	7,47	7,71	<LD	58,33
Ceres	Rio das Almas	4,84	7,84	58,33	66,67
Crixás	Córrego Forquilha	2,11	7,80	16,67	62,50
Goianésia	Córrego Anda Só	11,90	7,65	16,67	108,33
Jaraguá	Rio Pari	7,38	8,01	<LD	8,33
Morro Agudo de Goiás	Córrego Olho D'água	16,30	7,43	**116,67**	**250,00**
Nova Glória	Córrego Jatobá	2,44	7,27	8,33	16,67
Quirinópolis	Ribeirão das Pedras	5,98	7,85	116,67	133,33
Rubiataba	Rio Novo	4,99	7,80	50,00	66,67
Sanclerlândia	Ribeirão Cerrado	7,19	7,88	58,33	216,67
São Luís de Montes Belos	Ribeirão Santana	12,40	7,83	66,67	66,67
Uruanã	Rio Uru	2,64	7,74	79,17	54,17
Vianópolis	Córrego Dirceu	5,93	7,74	58,33	108,33

<LD: menor que o limite de detecção;

Na Tabela 7, observa-se que todas as amostras foram positivas para oocistos de *Cryptosporidium* spp. e 86,66% (13/15) para cistos de *Giardia* spp. As taxas de detenção não foram comparadas com outras investigações, visto que o período de monitoramento, número de amostras analisadas em cada ponto e as técnicas utilizadas afetam consideravelmente essa variável, segundo Imre *et al.* (2017). As imagens dos protozoários *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp., isolados das amostras do Ribeirão Cerrado, foram obtidas utilizando o Software ZEN life associado ao Microscópio Axio Imager.M2 (Zeiss) e podem ser visualizados na Figura 10.

O Córrego Olho D'água, com 8 ocorrências do indicador *E. coli* superior à 1000 NMP/100 mL (Tabela 4) e predominância da área de pastagem em 67,05% (Tabela 5), apresentou os valores máximos de concentração de 250 oocistos/L e 116,67 cistos/L, quanto a turbidez foi de 16,30 NTU. Essas concentrações foram notavelmente superiores à concentração máxima de 75 cistos/L e 19,2 oocistos/L relatada na água bruta aduzida do Rio Corumbataí em Piracicaba (SP) (CANALE, 2014) e à concentração máxima de 35,8 cistos/L na água bruta do Rio Atibaia em Campinas (SP) (CANTUSIO NETO, 2008). Uma vez que os trabalhos analisados não

forneceram dados de uso e ocupação do solo, constata-se que a maior prevalência dos protozoários nas bacias em estudo é vinculada às características de uso do solo, principalmente, pastagem.

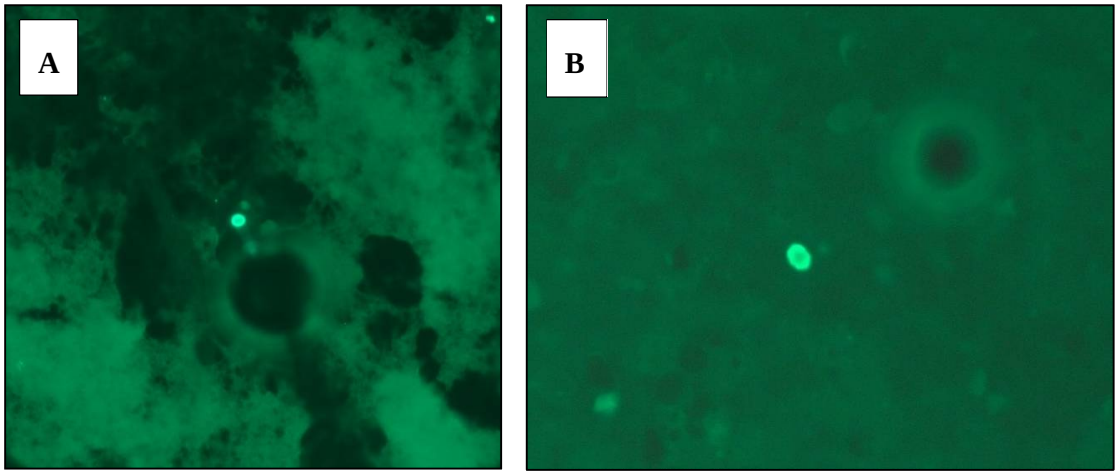


Figura 10 - Oocisto de *Cryptosporidium* spp. (A) e cisto de *Giardia* spp. (B) identificados em amostras de campo.

A maior ocorrência de *Giardia* spp. (116,7 cistos/L) também foi detectada no Ribeirão das Pedras, com 45,59% de área de pastagem (Tabela 5) e 5 ocorrências de *E. coli* acima do recomendado (Tabela 8).

Os mananciais Córrego Barro Alto e Rio Pari apresentaram concentrações de cistos de *Giardia* spp. inferiores ao Limite de Detecção (LD) e de oocistos de *Cryptosporidium* spp. foi de 58,3 e 8,3 oocistos/L, respectivamente. Verifica-se que a bacia hidrográfica do Rio Pari com área de pastagem maior (61,18%) que a área do Córrego Barro Alto (40,90%) (Tabela 5), e 6 ocorrências de *E. coli*, apresentou a menor concentração de *Cryptosporidium* spp. dentre os mananciais investigados (8,33 oocistos/L), ainda assim, há risco à saúde humana, pois a dose infecciosa corresponde à pelo menos um oocisto (STEINER *et al.*, 1997; KARANIS, 2011).

O Córrego Jatobá, com a menor área de pastagem (24,16%) (Tabela 5) e 5 cargas de *E. coli* superior ao estabelecido pela normativa (Tabela 4), detectou as concentrações de 16,7 oocistos/L de *Cryptosporidium* spp. e 8,3 cistos/L de *Giardia* spp, quando a turbidez foi de 2,44 NTU. Indicando que as características de ocupação do solo influenciaram a qualidade parasitológica da água bruta positivamente

O Ribeirão Cerrado apresentou prevalência de 58,33 cistos/L e 216,67 oocistos/L, essa concentração de protozoários foi superior à identificada no Ribeirão Santana, devido com à

maior ocorrência de área de pastagem (79,33%) que a área do Ribeirão Santana (78,46%) (Tabela 5).

A Tabela 8 apresenta os LD das amostras processadas utilizando o método empregado. Verifica-se que o Córrego Olho D'Água apresentou o maior volume de pellet (1000 µL), devido a turbidez na água bruta de 16,30 NTU que aumenta a concentração de material particulado, dificulta a visualização dos organismos e amplia o valor de LD. Enquanto que, o menor volume de pellet de 250 µL, foram identificados nos mananciais com menor valor do parâmetro turbidez, como Córrego Forquilha (2,11 NTU), Córrego Jatobá (2,44 NTU) e Rio Uru (2,64 NTU).

Tabela 8 - Limite de Detecção ((oo)cistos/L) da técnica de análise de protozoários em função do volume de amostra concentrado, volume final do pellet e volume do pellet analisado (nº de alíquotas de 10µL) – campanha piloto.

Manancial de captação superficial	Turbidez (NTU)	Volume de amostra concretado (mL)	Volume final do pellet (µL)	Volume do pellet analisado (µL) – (nº de alíquotas)	LD ((oo)cistos/L)
Córrego São Manoel	6,80	2000	500	30 (3 alíq.)	8,33
Córrego Boa Esperança	6,86	2000	500	30 (3 alíq.)	8,33
Córrego Barro Alto	7,47	2000	500	30 (3 alíq.)	8,33
Rio das Almas	4,84	2000	500	30 (3 alíq.)	8,33
Córrego Forquilha	2,11	2000	250	30 (3 alíq.)	4,17
Córrego Anda Só	11,90	2000	500	30 (3 alíq.)	8,33
Rio Pari	7,38	2000	500	30 (3 alíq.)	8,33
Córrego Olho D'água	16,30	2000	1000	30 (3 alíq.)	16,67
Córrego Jatobá	2,44	2000	250	30 (3 alíq.)	4,17
Ribeirão das Pedras	5,98	2000	500	30 (3 alíq.)	8,33
Rio Novo	4,99	2000	500	30 (3 alíq.)	8,33
Ribeirão Cerrado	7,19	2000	500	30 (3 alíq.)	8,33
Ribeirão Santana	12,40	2000	500	30 (3 alíq.)	8,33
Rio Uru	2,64	2000	250	30 (3 alíq.)	4,17
Córrego Dirceu	5,93	2000	500	30 (3 alíq.)	8,33

O intervalo de variação dos parâmetros físicos, turbidez e pH, foram 2,11 – 16,30 NTU e 7,27 – 8,01, respectivamente. A faixa dos valores de turbidez estão em concordância com o período de estiagem, conforme constatado por Vasco *et al.* (2011), em que o aumento da vazão no rio Poxim em Sergipe – SE, em decorrência do período chuvoso, interfere diretamente na concentração de turbidez. A variável turbidez apresentou correlação negativa com a ocorrência de *Cryptosporidium* spp. (p=0,0574) e *Giardia* spp. (p= 0,1926), conforme contido na Tabela 9, indicando que o aumento da turbidez promove menor recuperação dos organismos em amostra de água *in natura*.

Tabela 9 – Aplicação do coeficiente de correlação de Spearman (r) entre *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp, com a turbidez.

Variável	***Cryptosporidium*** spp.		***Giardia*** spp.	
	r	**p**	**r**	**p**
Turbidez	0,5008	0,0574	0,2916	0,1926

* Quando o valor de p <0,05, considera-se a correlação estatisticamente significante.

Avaliando a existência de outros estudos sobre o tema, observa-se que a ocorrência de *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp. foi relatada pela primeira vez nesses 15 mananciais destinados ao abastecimento público de água no Estado de Goiás, logo, ressalta-se a necessidade das empresas de saneamento básico monitorarem cada sistema, individualmente, deve-se monitorar cada sistema, individualmente, para verificar a eficiência de remoção e inativação desses protozoários, a fim de reduzir os impactos adversos na saúde pública dos consumidores e nortear a identificação dos processos de tratamento abaixo do ideal, conforme recomendado por Lo *et al.* (2018).

Embora esses resultados da ocorrência de patógenos em mananciais superficiais sejam pioneiros, deve-se ampliar a frequência de amostragem nos mananciais para caracterizar o ambiente aquático. Acredita-se que essa abordagem seja mais adequada para subsidiar a tomada de decisões pela delegatária do serviço de saneamento.

Logo, os dois sistemas selecionados para o desenvolvimento dessa pesquisa foram: a ETA I que faz adução no Ribeirão Cerrado, responsável pelo abastecimento de Sanclerlândia e a ETA II que capta água do Ribeirão Santana para atender ao município São Luís dos Montes Belos descritos a seguir.

4.1.1 Ribeirão Cerrado – Sanclerlândia

A bacia hidrográfica do Ribeirão Cerrado (Figura 11) com área de 42,80 km² e alta susceptibilidade erosiva (CRUVINEL, 2016), pertence aos municípios de Sanclerlândia e Mossâmedes, localizada na Mesorregião do Centro Goiano. Essa pertence à bacia do Alto Araguaia que se situa na área de abrangência da Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia (RHTA), no qual há predominância do Bioma Cerrado.

Segundo dados do IBGE (2010), o município de Sanclerlândia, abastecido pelo manancial em questão, se estende pela área de 496,825 km² com população censitária de 7550 habitantes, faz divisa com os municípios de Mossâmedes, Adelândia e Buriti de Goiás e dista 136 km da capital do estado.

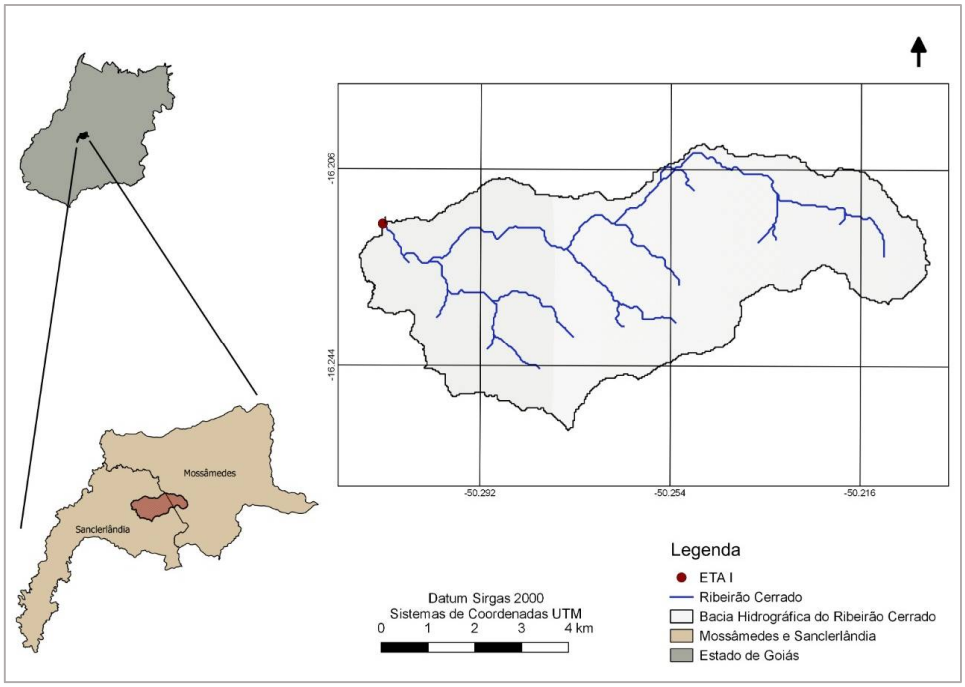


Figura 11 – Localização da ETA I, delimitação do município de Sanclerlândia no Estado de Goiás e da bacia hidrográfica de captação do Ribeirão Cerrado.

Com relação ao uso do solo, há predominância da área de pastagem em 79,33% da área da bacia, conforme apresentado na Tabela 10, uma vez que, o principal vetor econômico da região corresponde à pecuária, seguida da extração de minérios, sendo responsável pela abertura de áreas e o desmatamento que abre caminho para as lavouras temporárias, segundo o Plano Estratégico de Recursos Hídricos (ANA, 2009).

Tabela 10 – Percentual de uso de solo referente ao ano de 2017 da bacia hidrográfica Ribeirão do Cerrado localizada em Sanclerlândia.

