



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS

CINTIA DE CASTRO GARCIA MARTINS

DIAGNÓSTICO DE UMA LAGOA DE INFILTRAÇÃO RECEPTORA DE EFLUENTES
TRATADOS DE MATADOURO VISANDO A CONSERVAÇÃO DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ ÁGUA BOA – RR

Boa Vista, RR

2016

CINTIA DE CASTRO GARCIA MARTINS

DIAGNÓSTICO DE UMA LAGOA DE INFILTRAÇÃO RECEPTORA DE EFLUENTES
TRATADOS DE MATADOURO VISANDO A CONSERVAÇÃO DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ ÁGUA BOA – RR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Roraima, como pré-requisito para obtenção do título de mestre em Recursos Naturais. Área de concentração: Manejo e Conservação de bacias hidrográficas.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Bárbara de Magalhães Bethônico.

Boa Vista, RR

2016

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal de Roraima

M386d Martins, Cintia de Castro Garcia.
Diagnóstico de uma lagoa de infiltração receptora de efluentes tratados de matadouro visando a conservação da bacia hidrográfica do Igarapé Água Boa – RR / Cintia de Castro Garcia Martins. – Boa Vista, 2016.
144 f. : il.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Bárbara de Magalhães Bethônico.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Roraima, Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais.

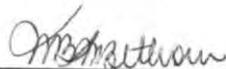
1 – Águas Superficiais. 2 – *Qualidade de Água*. 3 – Monitoramento. 4 – MAFIR. 5 – Roraima. I – Título. II – Bethônico, Maria Bárbara de Magalhães (orientadora).

CDU – 556.51(811.4)

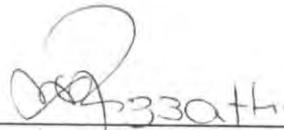
Cintia de Castro Garcia Martins

"Diagnóstico de uma lagoa de Infiltração receptora de efluentes tratados de matadouro visando a conservação da bacia hidrográfica do igarapé Água Boa - RR"

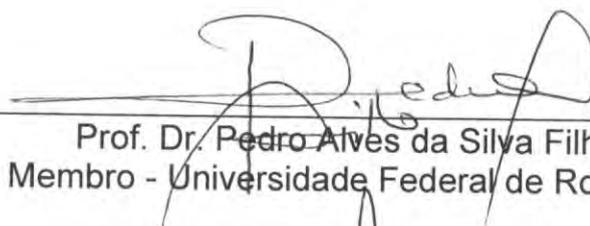
Dissertação apresentada com pré-requisito para a conclusão do Curso de Mestrado em Recursos Naturais da Universidade Federal de Roraima, defendida em 12 de agosto de 2016 e avaliada pela seguinte Banca Examinadora:



Profa. Dra. Maria Bárbara de Magalhães Bethonico
Orientadora - Universidade Federal de Roraima



Profa. Dra. Ivanise Maria Rizzatti
Membro - Universidade Estadual de Roraima



Prof. Dr. Pedro Alves da Silva Filho
Membro - Universidade Federal de Roraima



Prof. Dr. Marcos José Salgado Vital
Membro - Universidade Federal de Roraima

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por mais essa oportunidade em minha vida e por sempre abençoar os meus caminhos. Aos meus pais José Francisco e Maria da Consolação, pelo incentivo, carinho, amizade e por estarem sempre disponíveis com os melhores conselhos. Ao meu marido e companheiro, Héwerton Alves Martins de Castro, pelo carinho, paciência, auxílio no levantamento em campo e na discussão estatística. À Débora Souza pelo incentivo, amizade, longas conversas e por compartilhar desse sonho comigo.

À Orientadora Dra. Maria Bárbara de M. Bethônico, pela confiança, atenção, conselhos, por aceitar minha proposta de pesquisa e apresentar-me uma nova forma de compreender os fatos, com uma visão mais humana.

Ao professor Dr. Marcos Vital pela confiança em autorizar o uso dos laboratórios, disponibilizar materiais e oferecer treinamento para a realização das análises microbiológicas. À professora Dra. Gardênia Cabral pela atenção, carinho, cuidado e por autorizar o uso dos laboratórios. O auxílio de vocês foi essencial, serei eternamente grata.

À CAPES e ao CNPQ pelo financiamento da pesquisa. Ao PRONAT pela oportunidade, aos professores pelo incentivo e aos alunos da turma de 2014 pela amizade. Às professoras, Dra. Lucília Pacobahyba, Dra. Tereza Freitas e Dr. Fabiana Granja, pela atenção e empréstimo de materiais e/ou equipamentos. Ao professor Dr. Millôr Sabará, pelo carinho, atenção e recomendações importantes ao trabalho, mesmo à distância. Ao professor Dr. Pedro Alves, pela disponibilidade e importantes contribuições técnicas, desde a fase de projeto. A professora Dra. Keles Inoue, pela co-orientação na fase de projeto. E à professora Dra. Lidiane Carvalho, pelo carinho, simpatia, amizade e auxílio na interpretação das análises estatísticas.

Ao Presidente da Codesaima, Sr. Rafael Alves, por compreender a importância da pesquisa e autorizar a realização da mesma. Aos Srs. Jajá e Mica, colaboradores da Codesaima/MAFIR, pela atenção e atendimento no dia das coletas de amostras. Ao Sr. Zulú, proprietário de um balneário no Água Boa, por autorizar o acesso à sua propriedade para a realização das coletas de amostras de água. Ao Corpo de Bombeiros do Estado de Roraima, pelo empréstimo mensal do reboque para barcos. Ao CBio, pelo empréstimo mensal do barco a remo e ao colaborador Márcio por auxiliar no agendamento. Ao Setor de Transportes da UFRR, por disponibilizar veículo e motorista para as coletas de campo. E à FEMARH e ADERR, por disponibilizarem informações e documentos.

Aos amigos Daniele Rocha, José Wcléber, Caroline Dorado, Márcio Feitosa, Sara Lima, Mírian Braga, Éverton Ribeiro, Pablo Silva, Paulo Torquato e Eduardo por acompanhamento e auxílio durante as coletas. Sem vocês, o levantamento de dados não seria possível. À Elenilda Rebouças, Valdinéia Alves, Karla Dalila, Ubiracy Pereira e Suená Márcia, por auxiliar nos procedimentos laboratoriais. À Andréia Alencar por apresentar-me ao mundo da microbiologia e ao Janderson Lúcio por elaborar todos os mapas, desde a fase de projeto.

Enfim, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram à pesquisa, devido a multidisciplinaridade, muitos profissionais foram envolvidos, amizades foram feitas e sou muito grata por tudo.

RESUMO

A grande demanda interna e externa por produtos da indústria cárnea desencadeia uma produção crescente deste setor e como consequência, são geradas diariamente águas residuárias com cargas poluidoras que podem comprometer a bacia hidrográfica, na qual está inserida. Diante disso, a pesquisa teve como objetivo realizar um diagnóstico da lagoa de infiltração, receptora do efluente tratado do Matadouro e Frigorífico Industrial de Roraima - MAFIR, localizado na bacia hidrográfica do Igarapé Água Boa, em Boa Vista - RR. Uma região socioeconômica de pequeno a grande porte, com a presença de balneários e usos restritivos da água. Foi realizado um monitoramento visando a conservação da bacia, com seis coletas no período seco de setembro de 2015 a abril de 2016, em seis pontos de amostragem, sendo quatro na lagoa de infiltração (LAG) com efluente tratado e dois no igarapé Água Boa, a montante (IGM) e jusante (IGJ) da lagoa, utilizando parâmetros físicos, químicos, hidrobiológicos e microbiológicos de qualidade: pH, temperatura, sólidos totais dissolvidos, sólidos totais, condutividade elétrica, turbidez, salinidade, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal, clorofila a, coliformes totais, coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, bactérias heterotróficas e índice de estado trófico. E realizada uma análise da área superficial da lagoa de infiltração utilizando pesquisa bibliográfica, registro fotográfico e imagens de satélite históricas. A partir disso, foi verificado que o igarapé Água Boa, nos pontos monitorados, são ambientes ultraoligotróficos, apesar das concentrações da demanda biológica de oxigênio e fósforo total acima do permitido para águas de classe 2, apresentaram qualidade insatisfatória para contato primário em abril no ponto IGJ devido a densidade de coliformes termotolerantes e *E. coli* e qualidade de água similar estatisticamente ($p < 0,05$). O efluente da lagoa de infiltração apresentou-se homogêneo, com exceção à densidade de bactérias heterotróficas. E as concentrações de sólidos totais dissolvidos, turbidez, fósforo total, demanda bioquímica de oxigênio, clorofila a, nitrito e nitrogênio amoniacal, em algum período do monitoramento, poderiam comprometer a qualidade das águas superficiais do igarapé Água Boa, caso o mesmo fosse o corpo receptor. Outro resultado importante é a oscilação da área superficial da lagoa que, atualmente, corresponde a um acréscimo de 58% à área de 2003, mas já chegou a um aumento de 76% em 2012 e está diretamente correlacionada com o número de abate. Assim, conclui-se que a implantação da lagoa de infiltração como uma alternativa para o recebimento dos efluentes do MAFIR ao invés do lançamento direto ao igarapé Água Boa, mostrou-se realmente necessária, considerando a qualidade do efluente tratado. No entanto, demanda monitoramento operacional e estrutural de forma a evitar contaminação das águas superficiais e subterrâneas e prejuízos à saúde pública e a vida aquática. E por fim, não foi possível afirmar que existe uma contribuição para a degradação da microbacia hidrográfica do igarapé Água Boa por parte do processo de disposição de efluente em solo realizado pelo MAFIR, mas recomenda-se que sejam implantadas ações de monitoramento no sistema de tratamento do matadouro de forma a garantir a conservação da microbacia do Água Boa.

Palavras-chave: Águas Superficiais. Qualidade de Água. Monitoramento. MAFIR. Roraima. Amazônia.

ABSTRACT

The great internal and external demand for products of the meat industry triggers an increasing production in that sector and, as a result, wastewater filled with pollutants is generated daily, which can compromise the drainage basin in which it is inserted. In face of that, this research aimed at diagnosing the infiltration pond that receives the treated effluent of the Industrial Slaughterhouse and Cold Storage of Roraima (MAFIR) located in the Água Boa stream's drainage basin in Boa Vista - RR. A socioeconomic region of small to large size, containing bathing spots and restricted use of water. Looking to preserve the basin, it was monitored with six data collections in dry season from September 2015 to April 2016 in six different sampling points, four of them being on the infiltration pond (LAG) with the treated effluent and two on the Água Boa stream, upstream (IGM) and downstream (IGJ) of LAG, using the following physical, chemical, hidrobiological and microbiological parameters of quality: pH, temperature, total dissolved solids, electrical conductivity, turbidity, salinity, biochemical oxygen demand, total phosphorous, nitrates, nitrites, ammoniacal nitrogen, chlorophyll a, total coliforms, thermotolerant coliforms, *Escherichia coli*, heterotrophic bacteria and trophic level index. An analysis of the infiltration pond area was also performed using literature review, photographic records and historical satellite images. Based on that, it was verified that the monitored points of the Água Boa stream is an ultraoligotrophic environment, with biological oxygen demand and phosphorous concentrations above the permitted in class 2 waters in April at the IGJ sample point, an unsatisfactory quality for primary contact due to the density of thermotolerant coliforms and *E. coli* and water quality statistically similar ($p < 0,05$). The treated effluent present at the infiltration pond was homogenous, except for heterotrophic bacteria density, and had concentrations of total dissolved solids, turbidity, total phosphorous, biochemical oxygen demand, chlorophyll a, nitrite and ammoniacal nitrogen, at some point of the monitoring, that could compromise the quality of the Água Boa stream's superficial water if it became the recipient water body. Another important result is the oscillation of the pond's superficial area, which currently, corresponds to a 58% increase when compared to 2003 but used to be a 76% increase in 2012, and it's directly correlated to the amount of slaughtering. Thus, it is concluded that the implementation of the infiltration pond as an alternative recipient for MAFIR's effluents instead of releasing it directly into the Água Boa stream was really necessary, considering the amount of the treated effluent. However, operational and structural monitoring is required to prevent the contamination of superficial and subterranean water and damage to public health and aquatic life. Lastly, it wasn't possible to assert that there is a contribution to the degradation of the Água Boa stream's microbasin caused by the disposal of effluent in the soil done by MAFIR, but it is recommended to implement monitoring actions on the slaughterhouse's sewage treatment plant, in order to guarantee the microbasin's conservation.

Key-words: Superficial Water. Water quality. Monitoring. MAFIR. Roraima. Amazon.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da microbacia hidrográfica do igarapé Água Boa, em Boa Vista - Roraima.	22
Figura 2 - Evolução semestral do rebanho bovino em Roraima.....	24
Figura 3 - Média mensal de abate no Matadouro e Frigorífico Industrial de Roraima, no período de 2005 a 2015.	33
Figura 4 - Número total de abate no Matadouro e Frigorífico Industrial de Roraima, na estação seca e chuvosa, no período de 2005 a 2015.	34
Figura 5 - Desenho esquemático de uma lagoa anaeróbia.	38
Figura 6 - Desenho esquemático de uma lagoa facultativa.	40
Figura 7 - Desenho esquemático de uma lagoa de maturação.....	42
Figura 8 - Desenho esquemático de uma lagoa de infiltração, tratamento por infiltração-percolação.....	43
Figura 9 - Fluxograma do lançamento de efluentes, conforme requisitos das Resoluções CONAMA nº 357/2005 e nº 430/2011.....	59
Figura 10 - Localização da área de estudo.	64
Figura 11 - Fluxograma do sistema de tratamento de águas residuárias do Matadouro e Frigorífico Industrial de Roraima - MAFIR.....	65
Figura 12 - Foto aérea da localização do Matadouro e Frigorífico Industrial de Roraima - MAFIR, das lagoas de estabilização e infiltração, do igarapé Água Boa e do balneário em frente ao empreendimento.	66
Figura 13 - Pontos de coleta de amostras de efluente tratado e águas superficiais.	68
Figura 14 - Procedimento de amostragem (A) e uso do barco a remo (B).	70
Figura 15 - Precipitação total mensal em Boa Vista - RR.	77
Figura 16 - Abate mensal no Matadouro e Frigorífico Industrial de Roraima, no período de janeiro de 2015 a maio de 2016.	78
Figura 17 - Valores de pH do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.	80
Figura 18 - Concentração de Sólidos Totais Dissolvidos do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante	

(IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.....	83
Figura 19 - Valores de Turbidez do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.	84
Figura 20 - Valores de Condutividade Elétrica do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.....	85
Figura 21 - Valores de Salinidade do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.	86
Figura 22 - Concentração de Sólidos Totais do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.....	89
Figura 23 - Concentração da Demanda Bioquímica de Oxigênio do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.....	91
Figura 24 - Valores de Temperatura do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.	95
Figura 25 - Concentração de Fósforo Total do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.....	96
Figura 26 - Concentração de Nitrito do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.	100
Figura 27 - Concentração de Clorofila a do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.	104
Figura 28 - Valores do Índice de Estado do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.	106

Figura 29 - Densidade de Coliformes Totais do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.....	112
Figura 30 - Densidade de Coliformes Termotolerantes do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.....	113
Figura 31 - Densidade de Escherichia coli do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.....	114
Figura 32 - Densidade de Bactérias Heterotróficas do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.....	115
Figura 33 - Margem leste da lagoa de infiltração (LAG) em outubro de 2015 (A) e março de 2016 (B).	119
Figura 34 - Cor do efluente da lagoa de infiltração em agosto de 2015 (A) e outubro de 2016 (B).....	119
Figura 35 - Imagens da lagoa de infiltração (LAG) em 2003, 2005, 2012, 2013, 2014 e 2016.....	121

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de pH do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e da água superficial do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.	81
Tabela 2 - Valores de Sólidos Totais Dissolvidos (STD), Condutividade Elétrica (CE), Salinidade (SAL) e Turbidez (TURB.) do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e da água superficial do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.....	87
Tabela 3 - Concentração de Sólidos Totais (ST) do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e da água superficial do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.....	90
Tabela 4 - Concentração da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e da água superficial do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.	93
Tabela 5 - Valores de Temperatura do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e da água superficial do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.....	95
Tabela 6 - Concentração de Fósforo Total do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e da água superficial do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.	99
Tabela 7 - Concentração de Nitrogênio (amoniaco, nitrato e nitrito) do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e da água superficial do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.....	101
Tabela 8 - Concentração de Clorofila a do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e da água superficial do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.	105
Tabela 9 - Valores do Índice de Estado Trófico (IET) do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e da água superficial do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.....	108

Tabela 10 - Densidade de Coliformes Totais, Coliformes Termotolerantes, Escherichia coli e Bactérias Heterotróficas do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro e outubro de 2015.....	109
Tabela 11 - Densidade de Coliformes Totais, Coliformes Termotolerantes, Escherichia coli e Bactérias Heterotróficas do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de novembro de 2015 e janeiro de 2016.	110
Tabela 12 - Densidade de Coliformes Totais, Coliformes Termotolerantes, Escherichia coli e Bactérias Heterotróficas do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de março e abril de 2016.	111
Tabela 13 - Média da densidade de Coliformes Totais (CT), Coliformes Termotolerantes (CTerm), Escherichia coli (E. coli) e Bactérias Heterotróficas (BAC) do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.....	116

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Descrição das etapas do processo de abate de bovinos e o destino do efluente.	26
Quadro 2 - Número de bovinos abatidos em Roraima, nos anos de 2010, 2011 e 2012.	27
Quadro 3 - Área diretamente afetada e de influência do Matadouro e Frigorífico Industrial de Roraima, em relação ao meio físico, biológico e sócio-econômico.....	28
Quadro 4 - Impactos negativos e positivos referentes às atividades do Matadouro e Frigorífico Industrial de Roraima, em relação ao meio físico, biológico e sócio-econômico/antrópico.....	29
Quadro 5 - Dados de apreensões de abate clandestino em Roraima, no período de janeiro de 2015 a março de 2016.....	31
Quadro 6 - Dados gerais do Matadouro e Frigorífico Industrial de Roraima - MAFIR.....	32
Quadro 7 - Padrão de concentração de águas residuárias brutas e tratadas de matadouros.	36
Quadro 8 - Eficiência de remoção em sistemas de tratamento com lagoas de estabilização.....	39
Quadro 9 - Evolução do ciclo de nitrogênio após o tratamento de efluentes de matadouro.....	55
Quadro 10. Categoria do estado trófico e as características, produtividade, concentração de nutrientes e conseqüências ao corpo d'água.....	57
Quadro 11 - Índice de Estado Trófico - IET, categoria de trofia e equivalência para fósforo total (P_T), clorofila a (CLa) e disco de secchi (S) em rios.....	57
Quadro 12 - Índice de Estado Trófico - IET, categoria de trofia e equivalência para fósforo total (P_T), clorofila a (CLa) e disco de secchi (S) em reservatórios.....	58
Quadro 13 - Padrão de qualidade de água doce (classe 2), efluente tratado e balneabilidade.....	60
Quadro 14 - Informações sobre os pontos de coleta de amostras.....	67
Quadro 15 - Precipitação pluviométrica, número de abate do Matadouro e Frigorífico Industrial de Roraima, área e perímetro da lagoa de infiltração (LAG).	122

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADERR	Agência de Defesa Agropecuária do Estado de Roraima
APHA	American Public Health Association
APROAB	Associação de Produtores do Água Boa
AWWA	American Water Works Association
CBio	Laboratório de Microbiologia do Centro de Estudos da Biodiversidade
CEMACT	Conselho Estadual de Meio Ambiente Ciência e Tecnologia
CEPEA	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CODESAIMA	Companhia de Desenvolvimento de Roraima
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DEMA	Departamento de Meio Ambiente de Roraima
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuárias
FEMARH	Fundação Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
IET	Índice de Estado Trófico
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MAFIR	Matadouro e Frigorífico Industrial de Roraima
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
ME	Ministério do Exército
MME	Ministério das Minas e Energia
NMP	Número Mais Provável
PCA	Plano de Controle Ambiental
PRONAT	Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais
RR AMBIENTAL	Roraima Ambiental, Consultoria e Assessoria
SAD 69	Datum South América 69
SEMAIJUS	Secretaria de Meio Ambiente, Interior e Justiça.
SEPLAN	Secretaria de Estado do Planejamento e Desenvolvimento de Roraima
SESAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SIE	Serviço de Inspeção Estadual
SIF	Serviço de Inspeção Federal
SIGSIF	Sistema de Informações Gerenciais dos SIF
SIM	Serviço de Inspeção Municipal
UFC	Unidade Formadora de Colônia
UFRR	Universidade Federal de Roraima
WEF	Water Environment Federation
ZEE	Zoneamento Ecológico-Econômico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	Estrutura do Trabalho.....	17
1.2	Bacias Hidrográficas.....	17
1.2.1	A microbacia hidrográfica como unidade de planejamento para a conservação.....	19
1.2.2	A bacia hidrográfica do rio Branco.....	20
1.2.3	A microbacia hidrográfica do Igarapé Água Boa.....	20
1.3	Produção da Carne Bovina no Brasil.....	23
1.3.1	Processo Produtivo.....	25
1.3.2	Aspectos ambientais.....	27
1.3.3	Clandestinidade.....	30
1.3.4	Estudo de Caso: Matadouro e Frigorífico Industrial de Roraima – MAFIR.....	32
1.4	Águas Residuárias de Matadouros.....	34
1.4.1	Tipos de tratamento.....	36
1.4.2	Parâmetros de monitoramento da qualidade da água e do efluente.....	44
1.4.3	Legislações aplicáveis.....	58
2	OBJETIVOS	62
2.1	Objetivo Geral.....	62
2.2	Objetivos Específicos	62
3	MATERIAIS E MÉTODOS	63
3.1	Área de Estudo - Localização e Caracterização.....	63
3.2	Amostragem	67
3.2.1	Frequência e periodicidade.....	68
3.2.2	Procedimentos de coleta de amostras.....	69
3.2.3	Preservação das amostras	70
3.3	Análises físicas, químicas, hidrobiológicas e microbiológicas	70
3.3.1	Condutividade elétrica, pH, temperatura, sólidos totais dissolvidos e salinidade..	71
3.3.2	Turbidez.....	71
3.3.3	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO _{5,20}).....	71

3.3.4	Fósforo Total	71
3.3.5	Nitrito	71
3.3.6	Nitrato	72
3.3.7	Nitrogênio Amoniacal	72
3.3.8	Sólidos Totais	72
3.3.9	Clorofila a	72
3.3.10	Grupo Coliforme	72
3.3.11	Bactérias Heterotróficas	74
3.3.12	Índice do Estado Trófico (IET)	74
3.4	Dados de precipitação e número de abate	74
3.5	Análise temporal da área superficial da lagoa de infiltração	75
3.6	Análise Integrada	75
3.7	Tratamento dos dados	75
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
4.1	Análise das variáveis físicas, químicas, hidrobiológicas e microbiológicas	78
4.1.1	Potencial Hidrogeniônico	79
4.1.2	Sólidos Totais Dissolvidos, Turbidez, Condutividade Elétrica e Salinidade	82
4.1.3	Sólidos Totais	88
4.1.4	Demanda Bioquímica de Oxigênio	90
4.1.5	Temperatura	94
4.1.6	Fósforo Total	96
4.1.7	Série de Nitrogênio (Nitrogênio Amoniacal, Nitrito e Nitrato)	100
4.1.8	Clorofila a	103
4.1.9	Índice do Estado Trófico	106
4.1.10	Coliformes Totais, Termotolerantes, Escherichia coli e Bactérias Heterotróficas	108
4.2	Análise temporal da área superficial da lagoa de infiltração	117
4.3	Análise Integrada	122
5	CONCLUSÕES	127
	REFERÊNCIAS	129

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de carne bovina e suína do mundo. Comparados aos demais estados federativos, Roraima ainda não apresenta grandes produções neste setor, mas a produção aumenta anualmente, demandando o processamento e industrialização da carne no Estado (IBGE, 2012; 2013). Apesar de sua importância, as agroindústrias são umas das maiores fontes poluidoras do Brasil, devido ao volume e características do efluente que varia conforme o seu reaproveitamento e tratamento (AGUILAR et al., 2002; MEES et al., 2009).

Assim, a grande demanda interna e externa por produtos da indústria cárnea desencadeia uma produção crescente deste setor e como consequência, são geradas diariamente águas residuárias com cargas poluidoras que podem comprometer a qualidade da água do corpo receptor e, conseqüentemente, a bacia hidrográfica na qual a indústria está inserida. Neste caso, para garantir a conservação da bacia hidrográfica é necessário que o impacto real não seja significativo, portanto é imprescindível a gestão dos efluentes, por meio da implantação, operação e monitoramento eficiente do sistema de tratamento.

Um dos sistemas mais comuns no tratamento de águas residuárias de matadouros-frigoríficos são as lagoas de estabilização. Esse tipo de sistema é utilizado com sucesso e com grandes vantagens, dada a associação entre simplicidade operacional e elevadas eficiências de remoção de poluentes que se observa neste tipo de efluente, ou seja, concentrações significativas de matéria orgânica (VON SPERLING, 2002). A Estação de Tratamento de Águas Residuárias - ETAR do Matadouro e Frigorífico Industrial de Roraima - MAFIR, localizado em Boa Vista - RR realiza o tratamento das águas residuárias proveniente do processo industrial. O sistema é composto por unidades de tratamento primário (decantador) e secundário (lagoa anaeróbia, aeróbia e de maturação) e a deposição final ocorre em solo (lagoa de infiltração).

Neste caso, o processo de deposição de efluentes tratados em solo é realizado pelo método de infiltração-percolação, formando uma área alagada denominada lagoa de infiltração. É uma alternativa ao lançamento em corpos d'água que possibilita a recarga do lençol subterrâneo (FILHO et al., 1999), mas este método demanda condições específicas do ambiente para garantir sua eficiência e evitar contaminação das águas. Além disso, o MAFIR está localizado em uma microbacia hidrográfica em que seu igarapé principal é muito utilizado pela população local para o lazer de contato primário e demais usos restritivos.

Diante dos fatos é de grande relevância que seja realizado um estudo específico para avaliar o efluente tratado presente na lagoa de infiltração do MAFIR de forma a responder a seguinte problemática: O sistema de tratamento de águas residuárias do MAFIR produz um efluente tratado com qualidade satisfatória? Causa impacto significativo na bacia hidrográfica do Igarapé Água Boa?

Assim, o objetivo geral do trabalho consistiu em realizar um diagnóstico da lagoa de infiltração, receptora do efluente tratado do Matadouro e Frigorífico Industrial de Roraima - MAFIR, por meio do monitoramento da qualidade do efluente e da área superficial, visando a conservação da bacia hidrográfica do Igarapé Água Boa, em Boa Vista - RR. Para isso optou-se por três abordagens: i) monitoramento da qualidade dos efluentes tratados da lagoa de infiltração e das águas superficiais do Igarapé Água Boa; ii) analisar a variação temporal e espacial dos parâmetros de monitoramento e discutir os padrões de qualidade da água e de efluentes, segundo as Resoluções CONAMA nº 357/2005 e nº 430/2011; e iii) realizar análise temporal da lagoa de infiltração.

Além dos itens destacados, o presente trabalho é justificado e sustentado por uma tripla relevância: científica, pessoal e social. No que concerne ao conhecimento científico, a pesquisa preencherá lacunas existentes no âmbito teórico. Apesar da importância dos sistemas de lagoas para o tratamento de águas residuárias industriais em países tropicais, as informações desses sistemas de tratamento com deposição final em solo para águas residuárias de matadouros-frigoríficos é escassa no Brasil, principalmente em Roraima, onde o número de estabelecimentos de abate é pequeno. Desta forma, as informações geradas no desenvolvimento do presente projeto poderão colaborar com os estudos de tratamento de águas residuárias de matadouro-frigorífico e deposição em solo e os seus efeitos sob a bacia hidrográfica, no âmbito estadual, nacional e dos países tropicais.

Em relação a relevância pessoal, a formação acadêmica em engenharia sanitária e ambiental e a pós-graduação em perícia e auditoria ambiental tem possibilitado o desenvolvimento amplo de atividades. Foram realizados projetos de iniciação científica, estágios e trabalhos profissionais que proporcionaram o contato direto com projetos relacionados a recursos hídricos, mais especificamente monitoramentos de água bruta e avaliação de impactos ambientais. No entanto, sempre houve o interesse em obter experiências voltadas a coleta, tratamento e destinação de efluentes domésticos e industriais. Assim, ao somar o interesse pessoal à necessidade em monitorar e compreender as peculiaridades e dinâmicas do sistema de tratamento do MAFIR, expressada pela companhia que o administra, verificou-se uma grande oportunidade.

A relevância social consiste em trazer respostas para a sociedade a respeito da qualidade do efluente tratado, informando se a remoção dos nutrientes e patogênicos é satisfatória e contribui para conservação da qualidade da bacia hidrográfica. Já que a saúde pública pode ser ameaçada pela contaminação do solo e das águas subterrâneas e superficiais utilizadas para abastecimento, lazer (balneários) e irrigação de hortaliças, podendo disseminar doenças de veiculação hídrica e torná-las impróprias para usos mais restritivos.

Espera-se também que o trabalho venha colaborar com os estudos de tratamento de águas residuárias de matadouro-frigorífico em lagoas de estabilização (anaeróbias, facultativas e de maturação) com deposição de efluente tratado em solo. Tendo como interesse à caracterização de peculiaridades regionais e a discussão da importância dos matadouros-frigoríficos licenciados e certificados, uma vez que além do maior controle da qualidade do produto produzido, exige-se também o tratamento e monitoramento das águas residuárias geradas.

1.1 Estrutura do Trabalho

No Item 1 é apresentada a introdução e uma revisão bibliográfica. A revisão contempla as definições de bacia hidrográfica, o seu uso como unidade de planejamento respeitando suas peculiaridades e uma descrição e caracterização geral das bacias hidrográficas da unidade de estudo. Em sequência são abordados assuntos referentes a produção de carne bovina no Brasil, a criação de bovinos, o processo produtivo em matadouros, os aspectos ambientais, o mercado de abate clandestino, as características específicas do matadouro da unidade de estudo e as águas residuárias deste ramo industrial. No Item 2 são apresentados os objetivos do trabalho e no Item 3 estão descritos os materiais e métodos utilizados na pesquisa. No Item 4 são apresentados e discutidos os resultados. E no Item 5, consta a conclusão com recomendações de melhorias ao Matadouro e Frigorífico Industrial de Roraima - MAFIR.

1.2 Bacias Hidrográficas

Uma bacia hidrográfica compreende toda a área de captação natural da água da chuva que proporciona escoamento superficial para o canal principal e seus tributários (LIMA,

2008), contribuindo assim na formação e no armazenamento do curso d'água (ALVES, 2000). Pode ser descrita também como uma área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial (CRHISTOFOLETTI, 1980), que drena tanto água quanto sedimentos e materiais dissolvidos (COELHO NETO, 2011). Ou ainda, como uma unidade de terra natural, ou modificada, na qual toda a água é coletada por gravidade e a porção que não evapora escorre através de uma saída comum (BLACK, 1996), ou ponto terminal, que pode ser outro rio de hierarquia igual ou superior, lago, reservatório, ou oceano (CUNHA; GUERRA, 2011). Enfim, para cada seção de um rio existirá uma bacia hidrográfica, sendo a área de drenagem, comprimento do rio principal, declividade do rio e declividade da bacia suas características principais (TUCCI; MENDES, 2006).

Outros conceitos importantes são os de microbacia e ou sub-bacia, mas referem-se às ordens hierárquicas dentro de uma determinada malha hídrica (FERNANDES; SILVA, 1994; WADT et al., 2004). Cada bacia hidrográfica interliga-se com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação a última, uma sub-bacia (SOUZA; FERNANDES, 2000).

Além disso, a bacia hidrográfica é também denominada de bacia de captação, quando se tem a visão de que atua como coletora de águas pluviais, ou bacia de drenagem, quando a visão é de atuar como uma área que está sendo drenada pelos cursos d'água (SANTANA, 2003). É interligada por encostas, topos ou cristas e fundos de vales, canais, corpos de água subterrânea, sistemas de drenagem urbanos e áreas irrigadas, entre outras unidades espaciais (COELHO NETO, 2011). É uma área definida pela topografia da superfície (TUCCI; MENDES, 2006) que integra as dinâmicas naturais e as atividades humanas nelas desenvolvidas.

Nas bacias hidrográficas, o sistema de drenagem possui entrada e saída de energia (CUNHA; GUERRA, 2011), desenvolvem-se em diferentes tamanhos e podem ser desmembradas em um número qualquer de sub-bacias, constituindo um sistema de drenagem hierarquicamente organizado (COELHO NETO, 2011).

Em relação aos processos hidrológicos em uma bacia hidrográfica, os mesmos são representados pela precipitação, evapotranspiração, umidade, fluxo no solo, escoamento superficial e escoamento no subsolo. Diante disso, pode-se afirmar que os fatores solo, vegetação e atmosfera possuem forte influência no ciclo hidrológico, mas além dos processos naturais, já complexos, existe também a interferência humana que age sobre esse sistema natural (TUCCI; MENDES, 2006) e altera a dinâmica do sistema. Segundo Cunha e Guerra (2011) mudanças significativas em qualquer dessas unidades, podem gerar alterações, efeitos e /ou impactos a jusante e nos fluxos energéticos de saída (descarga, cargas sólidas e dissolvida).

1.2.1 A microbacia hidrográfica como unidade de planejamento para a conservação

O manejo inadequado dos recursos naturais gera consequências como a erosão dos solos, desmatamentos, desertificação, poluição e inundações (CUNHA; GUERRA, 2011). Uma alternativa é adotar o manejo conservacionista que consiste na adoção de práticas voltadas a minimizar os impactos negativos da atividade antrópica, sobre os recursos naturais renováveis, como uma estratégia de planejamento (LACERDA; ALVARENGA, 2000; ZANZINI; PRADO FILHO, 2000). Além disso, o manejo deve atuar de forma integrada, ou seja, planejar e implantar as práticas conservacionistas considerando o contexto das microbacias e não como propriedades isoladas. É necessário compreender qual é a real função da microbacia, seja para atender a sociedade, para a manutenção dos serviços ambientais ou conservação e utilizá-la como unidade fundamental de planejamento (SANTANA, 2003). Uma unidade natural básica de planejamento (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990), onde a ação integradora das diferentes formas de uso e manejo são vistas sob a ótica sistêmica, na qual cada componente pode influenciar ou ser influenciado pelos demais (CUNHA; GUERRA, 2011).

As microbacias hidrográficas incluem uma variedade de recursos naturais que fornecem bens e serviços básicos para a sociedade e que sustentam uma variedade de funções do ecossistema, portanto o planejamento considerando as peculiaridades das microbacias é fundamental para proteger esses recursos. Entre os diversos recursos naturais, a água é um dos fatores principais que influencia a distribuição e qualidade de várias formas de vida e ecossistemas e é essencial para a sobrevivência humana e diversas atividades econômicas dependem da sua quantidade e qualidade (RANDHIR et al., 2001).