Uso do solo	Área (km²)	Porcentagem (%)
Formação Florestal	4,93	11,51%
Formação Natural Não Florestal	0,00	0,01%
Pastagem	33,96	79,33%
Agricultura	0,36	0,84%
Mosaico e agricultura e pastagem *	3,47	8,10%
Infraestrutura Urbana	0,09	0,21%
Outra Área Não Vegetada	0,00	0,00%
Corpos d'água	0,00	0,00%
Área total	**42,80**	**100%**

* Mosaico e agricultura e pastagem: Áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura. Fonte: Projeto MapBiomas (2018).

Com relação à ETA I (Figura 12), essa opera desde 1980 com o tratamento do tipo ciclo completo, no qual o ponto de captação localiza-se no manancial superficial denominado

Ribeirão Cerrado, enquadrado na Classe 2 pelo Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos Rios Tocantins e Araguaia (ANA, 2009).

Essa planta de tratamento opera por 18 h/dia com vazão média de adução de 22 L/s, sendo essa superior a vazão máxima de fim de plano estabelecida no conjunto de projetos obtidos junto à Saneago (Tabela 11) através do Ofício nº 16102/2019. Ao avaliar a oferta e demanda de água, no período de estiagem, a ETA realiza a captação de água subterrânea para conseguir atender aos consumidores.

Durante os 49 anos de operação, houve a modificação da camada filtrante nas três unidades de filtração com a adição do antracito, desta forma, os filtros rápidos descendentes passaram a operar com camada filtrante dupla (areia e antracito), além da camada de suporte contendo pedregulho. Conforme verificado *in loco*, não há periodicidade padronizada para a substituição do meio filtrante.

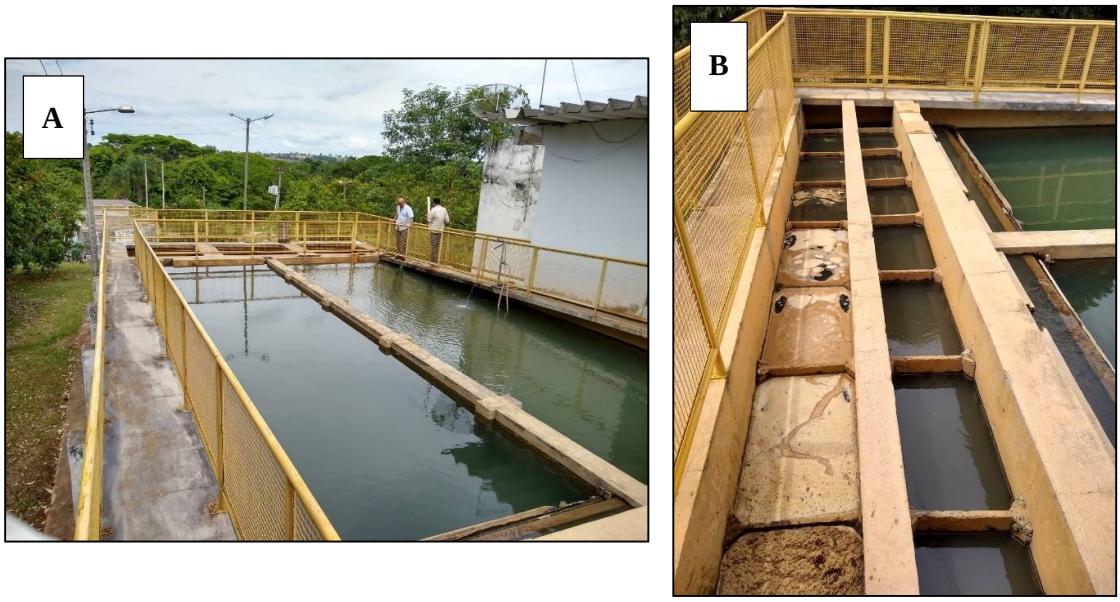


Figura 12 – Decantadores da Estação de Tratamento de Água em Sanclerlância (A) e conjunto de floculadores hidráulicos (B).

Verificou-se *in loco* que a distribuição de água entre os decantadores apresenta um desvio de 42,51%, aproximadamente, ultrapassando o limite de ±20% estabelecido na NBR 12216 (ABNT, 1992).

Nas outras etapas de tratamento da ETA I, os dados técnicos e operacionais são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Dados técnicos e operacionais do Sistema Ribeirão Cerrado (SRC) em Sanclerlândia.

Unidade	Características
Captação	**Tipo:** Superficial com barragem de nível com desarenador **Curso d'água:** Ribeirão Cerrado
Estação de Tratamento de Água (ETA)	**Tipo:** Ciclo completo **Processos de tratamento:** coagulação, floculação, decantação, filtração rápida, desinfecção e fluoretação em câmara de contato **Ano de início de operação da ETA:** 1980 **Período de funcionamento:** 18h com paralisações programadas das 24h às 6h **Vazão média de entrada (atual):** 22 L/s **Vazão máxima de fim de plano:** 20 L/s*
Mistura rápida	**Tipo:** Calha Parchall com largura da gargante de 3" **Coagulante:** Sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) **Corretor de pH:** Não se aplica
Floculador	**Tipo:** floculador hidráulico com chicanas **Quantidade de câmaras:** 32 câmaras **Dimensões média (larg. x comp. total x prof.):** 0,55 x 13,40 x 3,00 m **Tempo de floculação:** 25 min* **Gradiente de velocidade:** 40 a 70 s-1* **Método de limpeza:** manual
Decantador	**Tipo:** decantador convencional de escoamento horizontal **Quantidade:** 2 unidades **Dimensões média (larg. x comp. x prof.):** 3,75 x 10,47 x 2,80 m **Taxa de aplicação superficial:** 20 $m^3/m^2.dia$* **Método de limpeza:** manual **Destinação da água de limpeza e lodo:** curso d'água sem tratamento prévio
Filtro	**Tipo:** rápido descendente, com camada dupla **Quantidade:** 3 unidades **Dimensões (largura x comprimento):** 2,43 x 2,47 m **Taxa de filtração:** 96 $m^3/m^2.dia$* **Meio filtrante:** pedregulho, areia e antracito **Frequência de limpeza:** 1 vez ao dia **Método de lavagem:** hidraulicamente **Destinação da água de limpeza:** curso d'água sem tratamento prévio
Câmara de contato	**Tipo:** Reservatório semi-enterrado com capacidade de 300 m^3* **Quantidade:** 1 unidade **Desinfetante:** Cloro gasoso (CL_2) **Fluoretação:** Àcido fluossilícico (H_2SiF_6)

*Dados técnicos e operacionais obtidos do conjunto de projetos fornecidos pela Saneago.

4.1.2 Ribeirão Santana – São Luís de Montes Belos

A bacia do Ribeirão Santana (Figura 13)com área de 29,32 km² e alta susceptibilidade erosiva, com elevada perda de solo anual média, de acordo com Cruvinel (2016), pertence ao município de São Luís dos Montes Belos, localizada na Mesorregião do Centro Goiano. Segundo dados do IBGE (2010), o município se estende pela área de 825,999 km² com população censitária de

30034 habitantes, faz divisa com os municípios de Firminópolis, Aurilândia, Sanclerlândia, Turvânia e Córrego do Ouro.

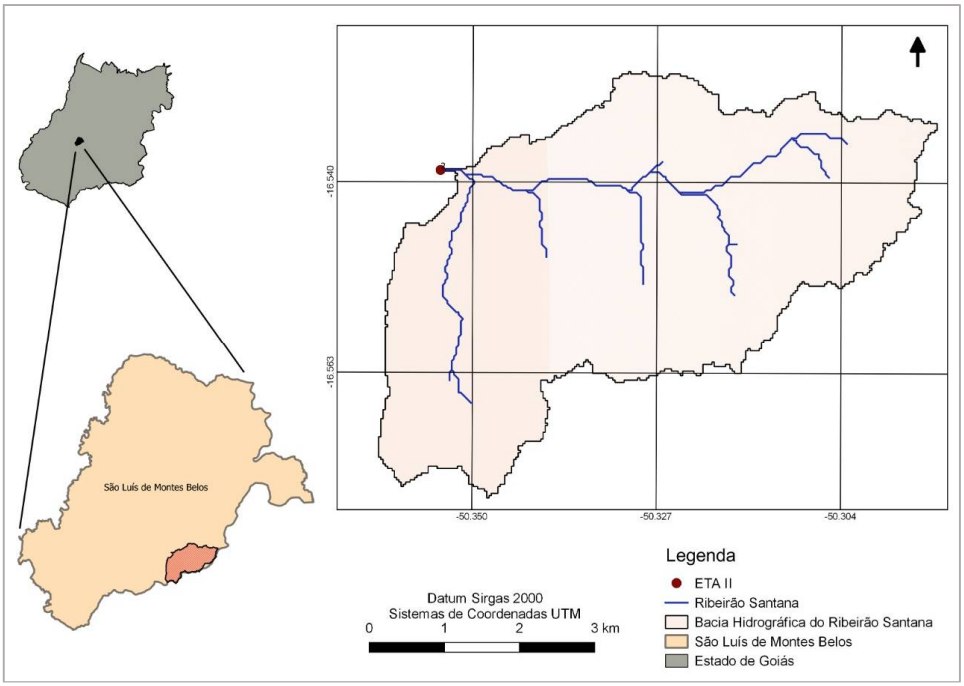


Figura 13 - Localização da ETA II, delimitação do município de São Luís de Montes Belos no Estado de Goiás e da bacia hidrográfica do Ribeirão Santana.

A Tabela 12 apresenta as características de uso do solo, sendo que há predominância da área de pastagem em 78,46%.

Tabela 12 – Percentual de uso de solo referente ao ano de 2017 da bacia hidrográfica Ribeirão Santana localizada em São Luís dos Montes Belos.

Uso do solo	Área (km²)	Porcentagem (%)
Formação Florestal	3,9843	13,59%
Formação Natural Não Florestal	0,0072	0,02%
Pastagem	23,0013	78,46%
Agricultura	0,6714	2,29%
Mosaico e agricultura e pastagem*	1,6434	5,61%
Infraestrutura Urbana	0,0000	0,00%
Outra Área Não Vegetada	0,0000	0,00%
Corpos d'água	0,0090	0,03%
Área total	**29,3166**	**100,00%**

* Mosaico e agricultura e pastagem: Áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura. Fonte: Projeto MapBiomas (2018).

Com relação à ETA II (Figura 14), com tratamento do tipo ciclo completo desde 1974, essa realiza captação no manancial superficial denominado Ribeirão Santana, enquadrado na Classe

2 pelo Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos Rios Tocantins e Araguaia (ANA, 2009). O período de funcionamento da planta de tratamento consiste em 23 h/dia com vazão média de adução de 70 L/s, sendo essa superior a vazão máxima de fim de plano de 50 L/s (Tabela 13).

No decorrer dos 47 anos de operação, conforme consta no caderno de projetos disponibilizado pela Saneago (Ofício nº 16102/2019), em 2015 desenvolveu-se um projeto de ampliação da ETA, no qual as adequações do sistema existente foram planejadas para serem executadas em duas etapas.

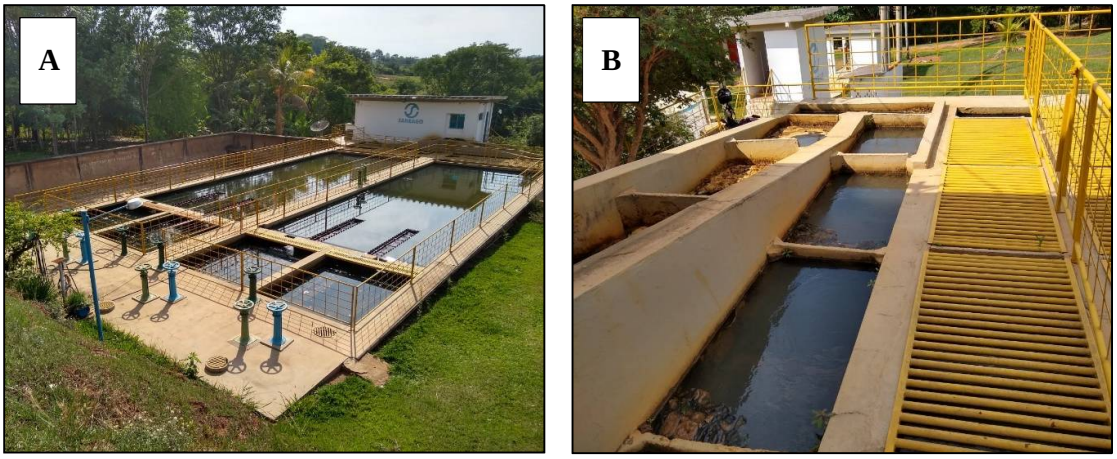


Figura 14 - Estação de Tratamento de Água em São Luís de Montes Belos (A) e conjunto de floculadores hidráulicos (B).

Realizou-se na primeira etapa a substituição do material filtrante com adição de antracito e areia, bem como a ampliação da unidade de floculação, construção de calhas coletoras de água decantada e caixa de areia na captação conforme descrito no Relatório de Fiscalização nº 48 da Agência Goiana de Regulação (AGR, 2017), ampliando assim em 10 L/s a capacidade de tratamento. Verificou-se *in loco* que não há periodicidade padronizada para a substituição do meio filtrante.

A segunda etapa do projeto contempla a ampliação da ETA a ser realizada dentro da área do filtro lento que se encontra desativado.

Os dados técnicos e operacionais das outras etapas de tratamento da ETA II são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Dados técnicos e operacionais do Sistema Ribeirão Santana (SRS) em São Luís dos Montes.

Unidade	Características
Captação	**Tipo:** Superficial com barragem de nível e desarenador **Curso d'água:** Ribeirão Santana
Estação de Tratamento de Água (ETA)	**Tipo:** Ciclo completo **Processos de tratamento:** coagulação, floculação, decantação, filtração rápida, desinfecção e fluoretação em câmara de contato . **Ano de início de operação da ETA: 1974** **Período de funcionamento:** 23h com paralisações programadas das 3h às 4h **Vazão média de entrada (atual):** 70 L/s **Vazão máxima de início de projeto:** 40 L/s* **Vazão máxima de final de projeto:** 50 L/s* **Vazão máxima do projeto de ampliação:** 90 L/s a ser implantada, totalizando 180 L/s*
Mistura rápida	**Tipo:** Calha Parshall com largura da garganta de 6" **Coagulante:** Sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$ **Corretor de pH:** Não se aplica
Floculador	**Tipo:** duas unidades de floculadores hidráulicos, independentes, com chicanas **Quantidade de câmaras:** 32 câmaras em cada floculador **Dimensões média (larg. x comp. total x prof.):** 0,77 x 23,20 x 2,60 m **Tempo de floculação:** 10 min* **Gradiente de velocidade:** 50 a 70 s^{-1}* **Método de limpeza:** manual
Decantador	**Tipo:** decantador convencional de escoamento horizontal **Quantidade:** 2 unidades **Dimensões média (larg. x comp. x prof.):** 6,09 x 16,06 x 2,52 m **Taxa de aplicação superficial:** 28,96 m^3/m^2.dia **Método de limpeza:** manual **Destinação da água de limpeza e lodo:** curso d'água sem tratamento prévio
Filtro	**Tipo:** rápido descendente, com camada dupla **Quantidade:** 4 unidades **Dimensões (largura x comprimento):** 2,90 x 3,85 m **Taxa de filtração:** 192 m^3/m^2.dia **Meio filtrante:** pedregulho, areia e antracito **Frequência de limpeza:** 1 vez ao dia **Método de lavagem:** hidraulicamente **Destinação da água de limpeza:** curso d'água sem tratamento prévio
Câmara de contato	**Tipo:** Reservatório com capacidade de 100 m^3 **Quantidade:** 1 unidade **Desinfetante:** Cloro gasoso (CL_2) **Fluoretação:** Àcido fluossilícico (H_2SiF_6)

*Dados técnicos e operacionais obtidos do conjunto de projetos fornecidos pela Saneago.

4.2 CONTROLE DE QUALIDADE DO MÉTODO DE FILTRAÇÃO EM MEMBRANA

Os resultados da performance do método em amostras contaminadas com 32 cistos de *Giardia* spp. e 268 oocistos de *Cryptosporidium* spp. estão apresentados na Tabela 14, com amostras de

água ultrapura, e na Tabela 15, com amostras de água bruta *in natura* do Ribeirão Santana com turbidez de 8,20 NTU. Destaca-se ausência de contaminação no processo analítico, pois não foram detectados (oo)cistos no ensaio em duplicata do controle negativo.

Tabela 14 - Precisão e recuperação inicial em água ultrapura, contendo os (oo)cistos inoculados, recuperados, eficiência de recuperação, media, desvio padrão (DP) e Coeficiente de Variação (CV).

Amostra	**Cistos de *Giardia* spp.**			**Oocistos de *Cryptosporidium* spp.**		
	Nº de cistos inoculados	**Nº de cistos recuperados**	**Eficiência de recuperação (%)**	**Nº de oocistos inoculados**	**Nº de oocistos recuperados**	**Eficiência de recuperação (%)**
1	32,0	25,0	78,1	268,0	325,0	121,3
2	32,0	25,0	78,1	268,0	250,0	93,3
3	32,0	50,0	156,3	268,0	75,0	28,0
		Média	78,1a		**Média**	60,6a
		DP	0,0a		**DP**	32,6a
		CV	0,0a		**CV**	53,8a

a = média, DP e CV de apenas 2 resultados

Tabela 15 - Precisão e recuperação continuada em água bruta com turbidez 8,20 uT, contendo os (oo)cistos inoculados, recuperados, eficiência de recuperação, media, desvio padrão (DP) e Coeficiente de Variação (CV).

Amostra	**Cistos de *Giardia* spp.**			**Oocistos de *Cryptosporidium* spp.**		
	Nº de cistos inoculados	**Nº de cistos recuperados**	**Eficiência de recuperação (%)**	**Nº de oocistos inoculados**	**Nº de oocistos recuperados**	**Eficiência de recuperação (%)**
1	32,0	0,0	0,0	268,0	16,5	6,2
2	32,0	83,5	260,9	268,0	66,5	24,8
3	32,0	33,5	104,7	268,0	16,5	6,2
		Média	0,0b		**Média**	12,4
		DP	0,0b		**DP**	8,8
		CV	-		**CV**	71,1

b = média, DP e CV de apenas 1 resultado

Os resultados apresentados na Tabela 14 e Tabela 15 foram correlacionados com os critérios estabelecidos pela USEPA (2012). A Tabela 16 contém esses critérios para ensaios realizados com água ultrapura e água bruta, também denominada de amostra com efeito da matriz.

Tabela 16 – Critérios de aceitação do controle de qualidade analítica estabelecido pela USEPA (2012) com relação ao intervalo da recuperação média e desvio padrão do método de análise dos protozoários utilizando água ultrapura e amostra com efeito da matriz.

Teste de performance	***Giardia*** spp.		***Cryptosporidium*** spp.	
	Precisão e recuperação inicial (água ultrapura)	**Precisão e recuperação contínua (efeito da matriz)**	**Precisão e recuperação inicial (água ultrapura)**	**Precisão e recuperação contínua (efeito da matriz)**
Recuperação média (%)	27 - 100	8 - 100	38 - 100	32 - 100
Desvio Padrão (DP) (%) *	39	97	37	46

*Desvio padrão relativo máximo em %.

Na Tabela 14, os resultados individuais apresentaram valores anômalos de eficiência de recuperação, relativo ao percentual acima de 100%, sendo de 156,3% cistos de *Giardia* spp. e 121,3% oocistos de *Cryptosporidium* spp. Na Tabela 14 é possível constatar que os resultados atípicos foram de 260,9% e 104,7% cistos de *Giardia* spp., justicável devido à possível aglomeração de organismos na alíquota. Considerou-se para cálculo das taxas de recuperação, os resultados que não ultrapassaram o valor de 100%, conforme realizado por Franco *et al.* (2012b).

As aglomerações são ocasionadas pela idade, origem dos organismos, tempo de armazenamento da suspensão do inóculo (CANALE, 2014), presença de algas, leveduras e detritos que auto fluorescem e podem afetar a detecção dos (oo)cistos quando examinados ao microscópio, gerando assim falsos positivos (USEPA, 2012).

No controle positivo, em água ultrapura, as taxas médias de recuperação foram de 78,1% ± 0% cistos de *Giardia* spp. e 60,6% ± 32,6% oocistos de *Cryptosporidium* spp. (Tabela 14), estando em conformidade com o recomendado pela USEPA (2012).

Em água bruta, a recuperação foi inferior ao recomendado pela normativa da USEPA (2012), com valores de 12,4% ± 8,8% oocistos de *Cryptosporidium* spp. (Tabela 14), em decorrência da turbidez presente nas amostras, que afeta o desempenho de detecção dos protozoários, segundo Efstratiou *et al.* (2017), ocasionando subnotificação. A reduzida taxa de recuperação dos oocistos foi associada à baixa coloração dos protozoários, bem como ao tamanho reduzido dos oocistos (4,0 a 6,0 μm de diâmetro), de acordo com Maciel (2006), ao obter recuperação de 10% de oocistos em amostras de água bruta com turbidez de 126 uT.

A recuperação de cistos de *Giardia*, em água bruta, foi nula, no entanto, segundo Vesey *et al.*, (1993), os oocistos são mais difíceis de ser recuperado que cistos, uma vez que, ficam incrustados nas membranas, em decorrência ao tamanho reduzido.

As sujidades são uma das limitações enfrentadas pela técnica de Filtração em Membrana para recuperação de (oo)cistos (FRANCO *et al.*, 2012a; CANTUSIO NETO *et al.*, 2008). Sob a condição de turbidez elevada, ocorre o aumento da quantidade de membranas para filtrar cada amostra e o volume do pellet final.

A recuperação fora da faixa recomendada pela USEPA (2012), em água bruta, foi relatada por Canale (2014), com recuperação média de 19,63 cistos/L e 3 oocistos/L, e Maciel (2006), que ao associar o método em questão com a separação imunomagnética (IMS), identificou recuperação média de 31,5% cistos e 5,7% oocistos.

Cantusio Neto (2008) analisou a eficiência de recuperação do método de Filtração em Membrana (FM) com e sem separação imunomagnética (IMS), conforme recomendado pelo Método 1623.1 da USEPA (2012). Em amostras de água bruta com baixa turbidez (<50 uT), a eficiência de recuperação dos cistos foi de 17% (sem IMS) e 57% (com IMS), com relação aos oocistos foi observado recuperação de 29% (sem IMS) e 41,5% (com IMS). Em amostras com alta turbidez (>50 uT), verificou-se que a técnica de IMS promoveu o aumento das taxas de recuperação apenas dos oocistos que foi de 35% (sem IMS) para 52% (com IMS). Logo, a inserção da técnica IMS atingiu a sua finalidade de aprimorar a recuperação dos organismos, sugere-se inserir essa metodologia em pesquisas.

Os autores Franco *et al.* (2012b) ao analisarem a perfomance de três protocolos de concentração de (oo)cistos em amostras de água bruta, sendo eles: técnica de floculação com carbonato de cálcio; filtração com o sistema Filta-Max e o método de filtração em membrana. Constataram que a Filta-Max apresentou a melhor desempenho de recuperação, por isso é caracterizado como o método de referência internacional, validado pela USEPA.

Para melhorar o desempenho da técnica, relativo a eficiência de recuperação em amostras de água bruta, pode-se ampliar o volume de alíquota adicionado em cada poço da lâmina, visto que segundo Maciel (2006), a variabilidade dos ensaios pode ser associada com a baixa representatividade da alíquota de 10 µL diante do volume de sedimento final que varia de 250 – 1000 µL, principalmente em técnicas que não utilizam separação imunomagnética (IMS).

Além de adotar uma energia de rotação maior que 1500 x g (15 minutos), conforme verificado na pesquisa desenvolvida por Clancy *et al.* (2000), em que o melhor desempenho de

recuperação do *Cryptosporidium* spp. foi verificado com a força gravitacional de 2170 x g e o tempo de centrifugação de 15 minutos.

4.3 EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DOS PROTOZOÁRIOS NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Esse é o primeiro estudo de avaliação da ocorrência de protozoários em plantas de tratamento do tipo ciclo completo do Estado de Goiás, em escala real. Os patógenos foram monitorados sazonalmente na água bruta e filtrada das ETAs que realizam a adução no Ribeirão Cerrado (ETA I) e Ribeirão Santana (ETA II).

A Tabela 17 apresenta as concentrações dos protozoários (mínimas, máximas e médias) na água bruta e filtrada, durante o período seco e chuvovo, assim como a eficiência de remoção desses protozoários na ETA I. Os resultados pontuais das análises parasitológicas e o Limite de Detecção (LD) encontram-se na Tabela 23, da água bruta, e Tabela 24, da água filtrada, no Apêndice C.

Quanto ao LD, verifica-se que amostras com turbidez elevada, principalmente no período chuvoso, dificultam a etapa de filtração, reduzindo assim, o volume processado (0,5 a 2 L na água bruta e 6 L a 11,5 L na água filtrada) e obtendo pellets com maior concentração de material particulado, que impactam negativamente a visualização dos (oo)cistos e ampliam o valor do LD, conforme verificado na amostra de água bruta coletada em 19/12/2019 com turbidez de 848 NTU, que apresentou o maior LD de 100 (oo)cistos/L. Verifica-se na Tabela 24, que devido a turbidez na água filtrada abaixo de 1,0 NTU, foi possível concentrar volume máximo de 11,5 L.

Tabela 17 - Concentração de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. na água bruta e filtrada, bem como a eficiência de remoção da ETA I localizada em Sanclerlândia.

Estação	Variáveis	n	Água bruta (afluente)		Água filtrada (efluente)		Eficiência média de remoção (%)
			Amplitude ((oo)cistos/L)	Média ± DP ((oo)cistos/L)	Amplitude ((oo)cistos/L)	Média ± DP ((oo)cistos/L)	
Período seco	*Giardia*	3	<LD - 50	**17,33 ± 23,10**	-	-	100,00%
	Cryptosporidium		<LD - 66,67	33,67 ± 26,81	<LD - 4,35	2,12 ± 1,58	96,74%
Período chuvoso	*Giardia*	3	<LD - 8,33	3,44 ± 3,46	-	-	100,00%
	Cryptosporidium		<LD - 200	**69,78 ± 92,13**	<LD - 1,25	1,08 ± 0,12	99,69%

Nota: Em concentrações de protozoários <LD, adotou-se o valor 1.

Observa-se na água bruta que 33,33% (n=1) das amostras apresentaram cistos de *Giardia* spp. e 66,67% (n=2) oocistos de *Cryptosporidium* spp., na água filtrada foi detectado oocistos em 33,33% (n=1) das medições e não houve detecção de cistos, em ambas as estações climáticas. A maior frequência de detecção dos oocistos de 66,67%, na água bruta, e 33,33%, no efluente filtrado, podem ser associadas ao seu tamanho reduzido (4,0 a 6,0 μm) e menor densidade (1036,2 kg/m³), que, portanto, promovem uma menor velocidade de sedimentação de 0,3 a 0,4 μm/s para oocistos, em relação a velocidade de 0,7 a 1,4 μm/s para cistos (MEDEMA *et al.*, 1998), e, consequentemente, são dificilmente removidos nas etapas antecedentes à filtração.

Verifica-se que a concentração média de *Giardia* spp. na água bruta foi superior no período seco (17,33 ± 23,10 cistos/L), devido ao valor máximo de 50 cistos/L, enquanto que, a concentração máxima de *Cryptosporidium* spp. (200 oocistos/L) na água bruta foi detectada no período chuvoso, indicando que a estação climática não influencia na ocorrência dos protozoários no manancial de captação, pois esses parâmetros apresentaram ausência de correlação estatística ($p>0,05$) ao aplicar o teste ANOVA de fator único. Almeida *et al.* (2015) também identificaram correlação negativa entre a altura de precipitação e a ocorrência de protozoários em fontes de abastecimento público de água.

Verifica-se maior prevalência de *Cryptosporidium* spp., quando comparado à *Giardia* spp., em ambas as estações climáticas, pois os oocistos encontram-se disseminados no meio aquático com elevado potencial de contaminação ambiental, segundo Fayer *et al.* (2004), visto que um único hospedeiro, como um bezerro infectado, é capaz de eliminar de 1 bilhão à 10 bilhões de oocistos nas fezes durante uma semana.

No efluente filtrado, não foram detectados cistos, demonstrando uma taxa de remoção de 100% pelo tratamento do tipo ciclo completo da ETA I, em ambas as estações climáticas, entretanto, houve detecção os oocistos com concentração superior ao Limite de Detecção (LD), com valor médio de 2,12 oocistos/L, no período seco, consequentemente, houve 96,74% de remoção nessa estação. No período chuvoso, a eficiência do tratamento apresentou melhorias, com remoção de protozoários na faixa de 99,69%.