Essas atividades econômicas são indispensáveis para suprir as necessidades da sociedade. No entanto, desenvolver técnicas que não levem em consideração o ambiente na qual estão inseridas, não é mais uma opção, tornou-se uma necessidade real. Não é mais aceitável, ignorar as condições ambientais e sociais locais. Assim, as atividades econômicas, devem incluir a melhoria contínua em seus processos e técnicas, de forma a garantir os valores do solo, da água, da vegetação e da paisagem (ALVES, 2000) e seus usos múltiplos. Os recursos naturais da microbacia hidrográfica devem ser mantidos em benefício da sociedade de forma a garantir o uso múltiplo. Para isso, deve-se buscar um equilíbrio, conciliar resultados econômicos, sociais e ambientais.

1.2.2 A bacia hidrográfica do rio Branco

A bacia hidrográfica do rio Branco é o principal sistema de drenagem de Roraima, e contempla a sub-bacia hidrográfica da área de estudo. É também um afluente da margem esquerda do rio Negro, abrange 83% do estado, com 187.540 km², destes 12.310 km² nascem em território guianense (CARVALHO, 2015). É delimitada ao norte pela Venezuela e Guiana, ao sul pelo estado do Amazonas, a leste pela Guiana e a oeste pelo estado do Amazonas e pela Venezuela (EPE, 2010).

O rio Branco é o rio principal, formado pelos rios Uraricoera e Tacutú a cerca de 30 km a montante da cidade de Boa Vista. Segundo Carvalho (2015), apresenta comprimento médio de 566 km, é classificado como retilíneo, apresenta um desnível de 49 metros e gradiente de 8 cm.km⁻¹. Os principais contribuintes da margem direita são os rios Cauamé, Mucajaí, Ajarani, Água Boa do Univini, Catrimâni e Xeriuini, e, na margem esquerda, os rios Quitauaú, Cachorro, Anauá e Itapará. De forma geral, possui uma rede hidrográfica bastante densa, com bom estado de preservação e padrão de drenagem na forma dendrítica. A cobertura vegetal é representada por florestas equatoriais, savanas e campinaranas. A qualidade da água é considerada ótima a boa com coloração que varia de um branco transparente a um branco mais denso e está localizada em uma região com baixa densidade demográfica (EPE, 2010).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2010), o rio Branco possui importância na economia geral da região, representando a principal artéria hídrica no estado e possibilitando o uso da água para diversos fins, tais como: navegação, abastecimento, irrigação, dessedentação de animais, a atividade pesqueira, dentre outros.

1.2.3 A microbacia hidrográfica do Igarapé Água Boa

A microbacia hidrográfica do igarapé Água Boa está localizada em Boa Vista, Roraima, mais precisamente ao sul da sede do município, a 90 metros de altitude (figura 1). Ocupa uma área de aproximadamente 59.257,94 ha e tem como curso d'água principal o igarapé Água Boa, afluente do Rio Branco (ME, 1980; MME; 2002). Os afluentes da margem direita são os igarapés da Cobra, Urubú e da Paca e da margem esquerda, o igarapé Pau Rainha. Após receber seus principais afluentes no alto e médio curso, o igarapé Água

Boa é cortado pela BR 174 e inicia-se o baixo curso que finaliza ao desaguar no Rio Branco, entre os igarapés Tauari e o Grande (ME, 1980).

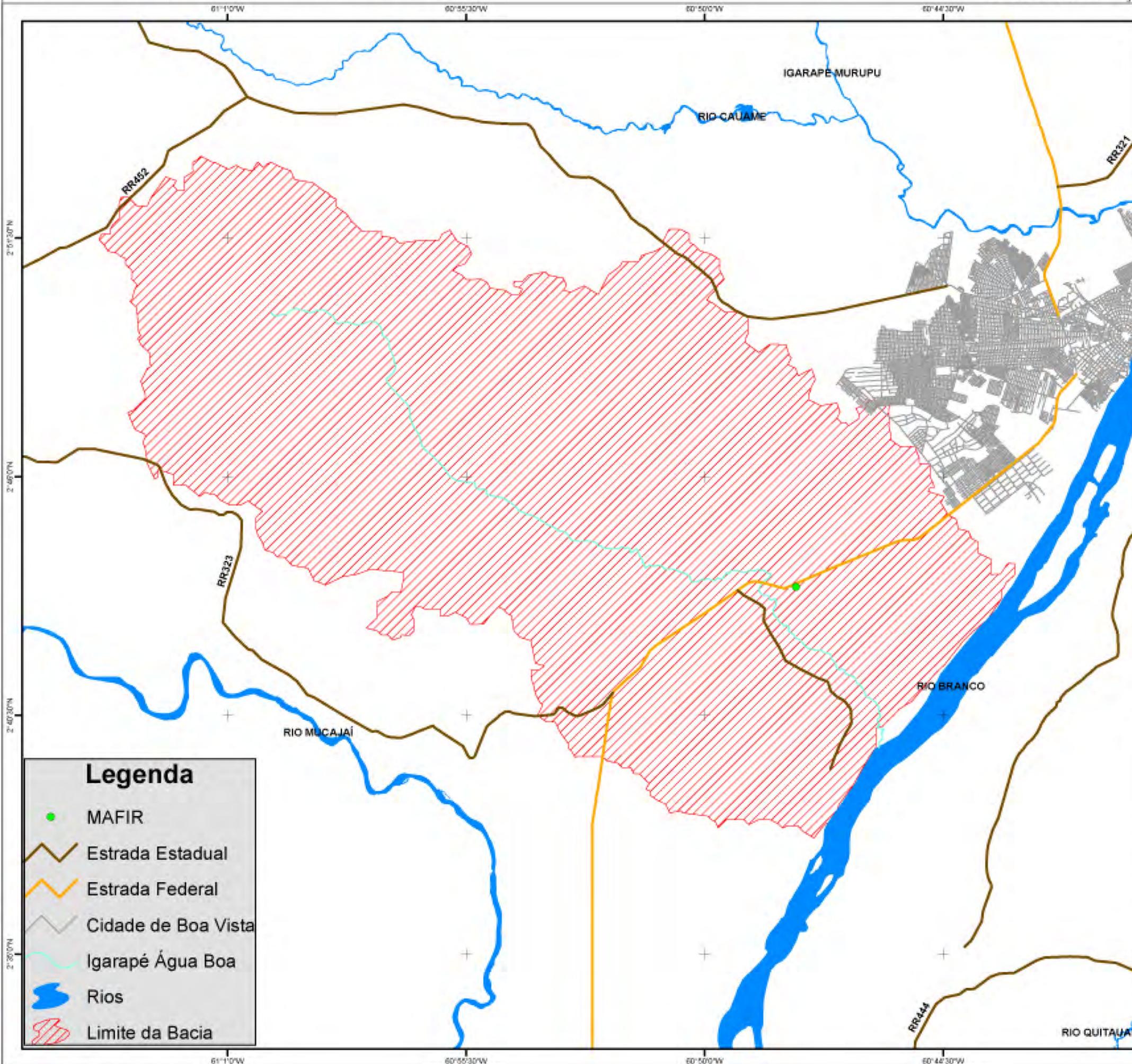
Nesta região, a vegetação é classificada como savana graminosa (Sg), onde prevalecem gramados entremeados por plantas lenhosas raquílicas (MME, 2002). Segundo Barbosa e Miranda (2005), caracteriza-se por campos limpos (dominância do extrato graminoso podendo haver a presença da espécie sub-arbustiva *Byrsonima verbascifolia*) e campos sujos, onde existe forte presença do extrato graminoso, com maior densidade de espécies arbóreo-arbustivas de pequeno porte. O clima é tropical úmido do tipo “A” e do subtipo Aw, conforme a classificação de Köppen (BARBOSA, 1997). De acordo com a Secretaria de Estado do Planejamento e Desenvolvimento de Roraima, é uma região quente e úmida, com médias anuais de precipitação e temperatura iguais a 1.750 mm e 27,4° C, respectivamente. Há duas estações bem definidas e distintas, verão (seco) e inverno (chuva), sendo a primeira de outubro a março e segunda de abril a setembro (RORAIMA, 2010).

Segundo o ZEE - Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Central do Estado de Roraima (MME, 2002), a geologia da microbacia hidrográfica é constituída por duas unidades cenozóicas, representadas pela formação boa vista / N12bv e areias brancas / Q1ab e uma unidade mesozóica, representada pelo complexo vulcânico Apoteri / JKBap. Já em relação a geomorfologia, a bacia pertence ao domínio morfoestrutural da Bacia de Boa Vista e ao domínio morfoescultural da Depressão de Boa Vista, com planos arenosos (Apa) e superfícies pediplanadas sujeitas à inundação (Ppa), de relevo plano (Pp) a levemente ondulado (Plo). E possui cinco classes de solo, representadas pelo argissolo amarelo alimínico típico (PAa3), planossolo hidramórfico (SGd1), plintossolo pétrico (FFca1), latossolo amarelo aluminico (LAa7) e argissolo acinzentado (PACa12).

Outro fator que merece destaque é a ocupação humana na microbacia hidrográfica. Está região pertence a uma unidade socioeconômica de pequeno a grande porte em que já ocorreu comprometimento dos ecossistemas de forma reversível, com infra-estrutura básica e econômica com valores próximos aos recomendados (MME, 2002).

Figura 1 - Localização da Microbacia Hidrográfica do Igarapé Água Boa

Data: 05/07/2016
Escala: 1:160.000



Legenda

- MAFIR
- Estrada Estadual
- Estrada Federal
- Cidade de Boa Vista
- Igarapé Água Boa
- Rios
- Limite da Bacia



Desenho: Téc. em Agrimensura Janderson da Silva Lúcio.

1.3 Produção da Carne Bovina no Brasil

Após a discussão sobre bacias hidrográficas é indispensável discutir sobre a atividade de produção de carne bovina, pois é uma atividade desenvolvida na microbacia e abordada na presente pesquisa. Assim, são apresentados abaixo, dados gerais e regionais, iniciando pela bovinocultura.

A bovinocultura é uma das atividades econômicas mais importantes no mercado brasileiro, tendo em vista que é um dos maiores consumidores e exportadores da carne bovina do mundo (SANTOS et al., 2011) e possui o segundo maior efetivo, perdendo apenas para a Índia (IBGE, 2014).

Em 2013, o Brasil possuía um efetivo de bovinos de 211.764 milhões de cabeças, distribuído por todo o território nacional, mas com maior participação nas regiões Centro-Oeste (33,6 %), Norte (21,1%) e Sudeste (18,6 %). Tomando por base o período de 2010 a 2013, observou-se leve perda de participação da região Centro-Oeste e, por outro lado, crescimento de participação da região Norte. Ao se comparar os dados da região Norte registrados em 2011, 2012 e 2013, observou-se que o rebanho teve aumento de 5,4% no primeiro biênio e 2,0 % no segundo biênio, sobretudo nos Estados do Pará e Rondônia, embora os demais estados que a compõem também tenham apresentado incremento. Em relação ao estado de Roraima, em 2013 o mesmo ocupou a 25ª posição em efetivo de rebanho, 0,4% da produção nacional (IBGE, 2012; 2013).

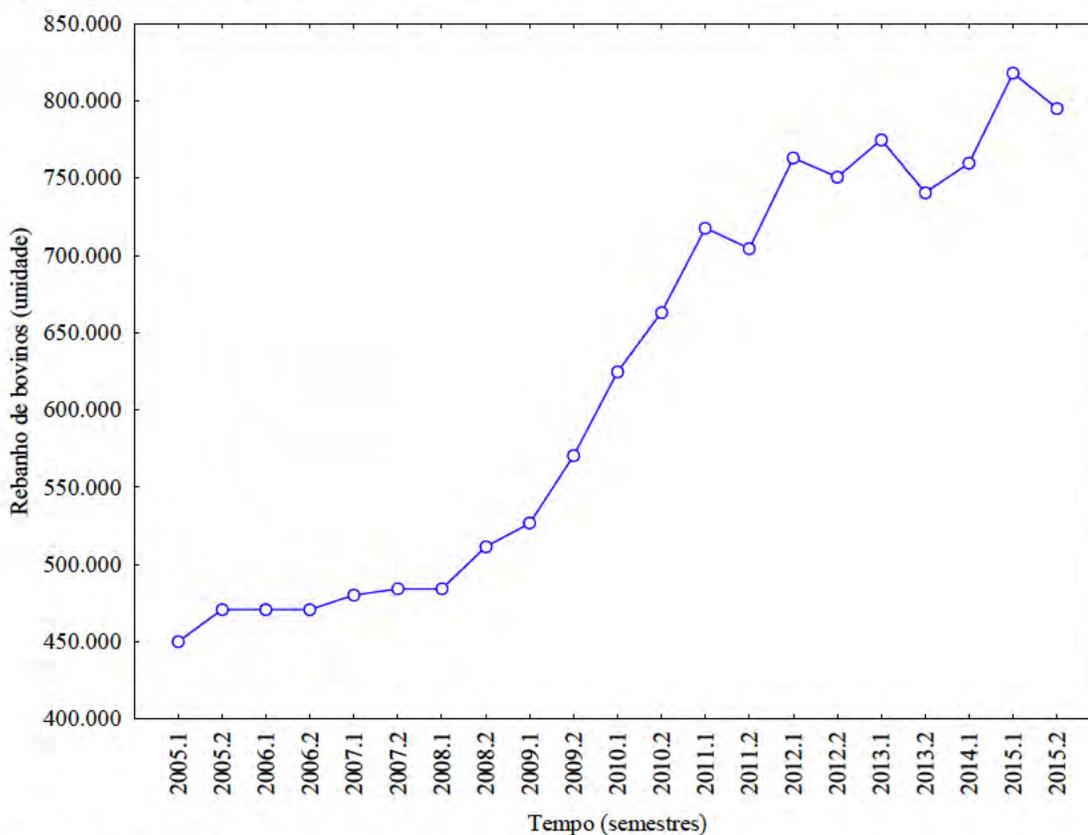
Já em 2014, o efetivo de bovino nacional atingiu 212,34 milhões de cabeças, um aumento de 0,3 % em relação ao ano anterior. Isso corresponde a um crescimento de 2,5 % na Região Norte, com destaque para os Estados do Pará, Rondônia e Acre. Em Roraima, a representatividade nacional foi mantida em 0,4 % (IBGE, 2014).

De acordo com a Agência de Defesa Agropecuária do Estado de Roraima - ADERR, no período de 2005 a 2015 o efetivo de bovinos em Roraima apresentou crescimento médio de 5,5 % (figura 2), com destaque para o ano de 2010 que registrou aumento de 16,3 % (ADERR, 2016). Em 2011, a Secretaria de Estado do Planejamento e desenvolvimento de Roraima informou que o maior efetivo de bovinos pertencia ao município de Alto Alegre (RORAIMA, 2013). Isso mudou em 2014, quando Mucajaí com 15,3 % do efetivo de bovinos assumiu a primeira posição, seguido por Alto Alegre (11,2 %), Amajari (10,6%) e Cantá (10,3 %). Em 2015, a primeira posição permaneceu sendo de Mucajaí (15,9 %),

seguido por Amajari, Alto Alegre e Cantá com 10,68 %, 10,6 7% e 9,7 %, respectivamente (ADERR 2016a).

No período de outubro de 2014 a outubro de 2015 houve aumento do efetivo de bovinos em 13 municípios de Roraima, com destaque para Rorainópolis (18,4 %), Pacaraima (16,6 %), Caracarái (16,4 %) e Caroebe (12,0 %). Uiramutã apresentou o menor crescimento (0,04 %) e Cantá e Normandia apresentaram redução do efetivo de bovinos em 1,9 % e 2,3 %, respectivamente (ADERR 2016a).

Figura 2 - Evolução semestral do rebanho bovino em Roraima.



Fonte: ADERR (2016).

Em relação a cadeia produtiva de carne bovina, esse setor contempla além da criação de gado, o processamento da carne. Pacheco e Yamanaka (2008) dividiram este último setor em três unidades, conforme a abrangência dos processos que são realizados. A primeira unidade é representada pelos abatedouros ou matadouros que somente abatem, mas não industrializam, a segunda pelos frigoríficos que abatem e industrializam ou somente industrializam e a terceira e última, é representada pelas graxarias que processam os

subprodutos e/ou resíduos dos abatedouros, frigoríficos e das casas de comercialização de carne.

As denominações oficiais são descritas no Decreto nº 30.691, de 29 de março de 1952 (BRASIL, 1952), que classificou os estabelecimentos de carnes e derivados em: 1) matadouros – frigoríficos, 2) matadouros, 3) matadouros de pequenos e médios animais, 4) charqueadas, 5) fábricas de conservas, 6) fábricas de produtos suínos, 7) fábricas de produtos gordurosos, 8) entrepostos de carnes e derivados, 9) fábricas de produtos não comestíveis, 10) matadouros de aves e coelhos e 11) entrepostos-frigoríficos.

A unidade de estudo está localizada em um matadouro-frigorífico, a primeira classificação descrita no Decreto nº 30.691, de 29 de março de 1952 (BRASIL, 1952). Diante disso, as características desta classificação são exploradas no item a seguir, abordando a definição, os processos produtivos, o panorama nacional e estadual e por último as consequências causadas pela clandestinidade nesse tipo de atividade.