A menor eficiência no período de estiagem (96,74%) pode ser associada a dificuldade de retenção de oocistos em água bruta, com menor quantidade de material coloidal, segundo Gitis *et al.* (2002), além do tratamento químico não otimizado e operação ineficiente das demais barreiras de tratamento (ONGERTH, 1990). Enquanto que, a maior concentração no efluente filtrado (4,35 oocistos/L) dos oocistos de *Cryptosporidium* spp. pode ser relacionada transpasse de oocistos no leito filtrante, que pode expor a população de Sanclerlândia à riscos mais

frequente da doença cryptosporidiose. Esse risco também foi constatado por Bevilacqua *et al.* (2002) ao aplicar o método teórico de avaliação de risco em três ETAs localizadas no Estado de Minas Gerais.

Uma vez que as deficiências operacionais do processo de filtração, podem submeter a população consumidora à maiores riscos de infecção pelos protozoários *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. (KENT *et al.*, 1988), logo é necessário o monitoramento do desempenho do filtro rápido, quanto ao parâmetro turbidez, e o resultado dessa análise foi apresentado na Figura 14 com os valores máximo, mínimo e médios, no período seco e chuvoso.

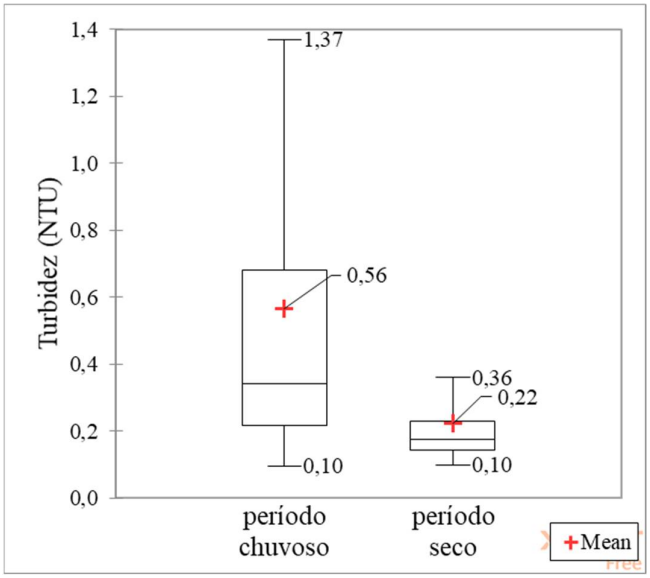


Figura 15 - Gráfico box plot sem outliers dos valores de turbidez (NTU) na água filtrada da ETA I em Sanclerlândia.

Verifica-se na Figura 14, que o efluente individual do filtro rápido apresentou no período chuvoso concentração média de turbidez (0,56 NTU), superior ao período seco, após o monitoramento por um período de 4 dias. Esse resultado pode ser associado à 56,81% das amostras que apresentaram turbidez acima de 0,3 NTU, assim como à 13,42% das leituras que foram superiores ao Valor Máximo Permitido (VMP) de 1,0 NTU. Segundo ONGERTH (1990) a interrupção do tratamento, conforme realizado na ETA I das 24h às 6h do dia subsequente, compromete o desempenho do filtro, assim como das etapas de clarificação (coagulação, floculação, sedimentação e filtração), promovendo choques hidráulicos.

No período seco, o efluente filtrado apresentou 15,18% das amostras acima de 0,3 NTU e 0,26% superaram o VMP, logo, esses dados não estão em conformidade legislação e as pequenas flutuações da variável turbidez, podem afetar a distribuição da concentração do protozoário

Cryptosporidium spp. (GARRIDO, 2003), mesmo que a concentração média de 0,22 NTU esteve abaixo do recomendado pela Portaria de Consolidação nº 5 (BRASIL, 2017).

Ainda que a frequência de monitoramento do presente estudo foi inferior à requerida pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 (BRASIL, 2017), de 24 amostras coletadas de forma uniforme pelo período mínimo de 1 ano e máximo de 2 anos, observa-se que a concentração média de *Cryptosporidium* spp. esteve acima de 3 oocistos/L estabelecidos pela Portaria, com média de 33,67 e 69,78 oocistos/L (Tabela 17), no período seco e chuvoso, respectivamente, evidenciando a necessidade das empresas de saneamento de monitorar essa variável, pois se esses valores persistirem, deve-se adotar o parâmetro do efluente filtrado de 0,3 NTU.

A menor concentração média (0,22 NTU) do parâmetro turbidez, identificada no filtro rápido da ETA I, pode ser relacionado às características granulométricas ilustradas na Figura 16.

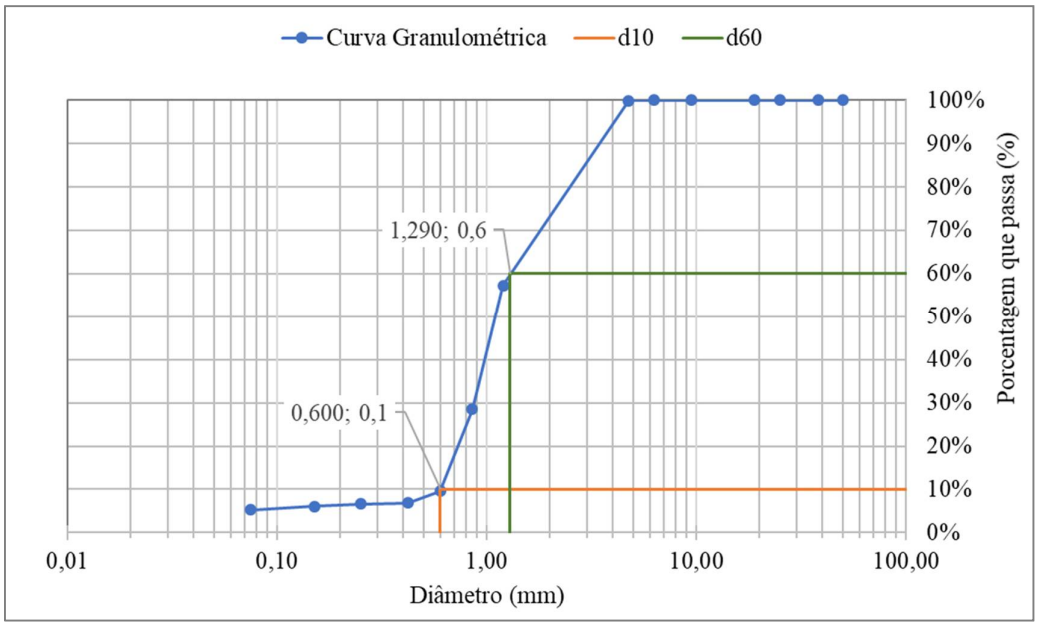


Figura 16 - Curva granulométrica da camada filtrante dupla, constituída de areia e antracito, pertencente ao filtro rápido da ETA I em Sanclerlândia, assim como a abertura da peneira que deixa passar 10% (d10) e 60% (d60) das partículas.

Verifica-se na Figura 16, que o material da camada filtrante apresentou Tamanho efetivo (T_{ef}) médio de 0,60 mm e Coeficiente de uniformidade (C_u) médio de 2,15, sendo caracterizado como material com granulometria bem graduada. Esses parâmetros não atenderam aos critérios estabelecidos pela NBR 12216 (ABNT, 1992), para o dimensionamento de filtro rápido, quanto

relaciona-se com o T_{ef} máximo de 0,594 mm, determinado para a camada filtrante dupla com as dimensões mínimas, estabelecidas em norma, constituída de areia e antracito, e C_u de 1,50.

A eficiência de remoção de protozoários na ETA II, bem como as concentrações mínimas, máximas e médias foram apresentados na Tabela 18. Os resultados das amostras parasitológicas e do Limite de Detecção (LD) encontram-se na Tabela 25, da água bruta, e Tabela 26, da água filtrada.

Tabela 18 - Concentração de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. na água bruta e filtrada, bem como a eficiência de remoção da ETA II localizada em São Luís dos Montes Belos.

Estação	Variáveis	n	Água bruta (afluente)		Água filtrada (efluente)		Eficiência média de remoção (%)
			Amplitude	Média ± DP	Amplitude	Média ± DP	
Período seco	*Giardia*	3	<LD - 8,33	3,44 ± 3,46	<LD - 4,17	2,06 ± 1,49	50,00%
	Cryptosporidium		8,33 - 16,67	13,89 ± 3,93	<LD - 1,67	1,22 ± 0,31	96,67%
Período chuvoso	*Giardia*	3	<LD - 16,67	**6,22 ± 7,39**	-	-	100,00%
	Cryptosporidium		8,33 - 35,09	**25,58 ± 12,22**	0 - 1,25	1,08 ± 0,12	98,75%

Nota: Em concentrações de protozoários <LD, adotou-se o valor 1.

Nas análises parasitológicas com água bruta, a frequência de detecção foi de 33,33% (n=1) cistos de *Giardia*, enquanto que os oocistos de *Cryptosporidium* spp. foram detectados em todas as amostras (n=3), em ambas as estações climátivas. No efluente filtrado, detectou-se em 33,33% (n=1) das amostras cistos de *Giardia* spp., no período seco, e nenhum cisto no período chuvoso. O protozoário *Cryptosporidium* spp. foi detectado em 33,33% (n=1) de oocistos, em ambas as estações climáticas. Logo, constata-se que os oocistos foram identificados com maior frequência.

Na Tabela 18, verifica-se que a maior concentração média de *Giardia* spp., na água bruta, foi detectada no período chuvoso (6,22 cistos/L). Esse resultados foram divergentes aos identificados na ETA I, relativo à estação climática, corroborando com a correlação negativa ($p>0,05$) entre as variações sazonais e a ocorrência de (oo)cistos na água bruta e filtrada, conforme análise estatística realizada pelo teste ANOVA de fator único.

No efluente filtrado, os cistos de *Giardia* spp. foram detectados apenas na estação seca (2,06 ± 1,49 cistos/L), que apresentou eficiência de remoção de 50%, caracterizada como a menor taxa de remoção na ETA II, que pode ser relacionada à condição de dosagem não otimizada, logo recomenda-se cloração com contato prolongado e outros procedimentos de desinfecção

implementados a curto prazo (ONGERTH, 1990). Já no período chuvoso, os cistos foram removidos completamente, apresentando remoção foi máxima.

A maior concentração média do protozoário *Cryptosporidium* spp., na água bruta, foi identificada no período chuvoso com 25,58 oocistos/L, já na água filtrada, o valor foi de 1,22 oocistos/L, no período seco, consequentemente, a eficiência de remoção de oocistos na ETA II, operando com sobrecarga de vazão em 40%, foi de 96,67% e 98,75%.

As eficiência de remoção dos protozoários detectadas nessa pesquisa, revelaram-se abaixo daquelas relatadas na literatura, para tratamento de água com tecnologia do tipo ciclo completo, em geral, de 99% de remoção (BUSTAMENTE *et al.*, 2001), além disso, a concentração média de protozoários na água filtrada foi superior à recomendada por Heller *et al.* (2004), de $7x10^{-6}$ cistos/ L e $3x10^{-5}$ oocistos/L, para garantir o atendimento ao nível de risco aceitável de infecção anual de 10^{-4} por habitante, sendo assim, aumenta-se o risco de transmissão de doenças gastroinstestinais. Logo, recomenda-se a avaliação de evidência epidemiológicas da doença na comunidade, para analisar os impactos da eficiência das plantas de tratamento na saúde pública dos consumidores.

Verifica-se que as duas plantas de tratamento, apresentaram menor desempenho de remoção dos oocistos de *Cryptosporidium* spp. do que os cistos de *Giardia* spp., com exceção da remoção de 50% de cistos relatada no período seco da ETA II, pois ainda que os protozoários analisados apresentem características similares de sedimentação e filtração, a remoção de oocistos por filtração é inferior devido as dimensões do patógeno (HELLER *et al.*, 2004).

A normativa Americana estabelece critérios de tratamento para a remoção dos protozoários em plantas de tratamento de água atender ao nível de risco aceitável de infecção de 10^{-4} infecção anual por habitante, com base na concentração média de oocistos de *Cryptosporidium* spp. relatadas nos mananciais, conforme apresentado na Tabela 3 (USEPA, 2006). O Ribeirão Cerrado e Santana apresentaram concentração média acima de 3 oocistos/L (Classificação 4). Portanto, os processos de tratamento aplicados nessas captações, do tipo ciclo completo, devem garantir remoção superior a 3 logs de oocistos.

Considerando que os cistos e oocistos não foram completamente retidos na etapa de filtração, torna-se necessário a implementação de tratamento complementar, segundo a USEPA (2006), para assegurar o nível de risco aceitável, como desinfecção com ozônio e dióxido de cloro que promovem redução de 0,5 a 3 log, em função do tempo de contato, combinação residual desinfectante ou radiação Ultra Violeta.

Os protozoários foram identificados com predominância na água bruta do Ribeirão Cerrado (Tabela 17), que pode ser associado à área de pastagem, que corresponde a 79,33%, visto que há predominância de atividades agropecuárias na região. Heller *et al.* (2004) obtiveram resultados semelhantes ao analisar bacias de captação desprotegidas, com intensa ocupação urbana e atividades agropecuárias, no qual as características de ocupação do solo foram interpretadas como indicativos da ocorrência de (oo)cistos de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. Por isso, a ausência de protozoários foi identificada apenas em bacias de captação de Blumenau em Santa Catarina com predomínio de áreas de floresta nativas, de acordo com Grott *et al.* (2016), destacando assim a importância de ações preventivas de manunteção e preservação das bacias hidrográficas de captação.

Evidenciando assim, a necessidade de rastrear a fonte de transmissão dos protozoários, em ambos os mananciais de captação, através da técnica de caracterização molecular.

Os resultados do parâmetro de turbidez no efluente filtrado da ETA II foram ilustrados na Figura 17.

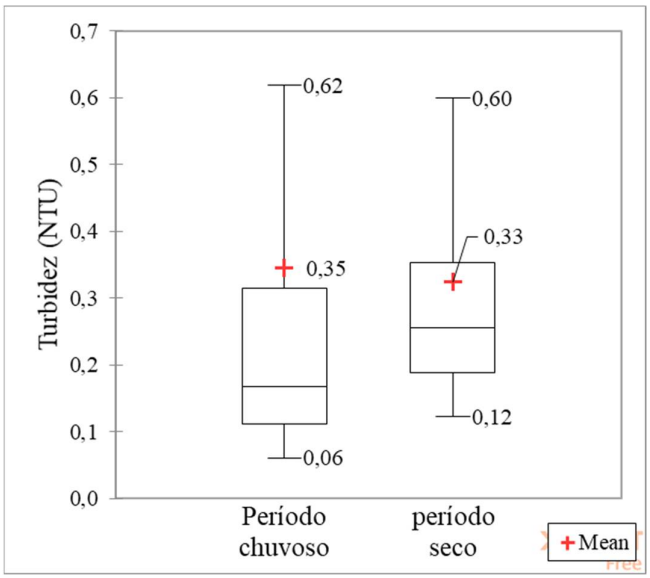


Figura 17 - Gráfico box plot sem outliers dos valores de turbidez (NTU) na água filtrada ETA II em São Luís dos Montes Belos, no período chuvoso e seco.