1.3.1 Processo Produtivo

Segundo Pacheco e Yamanaka (2008), o abate de bovinos (quadro 1), assim como de outras espécies animais, é realizado para obtenção de carne e de seus derivados, destinados ao consumo humano. Em todas as etapas do processo produtivo são geradas águas residuárias e encaminhadas para linhas de escoamento individuais, a linha verde e vermelha. A linha verde contém o efluente líquido gerado em áreas sem a presença de sangue e a linha vermelha, os que contêm sangue. Esta separação melhora a eficiência do tratamento primário (físico-químico), que é feito separadamente. Como consequência, também se diminui a carga poluente a ser removida nas etapas de tratamento posteriores de forma mais efetiva (PACHECO; YAMANAKA, 2008).

Em 2015, o abate de bovinos correspondeu a 22,92 milhões de cabeças, seja por inspeção sanitária municipal, estadual ou federal. O estado do Mato Grosso lidera amplamente o abate de bovinos, seguido por Mato Grosso do Sul e Goiás. Neste ranking, onze estados, incluindo Roraima, possuem quantidade de abate inferior a 1% do total nacional (IBGE, 2015).

Em 2014, o Brasil possuía 1.249 estabelecimentos registrados no ramo de carne e produtos cárneos sob inspeção federal (MAPA, 2015), sendo 378 estabelecimentos classificados como matadouros frigoríficos (MAPA, 2016), mesma classificação do

Matadouro e Frigorífico Industrial de Roraima – MAFIR. O estado de São Paulo possui o maior número de matadouros-frigoríficos com 47 estabelecimentos enquanto que os estados de Roraima, Pernambuco e Espírito Santo possuem apenas 2 estabelecimentos cada (MAPA, 2016). Em Roraima, os dois matadouros frigoríficos em questão são representados pelo MAFIR, o único no estado que possui Serviço de Inspeção Federal - S.I.F e por realizar o abate de bovinos e suínos, possui dois registros (ADERR, 2016b).

Quadro 1 - Descrição das etapas do processo de abate de bovinos e o destino do efluente.

Etapa	Descrição	Destino do efluente
Recepção / Currais	Período destinado ao descanso, jejum e dieta hídrica, para reduzir o conteúdo estomacal e intestinal e permitir maior facilidade no processo de evisceração.	Linha Verde
Condução e lavagem	Os animais são separados por lote, lavados com jatos de água clorada e conduzidos para o abate.	Linha Verde
Atordoamento	O objetivo é deixar o animal inconsciente utilizando marreta pneumática ou pistola sem dispositivos penetrantes. Após esta operação, o animal é içado pelas patas traseiras e percorre em um trilho aéreo para as etapas posteriores.	Linha Vermelha
Sangria	Ocorre a secção de grandes vasos sanguíneos do pescoço. O sangue é coletado na calha e direcionado para armazenamento em tanques, gerando de 15 a 20 litros de sangue por animal. O sangue deve ser coletado e armazenado para posterior processamento, caso seja direcionado às calhas coletoras do efluente industrial, aumentará significativamente a carga poluidora do mesmo.	Linha Vermelha
Esfola e remoção da cabeça	Esta etapa consiste na retirada das patas dianteiras, as patas traseiras, o úbere, os genitais, o rabo, o couro, a cabeça, a língua, as bochechas e os miolos. Por questões sanitárias, nesta etapa, água é muito utilizada, gerando um acréscimo no volume de efluentes gerados.	Linha Vermelha
Evisceração	As carcaças dos animais são abertas e removidas as vísceras.. Ocorre a geração de efluentes, devido ao uso de água para garantir premissas de higiene.	Linha Vermelha
Corte da carcaça	As carcaças são serradas e higienizadas para a remoção de partículas ósseas e pêlos, gerando efluentes compostos por estas pequenas partículas.	Linha Vermelha
Refrigeração	A lavagem e limpeza frequente das câmaras de resfriamento provoca um aumento no volume de efluente gerado.	Linha Vermelha
Cortes e desossa	As carcaças resfriadas são divididas em porções menores para comercialização ou posterior processamento.	Linha Vermelha
Estocagem / Expedição	As carcaças, os cortes e as vísceras comestíveis, após processadas, pesadas, embaladas e etiquetadas, são estocadas em câmara fria, aguardando sua expedição.	Linha Vermelha

Fonte: Pacheco e Yamanaka (2008) e SENAI (2003).

As publicações de dados nacionais de abate, como as publicações do IBGE consideram apenas as empresas de abate inspecionadas pelo S.I.F. (MATHIAS, 2008), portanto possui apenas a produção do MAFIR, mas o estado possui outros dois matadouros, o FRICAN localizado em Cantá e o ABF Boi do Norte em Caracaraí, ambos com S.I.E. (ADERR, 2016a).

Em 2013, Roraima possuía além destes três matadouros citados anteriormente, outros dois, denominados: Frigosul (São João da Baliza) e Emanuelle (Pacaraima), mas atualmente não estão em funcionamento. No período de 2010 a 2012 (quadro 2) o somatório da produção dos quatro matadouros (FRICAN, ABF, FRIGOSUL e Emanuelle) representou 50%, 18% e 35%, respectivamente da produção do MAFIR (ADERR, 2016a; LIMA, 2013).

Quadro 2 - Número de bovinos abatidos em Roraima, nos anos de 2010, 2011 e 2012.

Ano	Quantidade de abate (unidade)		
	MAFIR ¹	Outros matadouros	Total
2010	57.000	28.645	85.645
2011	63.552	11.697	75.249
2012	54.110	19.322	73.432

Fonte: ADERR (2016a) e Lima (2013). ¹MAFIR: Matadouro e Frigorífico Industrial de Roraima.

Ainda no âmbito estadual, em 2013 iniciou as obras para a implantação do primeiro matadouro e frigorífico privado de Roraima, denominado Frigo 10. Segundo Amaral (2015) e Rocha (2015), este matadouro é o mais moderno frigorífico do Brasil, iniciará as suas atividades a partir de julho de 2016, foi construído às margens da BR-174 sul, a 18 quilômetros de Boa Vista, com 11.900 metros quadrados de área construída. Foi projetado para o processamento de carne e subprodutos, com capacidade diária de abate de 650 animais (FOLHAweb, 2014).

1.3.2 Aspectos ambientais

A Resolução CEMACT nº 01, de janeiro de 2014 é a norma legal que regulamenta o licenciamento ambiental do Estado de Roraima e estabelece critérios para classificação dos empreendimentos e atividades em conformidade com o porte e potencial poluidor (RORAIMA, 2014). Os critérios para a definição do potencial poluidor consideram os aspectos e impactos potenciais.

Aspecto ambiental é o elemento das atividades, produtos e/ou serviços de uma organização que pode interagir com o meio ambiente e impacto ambiental é qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, dos aspectos ambientais da organização (ABNT, 2004, p. 2).

Assim, como em várias indústrias do setor alimentício, os principais aspectos e impactos ambientais da indústria de carne e derivados estão ligados a um alto consumo de água, à geração de efluentes líquidos com alta carga poluidora, principalmente orgânica, e a um alto consumo de energia. Odor, resíduos sólidos e ruído também podem ser significativos para algumas empresas do setor (PACHECO; YAMANAKA, 2008). Rabelo, Silva e Perez (2014) consideram como principais aspectos do setor, o consumo de água e lenha, a geração de efluentes líquidos, efluentes atmosféricos e resíduos sólidos.

Os impactos ambientais são significativos segundo seu potencial poluidor e área de influência. Segundo Freitas (2002), a área diretamente afetada compreende a área que sente a maior parte dos efeitos primários decorrentes do empreendimento enquanto que a área de influência tem como contorno a fronteira ate onde os efeitos do empreendimento serão significativamente detectados. No caso específico do MAFIR, em seu Plano de Controle Ambiental - PCA foram definidos os limites das áreas diretamente afetadas e de influência (quadro 3) e os tipos de impactos passíveis de ocorrerem no empreendimento.

Quadro 3 - Área diretamente afetada e de influência do Matadouro e Frigorífico Industrial de Roraima, em relação ao meio físico, biológico e sócio-econômico.

Meio	Área diretamente afetada	Área de influência
Físico	A área das lagoas e seu entorno, pois a área de influência direta do empreendimento é desprovida de drenagens perenes.	Bacia hidrográfica local e um trecho a jusante.
Biológico	A área das lagoas e seu entorno imediato.	-
Sócio-econômico	Área das propriedades com a totalidade ou com alguma parcela de suas terras afetadas, além dos aglomerados urbanos com área ocupada. Além dos moradores e proprietários rurais nas áreas do projeto, infra-estrutura, poder público municipal e organizações ambientais não governamentais.	Todos os municípios com alguma área afetada pela implantação do empreendimento como um todo.

Fonte: Freitas (2002).

Os impactos ambientais listados (quadro 4) podem ser minimizados se houver controle e monitoramento das atividades. No entanto, em ambientes não regularizados (clandestinos), os impactos potenciais e as especificidades do ambiente não são considerados, podendo causar danos ao meio ambiente e a saúde pública.

Quadro 4 - Impactos negativos e positivos referentes às atividades do Matadouro e Frigorífico Industrial de Roraima, em relação ao meio físico, biológico e sócio-econômico/antrópico.

Meio	Impactos Negativos	Impactos Positivos
Físico	- Impacto Visual: mudanças paisagísticas e a acomodação de resíduos e produtos.	-
	- Recursos Hídricos: <u>Período de estiagem</u> : contaminação do lençol freático, pois o solo praticamente sem umidade favorecerá a percolação da água residuária através da matriz até atingir o lençol localizado à aproximadamente cinco metros de profundidade. <u>Período de cheia</u> : contaminação das águas superficiais, pois a matriz do solo estará saturada, dificultando a percolação das águas pluviométricas e residuárias. Neste caso, as águas residuárias terão como fluxo principal o escoamento superficial e as concentrações de poluentes estarão diluídas.	-
	- Solo: contaminação por meio do lançamento do efluente final do sistema de tratamento biológico e a destinação inadequada de resíduos sólidos que sofrem decomposição anaeróbia produzindo um líquido com elevado potencial poluidor que infiltrando no solo (propício por ser arenoso).	-
	- Vibrações e ruídos: provenientes de equipamentos do processo industrial.	-
	- Ar: geração de odores desagradáveis em quase todas as etapas do processo industrial e tratamento de águas residuárias.	-
Biológico	- Intervenção na flora: por meio da redução de indivíduos e com absorção da mesma de parte do líquido infiltrado (água residuária tratada) no solo, oriundos da bacia de infiltração.	- uso de fertilizante recolhido no sistema de tratamento.
Sócio-econômico /Antrópico	- Acidentes: operários envolvidos diretamente no processo industrial, em meio a ruídos, manuseio de substâncias perigosas e gases.	- geração de empregos; - geração de renda; - produção de fertilizantes para comunidade local; - melhor qualidade de vida da população devido a melhor qualidade da carne e seus derivados; - aumento de vendas no comércio local.

Fonte: Freitas (2002).

1.3.3 Clandestinidade

O Brasil ocupa uma posição de destaque no ramo da produção de carne, mas demanda uma fiscalização rigorosa, que no país ainda é carente em alguns aspectos. A fiscalização ineficiente possibilita o abate clandestino e conseqüentemente, aumenta o risco de transmissão de patógenos, causando prejuízos à Saúde Pública.

O número total de bovinos que são abatidos clandestinamente no Brasil, ou seja, o número total de carcaças provenientes de abatedouros que não pagam impostos e/ou operam sem fiscalização sanitária apresentam uma pequena discordância. Segundo o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada, o número de bovinos abatidos sem nenhum registro de fiscalização sanitária (municipal, estadual ou federal) em 2012 foi inferior a 10 %, um índice menor do que muitos poderiam estimar (CEPEA, 2014). Posteriormente, o UNIVERSO AGRO questionou a pesquisa e informou que considera que este índice varia de 30 % em frigoríficos e a 40 % em operadores de mercado (UAGRO, 2014). Essas divergências enfatizam que o setor demanda maior rigor e controle.

Uma vez que os produtos obtidos a partir do abate clandestino, sem a devida inspeção veterinária oficial e com procedimentos técnicos inadequados, podem veicular uma série de doenças, entre elas a tuberculose, brucelose e cisticercose, além das infecções e intoxicações alimentares (MAPA, 2013).

Essas doenças são causadas por microrganismos que contaminam os produtos de origem animal, em qualquer fase do processo produtivo, causando diarreias, dores abdominais, febre, abortos e até mesmo demência, confusão mental e óbito. Os riscos em obter carnes de estabelecimentos clandestinos são grandes. A cisticercose é frequentemente diagnosticada em matadouros e é a principal causa de condenações de carcaças pelo serviço de inspeção (PEIXOTO; BLANES; PYRRHO, 2013). O seu controle depende das condições econômicas, sociais e culturais de cada local de ocorrência (ESTEVES; SILVA-VERGARA; CARVALHO, 2005), causando impactos na saúde humana e animal.

Desta forma, consumir carnes com origem desconhecida, proveniente de abatedouros clandestinos, onde ocorre o aproveitamento de carcaças que seriam descartadas por riscos sanitários ou falta de padrão (AZEVEDO; BANKUTI, 2001) representa prejuízo a saúde pública e conseqüentemente desperdício de recursos públicos. Além disso, os estabelecimentos clandestinos não pagam impostos, reduz a demanda de matéria prima dos estabelecimentos regularizados e os obrigam a trabalhar de forma subdimensionada, ociosa,

tornando a concorrência injusta. Somente a legalidade cria uma obrigatoriedade de inspeção e fiscalização (PEIXOTO; BLANES; PYRRHO, 2013).

Em estabelecimentos registrados nos órgãos de inspeção e fiscalização são realizadas vistorias diárias no processo, exigindo as boas práticas de fabricação e examinando os animais, antes e após a sua morte, descartando quaisquer produtos que sejam considerados impróprios para consumo (MAPA, 2013). Assim, todos os produtos de origem animal provenientes desses estabelecimentos possuem carimbos que indicam a origem da matéria prima e garante a rastreabilidade do produto. Os carimbos podem ser do Serviço de Inspeção Federal - SIF, do Serviço de Inspeção Estadual - SIE ou do Serviço de Inspeção Municipal - SIM (MAPA, 2015a).

Diante dos fatos apresentados, é possível afirmar que são inúmeros os benefícios em produzir e consumir produtos que atendam os critérios da inspeção sanitária. Os benefícios atingem todas as partes envolvidas. O Estado fará o recolhimento dos impostos e as taxas de emprego formal com mão de obra qualificada aumentarão, o proprietário do estabelecimento irá agregar valor ao produto final e, por fim, o consumidor receberá um produto de qualidade (MAPA, 2013).

Em Roraima, os fiscais de inspeção de produtos de origem animal da Agência de Defesa Agropecuária do Estado de Roraima - ADERR realizam ações de fiscalização móvel onde são apreendidos produtos cárneos provenientes de abate clandestino. O levantamento de apreensões registrados no período de janeiro de 2015 a março de 2016 é apresentado no quadro 5.

Quadro 5 - Dados de apreensões de abate clandestino em Roraima, no período de janeiro de 2015 a março de 2016.

Município	Data	Produto apreendido
Boa Vista	27/07/2015	02 peças e 31 Kg de carne bovina
Amajari	19/09/2015	10 Kg de carne bovina
Boa Vista	16/01/2016	02 carcaças bovinas

Fonte: ADERR (2016b).

Diante dos fatos apresentados nos itens anteriores, a atividade de matadouros-frigoríficos é potencialmente poluidora, demandando monitoramento e controle constantes para garantir a qualidade do ambiente na qual está inserido. Isso é possível apenas quando são conhecidas as especificidades da atividade realizada. Assim, entende-se que é essencial definir as formas de interferência e impacto ao meio físico, biológico e sócio-econômico

conforme o porte de produção industrial do empreendimento. O conhecimento e controle da quantidade de carne abatida, do volume de resíduos gerados, da área afetada diretamente e indiretamente, das pessoas beneficiadas e prejudicadas, dentre outros fatos é o que garante a viabilidade do empreendimento. Para isso, foi elaborado a seguir, um breve levantamento dos aspectos ambientais da atividade de matadouros, com ênfase às suas águas residuárias, foco de trabalho, uma vez que os mesmos possuem relação com a qualidade ambiental da bacia hidrográfica na qual o empreendimento está instalado e seu conhecimento é essencial para compreender as possíveis formas de interferência.

1.3.4 Estudo de Caso: Matadouro e Frigorífico Industrial de Roraima – MAFIR

O Matadouro e Frigorífico Industrial de Roraima - MAFIR foi inaugurado em 1979, está localizado na BR 174, Km 752, s/nº, na região do Água Boa, em Boa Vista, Roraima. Ao norte faz divisa com faixas de domínio da BR 174, ao sul com o igarapé Água Boa, à leste com uma propriedade particular e a oeste com o igarapé Água Boa (CODESAIMA, 2002; OLIVEIRA, 2013).

É administrado pela Companhia de Desenvolvimento de Roraima – CODESAIMA, tem como atividade principal o abate de animais de médio e grande porte e apresenta capacidade de produção de aproximadamente 400 cabeças.dia⁻¹ (quadro 6).

Quadro 6 - Dados gerais do Matadouro e Frigorífico Industrial de Roraima - MAFIR.

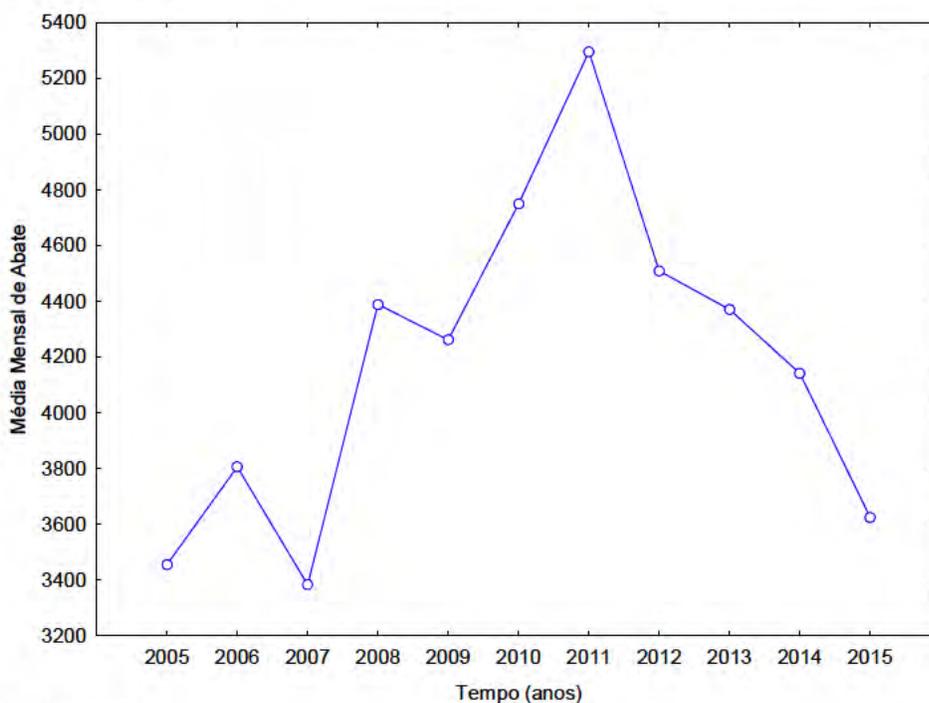
Área útil:	25.000 m ²
Área construída:	11.000 m ²
Origem da matéria prima:	Pecuária roraimense
Área da Indústria:	11.000 m ²
Área de Armazenamento:	1.180 m ²
Destino do efluente líquido:	Lagoas de estabilização

Fonte: CODESAIMA (2011).

Segundo a Instrução Normativa FEMARH nº 001/2014, esta atividade, com estas características, é classificada como indústria alimentícia, potencialmente poluidora, com capacidade de produção grande e potencial poluidor alto (FEMARH, 2011; OLIVEIRA, 2013; RORAIMA, 2014). E de acordo com o Departamento Estadual de Meio Ambiente, a licença de operação (L.O. nº 032), necessária para o desenvolvimento da atividade de abate de animais foi obtida em 04 de novembro de 2002 (RORAIMA, 2002).

O MAFIR possui cadastro ativo no MAPA, obteve o registro reserva de S.I.F em 2004 e o registro definitivo em 2015 (MAPA 2016a). Ainda segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, por meio do Sistema de Informações Gerenciais dos SIF - SIGSIF, no período de 2005 a 2015, o MAFIR realizou abate médio mensal de bovinos que variaram de 3.386 unidades em 2007 a 5.296 unidades em 2011. A média mensal de abate atingiu o pico em 2011 e apresentou redução contínua nos anos posteriores (figura 3). É importante destacar que durante o período de janeiro de 2000 a junho de 2004, o SIGSIF não possui informações sobre o MAFIR (MAPA, 2016b).

Figura 3 - Média mensal de abate no Matadouro e Frigorífico Industrial de Roraima, no período de 2005 a 2015.



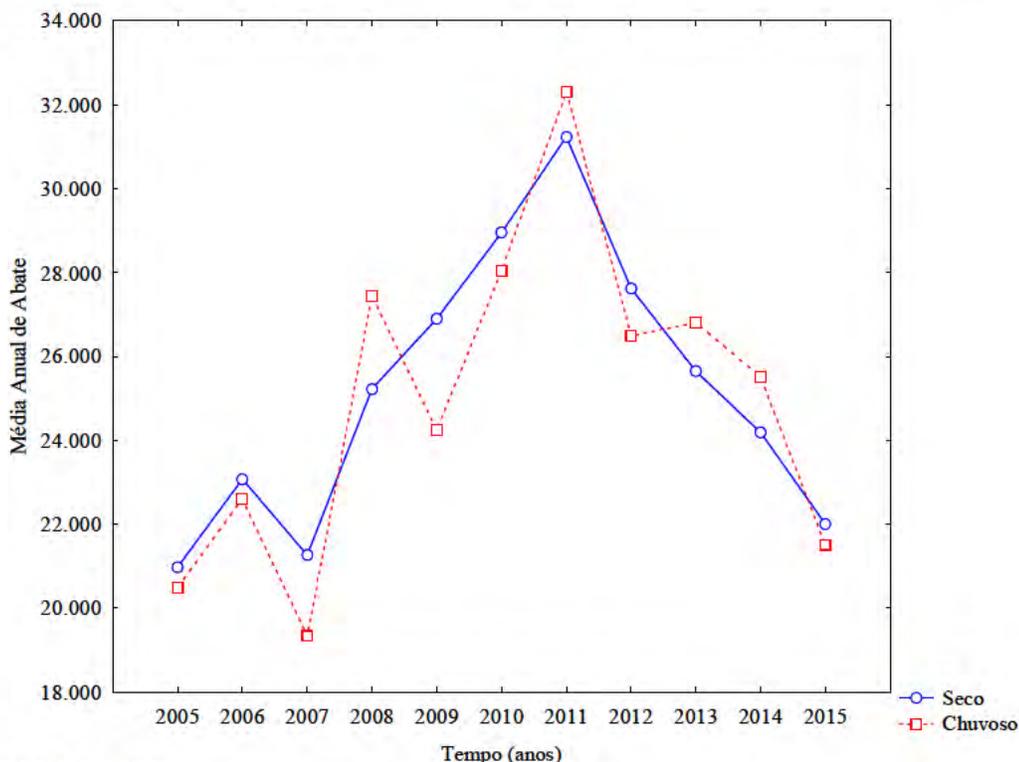
Fonte: MAPA (2016b).

O matadouro frigorífico possui 213 funcionários diretos, mas estava subutilizado, operando com 50% da capacidade total, devido a necessidade de reposição ou manutenção de muitos equipamentos, como por exemplo, os digestores e as máquinas que processam restos bovinos para produção de rações animais (PAULO, 2015). No entanto, em 2015 foram investidos, aproximadamente, R\$ 2 milhões na estrutura do MAFIR e elaborado um planejamento estratégico com ações de melhoria para 2016 (MONTEIRO, 2016).

No MAFIR, o abate de bovinos ocorre durante todo ano, no período com menores (seco) e maiores (chuvoso) índices pluviométricos (figura 4). No entanto, no período de 2005

a 2015 foi verificado maior número de abate no período seco, com exceção dos anos de 2008, 2011, 2013 e 2014 (MAPA, 2016b).

Figura 4 - Número total de abate no Matadouro e Frigorífico Industrial de Roraima, na estação seca e chuvosa, no período de 2005 a 2015.



Fonte: MAPA (2016b).

1.4 Águas Residuárias de Matadouros

A atividade de abate de bovinos consome uma grande quantidade de água. Utiliza-se como base de cálculo 2.500 litros por cabeça (BRAILE; CAVALCANTI, 1993) e quase toda sua totalidade é descartada como efluente líquido, também denominada água residuária (SANTOS et al., 2011), estima-se valores de 80 a 95 % (MRC, 1995; UNEP; DEPA; COWI, 2000).

Esse efluente, quando disposto ao meio ambiente sem tratamento, representa focos de proliferação de insetos e de agentes patogênicos, além de contaminação de águas superficiais e subterrâneas (SANTOS et al., 2011). Uma análise das características dos despejos dos matadouros e frigoríficos não é uma tarefa simples, pois são muitos fatores operacionais e instalações diferenciadas (BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

No primeiro momento, o aspecto dessas águas residuárias já é desagradável, possui cor avermelhada, são praticamente opacas, possui material flutuante, cheiro característico e apresenta microrganismos patogênicos, caso ocorra o abate de animais (BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

De forma mais específica, estes efluentes caracterizam-se principalmente por alta carga orgânica devido à presença de sangue, gordura, esterco, conteúdo estomacal não-digerido e conteúdo intestinal; flutuações de pH em função do uso de agentes de limpeza ácidos e básicos; altos conteúdos de nitrogênio, fósforo e sal e flutuações de temperatura devido ao uso de água quente e fria (PACHECO; YAMANAKA, 2008). Del Nery et al. (2013) destacam também as altas concentrações de matéria orgânica biodegradável, principalmente de lipídios, proteínas, sólidos em suspensão, óleos, graxas, nitrogênio e fósforo. Segundo Aguilar et al. (2002), o efluente dos matadouros possui uma Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5) em torno de 4.200 mg.L^{-1} , significativamente superior ao encontrado em esgotos domésticos que apresenta valores na faixa de 300 mg.L^{-1} (VON SPERLING, 2002).

Dependendo do processo industrial e o consumo de água pode ocorrer variações na concentração de DBO_5 (DEL NERY; DAMIANOVIC; BARROS, 2001), principalmente se não houver a coleta e processamento do sangue no matadouro. Isso pôde ser verificado por Braile e Cavalcanti (1993) que afirmam que uma DBO_5 de matadouro pode oscilar entre 800 a 32.000 mg.L^{-1} , dependendo do grau de reaproveitamento e cuidados na operação. No Plano de Controle Ambiental do MAFIR menciona-se que o volume de efluente (VE) é proporcional ao número de abates, conforme equação 1.

$$VE = \text{quantidade de abate} \times 2\text{m}^3 \text{ (equação 1)}.$$

A variação e/ou oscilação das concentrações ocorre também para outros parâmetros de monitoramento, conforme apresentado no quadro 7. No entanto, apesar das concentrações significativas de matéria orgânica biodegradável, estas águas residuais de processo agro-industrial (matadouros, fábricas de conservas de alimentos, laticínios) são facilmente tratadas em sistemas de lagoas de estabilização (VON SPERLING, 2002), filtros biológicos e lodos ativados. Esses processos reduzem a DBO em 70 a 95 % e os sólidos em suspensão em 80 a 95%. Cada um desses sistemas tem vantagens e desvantagens que irão determinar a seleção do sistema a ser adotado (BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

Quadro 7 - Padrão de concentração de águas residuárias brutas e tratadas de matadouros.

Parâmetros	Água residuária bruta (não tratada)			Água residuária tratada	
	TORKIAN, EQBALI e HASHEMIAN (2003)	DEL NERY et al. (2007)	DEL NERY et al. (2013)	THEBALDI et al. (2011)	RIBEIRO, SANDRI, BOÊNO (2013)
OD (mg.L ⁻¹)	-	-	-	5,14	2,29
DBO (mg.L ⁻¹)	1748 ±541	1780	1680	203,41	75,54
DQO (mg.L ⁻¹)	3799 ±429	3102	2990	298,69	505,99
Amônia (mg.L ⁻¹)	89±50	39	-	0,36	0,43
Nitrito (mg.L ⁻¹)	-	-	-	0,18	0,23
Nitrato (mg.L ⁻¹)	-	-	-	0,61	4,11
OeG (mg.L ⁻¹)	-	375	246	-	-
NTK (mg.L ⁻¹)	-	186	142	-	-
P _T (mg.L ⁻¹)	17±12	76	50	-	12,35
SS (mg.L ⁻¹)	-	872	-	-	-
Turbidez (NTu)	-	-	-	-	118,15
COT (mg.L ⁻¹)	-	-	-	-	150,09
N _T (mg.L ⁻¹)	-	-	-	-	1,53
pH	7,2±0,3	-	6,4 a 7,8	-	7,70
CE (dS.m ⁻¹)	-	-	-	-	2,31
T (°C)	33,3 ±2,8	-	-	-	-
Alc. (mgCaCO ₃ L ⁻¹)	1351±181	-	-	-	-

OD = Oxigênio Dissolvido; DBO₅ = Demanda Bioquímica de Oxigênio; DQO = Demanda Química de Oxigênio; OeG = Óleos e Graxas; NTK = Nitrogênio Kjeldahl; P_T = Fósforo Total; SS = Sólidos Suspensos; COT = Carbono Orgânico Total; N_T = Nitrogênio Total; CE = Condutividade Elétrica; T = Temperatura; Alc = Alcalinidade.

1.4.1 Tipos de tratamento

Atualmente ainda utiliza-se, de forma ilegal, o lançamento direto de águas residuais sem tratamento, em corpos d'água e em solos. Em consequência surgem inconvenientes e a saúde pública pode ser ameaçada pela contaminação das águas subterrâneas, de abastecimento, dos balneários e dos gêneros alimentícios, podendo disseminar doenças de veiculação hídrica e torná-las impróprias para o uso agrícola ou industrial. Desta forma, a finalidade do tratamento das águas residuárias é manter os corpos de água livres de inconvenientes desse gênero (IMHOFF; IMHOFF, 2002) para garantir seu uso para diversos fins.

Para o tratamento das águas residuárias de processos agro-industrial (matadouros, fábricas de conservas de alimentos, laticínios) utiliza-se amplamente os sistemas de lagoas de estabilização, devido as características do efluente, custos do sistema e facilidades de implantação e operação (VON SPERLING, 2002). De forma complementar ao tratamento em

lagoas de estabilização, a disposição sobre o terreno é utilizado e considerado como um método de tratamento terciário e o menos custoso dos processos existentes (BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

Na área de estudo, o sistema de tratamento das águas residuárias contempla exatamente lagoas de estabilização (lagoa anaeróbia, facultativa e maturação) e disposição final em solo (lagoa de infiltração). O objetivo, funcionamento e informações gerais a respeito das do processo de tratamento presente na área de estudo, são descritos nos itens a seguir.

1.4.1.1 Lagoas de estabilização

As lagoas de estabilização são grandes bacias fechadas por diques de terra, com pequena profundidade, em que o efluente bruto é tratado por processos inteiramente naturais, envolvendo tanto algas quanto bactérias. Apresenta velocidade de oxidação baixa, sendo necessário 10 a 50 dias de detenção hidráulica (SILVA; MARA, 1979).

Entre as principais variantes de lagoas de estabilização podem ser citadas as lagoas anaeróbias, facultativas e de maturação (MARA, 2004; SILVA; MARA, 1979). As primeiras possuem como objetivo principal a remoção de matéria carbonácea e a última está direcionada à remoção de organismos patogênicos (VON SPERLING, 2002).

É um dos sistemas mais comuns no tratamento de águas residuárias, as altas temperaturas e radiação solar ao longo do ano são as principais razões para o uso extensivo em países tropicais (DEL NERY et al., 2013). Silva e Mara (1979) citam ainda como vantagens consideráveis, a eficiência na remoção de bactérias de origem fecal e os custos de implantação e manutenção.

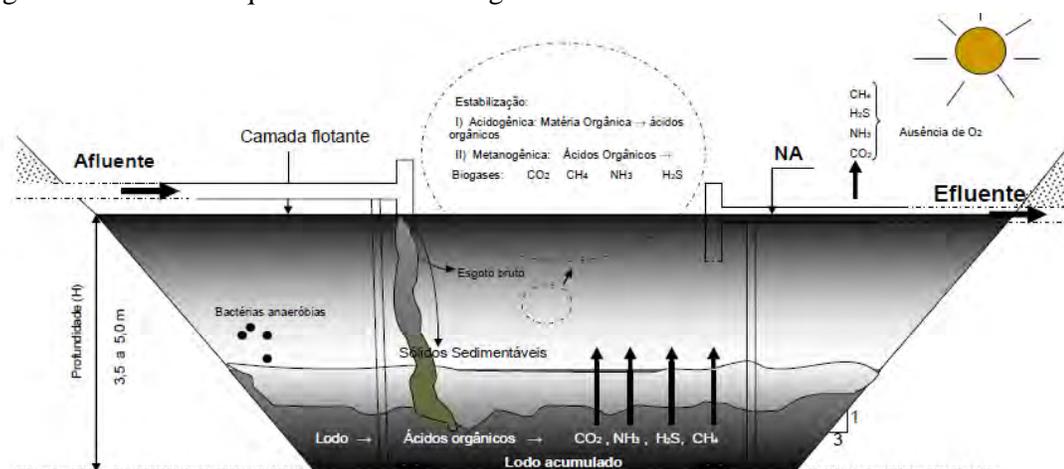
Von Sperling (2002) afirma que as lagoas de estabilização representam a forma mais simples para o tratamento dos esgotos, devido a necessidade de poucos ou nenhum equipamento, mas cita que as principais desvantagens estão relacionadas aos elevados requisitos de área, à variação do desempenho com as condições climáticas e a eventual necessidade de remoção de algas do efluente para o cumprimento de padrões de lançamento.

As lagoas de estabilização são, sem dúvida, o mais importante método de tratamento de águas residuais em países em desenvolvimento, onde possui terra disponível e onde a temperatura é mais favorável para o seu funcionamento. É tão vantajoso, que seria necessária uma ótima justificativa para não usá-lo (MARA, 2004; SILVA; MARA, 1979).

- Lagoas anaeróbias

As lagoas anaeróbicas são geralmente a primeira unidade utilizada numa série de lagoas, responsáveis pelo tratamento primário dos esgotos (figura 5). Possuem 2 a 5 m de profundidade, recebem uma carga orgânica elevada e não contêm oxigênio dissolvido e algas (KELLNER; PIRES, 1998; MARA, 2004). A existência de condições estritamente anaeróbias é essencial (VON SPERLING, 2002) e o tempo de detenção hidráulico nunca é inferior a 3 dias (KELLNER; PIRES, 1998).

Figura 5 - Desenho esquemático de uma lagoa anaeróbia.



Fonte: Silva Filho, (2007).

O funcionamento é similar ao de fossas sépticas abertas e sua função principal é a remoção da DBO (MARA, 2004). Desde que bem projetadas alcançam, pelo menos, 40 % de remoção a 10°C, 60 % a 20 °C e 70 % a 25 °C (MARA, 2005).