Na Figura 17, observa-se que o efluente combinado filtrado também apresentou a maior concentração média de turbidez (0,35 NTU) no período chuvoso, esse resultado pode ser associada ao percentual de 52,20% das medições que estiveram acima de 0,3 NTU e aos 12,37% acima do VMP de 1,0 NTU. Destaca-se que o monitoramento nessa estação foi realizado por um período de 7 dias.

No período seco, o desempeho do filtro revelou que 36,59% das medições foram superiores à 0,3 NTU e 2,62% acima do VMP, logo a água filtrada com baixa turbidez constitui uma medida preventiva, de acordo com Lopes (2008). Visto que, a remoção de turbidez foi correlacionada positivamente com a remoção de *Cryptosporidium* spp. em amostras de água bruta e filtrada analisadas por Dugan *et al.* (2001) em uma planta de tratamento do tipo ciclo completo, em escala piloto, a partir dos ensaios com subdosagem de coagulante, dosagem ótima e superdosagem.

Logo, conclui-se que o desempenho dos filtros rápidos da ETA I e II foram insatisfatório, quanto aos limites estabelecidos pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 (BRASIL, 2017), transferindo assim, à desinfecção, a responsabilidade pela prevenção dos riscos à saúde, em casos de aumento da concentração de protozoários na água bruta, no entanto, deve-se levar em consideração as limitações da cloração na inativação dos (oo)cistos (FRICKER; CRABB, 1988). Logo, recomenda-se a modificação do meio filtrante com a redução do tamanho das partículas, com a finalidade de proporcionar maior remoção dos protozoários.

Com relação a granulometria do meio filtrante da ETA II, constituído de areia e antracito, a Figura 18 representa a curva granulométrica desse material.

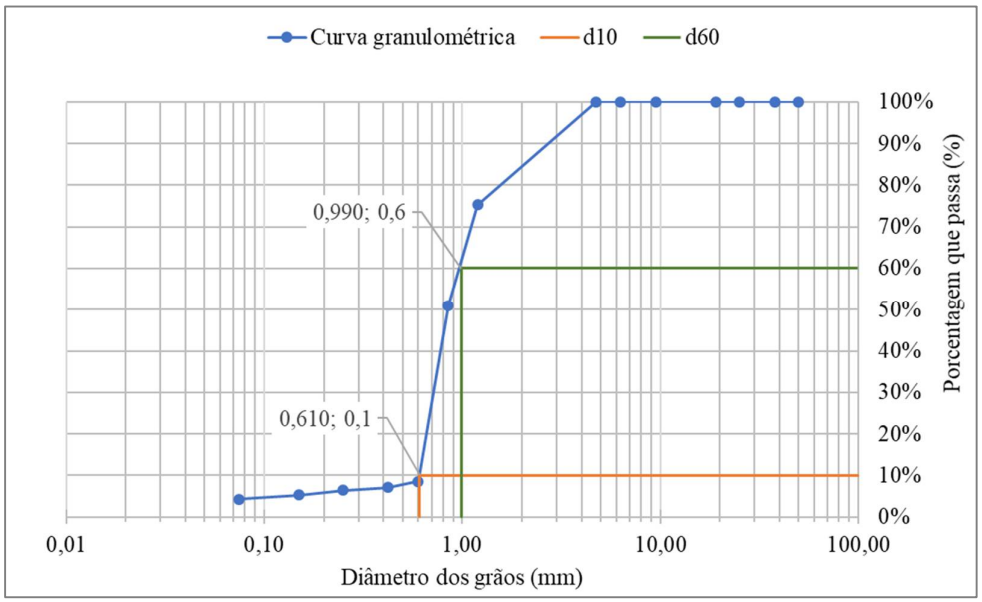


Figura 18 - Curva granulométrica da camada filtrante dupla, constituída de areia e antracito, pertencente ao filtro rápido da ETA II em São Luís dos Montes Belos, assim como a abertura da peneira que deixa passar 10% (d10) e 60% (d60) das partículas.

Verifica-se na Figura 18, que o diâmetro efetivo dos grãos (T_{ef}=0,61mm) foram superiores à ETA II, que apresentou material uniforme (C_u=1,623), sendo que as partículas apresentam

pouca variação de graduação. Esses parâmetros não estão em conformidade com a NBR 12216 (ABNT, 1992).

4.4 BALANÇO DE MASSA DA ÁGUA BRUTA E FILTRADA

A Tabela 19 e Tabela 20 resumem os resultados dos parâmetros físico-quimicos e microbiológicos, na água bruta e filtrada, de ambos os cursos d'água – Ribeirão Cerrado e Ribeirão Santana, respectivamente.

Tabela 19 - Parâmetros físicos, químicos e microbiológicos das amostras de água bruta do Ribeirão Cerrado e efluente filtrado da ETA I.

Estação	Amostra	Data da amostra	n	T (NTU)	TA (ºC)	CA (uC)	CV (uC)	pH	CT (NMP/100 mL)	*E. coli* (NMP/100 mL)
Período seco	Água Bruta	07/09/2019	2	19,00	23,20	76,30	51,60	7,69	6488	776
		22/09/2019		14,80	24,10	72,70	44,90	7,58	8664	908
	Água filtrada	07/09/2019		**0,98**	23,20	10,30	10,30	7,42	158	10
		22/09/2019		**0,45**	24,60	5,30	5,30	7,23	5794	63
Eficiência de remoção (%)				95,9	-	89,6	84,1	-	65,3	95,9
Período chuvoso	Água Bruta	08/12/2019	2	206,00	25,00	300,00	300,00	7,03	-	9804
		19/12/2019		848,00	24,00	519,00	160,00	6,78	36540	5012
	Água filtrada	08/12/2019		**0,93**	25,60	5,60	5,60	6,12	134	30
		19/12/2019		**0,34**	24,90	7,10	6,80	6,55	97	20
Eficiência de remoção (%)				**99,8**	-	**98,4**	**96,9**	-	**99,7**	**99,6**

T – Turbidez; TA – Temperatura da água; CA – Cor Aparente; CV – Cor verdadeira; CT – Coliformes Totais;

Tabela 20 - Parâmetros físicos, químicos e microbiológicos das amostras de água bruta do Ribeirão Santana e efluente filtrado da ETA II.

Estação	Amostra	Data de Coleta	n	T (NTU)	TA (ºC)	CA (uC)	CV (uC)	pH	CT (NMP/100 mL)	*E. coli* (NMP/100 mL)
Período seco	Água Bruta	07/09/2019	2	9,63	24,60	54,30	35,10	7,70	14136	3654
		22/09/2019		9,16	24,60	54,60	41,90	7,50	17329	759
	Água filtrada	07/09/2019		**0,71**	24,80	12,10	12,10	7,47	226	20
		22/09/2019		**0,30**	24,90	6,90	22,40	7,19	487	10
Eficiência de remoção (%)				94,7	-	82,5	56,0	-	97,8	99,1
Período chuvoso	Água Bruta	08/12/2019	2	148,00	25,20	113,00	113,00	7,63	*	7701
		19/12/2019		27,40	26,30	125,00	111,00	7,38	*	111990
	Água filtrada	08/12/2019		**1,27**	25,50	4,90	4,50	6,28	119	62
		19/12/2019		**0,28**	26,20	6,60	5,30	6,90	153	30
Eficiência de remoção (%)				**99,1**	-	**95,2**	**95,6**	-	ND	**99,6**

T – Turbidez; TA – Temperatura da água; CA – Cor Aparente; CV – Cor verdadeira; CT – Coliformes Totais; ND – Não Detectado; * - Concentração superior ao Limite de Detecção do método.

Ao observar a Tabela 19 e Tabela 20, verifica-se que as chuvas influenciaram na qualidade da água, com incremento dos parâmetros turbidez, cor aparente e verdadeira. Os valores máximos na água bruta do Córrego Cerrado foram de 848 NTU, 519 uC e 300 uC e no Ribeirão Santana de 148 NTU, 125 uC e 113 uC, respectivamente, relativo ao período chuvoso.

Apesar do incremento do parâmetro turbidez na água bruta durante o período chuvoso, verifica-se que as concentrações na água filtrada foram levemente superior, variando de 0,34 – 0,93 NTU na Tabela 19 e de 0,28 – 1,27 NTU na Tabela 20. Os resultados na água filtrada, em conformidade com os dados verificados na Figura 15 e Figura 17, apresentaram resultados fora do intervalo estabelecido pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 (BRASIL, 2017).

Na Tabela 19, as cargas máximas de coliformes totais e *E. coli*, na água bruta, foram de 36540 e 9804 NMP/100 mL, enquanto que, na Tabela 20, a concentração máxima de coliformes totais e *E. coli* foram de 17329 e 111990 NMP/100 mL, respectivamente. Os níveis dos parâmetros microbiológicos podem ser explicados devido à poluição difusa proveniente das pastagens e áreas agrícolas nos mananciais estudados, conforme características de uso do solo apresentados na Tabela 10 e Tabela 12, e a alta susceptibilidade erosiva do solo. Canale (2014) observou ausência de correção entre os níveis de *E. coli* e a ocorrência de *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp. em amostras de água bruta, em concordância com a variabilidade da concentração dos protozoários nos mananciais investigados, relativo às estações climáticas, não indicando assim, um aumento da ocorrência desses organismos no período chuvoso, conforme verificado com os parâmetros microbiológicos (CT e *E. coli*)

Verifica-se que, em geral, as eficiências de remoção dos parâmetros foram superiores no período chuvoso, em concordância com a remoção dos protozoários que também obtiveram melhorias nessa estação climática, com exceção da temperatura da água e pH que não sofrem redução durante o processo de tratamento. Na Tabela 19, relativo à estação chuvosa, a variável turbidez foi 99,8% removida em relação a água bruta e filtrada, enquanto que o coliformes totais apresentou remoção de 99,7% e o *E. coli* de 99,6%. Na Tabela 20, as taxas de remoção foram de 99,1% de turbidez e 99,6% de *E. coli*.

No período seco, o parâmetro coliformes totais apresentou a menor remoção de 65,3% na ETA I (Tabela 19), já na ETA II a variável cor verdadeira apresentou taxa de remoção de 56%, podendo indicar assim, ineficiência nos processos antecedentes ao filtro, que segundo Libânio (2010), deteriora a qualidade da água, promovem a redução da carreira de filtração e o crescimento da frequência de limpeza dos filtros, ampliando assim o custo financeiro de

operação e manutenção dos SAA, devido a quantidade de partículas suspensas e coloidais, matéria orgânica, microrganismos e outras substâncias deletérias a saúde humana.

carreiras de filtração e retrolavagem dos filtros).

O parâmetro microbiológico Coliformes totais apresentou correlação positiva com a ocorrência de *Cryptosporidium* spp. (p=0,0307), conforme apresentado na Tabela 21, no entanto, a variável *E. coli* não foi correlacionada positivamente com os protozoários, em concordância com os resultados obtidos pelos autores Grott *et al.* (2016) e Bastos *et al.* (2004).

Tabela 21 - Aplicação do coeficiente de correlação de Spearman (r) entre *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp, com os parâmetros Coliformes totais e *E. coli*, na água bruta.

Variável	***Cryptosporidium* ssp.**		***Giardia* ssp.**	
	r	**p**	**r**	**p**
Coliformes total	0,7593	0,0307*	-0,2187	-
E. coli	-0,0705	-	0,1207	0,7764

* Quando o valor de p <0,05, considera-se a correlação estatisticamente significante.

Conclui-se que é de fundamental importância o controle dos processos de tratamento que influenciam na remoção dos oocistos segundo Lopes (2008), nas ETAs I e II, tais como: i) controle dos mecanismos de coagulação, por intermédio da dosagem do coagulante, tempo e gradiente de velocidade da mistura rápida e do pH; ii) controle da floculação, referente ao gradiente de velocidade e tempo de floculação; iii) sedimentação adequada, em função das condições hidráulicas do decantadas e formato dos flocos; iv) controle da filtração a partir da granulometria do meio filtrante, taxas operacionais inerentes ao filtro (taxa de filtração,

5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- Essa pesquisa consiste no primeiro registro da ocorrência de *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp. em 15 mananciais destinados ao abastecimento público de água;
- O oocisto de *Cryptosporidium* spp. foi correlacionado positivamente com a área de pastagem (p=0,0461), logo bacias hidrográficas com predomínio de pastagem são susceptíveis à ocorrência de surtos de cryptosporidiose;
- Os ensaios de precisão e recuperação inicial (água ultrapura) atingiram os critérios da USEPA (2012) para *Giardia* (78,13% ± 0%) e para *Cryptosporidium* (60,63% ± 32,65%);
- Os ensaios de precisão e recuperação continuada, com água bruta *in natura*, estiveram abaixo da eficiência recomendada pela normativa internacional, devido a turbidez presente nas amostras;
- No período chuvoso, o incremento da turbidez dificultou a visualização dos (oo)cistos nas lâminas ao microscópio, pois formou-se uma película com sujidades;
- Os oocistos de *Cryptosporidium* spp. foram detectados com maior frequência na água bruta do Ribeirão Cerrado e Santana, quanto relacionado aos cistos de *Giardia* spp., devido ao seu potencial de contaminação ambiental;
- A ETA I apresentou melhor desempenho para remoção dos protozoários *Giardia* spp., com remoção de 100%, e *Cryptosporidium* spp., com eficiência de remoção de 96,74%, no período seco, e 99,69%, no período chuvoso, quando comparada à ETA II;
- Em geral, as plantas de tratamento revelaram eficiência de remoção dos protozoários abaixo daqueles relatados na literatura de 99% de remoção;
- O desempenho dos filtros rápidos foram insatisfatórios com relação ao limite estabelecido na Portaria, de 0,3 NTU em 95% das leituras no efluente filtrado, nas duas plantas de tratamento monitoradas;
- As características granulométricas (Tamanho efetivo e Coeficiente de Uniformidade) de ambos os meios filtrantes não estão em conformidade com os critérios estabelecidos na NBR 12216 (ABNT, 1992);
- Constata-se que o aumento da turbidez na água bruta no período chuvoso não afetou drasticamente o desempenho dos filtros, sendo que, as concentrações na água filtrada

foram levemente superior, variando de 0,34 – 0,93 na ETA I e de 0,28 – 1,27 na ETA II.