As lagoas anaeróbias é um tipo de tratamento primário, um dos mais baratos dispositivos de remoção de DBO (DEL NERY et al., 2013). Não requerem qualquer equipamento especial e tem um consumo de energia praticamente desprezível, são frequentemente profundas, a fim de reduzir a possibilidade da penetração do oxigênio produzido na superfície para as demais camadas e em consequência, a área requerida é correspondentemente menor (VON SPERLING, 2002). Em relação às desvantagens, pode-se dizer que a principal, é a possibilidade de ocorrência de maus odores, portanto deve-se evitar a construção em áreas próximas à habitações (KELLNER; PIRES, 1998).

Estas unidades têm sido utilizadas para o tratamento de águas residuárias predominantemente orgânicas, com altos teores de DBO, sólidos em suspensão e nutrientes e

uma temperatura elevada, como matadouros, laticínios, bebidas, etc. (BRAILE; CAVALCANTI, 1993; VON SPERLING, 2002).

A eficiência de remoção de DBO nas lagoas anaeróbias é usualmente da ordem de 50% a 70 % (quadro 8). As bactérias anaeróbias, que funcionam na ausência de oxigênio livre, degradam os despejos orgânicos em gases (principalmente metano e gás carbônico), com a produção de ácidos intermediários (BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

Quadro 8 - Eficiência de remoção em sistemas de tratamento com lagoas de estabilização.

Item geral	Item específico	Sistema de Lagoas		
		Facultativa	Anaeróbia - facultativa	Aerada facultativa
Eficiência	DBO (%)	75 - 85	75 - 85	75 - 85
	DQO (%)	65 - 80	65 - 80	65 - 80
	SS (%)	70 - 80	70 - 80	70 - 80
	Amônia (%)	<50	<50	<30
	Nitrogênio (%)	<60	<60	<30
	Fósforo (%)	<35	<35	<35
	Coliformes (%)	90 - 99	90 - 99	90 - 99

Fonte: Von Sperling (2002); Legenda: DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; DQO: Demanda Química de Oxigênio; e SS: Sólidos Suspensos.

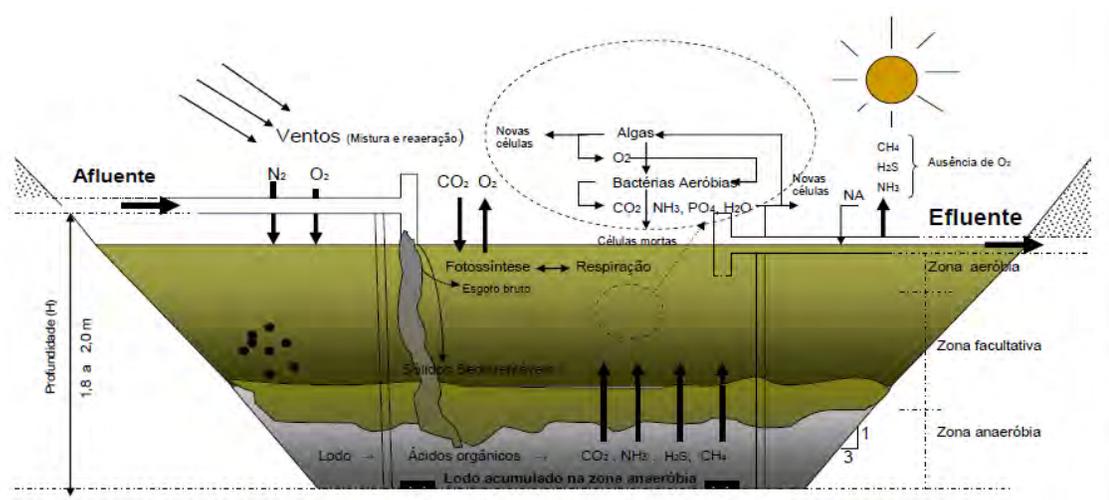
O líquido sobrenadante parcialmente clarificado é lançado em outra unidade de tratamento de nível secundário (KELLNER; PIRES, 1998; SILVA; MARA, 1979). Isso ocorre devido ao fato que a DBO efluente é ainda elevada, implicando na necessidade de tratamento posterior, sendo as lagoas facultativas as mais utilizadas (VON SPERLING, 2002).

- Lagoas facultativas

A lagoa facultativa é a unidade mais simples do sistema de lagoas de estabilização, consiste na retenção das águas residuárias por um período de tempo longo o suficiente para que processos naturais de estabilização de matéria orgânica se desenvolvam (figura 6). É um sistema confiável e possui a vantagem de não haver equipamentos que possam estragar (KELLNER; PIRES, 1998). No entanto, por depender de processos naturais, necessita de longo tempo de detenção, aproximadamente 20 dias para que as reações se completem. Além de grandes áreas com grandes intensidades luminosas e pouca nebulosidade (KELLNER; PIRES, 1998; VON SPERLING, 2002).

Este tipo de lagoa é responsável pelo tratamento secundário dos esgotos, apresenta profundidade que varia de 1,00 a 1,50m (KELLNER; PIRES, 1998). O pH pode chegar a 10, conforme o aumento da fotossíntese. Em condições normais, apresentam a coloração verde escuro, devido às algas. No entanto, ocasionalmente pode ser encontrada nas cores rosa ou vermelho, devido especialmente à sobrecarga que possibilita a presença de bactérias púrpuras anaeróbias (MARA, 2004) e verde brilhante, devido ao abundante crescimento de algas (SILVA; MARA, 1979).

Figura 6 - Desenho esquemático de uma lagoa facultativa.



Fonte: Silva Filho, (2007).

São projetadas tipicamente para a remoção de DBO, por isso tem-se o interesse de permitir o desenvolvimento de algas, pois as mesmas geram a maior parte do oxigênio necessário para a remoção de DBO pelas bactérias (MARA, 2005). Em comparação aos demais tipos de lagoas, estas são as mais utilizadas. Normalmente recebem águas residuárias brutas ou que receberam apenas tratamento preliminar (SILVA; MARA, 1979). Sendo a última opção, a preferida, devido à alta eficiência das lagoas anaeróbias e porque a área ocupada por lagoas combinadas (lagoa anaeróbia + lagoa facultativa secundária) é menor (30 a 50 %) comparada à área ocupada somente por uma lagoa facultativa primária (MARA, 2005).

Outro fato que deve ser ressaltado a respeito das lagoas facultativas é que seu nome faz referência a uma característica intrínseca, é devido a mistura de condições aeróbias e anaeróbia na mesma lagoa. Durante o dia, prevalecem as condições aeróbias na maior parte da coluna líquida, principalmente próxima à superfície da lagoa, e as bactérias ali presentes oxidam a matéria orgânica. Essas bactérias necessitam de oxigênio que é suprido pela

atividade fotossintética das algas e a reaeração superficial. Já ao anoitecer, prevalece a decomposição anaeróbia do lodo do fundo da lagoa, a matéria orgânica sedimentada, que é convertida principalmente a gás carbônico e metano, restando somente o material inerte. Após o tratamento, parte da matéria orgânica em suspensão que não sedimentou e a matéria orgânica solúvel, permanecem dispersas no meio líquido (KELLNER; PIRES, 1998; MARA, 2004; SILVA; MARA, 1979), demandando unidades de tratamento posteriores, caso deseje-se aumentar a eficiência.

Por fim, é uma unidade de tratamento viável, com custos de implantação e operacionalização competitivos, construção simples e eficiência na remoção de DBO é usualmente satisfatória, quando comparados com outros métodos de tratamento, da ordem de 75% a 85% (VON SPERLING, 2002).

- Lagoas de maturação

As lagoas de maturação são unidades de pós-tratamento usadas como segundo estágio após lagoas facultativas, recebem um afluente cuja DBO está praticamente estabilizada e o oxigênio dissolvido se faz presente (KELLNER; PIRES, 1998; SILVA; MARA, 1979; VON SPERLING, 2002). O objetivo principal é a remoção de organismos patogênicos, mas ocorre ainda a remoção parcial de nutrientes (VON SPERLING et al., 2009).

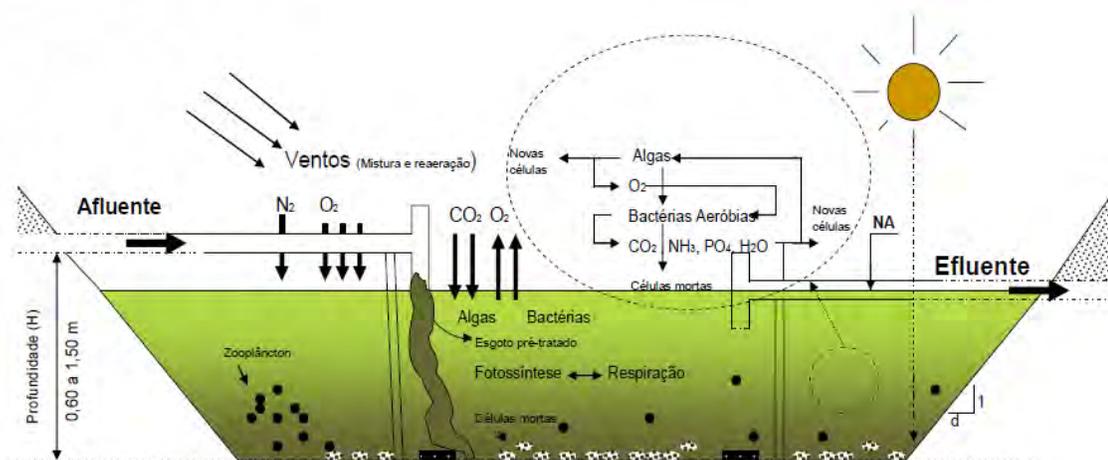
São tipicamente aeróbias, apresentam menor estratificação que a lagoa facultativa com e pequenas profundidades (MARA, 2004; SILVA; MARA, 1979), usualmente 0,8 a 1,0 m (VON SPERLING, 2002), mas pode variar também de 1,00m até 1,50m (figura 7). Normalmente, considera-se o tempo de detenção hidráulico de 7 dias para seu dimensionamento (KELLNER; PIRES, 1998). É uma opção bastante econômica, comparada à desinfecção do efluente por métodos mais convencionais (VON SPERLING, 2002).

Apesar dos organismos patogênicos também serem eliminados ao longo da série de lagoas, é nesta etapa que sua remoção torna-se efetiva, pois ocorrem condições ambientais adversas aos mesmos, como oxigênio dissolvido, altos valores de pH, falta de nutrientes, predação por outros organismos e grande zona fótica, permitindo que os raios ultravioleta atinjam as camadas mais profundas (KELLNER; PIRES, 1998; VON SPERLING et al., 2009). As bactérias de origem fecal e os vírus, por exemplo, morrem em razoável espaço de tempo nestas condições (SILVA; MARA, 1979) e os ovos de helmintos e cistos de

protozoários tendem a sedimentar (KELLNER; PIRES, 1998; VON SPERLING, 2002; VON SPERLING et al., 2009a).

A remoção de *E. coli* em lagoas de maturação atinge cerca de 99.9 % (MARA, 2004). Nestas circunstâncias não haverá dificuldade em satisfazer um padrão para efluentes que exija menos de 5.000 CT.100mL⁻¹ (SILVA; MARA, 1979). Diante dos fatos, é possível observar que a eficiência na remoção de coliformes é elevadíssima e ocorre ainda remoção parcial de nitrogênio, mas a remoção de fósforo não é elevada (VON SPERLING et al., 2009a).

Figura 7 - Desenho esquemático de uma lagoa de maturação.



Fonte: Silva Filho, (2007).

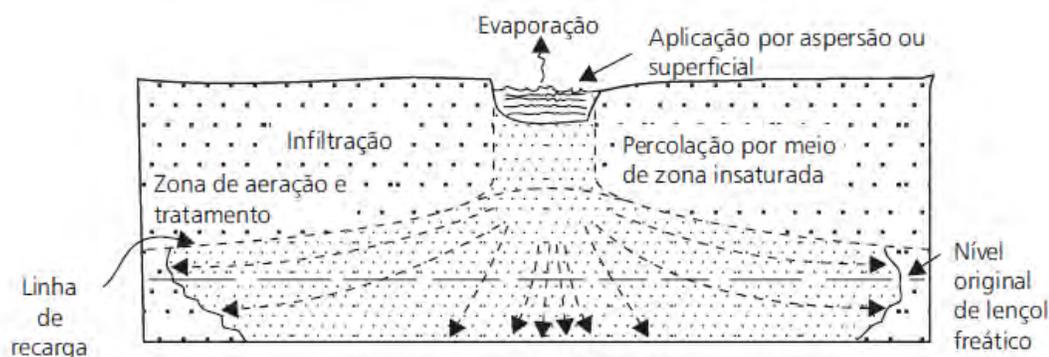
1.4.1.2 Lagoas de Infiltração

A lagoa de infiltração é um método de disposição em solo que recebe o efluente tratado e o mantém retido até que o líquido evapore e disperse para atmosfera ou infiltre e percole o solo recarregando o lençol freático (ZANATTA; RAMAGE, 2014). Assim, podem ser classificadas tanto quanto uma técnica de disposição final, quanto de tratamento e reúso (BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

As lagoas de infiltração são classificadas como uma técnica de disposição final por possibilitar um destino final ao efluente. Durante o processo, a água residuária é descartada em solo e em decorrência da infiltração, não há geração de efluentes que possam ser utilizados para outros fins que não seja a recarga do lençol freático (CHERNICHARO et al., 2006). As formas mais comuns para a disposição final de águas residuárias tratadas são os cursos d'água e o mar, mas a disposição no solo é uma alternativa viável e aplicada em

diversos locais do mundo (VON SPERLING, 2005). Uma técnica que possibilita preservar o curso d'água e manter os poluentes e contaminantes em uma área restrita, fácil de confinar e controlar (figura 8). É um processo que permite fácil disposição final dos efluentes e não pode ser confundido como depósito indiscriminado e desordenado de resíduos (FILHO et al., 1999).

Figura 8 - Desenho esquemático de uma lagoa de infiltração, tratamento por infiltração-percolação.



Fonte: Braile e Cavalcanti, (1993); Filho et al., (1999a).

É classificada também como uma técnica de tratamento, pois durante a infiltração do efluente tratado, a zona insaturada do solo atua como um filtro natural e pode remover os sólidos em suspensão, os materiais biodegradáveis, as bactérias, os vírus e outros microrganismos (FAO, 1992). Esse tratamento é definido como terciário e reduz a níveis mínimos, as demandas orgânicas e químicas, deixando-as dentro dos parâmetros legais (FREITAS, 2002). No entanto, demanda um pré-tratamento antes de ser infiltrado no solo, para evitar a rápida colmatação do solo e redução da vida útil da bacia (MOURA, 2004). Na técnica de tratamento, o objetivo é tratar as águas residuárias, mas é possível também recuperar por meio de drenos, de forma a atender à finalidade do seu reúso na irrigação, recreação ou uso industrial (FILHO et al., 1999; 1999a).

A técnica de disposição em solo surgiu como método de tratamento somente por volta de 1940. Essa demanda ocorreu em consequência do maior controle da utilização dos recursos hídricos em diversos países. A técnica difundiu devido às facilidades de implantação e manutenção e após quinze anos, as indústrias alimentícias já representavam 33% do total das empresas que possuíam sistemas de tratamento com aplicação no solo. A escolha dessa técnica por indústrias alimentícias justifica-se, provavelmente, a localização em áreas rurais e

de gerarem águas residuárias sem grandes problemas de toxidez e facilmente biodegradáveis (BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

Este método propicia atingir padrões de qualidade desejáveis quando aplicados convenientemente e de acordo com os critérios e propósitos do projeto (FILHO et al., 1999). Além disso, o Brasil oferece condições excepcionalmente favoráveis, tanto pela disponibilidade de áreas em sua grande extensão territorial como pelas condições climáticas adequadas, dentre outros (FILHO et al., 1999a). E mesmo assim, considerando as peculiaridades da técnica, devem ser avaliados, o tipo de água residuária aplicada, o clima local, o tipo de solo, as condições do lençol freático, a taxa de aplicação, os métodos de aplicação, os tipos de manutenções, o pré-tratamento aplicado às águas residuárias, o custo de investimento e operação e a cobertura do solo (BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

É aplicável em solos permeáveis para favorecer altas taxas de infiltração e evitar a inundação de áreas grandes e as perdas por evaporação. Nas camadas mais profundas é necessário um solo mais grosseiro, para impedir o acúmulo de material e o entupimento do perfil do solo. Não é adequado aplicar em solos rasos sustentados por rocha fraturada e a técnica é limitada pela capacidade de infiltração do solo, portanto é mais adequada para pequenos sistemas de tratamento (BRAILE; CAVALCANTI, 1993; FAO, 1992; FILHO et al., 1999).

O monitoramento dos efluentes é indispensável e tem influência na definição da técnica de aplicação no solo. Devem ser monitorados os sólidos em suspensão, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, pH, nitrogênio, salinidade, temperatura, cor, odor e metais pesados. No entanto, os constituintes variam de indústria para indústria, assim cada caso deve ser analisado separadamente (BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

Ademais, esta técnica possibilita não só a eficiência pretendida pelos tratamentos convencionais terciários, a custos muito menores, como a utilização dos nutrientes dos esgotos como fertilizantes, o reúso da água para vários fins (FILHO et al., 1999a) e a manutenção da qualidade (MOURA, 2004) e quantidade da água.

1.4.2 Parâmetros de monitoramento da qualidade da água e do efluente.

Após a utilização das águas pelas indústrias, os diversos resíduos e/ou energias são incorporados modificando-lhes as suas características físicas, químicas e biológicas, gerando

assim efluentes industriais e ou águas residuárias. Para a avaliação da carga poluidora das águas residuárias, são necessárias medições de vazão in loco e coleta de amostras para análise de diversos parâmetros sanitários que representam a carga orgânica e a carga tóxica (AZZOLINI; FRINHANI; FABRO, 2011; GIORDANO, 2004).

Os parâmetros de qualidade das águas residuárias, são as substâncias ou outros indicadores representativos dos contaminantes toxicologicamente e ambientalmente relevantes no mesmo (BRASIL, 2011). Desta forma, o monitoramento da qualidade dos corpos receptores de águas residuárias deve ser específico e organizado de forma que melhor signifique e descreva suas características, conforme o tipo de água residuária que recebe (AZZOLINI; FRINHANI; FABRO, 2011; GIORDANO, 2004). Assim, diante das características das águas residuárias geradas em matadouros frigoríficos e segundo as legislações e normas pertinentes, foram definidos e listados abaixo, os parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e hidrobiológicos monitorados no presente trabalho, que podem traduzir o caráter ou a influencia do despejo do efluente tratado na microbacia hidrográfica.

1.4.2.1 pH

O pH é a concentração do íon hidrogênio de uma solução aquosa. O valor do pH pode ser considerado como uma medida do potencial de poluição da água., uma vez que está intimamente relacionado com a concentração de várias outras substâncias na água (LIMA, 2008).

O constituinte responsável pelo pH são os sólidos e gases dissolvidos. A origem natural é por meio da dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica e fotossíntese. Enquanto que a origem antropogênica é por meio de despejos domésticos e industriais (VON SPERLING, 2005). O pH e as comunidades vegetais e animais nos ecossistemas aquáticos apresentam uma estreita interdependência. Este fenômeno ocorre na medida em que as comunidades aquáticas interferem no pH, assim como o pH interfere de diferentes maneiras no metabolismo destas comunidades (ESTEVEZ, 2011).

No tratamento de águas residuárias em um sistema de lagoas, o pH tende a aumentar ao longo do tratamento, devido ao processo da fotossíntese que consome o gás carbônico presente no meio e, conseqüentemente, aumenta o pH. Monitorar esses valores é importante, pois variações além do limite entre 6,0 e 9,0 influenciam o equilíbrio de compostos químicos

e as taxas de crescimento dos microrganismos presentes no ambiente aquático natural (ANDRADE; KÖNIG,1996; BRAILE; CAVALCANTI, 1993; VON SPERLING, 2005).

1.4.2.2 Sólidos Totais e Dissolvidos

Os sólidos totais (ST) constituem a totalidade de matéria que não seja água, em um despejo. Os sólidos suspensos são todos os sólidos presentes na água residuária, exceto os solúveis e sólidos em fino estado coloidal. Já os sólidos totais dissolvidos (STD) compreendem sólidos em solução verdadeira e os que se encontram em estado coloidal, que não são retidos no processo de filtração (BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

Em saneamento, sólidos nas águas correspondem a toda matéria que permanece como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura pré-estabelecida durante um tempo fixado. Em linhas gerais, as operações de secagem, calcinação e filtração são as que definem as diversas frações de sólidos presentes na água (CETESB, 2009). Segundo Von Sperling (2005), todos os contaminantes da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos e podem ser classificados de acordo com o seu tamanho e estado (suspenso e dissolvido), com as suas características químicas (orgânicos/voláteis e inorgânicos/fixos) e sua decantabilidade (suspenso sedimentável e suspenso não sedimentável).

Nos estudos de águas residuárias, a determinação de sólidos é um parâmetro de extrema importância, pois altas concentrações podem dificultar a penetração de luz tão necessária para a realização das atividades fotossintéticas e possibilita controlar processos biológicos e físicos em tratamentos que utilizam lagoas de estabilização (ANDRADE; KÖNIG,1996). Para o recurso hídrico, os sólidos podem causar danos aos peixes e à vida aquática. Eles podem sedimentar no leito dos rios destruindo organismos que fornecem alimentos, danificar os leitos de desova de peixes e reter bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, promovendo decomposição anaeróbia (CETESB, 2009).

1.4.2.3 Temperatura

É a medição da intensidade de calor (VON SPERLING, 2005). Em condições naturais, a temperatura (T) é um parâmetro que apresenta variações conforme o regime climático

normal, em que corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical, conforme a latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade. Outro fator que eleva a temperatura são os despejos industriais (CETESB, 2009).

Nos tratamentos biológicos, a temperatura do fluido nas lagoas de tratamento irá influenciar diretamente a eficiência do sistema, principalmente a remoção de matéria orgânica, nutrientes e coliformes. Segundo, Von Sperling (2005) e Braga et al. (2002) este parametro é de extrema importância, pois influencia a atividade microbiana, a solubilidade dos gases, a velocidade de reações químicas, a viscosidade do líquido, a densidade da água, a taxa de sedimentação do fitoplâncton, a tensão superficial, reações químicas e o metabolismo dos organismos aquáticos.

No processo de digestão anaeróbia, é um dos fatores físicos essenciais na seleção das espécies (ISOLDI et al., 2005), onde as reações bioquímicas e as relações mutualísticas entre algas e bactérias só se processam a determinada faixa de temperatura (ANDRADE; KÖNIG, 1996). Em águas residuais em regiões tropicais e subtropicais, por exemplo, a maioria das bactérias é mesófila, ou seja, crescem na faixa de temperatura 15 a 40 °C (MARA, 2004).

É importante destacar que nas águas residuárias, a temperatura é ligeiramente superior à água de abastecimento (VON SPERLING, 2005), portanto o lançamento das águas residuárias aquecidas em um corpo receptor, provocará um impacto sobre a biota aquática, reduzindo o oxigênio na água além de acelerar o metabolismo dos microrganismos (ANDRADE; KÖNIG, 1996).

1.4.2.4 Turbidez

A turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la (CETESB, 2009). A dificuldade em atravessá-la é causada pela redução da transparência da água (BRASIL, 2004), conferindo uma aparência turva (VON SPERLING, 2005), devido a presença de materiais sólidos em suspensão, representados por partículas inorgânicas (areia, silte, argila), algas, bactérias, plânctons (CETESB, 2009), carbonato de cálcio (APHA; AWWA; WEF, 2012; LIMA, 2008) zinco, ferro e manganês (BRASIL, 2004).

Os materiais sólidos em suspensão que provocam as elevações na turbidez das águas também podem ser provenientes da erosão das margens dos rios e lançamento de esgotos domésticos e efluentes industriais (CETESB, 2009; BRASIL, 2004). No entanto, os sólidos suspensos influenciam a turbidez de formas diferentes, conforme o tamanho e as características superficiais da partícula suspensa. Os materiais suspensos finos, por exemplo, geram turbidez alta e sólidos suspensos baixo e em situações contrárias, os resultados inverterão (VON SPERLING, 2005).

Valores altos de turbidez indicam que o mesmo está influenciando nas comunidades biológicas aquáticas, por meio da redução da fotossíntese de vegetação enraizada submersa e algas, que pode por sua vez, suprimir a produtividade de peixes. Além disso, impossibilita o uso doméstico, industrial e recreacional de uma água (CETESB, 2009).

O monitoramento deste parâmetro é um importante determinante da condição e produtividade do ambiente aquático (APHA; AWWA; WEF, 2012). Recentemente, a turbidez vem despertando mais interesse no controle de qualidade da água pelo fato de que tem sido verificada a associação da turbidez com compostos tóxicos e organismos patogênicos (LIMA, 2008; VON SPERLING, 2005). Assim, antes era considerado apenas um parâmetro com valor estético, mas tornou-se um importante requisito sanitário (LIMA, 2008).

1.4.2.5 Demanda Bioquímica de Oxigênio

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar, através de processos bioquímicos, a matéria orgânica carbonácea para uma forma inorgânica estável (ANDRADE; KÖNIG, 1996; VON SPERLING, 2005; CETESB, 2009). Braile e Cavalcanti (1993) afirmaram ainda que a quantidade máxima de oxigênio dissolvido que uma água residuária em um tempo poderia retirar de um curso de água, com o oxigênio mantido próximo à saturação devido a sua degradação biológica, é a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação da matéria orgânica pelas bactérias. E, portanto, a medida da concentração da matéria orgânica existente na água residuária que pode ser oxidada pelas bactérias.

Desta forma, a DBO determina o potencial de poluição de um determinado despejo pelo consumo de oxigênio que ele traria, ou seja, uma quantificação indireta da potencialidade da geração de um impacto, e não a medição direta do impacto em si (VON SPERLING, 2005).

Os constituintes responsáveis pela DBO são os sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos. É encontrada naturalmente no ambiente aquático por meio da matéria orgânica vegetal e animal e microrganismos presentes no mesmo. No entanto, pode ser adicionada ao ambiente de forma antrópica, por meio de despejos domésticos e industriais (VON SPERLING, 2005).

É um parâmetro importante no controle das eficiências das estações de tratamento de águas residuárias (APHA; AWWA; WEF, 2012), para caracterização de águas residuárias brutas e tratadas e caracterização de corpos d'água (VON SPERLING, 2005), pois determina a taxa à qual a matéria orgânica é oxidada por bactérias (APHA; AWWA; WEF, 2012). A partir dessas medições é possível definir as principais características do sistema de tratamento, como áreas e volumes de tanques, potências de aeradores, dentre outros (CETESB, 2009). A presença de elevados valores de DBO gera conseqüências aos corpos hídricos, pois provoca o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática, além de produzir sabores e odores desagradáveis (CETESB, 2009), pois a matéria orgânica, é oxidada aerobicamente por bactérias que lá habitam, que realizam este processo devido ao oxigênio dissolvido na água (ANDRADE; KÖNIG, 1996).

Os fatores que influenciam a concentração da DBO na água residuária são o consumo de água e a contribuição per capita. Nos países tropicais o consumo de água varia de 40 a 100 L.hab.dia⁻¹ e a contribuição de DBO per capita no Brasil corresponde a 50 g.hab.dia⁻¹ (SILVA; MARA, 1979). Em matadouros, o consumo de água chega a 2.000 L.boi.dia⁻¹ (FREITAS, 2002) e contribuição per capita de 3Kg.boi.dia⁻¹ de DBO (VON SPERLING, 2002).

1.4.2.6 Fósforo Total

O fósforo total (P_T) corresponde a soma de todas as formas de fósforo em uma amostra de água. Segundo Esteves e Panosso (2011), o fósforo apresenta cinco formas: fosfato orgânico particulado, fosfato inorgânico particulado, fosfato orgânico dissolvido, fosfato inorgânico dissolvido e fosfato total. Ocorre em águas naturais e em águas residuais quase exclusivamente como fosfatos, seja em solução, em partículas ou detritos, ou nos corpos de organismos aquáticos (APHA; AWWA; WEF, 2012). É um nutriente muito importante para o crescimento e reprodução dos microrganismos que promovem a estabilização da matéria

orgânica presente nos esgotos sanitários e despejos industriais biodegradáveis (BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

Em relação as águas residuárias, é um parâmetro imprescindível para caracterização da mesma (CETESB, 2009; VON SPERLING, 2005) e análise de viabilidade para implantação de sistemas de tratamento biológico. Uma vez que nos processos aeróbios e anaeróbios, exige-se uma relação mínima para DBO:N:P (CETESB, 2009) para garantir o desenvolvimento dos microrganismos e a operacionalização adequada do sistema (VON SPERLING, 2005).

O fósforo em quantidades excessivas é encontrado em alguns efluentes industriais, como os de indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, abatedouros, e frigoríficos. Em águas naturais o fósforo aparece devido, principalmente, às descargas de esgotos sanitários (CETESB, 2009) e em menor quantidade por meio da lixiviação do solo e rocha (LIMA, 2008).

Por tratar-se de um nutriente para processos biológicos, o excesso de fósforo em esgotos sanitários e efluentes industriais demanda que os mesmos sejam tratados antes do lançamento em cursos d'água, de forma a atingir concentrações aceitáveis e previstas em legislações específicas, pois caso contrário, propicia a eutrofização das águas naturais (CETESB, 2009).

1.4.2.7 Grupo Coliforme

A determinação da potencialidade de uma água transmitir doenças pode ser efetuada de forma indireta, através dos organismos indicadores de contaminação fecal, pertencentes principalmente ao grupo de coliformes (VON SPERLING, 2005). O grupo coliforme consiste nos bacilos aeróbios ou anaeróbios facultativos, Gram-negativos, não esporulados, em forma de bastonetes, aeróbios ou anaeróbios facultativos que fermentam a lactose a 35-37°C, produzindo ácido, gás e aldeído em um prazo de 24-48 horas (BRASIL, 2004; LIMA, 2008). O grupo inclui organismos de diversas origens, os dois principais sendo: *Escherichia coli*, de origem fecal e *Aerobacter aerogenes*, de origem no solo, vegetais e outras fontes não fecais (LIMA, 2008).

Ao se realizar o teste para detecção de coliformes totais detecta-se a presença de todo o grupo coliforme, e não apenas as bactérias de origem fecal. Um resultado positivo no teste não é certeza de contaminação patogênica da água, mas apenas indicação de contaminação.

Desta forma, são necessários testes mais específicos para a caracterização e identificação dos organismos presentes. Além disso, os coliformes são usualmente mais resistentes que os organismos patogênicos, diante disso, a ausência de coliformes na água é indicação segura, mas não absoluta, da potabilidade da água (LIMA, 2008).

A respeito das águas residuárias, o parâmetro coliforme total é muito importante na avaliação da eficiência do sistema de tratamento, principalmente em matadouro-frigorífico. Uma vez que nessas águas residuárias contêm grandes quantidades de fezes de animais de sangue quente e o sistema deve garantir a remoção dos patogênicos, no mínimo nas concentrações estabelecidas em legislações específicas, antes do lançamento no corpo receptor.

Em relação aos coliformes termotolerantes, os mesmos são definidos como microrganismos do grupo coliforme capazes de fermentar a lactose com produção de gás a 45°C em 24 horas de incubação. Vivem predominantemente no organismo humano e no dos demais animais de sangue quente, presente em grande quantidade nas fezes. Embora não sejam patogênicas, entre as bactérias do grupo coliforme, é a mais usada como indicador de poluição na água. A sua presença indica que a água recebeu matéria fecal e pode conter também microrganismos patogênicos (BETTEGA, 2006; BRAGA et al., 2002; CETESB, 2009).

Existe uma grande variedade de microrganismos patogênicos que podem estar contidos na água, é difícil sua detecção individualizada. É mais fácil deduzir sua existência a partir de indicadores da presença de matéria fecal no meio líquido. Para isso, utiliza-se bactérias termotolerantes que apresentam um grau de resistência ao meio (luz, oxigênio, cloro, etc.) comparável ao que é apresentado pelos principais patogênicos intestinais que podem ser veiculados pela água. Dessa maneira, reduz-se a possibilidade de existirem patogênicos fecais quando já não se encontram bactérias termotolerantes (BRAGA et al., 2002).

Em relação as águas residuárias de matadouro, a caracterização da origem fecal não é tão importante, uma vez que já se sabe que a mesma contém matéria e organismos fecais. Neste caso, as bactérias termotolerantes são usadas como indicadoras da eficiência de remoção de patógenos no processo de tratamento destas águas. Além disso, Os organismos patogênicos, representados pelas bactérias e vírus, podem ser removidos pelos mesmos mecanismos dos coliformes (VON SPERLING, 2005).

A bactéria *Escherichia coli* pertence a família denominada *Enterobacteriaceae* e se diferencia morfológicamente por ser um microrganismo bacilar, gram-negativo e anaeróbico facultativo (CUNHA; VIEIRA, 2014). É a principal bactéria do grupo de coliformes

termotolerantes, a mais usada como indicadora da poluição fecal. Tem seu habitat quase que exclusivamente limitado ao trato intestinal de seres humanos e animais de sangue quente e abundante nas fezes. Não se reproduz na água ou no solo, mas exclusivamente no interior do intestino ou em meios de cultura em temperaturas adequadas, portanto, só são encontradas na água quando nela foi introduzida matéria fecal (BRAGA et al., 2002; SATO et al. 2008).

Diferentemente dos coliformes totais e termotolerantes, a *E. coli* é a única que dá a garantia de contaminação exclusivamente fecal. No entanto, a sua detecção não dá garantia que a contaminação seja humana, já que pode ser encontrada também em fezes de outros animais. É importante destacar que em esgotos, o grupo predominante dentre os coliformes totais são os coliformes termotolerantes. Enquanto que no grupo dos coliformes termotolerantes, o *E. coli* é o organismo predominante (VON SPERLING, 2005).

Em relação às águas residuárias, o sistema de tratamento deve garantir que as águas residuárias tratadas não disseminem doenças. O uso desse parâmetro será um indicador microbiológico, um sinalizador de falhas no tratamento. Segundo Pope et al. (2003) o *E. coli* é um importante indicador para saúde pública no controle e prevenção de doenças de veiculação hídrica.

1.4.2.8 Bactérias Heterotróficas

São organismos capazes de produzir unidades formadoras de colônias, na presença de compostos orgânicos contidos em meio de cultura apropriada, a 35°C por 48 horas (BRASIL, 2006). As bactérias heterotróficas requerem o carbono orgânico, como base para o seu crescimento (FREIRE; LIMA, 2012).

A contagem de bactérias heterotróficas é amplamente utilizada como indicador da qualidade da água potável (DOMINGUES et al., 2007), uma vez que sua detecção indica a presença de compostos orgânicos. Em esgotos, as bactérias heterotróficas são responsáveis pela degradação dos compostos orgânicos e estão presentes em processos de desnitrificação, utilizam preferencialmente o oxigênio molecular como receptor de elétrons, mas na ausência de oxigênio (ambiente anóxico) utilizam o nitrato (SOUSA; FORESTI, 1999).