- A pesquisa em questão releva a importância da circulação dos protozoários no meio ambiente aquático do Estado de Goiás, ainda que as evidências epidemiológicas das doenças cryptosporidiose e giardíase não foram investigadas nos municípios monitorados.

5.1 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se para trabalhos futuros:

- A avaliação da capacidade infectante dos (oo)cistos para determinar o impacto à saúde pública, visto que a metodologia de Filtração em Membrana não promove lesões e deformações nos protozoários, possibilitando a aplicação da técnica de PCR. Essa técnica pode ser útil para identificação das fontes de contaminação em caso de ocorrência de surtos.
- O monitoramento por um período de um ano, no mínimo, da presença dos protozoários nos pontos de captação pertencentes aos 15 mananciais superficiais;
- Monitorar cada planta de tratamento, vinculada aos 15 mananciais, individualmente, para verificar a eficiência de remoção e inativação desses protozoários;
- Imprementar soluções técnicas de melhoria dos sistemas de tratamento de água, garantindo avanços nos processos de filtração, a fim de atender aos valores mínimos de turbidez (0,3 uT) recomendado pela Portaria de Consolidação nº 5 (BRASIL, 2017) e remoção total dos protozoários. Realizar testes iniciais em ensaios de bancada como *Jar Test.*
- Verificar junto à Secretária de Saúde a quantidade de surtos documentados de cryptosporidiose ou giardíase, no período analisado, ou relatos de pacientes com diarreia intensa.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016, 8p.

ABNT _____. **NBR 7181**: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2017, 12p.

ABNT _____. **NBR 12216**: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992, 18p.

ADAMSKA, M. Molecular characterization of *Cryptosporidium* and *Giardia* occurring *in natura*l water bodies in Poland. **Parasitology research**, v. 114, n. 2, p. 687-692, 2015.

ALMEIDA, J. C.; MARTINS, F. D. C.; FERREIRA NETO, J. M.; SANTOS, M. M. D.; GARCIA, J. L.; NAVARRO, I. T.; KURODA, E. K.; FREIRE, R. L. Occurrence of *Cryptosporidium* spp. and *Giardia* spp. in a public water-treatment system, Paraná, Southern Brazil. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 24, n. 3, p. 303-308, 2015.

AGR - Agência Goiana de Regulação Controle e Fiscalização de Serviços Públicos. **Relatório de Fiscalização nº 48/2017**. Goiânia: Gerência de Saneamento Básico, 2017.

ANA - Agência Nacional de Águas**. Atlas Brasil: abastecimento urbano de água. Resultado por estado.** Brasília - DF, ANA, SPR, 2010.

ANA - Agência Nacional de Águas**. Plano estratégico de recursos hídricos da bacia hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia: relatório síntese**. Brasília, ANA, SPR, 2009.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the examination of water and wastewater.** American Water Works Association, Water Environmental Federation, 22st ed. Washigton, 2012.

ARORA, H., DI GIOVANNI, G., LECHEVALLIER, M. Spent filter backwash water: contaminants and treatment strategies. **Journal of the American Water Works Association**, v. 93, n. 5, p. 100-112, 2001.

ATHERHOLT T.B.; LECHEVALLIER M.W.; NORTON W.D.; ROSEN J.S. Effect of rainfall on *Giardia* and Crypto. **Journal of the American Water Works Association**, v. 90, p. 66-80, 1998

BALDURSSON S, KARANIS P. Waterborne transmission of protozoan parasites: review of worldwide outbreaks - an update 2004-2010. **Water Research**, v. 45, p. 6603-6614, 2011.

BAQER, N. N.; HAMMOOD, A. H.; HASSAN, K. F.; HASSAN, E. S. A. D. Detection of water-borne parasites in drinking water of Baghdad, Iraq. **African journal of infectious diseases**, v. 12, n. 2, p. 1-6, 2018.

BASTOS, R.K.X.; HELLER, L.; VIEIRA, M.B.M.; BRITO, L.A.; BEVILACQUA, P.D.; NASCIMENTO, L.E. *Giardia* cysts and *Cryptosporidium* oocysts dynamics in Southeast Brazil. Occurrence in surface water and removal in water treatment processes. **Water Science and Technology,** v. 4, n. 2, p. 15 -22, 2004.

BEVILACQUA, P. D.; BASTOS, R. K. X.; HELLER, L.; OLIVEIRA, A. A.; VIEIRA, M. B. C. M.; BRITO, L. L. A. Densidades de *Giardia* e *Cryptosporidium* em mananciais de

abastecimento de água e prevalência de giardíase: usos e aplicação do modelo teórico de avaliação de risco. In: **Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental**, 2002.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Inspeção sanitária em abastecimento de água**. Brasília, 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação n° 5,** de 28 de setembro de 2017. Brasília, 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria n° 2914,** de 12 de dezembro de 2011. Brasília, 2011.

BOUZID, M.; HUNTER, P. R.; CHALMERS, R. M.; TYLER, K. M. *Cryptosporidium* Pathogenicity and Virulence. **Clinical Microbiology Reviews**, v. 26, n. 1, p. 115–134, 2013.

BUSTAMANTE H.A.; SHANKER S.R.; PASHLEY R.M.; KARAMAN M.E. Interaction between *Cryptosporidium* oocysts and water treatment coagulants. **Water Research**, v. 35, p. 3179-3189, 2001

CANALE, I. **Caracterização microbiológica, parasitológica e físico-química da água de lavagem de filtros recirculada em ETA de ciclo completo.** Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia, 2014.

CANTUSIO NETO, R. **Estudo dos métodos de floculação em carbonato de cálcio e adaptação das técnicas de filtração em membrana e separação imunomagnética para detecção de *Cryptosporidium* e *Giardia* em amostras hídricas.** Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia, 2008.

CANTUSIO NETO, R.; FRANCO, R. M. B. 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. **Higiene Alimentar**, v. 18, p. 52-59, 2004.

CAREY, C. M.; LEE, H.; TREVORS, J. T. Biology, persistence and detection of *Cryptosporidium* parvum and *Cryptosporidium* hominis oocyst. **Water Research**, v. 38, n. 4, p. 818-862, 2004.

CDC - CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. **Parasites – *Cryptosporidium* (also known as "Crypto") – Biology.** Atualizado em fevereiro de 2015. Disponível em: <https://www.cdc.gov/parasites/crypto/pathogen.html>. Acesso: 06 nov. 2019.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SAO PAULO. **Guia Nacional de Coleta e Preservacao de Amostras: Agua, Sedimento, Comunidades Aquaticas e Efluentes Liquidos.** Sao Paulo: CETESB; Brasilia: ANA, 325 p., 2011.

CLANCY, J. L.; BUKHARI, Z.; MCCUIN, R. M.; HARGY, T. M. **New Approaches for Isolation of *Cryptosporidium* and *Giardia*.** American Water Works Association, 2000.

CHENG, H.-W. A.; LUCY, F. E.; GRACZYK, T. K.; BROADERS, M. A.; TAMANG, L.; CONNOLLY, M. **Fate of *Cryptosporidium* parvum and *Cryptosporidium* hominis oocysts and *Giardia* duodenalis cysts during secondary wastewater treatments. Parasitology Research**, v. 105, n. 3, p. 689–696, 2009.

CRAUN, G. F.; HUBBS, S. A.; FROST, F.; CALDERON, R. L.; VIA, S. H. **Waterborne outbreaks of cryptosporidiosis.** Journal - American Water Works Association, v. 90, n. 9, p. 81–91, 1998.

CRUVINEL, K. A. S. **Avaliação da Variabilidade de Qualidade Ambiental de Bacias de Mananciais de Abastecimento Público com a Aplicação de um Índice para o Estado de Goiás.** Tese de doutorado CIAMB – UFG, 118 f, 2016.

COTRUVO, J.; DUFOUR, A.; REES, G.; BARTRAM, J.; CARR, R.; CLIVER, D. O. Waterborne zoonoses: identification, causes, and control. **World Health Organization**, 2004.

DIAS, G.M.F.; BEVILACQUA, P.D.; BASTOS, R.K.X.; OLIVEIRA, A.A.; CAMPOS, G.M.M. *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp. em agua de manancial superficial de abastecimento contaminada por dejetos humano e animal. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia,** v. 60, n. 6, p. 1291-1300, 2008.

DUGAN, N. R.; FOX, K. R.; OWENS, J. H.; MILTNER, R. J. Controlling *Cryptosporidium* oocysts Using Conventional Treatment. **Journal - American Water Works Association**, V. 93, n. 12, p. 64–76, 2001.

EFSTRATIOU, A.; ONGERTH, J. E.; KARANIS, P. Waterborne transmission of protozoan parasites: Review of worldwide outbreaks - An update 2011-2016. **Water Research.** v. 114, p. 14–22, 2017.

FAO - Food and Agricultural Organization of the United Nations. **Review of world water resources by country.** Roma, FAO, 2003.

FAYER, R. *Cryptosporidium*: a water-borne zoonotic parasite. **Veterinary Parasitology**, v. 126, n. 1-2, p. 37–56, 2004.

FRANCO, R. M. B.; BRANCO, N.; LEAL, D. A. G. Parasitologia ambiental: métodos de concentração e detecção de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. em amostras de água. **Revista de Patologia Tropical**, v. 41, n. 2, 2012a.

FRANCO, R. M. B.; ROCHA-EBERHARDT, R. CANTUSIO NETO, R. Occurrence of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts in raw water from the Atibaia river, Campinas, Brazil. **Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo,** v. 43, n. 2, p. 109-111, 2001.

FRANCO, R. M. B.; HACHICH, E. M.; ZANOLLI SATO, M. I.; NAVEIRA, R. M. L.; SILVA, E. D. C.; CAMPOS, M. M. D. C.; CANTUSIO NETO, R.; CERQUEIRA, D. A.; BRANCO, N.; LEAL, D. A. G. Performance evaluation of different methodologies for detection of *Cryptosporidium* spp. and *Giardia* spp. in water for human consumption to meet the demands of the Environmental Health Surveillance in Brazil. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 21, n. 2, p. 233-242, 2012b.

FRANCY D.S.; SIMMONS O.D.; WARE M.W.; GRANGER E.J.; SOBSEY M.D.; SCHAEFER F.W. Effects of seeding procedures and water quality on recovery of *Cryptosporidium* oocysts from stream water by using U.S. Environmental Protection Agency Method 1623. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 70, p. 4118-4128, 2004.

FREITAS, A.G.; BASTOS, R.K.X.; BEVILACQUA, P.D.; PÁDUA, V.L.; PIMENTA, J.F.P.; ANDRADE, R.C. Recirculação de Água de Lavagem de Filtros e Perigos Associados a Protozoários. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 15 n. 1, p. 37-46, 2010.

FREITAS, D. A. D.; PAIVA, A. L. R. D.; CARVALHO FILHO, J. A. A. D.; CABRAL, J. J. D. S. P.; ROCHA, F. J. S. Occurrence of *Cryptosporidium* spp., *Giardia* spp. and other pathogenic intestinal parasites in the Beberibe River in the State of Pernambuco, Brazil. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 48, n. 2, p. 220-223, 2015.

FRICKER, C.R.; CRABB, J. Water-borne Criptosporidiosis: Detection methods and treatment options. **Advanced Parasitology**, v. 40, p. 241-278, 1998.

GALE P, STANFIELD G. *Cryptosporidium* during a simulated outbreak. **Journal - American Water Works Association,** v. 92, p. 105-116, 2000.

GARRIDO, L. E. M. *Cryptosporidium* parvum-patógeno emergente de veiculação hídrica: desafios metodológicos de detecção ambiental. **Tese de Doutorado.** FIOCRUZ, 2003

GROTT, S. C.; HARTMANN, B.; FILHO, H. H. S.; FRANCO, R. M. B.; GOULART, J. A. G. Detecção de cistos de *Giardia* spp. e oocistos de *Cryptosporidium* spp. na água bruta das estações de tratamento no município de Blumenau, SC, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v. 11, n. 3, p. 689-701, 2016.

GEURDEN T.; OLSON M. *Giardia* in pet and farm animals, and their zoonotic potential, p. 71-79, 2011. **In: *Giardia*. Springer, Vienna**, p. 71-92, 2011.

HACHICH, E. M.; GALVANI, A. T.; PADULA, J. A.; MENEGON, N.; SATO, M. I. Z. Importância do controle dos parasitas patogênicos *Giardia* e *Cryptosporidium* em águas captadas para consumo humano**. In: Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, ABES, p. 1-6, 2000.

HELLER, L.; BASTOS, R. K. X.; VIEIRA, M. B. C. M.; BEVILACQUA, P. D.; BRITO, L. L. A.; MOTA, S. M. M.; *et al.* Oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia*: circulação no ambiente e riscos à saúde humana. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 13, n. 2, p. 79-92, 2004.

HORMAN, A; RIMHANEN-FINNE, R; MAUNULA, L; VON BONSDORFF, C. H; TORVELA, N; HEIKINHEIMO, A; HANNINEN, M.-L. Campylobacter spp., *Giardia* spp., *Cryptosporidium* spp., Noroviruses, and Indicator Organisms in Surface Water in Southwestern Finland, 2000-2001. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 70, n. 1, p. 87–95, 2004.

HSU B.M.; YEH H.H. Removal of *Giardia* and *Cryptosporidium* in drinking water treatment: a pilot-scale study. **Water Research,** v. 37, p. 1111-1117, 2003.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Conheça cidades e estados do Brasil. 2010.** Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/panorama. Acesso em: 24 abr. 2019.

IMB – INSTITUTO MAURO BORGES DE ESTATÍSTICA E ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS. **Goiás – Visão Geral.** Disponível em: < http://www.imb.go.gov.br/index.php?option=com_contenteview=articleeid=79eItemid=145>. Acesso em: 24 abr. 2019.

IMRE, K.; SALA, C.; MORAR, A.; ILIE, M. S.; PLUTZER, J.; IMRE, M.; DĂRĂBUȘ, G. *Giardia* duodenalis and *Cryptosporidium* spp. as contaminant protozoa of the main rivers of western Romania: genetic characterization and public health potential of the isolates. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 22, p. 18672–18679, 2017.

KARANIS, P. *Giardia* and *Cryptosporidium*: Occurrence in Water Supplies. **Encyclopedia of Environmental Health,** p. 946–954, 2011.

KARANIS, P.; KOURENTI, C.; SMITH, H. Waterborne transmission of protozoan parasites: A worldwide review of outbreaks and lessons learnt. **Journal of Water and Health**, v. 5, n. 1, p. 1-38, 2007.

KENT G. P., GREENSPAN J. R., HERNDON J. L., MOFENSON L.M., HARRIS J. S., ENG T. R., WASKIN H. A. Epidemic*Giardia*sis caused by a contaminated Public Water Supply. **American Journal of Public Health,** v. 78, n. 2, p. 139-143, 1988.

LANE, S.; LLOYD, D. Current Trends in Research into the Waterborne Parasite *Giardia*. **Critical Reviews in Microbiology**, v. 28, n. 2, p. 123–147, 2002.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** 3. ed. Campinas, SP: Átomo, 2010.

LECHEVALLIER, M. W.; ABBASZADEGAN, M.; DI GIOVANNI, G. D. Detection of infectious *Cryptosporidium* parvum oocysts in environmental water samples using an integrated cell culture-PCR (CC-PCR) system. **Water, air, and soil pollution,** v. 123, n. 1-4, p. 53-65, 2000.

LECHEVALIER, M.W.; NORTON, W.; ATHERTOLTT.B. Protozoa in open reservoirs. **Journal of the American Water Works Association**, v. 89, n. 9, p. 84-96, 1997.

LEVINE, N. D. Some Corrections of Coccidian (Apicomplexa: Protozoa) Nomenclature. **The Journal of Parasitology,** v. 66, n. 5, p. 830, 1980.

LO, N. T.; SARKER, M. A. B.; LIM, Y. A. L.; HARUN-OR-RASHID, M.; SAKAMOTO, J. Inadequate water treatment quality as assessed by protozoa removal in Sarawak, Malaysia. Nagoya journal of medical science, v. 80, n. 2, p. 165, 2018.

LOPES, A. M. M. B.; CERQUEIRA, D. A.; MARTINS, F. C.; PADUÁ, V. L. Ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium* spp e cistos de *Giardia* sp e sua associação com *Escherichia coli*, Enterococcus spp indicadores bacteriológicos e turbidez em um reservatório tropical. **Revista Dae**, v. 59, n. 185, p.18-28, 2011.

LOPES, G. J. R. **Avaliação da turbidez e do tamanho de partículas como parâmetros indicadores da remoção de oocistos de *Cryptosporidium*** spp. **nas etapas de clarificação no tratamento da água em ciclo completo.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, 2008.

MACIEL, P. M. F. **Remoção de *Giardia*** spp. **e *Cryptosporidium*** spp. **em águas de abastecimento com turbidez elevada utilizando cloreto de polialumínio: estudo em escala de bancada e desafios analíticos.** Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biologia. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

MACKENZIE, W.R.; HOXIE, N.J.; PROCTOR, M.E.; GRADUS, M.S.; BLAIR, K.A.; PETERSON, D.E.; KAZMERCZAK, J.J.; ADDISS, D.G.; FOX, K.R.; ROSE, J.B.; DAVIS, J.P. A massive outbreak in Milwaukee of *Cryptosporidium* infection transmitted through the public water supply. **New England Journal of Medicine**, v. 331, p. 161–167, 1994.

MEISEL, J.L.; PERERA, D.R.; MELIGRO, C.; RUBIN, C.E. Overwhelming watery diarrhea associated with a *Cryptosporidium* in an immunosuppressed patient. **Gastroenterology**, v. 70, p. 1156-1160, 1976.

MIGLIOLI, M. G.; ZUANAZZI, J. G.; DA SILVA, J. D.; FRANCO, R. M. B.; GREINERT-GOULART, J. A. Remoção de cistos de *Giardia* spp. e oocistos de *Cryptosporidium* spp. na Estação de Tratamento de Esgoto Garcia, no município de Blumenau, SC, Brasil. **Ambiente e Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 12, n. 6, p. 1001-1016, 2017.

NIME, F. A.; BUREK, J. D.; PAGE, D. L.; HOLSCHER, M. A.; YARDLEY, J. H. Acute enterocolitis in a human being infected with the protozoan *Cryptosporidium*. **Gastroenterology**, v. 70, n. 4, p. 592-598, 1976.

ONGERTH, J. E. Evaluation of Treatment for Removing *Giardia* Cysts. **Journal - American Water Works Association,** 82(6), 85–96, 1990. doi:10.1002/j.1551-8833.1990.tb06982.x

ONGERTH, J.E. The concentration of *Cryptosporidium* and *Giardia* in water – The role and importance of recovery efficiency. **Water Research**, v. 47, p. 2479-2488, 2013.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transformando nosso mundo: a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável.** Disponível em: <https://www.undp.org/content/dam/brazil/Agenda2030-completo-site%20(1).pdf>. Acesso em: 24 abr. 2019.

PADUA, V.L. (coord.) **Remocao de microrganismos emergentes e microcontaminantes organicos no tratamento de agua para consumo humano.** Projeto PROSAB, ABES, Rio de Janeiro, p. 74-124, 2009.

PLUTZER, J.; KARANIS, P. Neglected waterborne parasitic protozoa and their detection in water. **Water Research**, v. 101, p. 318-332, 2016.

Projeto MapBiomas – Coleção 3.0 da **Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. 2017. Acessado em 30 de novembro de 2018 através do link: https://storage.googleapis.com/mapbiomas/legenda/Download_codigos_da_legenda_3.0_rev1.pdf

PONATH, F.S., VALIATTI, T.B., SOBRAL, F.O.S., ROMÃO, N.F., ALVES, G.M.C. and PASSONI, G.P., 2016. Avaliação da higienização das mãos de manipuladores de alimentos do Município de Ji-Paraná, Estado de Rondônia, Brasil**. Pan-Amazônica de Saúde,** v. 7, n. 1, p. 63-69.

RIBOLZI, O.; CUNY, J.; SENGSOULICHANH, P.; MOUSQUE`, C.; SOULILEUTH, B.; PIERRET, A.; HUON, S.; SENGTAHEUANGHOUNG, O. Land use and water quality along a Mekong tributary in Northern Lao P.D.R. **Environmental Management,** v. 47, p.291–302, 2011.

RYAN, U. N. A.; FAYER, R.; XIAO, L. *Cryptosporidium* species in humans and animals: current understanding and research needs. **Parasitology,** v. 141, n. 13, p. 1667-1685, 2014.

SANTOS, P. M; ARAÚJO, J. V. G; SOUZA, S. B. S. Análise da antropização no córrego cerrado, manancial de abastecimento público de Sanclerlândia, Goiás. **In: 46ª Assembleia Nacional da Assemae.** 2016.

SANTOS, S. D. F. O. **Estudo dos parasitos oportunistas em águas fluviais de uso humano no município de Goiânia-Goiás, Brasil, 2006/2007**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, 2008.

SATO, M. I. Z.; GALVANI, A. T.; PADULA, J. A.; NARDOCCI, A. C.; DE SOUZA LAURETTO, M.; RAZZOLINI, M. T. P.; HACHICH, E. M. Assessing the infection risk of *Giardia* and *Cryptosporidium* in public drinking water delivered by surface water systems in Sao Paulo State, Brazil. **Science of The Total Environment**, v. 442, p. 389-396, 2013.

SHEPHERD, K. M.; WYN-JONES, A. P. An evaluation of methods for the simultaneous detection of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts from water. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 62, n. 4, p. 1317-1322, 1996.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2017.** Brasília, Secretaria Nacional de Saneamento/Ministério do Desenvolvimento Regional, 2019.

STANCARI, R. C. A.; CORREIA, M. Detecção de oocistos de *Cryptosporidium* spp e cistos de *Giardia* spp. em mananciais e águas de abastecimento público. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 69, n. 4, 2010.

STEINER, MD, T. S.; THIELMAN, MD, N. M.; GUERRANT, MD, R. L. PROTOZOAL AGENTS: What Are the Dangers for the Public Water Supply? **Annual Review of Medicine,** v. 48, n. 1, p. 329–340, 1997.

THOMPSON, R. C. A. *Giardia*sis as a re-emerging infectious disease and its zoonotic potential. **International Journal for Parasitology**, v. 30, n. 12-13, p. 1259–1267, 2000.

THOMPSON, R. C. A. The zoonotic significance and molecular epidemiology of *Giardia* and *Giardia*sis. **Veterinary Parasitology**, v. 126, n. 1-2, p. 15–35, 2004.

THOMPSON, R.C.A. Towards a better understanding of host specificity and the transmission of *Giardia*: The impact of molecular epidemiology. In: Olson, B.E., Olson, M.E., Wallis, P.M. (Eds.), *Giardia*: The Cosmopolitan Parasite. **CABI Publishing**, Wallingford, UK, p. 55–69, 2002.

TZIPORI, S.; WARD, H. Cryptosporidiosis: biology, pathogenesis and disease. **Microbes and Infection**, v. 4, n. 10, p. 1047–1058, 2002.

UNICEF - UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND, WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Diarrhoea: why children are still dying and what can be done.** New York:Unicef; Geneva: WHO, p. 58, 2009.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Office of Water. Washington DC. **Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule LT2ESWTR.** 40 CFR, Parts 9, 141 e 142.2006.

USEPA - UNITED STATES ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY. **Method 1623.1 *Cruptosporidium* an *Giardia* in Water by Filtration/IMS/FA.** Office of Water (MS-140) EPA 816 -R-12-001. January, 2012.

VASCO, A. N.; BRITTO, F. B.; PEREIRA, A. P. S.; MÉLLO JÚNIOR, A. V. M.; GARCIA, C. A. B.; NOGUEIRA, L. C. Avaliação espacial e temporal da qualidade da água na sub-bacia do rio Poxim, Sergipe, Brasil. **Revista Ambiente e Água,** Taubaté, v. 6, n. 1, p. 118-130, 2011.

VESEY G.; SLADE J. S.; BYRNE M.; SHEPHERD K.; FRICKER C. R.; A new method for the concentration of *Cryptosporidium* oocysts from water. **Journal of Applied Bacteriology**, v. 75, p. 82-86, 1993.

VIEGAS, A. A., DE SOUSA BORGES, F. R., SILVA, M. P., DA SILVA, D. R., RODRIGUES, B. B., MATSUY, M. A., MOSCATTO, J. A. Análise qualiquantitativa da água no Centro-Oeste QUANTO AO *Cryptosporidium* SPP/Quali-quantitative analysis of water in the Midwest as to *Cryptosporidium* Spp. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 24301-24314, 2019.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Health and sustainable development - Housing and health - Housing and health risks - **Waterborne disease related to unsafe water and sanitation.** Disponivel em: <https://www.who.int/sustainable-development/housing/health-risks/waterborne-disease/en/> Acesso em: 12 de outubro de 2019.

XIAO L.; FAYER, R. Molecular characterisation of species and genotypes of *Cryptosporidium* and *Giardia* and assessment of zoonotic transmission. **International Journal for Parasitology,** v. 38, n. 11, p. 1239-55, 2008.

XIAO, L. Molecular epidemiology of cryptosporidiosis: An update. **Experimental Parasitology**, p. 124, v. 1, p. 80–89, 2010.

.

APÊNDICE A - PLANILHA DE LEVANTAMENTO DAS CARACTERISTICAS TÉCNICAS E OPERACIONAIS DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA)

1. Entrevistado

Nome:

Cargo ocupado:

2. Dados técnicos de projeto

Nome do Sistema:

Disponibilização do projeto, memorial descritivo e de cálculo: ( ) Sim ( ) Não

Ano de início de operação da ETA:

Vazão nominal de início de projeto (L/s):

Houve ampliações/melhorias: ( ) Sim ( ) Não **Ano:**

Vazão nominal do projeto ampliado (L/s):

Tempo de detenção da ETA (h):

Tempo de detenção na mistura rápida (s):

Tempo de detenção no floculador (min):

Tempo de detenção no decantador (min):

Tempo de detenção no filtro (min):

Tempo de detenção na câmara de contato (min):

3. Dados operacionais

Estação de Tratamento de Água (ETA)	**Tipo de tecnologia de tratamento:** ( ) Ciclo completo ( ) Dupla filtração ( ) Filtração direta ( ) Filtração lenta ( ) Filtração em múltiplas etapas
	Processos de tratamento: ( ) Correção do pH ( ) Oxidação ( ) Coagulação ( ) Floculação ( ) Sedimentação ( ) Filtração rápida ( ) Filtração lenta ( ) Desinfecção ( ) Fluoretação ( ) Câmara de contato
	Vazão média de entrada (L/s):
	Vazão média de saída (L/s):

	Há variação na vazão de entrada: ( ) Sim ( ) Não
	Vazão máxima de entrada (L/s):
	Vazão máxima de saída (L/s):
	Há paralisações programadas no funcionamento da ETA: ( ) Sim ( ) Não **Horário:** **Motivo:**
Captação	**Tipo:** ( ) Superficial ( ) Subterrânea
	Método: ( ) Gravidade ( ) Bombeamento por recalque
	Curso d'água:
	Há desarenador: ( ) Sim ( ) Não
Mistura rápida	**Tipo:** ( ) Mecanizado ( ) Vertedor retangular ( ) Vertedor triangular ( ) Medidor Parshall
	Corretor de pH: ( ) Cal hidratada – $Ca(OH)_2$ ( ) Cal virgem - CaO ( ) Barrilha – Na_2CO_3 ( ) Soda Cáustica – NaOH
	Coagulante: ( ) Sulfato de Alumínio – $Al_2(SO_4)_3$ ( ) Sulfato Ferroso – $FeSO_4$ ( ) Cloreto Férrico – $FeCl_3$ ( ) Policloreto de Alumínio – PAC
	Estado físico: ( ) Líquido ( ) Sólido
	Há aplicação de auxiliar de coagulação: ( ) Sim ( ) Não
	Tipo de auxiliar de coagulação: ( ) Polímero sintético ( ) Polímero natural
	Local de preparo do coagulante: ( ) *In loco* ( ) Local externo a ETA ( ) Não há diluição
	Teor do coagulante (%):
	Local de aplicação do coagulante: ( ) A montante do ressalto hidráulico ( ) A jusante do ressalto hidráulico
	Dosagem (mg/L):
	Método de dosagem: ( ) Visual ( ) Controlado, com medições periódicas da dosagem
	Tanque de mistura rápida: ( ) Sim ( ) Não
	Quantidade:
	Dimensões (m): ( ) Alt. ( ) Larg. ( ) Prof.
	Tempo de detenção na mistura rápida (s):
Floculador	**Tipo:** ( ) Escoamento helicoidal ( ) Escoamento horizontal ( ) Escoamento vertical ( ) Floculação mecanizada
	Quantidade de câmaras:
	Dimensões (m): ( ) Alt. ( ) Larg. ( ) Prof.
	Capacidade útil dos floculadores (m^3):

	Tempo de detenção no floculador (min):	
	Gradiente de velocidade médio (s^{-1}):	
	Frequência de limpeza:	
	Método de limpeza: ( ) Manual ( ) Mecanizado	
	Operação do canal de saída do floculador: ( ) Em conformidade ( ) Afogado	
Decantador	**Tipo:** ( ) Escoamento horizontal ( ) Alta taxa	
	Forma: ( ) Retangular ( ) Circular ( ) Quadrado	
	Quantidade:	
	Decantador 1	**Dimensões (m):** ( ) Alt. ( ) Larg. ( ) Prof.
		Vazão (m^3/s):
		Taxa de aplicação superficial ($m^3/m^2.dia$):
	Decantador 2	**Dimensões (m):** ( ) Alt. ( ) Larg. ( ) Prof.
		Vazão (m^3/s):
		Taxa de aplicação superficial ($m^3/m^2.dia$):
	Frequência de limpeza:	
	Método de limpeza: ( ) Manual ( ) Mecanizado com raspador	
	Há canaleta de coleta de lodo: ( ) Sim ( ) Não	
	Destinação da água de limpeza: ( ) Curso d'água sem tratamento prévio ( ) Curso d'água com tratamento prévio ( ) Retorna ao processo de tratamento	
	Destinação do lodo: ( ) Curso d'água sem tratamento prévio ( ) Curso d'água com tratamento prévio ( ) Leito de secagem	
Filtro rápido	**Tipo:** ( ) Gravidade ( ) Pressão	
	Escoamento: ( ) Ascendente ( ) Descendente	
	Meio filtrante	**Camada suporte:** ( ) Cascalho ( ) Pedregulho ( ) Seixo rolado
		Material: ( ) Areia ( ) Antracito ( ) Carvão ativado granular
	Quantidade:	
	Data de substituição do meio filtrante:	
	Filtro rápido 1	**Dimensões (m):** ( ) Alt. ( ) Larg. ( ) Prof.
		Vazão (m^3/s):
		Altura da Camada filtrante (m):
		Taxa de filtração ($m^3/m^2.dia^1$):

	Filtro rápido 2	**Dimensões (m):** ( ) Alt. ( ) Larg. ( ) Prof.
		Vazão (m^3/s):
		Altura da Camada filtrante (m):
		Taxa de filtração ($m^3/m^2.dia^1$):
	Frequência de limpeza:	
	Método de lavagem de filtro: ( ) Introdução de ar comprimido ( ) Jato d'água ( ) Manualmente com rastelo ( ) Hidraulicamente	
	Tempo médio de limpeza (min):	
	Origem da água para limpeza: ( ) Cisterna ( ) Poço ( ) Estação de Tratamento de Água	
	Destinação da água de lavagem: ( ) Curso d'água sem tratamento prévio ( ) Curso d'água com tratamento prévio ( ) Retorna ao processo de tratamento	
Câmara de contato	**Tipo:** ( ) Canal ( ) Reservatório	
	Quantidade:	
	Capacidade da Câmara (m^3):	
	Método: ( ) Cloração ( ) Ozonização ( ) Radiação Ultravioleta	
	Desinfetante: ( ) Cloro gasoso – Cl_2 ( ) Hipoclorito de cálcio – $Ca(OCl)_2$ ( ) Hipoclorito de sódio – NaOCl ( ) Ozônio	
	Dosagem (mg/L):	
	Desinfetante residual (mg/L):	
	Fluoretação: ( ) Fluossilicato de sódio – Na_2SiF_6 ( ) Fluoreto de sódio – NaF ( ) Ácido fluossilícico – H_2SiF_6	

Observações:

APÊNDICE B – OCORRÊNCIA DE *E. coli* NOS MANANCIAIS SUPERFICIAIS DE CAPTAÇÃO DO ESTADO DE GOIÁS

Tabela 22 - Ocorrência de *E. coli* no período de 2009 a 2017 nos 97 mananciais superficiais de captação do Estado de Goiás, destinados ao tratamento de água do tipo ciclo completo.

Município	**Média geométrica anual de *E. coli* (NMP/100 mL) no ponto de captação**									***E. coli* ≥ 1000 NMP/100 mL**
	2009	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	
Acreuna	12	57	22	55	1379	1424	650	218	260	2
Adelandia	3890	2357	1393	1601	1069	1047	687	250	211	2
Agua Limpa	170	149	138	481	66	253	648	296	368	0
Alexania	*	*	*	*	*	*	*	2	3	0
Alvorada Do Norte	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0
Americano Do Brasil	2137	594	847	1641	792	692	716	225	182	0
Anapolis	250	273	1114	510	605	5563	3717	745	547	2
Anapolis	737	367	364	1491	384	2791	2951	963	399	2
Anapolis	*	*	*	*	*	278	351	507	24200	1
Anicuns	8	2221	1409	1365	2295	979	419	293	365	1
Aragarças	837	ND	233	225	118	94	46	73	*	0
Arenopolis	1600	ND	58	626	537	374	79	448	*	0
Avelinopolis	833	928	921	1609	1224	628	287	92	68	1
Barro Alto	1866	4685	2105	1823	974	1088	983	1396	1366	3
Bela Vista	5750	1984	1195	928	1081	214	*	528	135	1
Bom Jardim	*	*	*	*	*	372	219	427	*	0
Bom Jesus	132	210	85	563	1624	296	349	570	1001	2
Buriti Alegre	128	76	70	142	386	110	309	221	275	0
Cachoeira Alta	171	84	204	85	17	615	807	1272	*	1
Caçu	160	92	172	41	59	80	139	99	*	0
Campos Belos	765	122	294	259	315	268	323	244	*	0
Campos Verdes	692	1978	616	424	318	83	178	104	517	0
Ceres	2495	4498	6432	2716	2777	280	259	274	489	1
Cidade Ocidental	237	ND	ND	4	21	46	2	12	22	0
Córrego Do Ouro	11000	1988	1662	1953	1327	3140	1475	516	*	3
Crixas	1627	2727	1813	1044	1358	602	538	552	1087	2
Crominia	82	48	44	262	654	841	1014	631	408	1
Cumari	4054	2369	1300	ND	ND	*	610	843	4635	1

Damolandia	8	1211	144	58	ND	2	93	3	*	0
Doverlandia	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0
Edealina	957	470	583	812	2258	1697	699	1076	*	3
Formosa	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0
Goianapolis	356	1638	395	2030	430	104	*	57	44	0
Goianapolis	*	*	426	421	331	713	*	201	548	0
Goianesia	3367	1933	5291	2627	1194	284	357	450	1646	2
Goiânia	*	*	*	*	*	158	115	224	690	0
Goiânia	*	*	*	*	*	776	797	926	46	0
Goiânia	*	*	*	*	*	349	260	330	76	0
Goias	13	16	22	79	ND	15	77	13	*	0
Goiatuba	312	107	13	216	872	159	120	237	243	0
Hidrolandia	ND	ND	614	1329	729	525	*	418	1312	1
Iaciara	261	201	120	167	233	200	436	894	*	0
Inhumas	8	1733	2929	271	ND	78	51	87	361	0
Ipameri	966	1149	1700	ND	ND	*	1114	786	599	1
Ipora	ND	68	33	138	181	354	144	681	930	0
Itaberai	14	28	14	59	ND	17	7	7	111	0
Itaguaru	164	22	43	280	ND	285	13	9	111	0
Itapaci	*	*	*	*	*	1039	420	134	728	1
Itapirapua	6	309	19	30	ND	12	92	4	111	0
Itapuranga	196	68	275	30	ND	500	21	4	2	0
Itauçu	960	2821	1553	715	801	381	217	404	*	0
Itumbiara	913	116	90	526	1041	170	254	275	2388	2
Jaraguá	3540	4061	3817	6429	2482	295	282	290	1733	2
Jataí	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0
Jussara	4	2	210	88	104	162	162	158	233	0
Luziania	992	193	780	22	36	240	13	19	62	0
Maurilandia	17	6	6	729	1067	654	169	119	9	1
Minaçu	ND	1343	77	327	567	*	*	727	*	0
Montes Claros De Goiás	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0
Montes Claros De Goiás	6	3500	727	109	382	314	352	1600	1600	2
Morrinhos	75	175	86	352	1222	1113	1518	423	776	3
Morro Agudo De Goiás	3529	4770	3100	1699	1836	630	1130	679	1591	3
Nova América	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0
Nova Aurora	976	680	400	ND	ND	*	332	257	522	0
Nova Crixas	*	*	*	*	*	9	7	18	240	0

Nova Glória	6692	9071	9289	2012	1590	909	773	977	473	1
Novo Brasil	4	2	422	106	444	192	196	404	1600	1
Novo Gama	460	ND	200	19	36	359	20	29	19	0
Ouvidor	516	794	780	ND	ND	*	604	304	1248	1
Padre Bernardo	4733	ND	450	2	7	350	*	4	150	0
Petrolina De Goias	25	1141	519	57	ND	2	46	363	*	0
Piracanjuba	ND	28	78	180	222	134	282	329	1382	1
Piracanjuba	77	35	61	356	567	*	*	*	*	0
Piranhas	34	ND	97	183	195	612	313	618	*	0
Pires Do Rio	1413	794	1700	ND	ND	*	683	837	1063	1
Pontalina	95	98	244	439	837	545	967	1351	1117	2
Porangatu	*	*	*	*	*	*	*	125	*	0
Quirinopolis	540	183	39	1441	1593	1477	2003	810	609	3
Rio Verde	103	460	283	35	10	265	777	739	1414	1
Rio Verde	2486	1810	863	101	18	838	940	464	2420	1
Rubiataba	2192	1799	6125	2556	909	606	602	637	1253	1
Sanclerlandia	10089	2810	2971	3096	1081	4491	2008	622	467	3
Santa Helena	132	68	29	599	2203	859	1166	321	933	2
Nova Crixás	15	264	178	2	2	2300	8	8	*	1
São Luiz Dos Montes Belos	10669	4418	4218	849	990	3379	2573	581	436	2
São Miguel Do Araguaia	ND	1851	37	235	110	*	*	1073	*	1
Santo Antônio do Descoberto	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0
Taquaral De Goias	*	*	*	*	*	*	2	5	428	0
Teresopolis De Goiás	75	47	240	63	ND	2	13	5	*	0
Teresopolis De Goiás	*	*	*	*	*	90	*	69	204	0
Tres Ranchos	*	*	*	*	*	270	*	1378	1187	2
Uruana	2257	5797	ND	ND	ND	*	689	958	585	0
Urutai	2277	3084	4351	1238	1022	329	442	237	413	1
Valparaizo	2156	2369	1100	ND	ND	*	405	158	75	0
Varjão	*	*	*	*	*	*	*	*	75	0
Vianopolis	1427	913	693	669	1232	1010	493	310	*	2

Nota: ND – Não Detectado; *Dados não fornecidos

APÊNDICE C – RESULTADOS DAS ANÁLISES PARASITOLÓGICAS

Tabela 23 - Análises parasitológicas das amostras da água bruta do Ribeirão Cerrado, o Limite de Detecção (LD) da técnica de Filtração em Membrana e a Turbidez da amostra.

Estação	Data de Coleta	Turbidez (NTU)	Volume da amostra concretado (mL)	Volume final do pellet (µL)	*Giardia* spp. (cistos/L)	*Cryptosporidium* spp. (oocistos/L)	LD ((oo)cistos/L)
Período seco	07/09/2019	19,00	2000	1000	50,00	66,67	16,67
	15/09/2019	9,34	2000	500	<LD	33,33	8,33
	22/09/2019	14,8	1000	500	<LD	<LD	16,67
Período chuvoso	08/12/2019	206	1600	500	<LD	<LD	10,42
	15/12/2019	17,5	2000	500	8,33	8,33	8,33
	19/12/2019	848	500	1500	<LD	200,00	100,00

Tabela 24 - Análises parasitológicas das amostras da água filtrada do Ribeirão Cerrado, o Limite de Detecção (LD) da técnica de Filtração em Membrana e a Turbidez da amostra.

Estação	Data de Coleta	Turbidez (NTU)	Volume da amostra concretado (mL)	Volume final do pellet (µL)	*Giardia* spp. (cistos/L)	*Cryptosporidium* spp. (oocistos/L)	LD ((oo)cistos/L)
Período seco	07/09/2019	0,98	11500	1000	<LD	4,35	4,35
	15/09/2019	0,61	10000	1000	<LD	<LD	5,00
	22/09/2019	0,45	6000	250	<LD	2,08	2,08
Período chuvoso	08/12/2019	0,93	10000	250	<LD	<LD	1,25
	15/12/2019	0,68	10000	250	<LD	<LD	1,25
	19/12/2019	0,34	10000	250	<LD	1,25	1,25

Tabela 25 - Análises parasitológicas das amostras da água bruta do Ribeirão Santana, o Limite de Detecção (LD) da técnica de Filtração em Membrana e a Turbidez da amostra.

Estação	Data de Coleta	Turbidez (NTU)	Volume da amostra concretado (mL)	Volume final do pellet (µL)	*Giardia* spp. (cistos/L)	*Cryptosporidium* spp. (oocistos/L)	LD ((oo)cistos/L)
Período seco	07/09/2019	9,63	2000	500	8,33	8,33	8,33
	15/09/2019	8,98	1500	750	<LD	16,67	16,67
	22/09/2019	9,16	1000	500	<LD	16,67	16,67
Período chuvoso	08/12/2019	148	950	500	<LD	35,09	17,54
	15/12/2019	51	2000	500	<LD	8,33	8,33
	19/12/2019	27,40	2000	500	16,67	33,33	8,33

Tabela 26 - Análises parasitológicas das amostras da água filtrada do Ribeirão Santana, o Limite de Detecção (LD) da técnica de Filtração em Membrana e a Turbidez da amostra.

Estação	Data de Coleta	Turbidez (NTU)	Volume da amostra concretado (mL)	Volume final do pellet (µL)	*Giardia* spp. (cistos/L)	*Cryptosporidium* spp. (oocistos/L)	LD ((oo)cistos/L)
Período seco	07/09/2019	0,71	18000	750	4,17	<LMD	4,17
	15/09/2019	0,43	10000	250	<LD	1,67	1,25
	22/09/2019	0,3	10000	250	<LD	<LD	1,25
Período chuvoso	08/12/2019	1,27	7000	250	<LD	<LD	1,79
	15/12/2019	0,77	10000	250	<LD	<LD	1,25
	19/12/2019	0,28	10000	250	<LD	1,25	1,25