Em relação às águas residuárias, a determinação da densidade de bactérias é importante para compreender a dinâmica do ambiente. Além disso, sabe-se que um aumento na população desta bactéria pode comprometer a detecção de bactérias do grupo coliformes,

representar riscos a saúde e provocar o aparecimento de odores desagradáveis (BRASIL, 2006).

1.4.2.9 Clorofila a

A clorofila a (CLa) é encontrada em todos os grupos de algas e cianobactérias e é responsável pelo processo fotossintético (CETESB, 2014). A sua determinação quantitativa propicia a avaliação do grau de trofia do ambiente, ou seja, o grau de enriquecimento por nutrientes, podendo ainda ser utilizada para uma estimativa da biomassa algal, bem como da produção primária (BRANDÃO et al., 2011; CETESB, 2014).

Nos últimos anos, tem se tornado cada vez mais frequente a utilização da concentração de clorofila para expressar a biomassa fitoplanctônica (ESTEVES, 2011). Segundo Brandão et al., (2011), a clorofila a é um pigmento comum a todos os vegetais e esses valores representam de 0,1 % a 9,7 % do peso do material orgânico em todas as algas planctônicas, sendo por isso, o indicador preferido para estimar a biomassa algal.

Diante dos fatos apresentados, a clorofila a pode ser utilizada como indicadora do estado trófico de ambientes aquáticos, propiciando assim, uma ferramenta importante na avaliação de impacto de contaminantes orgânicos e inorgânicos e outros distúrbios (CETESB, 2014).

1.4.2.10 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica (CE) é a expressão numérica da capacidade da água em conduzir a corrente elétrica, depende da concentração iônica e temperatura e indica a quantidade de sais. Indiretamente, a condutividade elétrica sugere a ocorrência de modificações na composição do curso d'água e a presença de poluentes (BRANDÃO et al., 2011; CETESB, 2009; LIMA, 2008).

Os valores de condutividade da água aumentam à medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados. Em geral, níveis superiores a $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ indicam ambientes impactados e valores altos podem também indicar características corrosivas da água (BRANDÃO et al., 2011; CETESB, 2009). Em águas residuárias, a condutividade elétrica é utilizada como um

indicador do grau de poluição e modificação da composição da água, devido a presença de sólidos dissolvidos.

1.4.2.11 Salinidade

O conjunto de sais normalmente dissolvidos na água, formado pelos bicarbonatos, cloretos, sulfatos e, em menor quantidade, pelos demais sais, pode conferir à água sabor salino e características incrustantes. O teor de cloreto pode ser indicativo de poluição por esgotos domésticos (VON SPERLING, 2005).

A salinidade é determinada por métodos indiretos relacionados com medições de propriedades físicas como condutividade, densidade, índice de refração (refratômetro), entre outros (BRANDÃO et al., 2011).

Em águas residuárias, o monitoramento é necessário, pois a concentração de sais dissolvidos na água influencia diretamente os processos aquáticos químicos e biológicos.

1.4.2.12 Nitrogênio

O nitrogênio total (N_T) corresponde a soma de todas as formas de nitrogênio em uma amostra de água. No meio aquático, o nitrogênio alterna entre várias formas e estados de oxidação, tais como: nitrogênio molecular, nitrogênio orgânico dissolvido e em suspensão, nitrogênio orgânico particulado, amônia, nitrito e nitrato (APHA; AWWA; WEF, 2012; ESTEVES, 2011; VON SPERLING, 2005).

As fontes de nitrogênio nas águas naturais são diversas. Os esgotos sanitários constituem, em geral, a principal fonte, mas os efluentes industriais também concorrem para as descargas de nitrogênio nas águas, como algumas indústrias químicas, petroquímicas, siderúrgicas, matadouros, frigoríficos e curtumes. Além dessas fontes, tem-se a atmosfera, a fixação química, as áreas agrícolas e áreas urbanas (CETESB, 2009).

O nitrogênio total é um parâmetro indispensável para a caracterização de águas residuárias brutas e tratadas e para o monitoramento da operação das estações de tratamento, pois é essencial para o crescimento de algas e microrganismos responsáveis pelo tratamento, portanto demanda um adequado balanço C:N:P. No entanto, apesar do nitrogênio ser um componente de grande importância para o controle da poluição, é também um componente de

geração de poluição, pois durante o processo de nitrificação, ocorre o consumo de oxigênio dissolvido do meio, consumo de alcalinidade e sedimentabilidade do lodo, o que pode afetar a vida aquática (VON SPERLING, 2005). Segundo CETESB (2009), as conseqüências provenientes do lançamento de compostos de nitrogênio, em águas naturais, conjuntamente com o fósforo e outros nutrientes presentes nos despejos, provocam o enriquecimento do meio, tornando-o eutrofizado, enfatizando a necessidade de monitorá-lo.

O nitrogênio, por seguir um ciclo que o conduz a mineralização total, permite avaliar o grau e a distancia de uma poluição pela quantidade e forma de apresentação dos derivados nitrogenados. Em águas residuárias ou rios que recebem esgoto, a presença de amônia indica contaminação recente, pois é o primeiro estágio da decomposição do nitrogênio orgânico. Enquanto que a presença de nitratos indica contaminação mais antiga, pois é o produto final da oxidação da amônia, praticamente ausente no esgoto bruto. E o nitrito é encontrado no estágio intermediário da oxidação da amônia, praticamente ausente no esgoto bruto (VON SPERLING, 2005).

Desta forma, no esgoto bruto doméstico, os teores de nitrito e nitrato são baixos, mas é importante ressaltar que em despejos industriais, biologicamente degradáveis, pode acontecer que haja total ausência de compostos nitrogenados (BRAILE; CAVALCANTI, 1993), principalmente se houver processos de nitrificação e desnitrificação no tratamento (VON SPERLING, 2005). No quadro 9 é apresentada a evolução do ciclo do nitrogênio nos processos de tratamento de despejos de matadouro.

Quadro 9 - Evolução do ciclo de nitrogênio após o tratamento de efluentes de matadouro.

Formas	Efluente Bruto (mg.L ⁻¹)	Tanque Imhoff (mg.L ⁻¹)	Filtro Biológico (mg.L ⁻¹)	Lodos Ativados (mg.L ⁻¹)
Nitrogênio Amoniacal	22,0	29	16,0	10
Nitrogênio Orgânico	70,0	60	20,0	10
Nitrito	0,5	0,2	2,2	1,0
Nitrato	3,0	1,7	16,4	5,0
Nitrogênio Total	104,5	90,9	54,6	26,0

Fonte: Braile e Cavalcanti (1993).

1.4.2.13 Índice de Estado Trófico (IET)

O Índice do Estado Trófico - IET possibilita classificar os corpos d'água em diferentes categorias de trofia, considerando a qualidade da água quanto ao enriquecimento por

nutrientes, especificamente em relação as concentrações de clorofila *a*, fósforo total e profundidade do disco Secchi.

O índice pode ser obtido por meio do método de Carlson (1977), modificado mais recentemente pelo de Lamparelli (2004). Nesse método, calcula-se separadamente o índice para fósforo (IET/P_T) e para clorofila *a* (IET/CLa). Os resultados correspondentes ao fósforo referem-se a uma medida do potencial de eutrofização e os correspondentes à clorofila *a* podem ser considerados como uma medida da resposta do corpo hídrico ao agente causador (CETESB, 2014).

O índice final é obtido por meio da média aritmética simples dos índices de fósforo total e clorofila *a*, obtidos anualmente (CETESB, 2014), conforme as equações:

Rios (igarapé):

$$\text{IET (CLa)} = 10 \times (6 - ((-0,7 - 0,6 \times (\ln \text{CLa})) / \ln 2)) - 20$$

$$\text{IET (P}_T) = 10 \times (6 - ((0,42 - 0,36 \times (\ln P_T)) / \ln 2)) - 20$$

Reservatórios (lagoa de infiltração):

$$\text{IET (CLa)} = 10 \times (6 - ((0,92 - 0,34 \times (\ln \text{CLa})) / \ln 2))$$

$$\text{IET (P}_T) = 10 \times (6 - (1,77 - 0,42 \times (\ln P_T) / \ln 2))$$

Onde:

P_T é a concentração de fósforo total medida à superfície da água, em µg.L⁻¹;

CLa é a concentração de clorofila *a* medida à superfície da água, em µg.L⁻¹; e

ln é o logaritmo natural.

Segundo CETESB (2014) e Lamparelli (2004), após obter o índice de estado trófico final, o mesmo é enquadrado em cinco categorias de trofia. Essas categorias são denominadas como ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico, supereutrófico e hipereutrófico. Cada categoria possui limites pré-definidos de clorofila *a*, fósforo total e transparência do disco de secchi, específicos para rios e reservatórios. E a partir da determinação da categoria, são indicadas as características, a produtividade, a concentração de nutrientes e as conseqüências geradas ao corpo d'água (quadros 10, 11 e 12).

Quadro 10. Categoria do estado trófico e as características, produtividade, concentração de nutrientes e conseqüências ao corpo d'água.

Categoria	Características	Produtividade	Concentração de nutrientes	Conseqüências
Ultraoligotrófico	Limpo	Muito baixa	Insignificante	Não acarreta prejuízo aos usos da água
Oligotrófico	Limpo	Baixa	Não ocasiona interferências indesejáveis	Não ocorrem interferências indesejáveis
Mesotrófico	Moderado crescimento planctônico	Intermediária	Ocasiona implicações sobre a qualidade da água	Implicações em níveis aceitáveis, na maioria dos casos.
Eutrófico	- Redução da transparência - Afetado por atividades antrópicas	Alta	Aumentada	Ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água e interferências nos seus múltiplos usos.
Supereutrófico	- Baixa transparência - Afetado por atividade Antrópica - Florações de algas	Alta	Significativo	Ocorrem com freqüência alterações indesejáveis na qualidade da água, e interferências nos seus múltiplos usos
Hipereutrófico	Florações de algas	Alta	Elevada	Corpos d'água afetados significativamente: comprometimento acentuado nos seus usos; e mortandades de peixes.

Fonte: Adaptado de CETESB (2007); Lamparelli (2004) apud BRASIL (2016).

Quadro 11 - Índice de Estado Trófico - IET, categoria de trofia e equivalência para fósforo total (P_T), clorofila a (CLa) e disco de secchi (S) em rios.

Categoria (Estado Trófico)	Fósforo Total ($mg.L^{-1}$)	Clorofila a ($\mu g.L^{-1}$)	Disco de Secchi (m)	IET
Ultraoligotrófico	$\leq 0,013$	$\leq 0,74$	$\geq 2,4$	≤ 47
Oligotrófico	$0,013 < P_T \leq 0,035$	$0,74 < CLa \leq 1,31$	$2,4 < S \leq 1,7$	$47 < IET \leq 52$
Mesotrófico	$0,035 < P_T \leq 0,137$	$1,31 < CLa \leq 2,96$	$1,7 < S \leq 1,1$	$52 < IET \leq 59$
Eutrófico	$0,137 < P_T \leq 0,296$	$2,96 < CLa \leq 4,70$	$1,1 < S \leq 0,8$	$59 < IET \leq 63$
Supereutrófico	$0,296 < P_T \leq 0,640$	$4,70 < CLa \leq 7,46$	$0,8 < S \leq 0,6$	$63 < IET \leq 67$
Hipereutrófico	$> 0,640$	$> 7,46$	$< 0,6$	> 67

Fonte: Lamparelli (2004).

Quadro 12 - Índice de Estado Trófico - IET, categoria de trofia e equivalência para fósforo total (P_T), clorofila a (CLa) e disco de secchi (S) em reservatórios.

Categoria (Estado Trófico)	Fósforo Total ($mg.L^{-1}$)	Clorofila a ($\mu g.L^{-1}$)	Disco de Secchi (m)	IET
Ultraoligotrófico	$\leq 0,008$	$\leq 1,17$	$\geq 2,4$	≤ 47
Oligotrófico	$0,008 < P_T \leq 0,019$	$1,17 < CLa \leq 3,24$	$2,4 < S \leq 1,7$	$47 < IET \leq 52$
Mesotrófico	$0,019 < P_T \leq 0,052$	$3,24 < CLa \leq 11,03$	$1,7 < S \leq 1,1$	$52 < IET \leq 59$
Eutrófico	$0,052 < P_T \leq 0,120$	$11,03 < CLa \leq 30,55$	$1,1 < S \leq 0,8$	$59 < IET \leq 63$
Supereutrófico	$0,120 < P_T \leq 0,233$	$30,55 < CLa \leq 69,05$	$0,8 < S \leq 0,6$	$63 < IET \leq 67$
Hipereutrófico	$> 0,233$	$> 69,05$	$< 0,6$	> 67

Fonte: Lampareli (2004).

1.4.3 Legislações aplicáveis

Os parâmetros de qualidade de água descritos no item anterior podem ser utilizados para caracterização, classificação, análise de qualidade, dentre outras funções. Dependendo do objetivo, os parâmetros são usados concomitantemente com as legislações que são ferramentas de consulta e referência, pois padronizam os limites máximos para poluentes e contaminantes em águas residuárias tratadas, brutas, utilizadas para o lazer e subterrâneas.

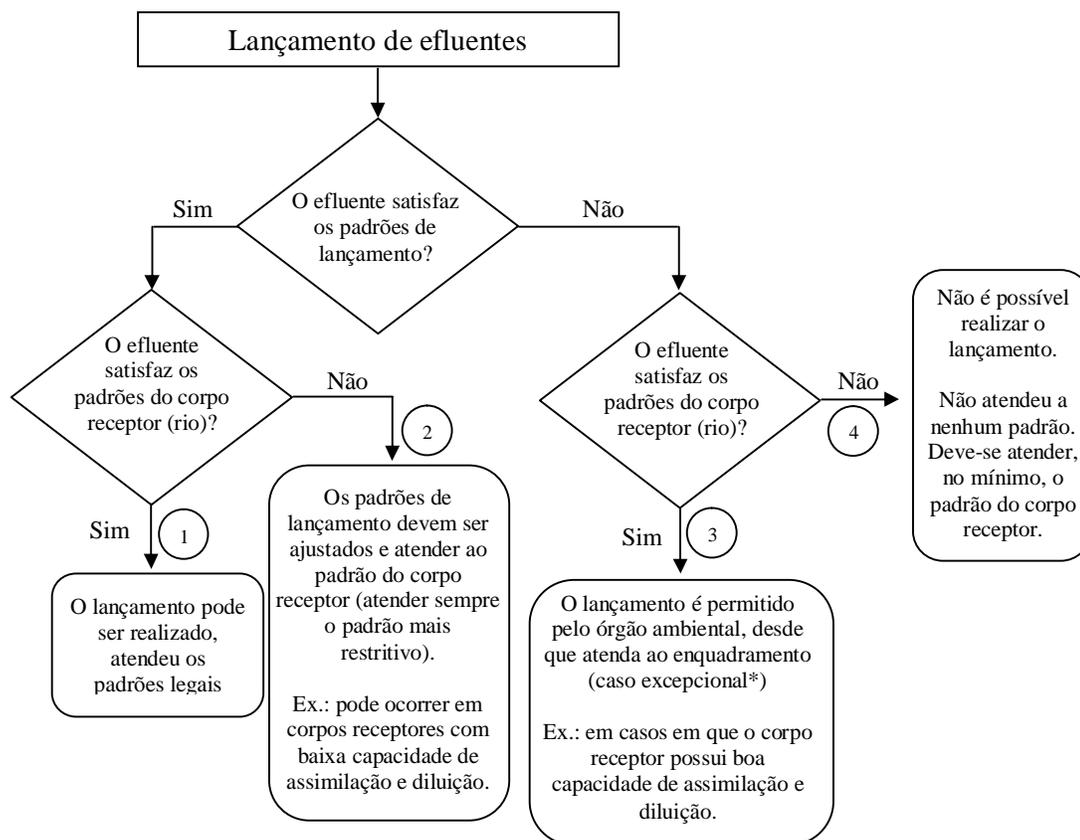
Segundo Von Sperling (2005), os padrões devem ser cumpridos por força da legislação e varia conforme o uso pretendido em padrão de balneabilidade (1), padrão de qualidade do curso d'água (2), padrão para lançamento de efluentes em corpo receptor (3), padrão de potabilidade (4), dentre outros. Considerando a área de estudo, é possível afirmar que existe a necessidade de utilizar padrões distintos, pois o monitoramento engloba uma lagoa artificial que acumula água residuária tratada e um igarapé utilizado como balneário. Os ambientes estão próximos, mas não possuem conexão direta, não ocorre deságue. Diante disso, e das características dos ambientes, aplicam-se resoluções distintas em cada ambiente.

No igarapé podem ser aplicadas as resoluções de balneabilidade (1) e a de qualidade do curso d'água (2). A primeira é a Resolução CONAMA nº 274 de 25 de janeiro de 2000, que define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. Ou seja, define os critérios para assegurar as condições necessárias à recreação de contato primário. Em um dos critérios menciona-se que se for obtido, na última amostragem, valores superiores a 2500 coliformes termotolerantes ou 2000 *Escherichia coli* por 100 mililitros, as águas já são consideradas impróprias para contato primário (BRASIL, 2000). E a segunda é a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 que dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. São apresentadas as classes de enquadramento de

águas doces (especial, 1, 2, 3, ou 4) que aumenta conforme detecta-se a perda da qualidade, tornando-se menos restritiva. A restrição está relacionada a valores de referência a serem obedecidos para a qualidade da água e são estabelecidos de acordo com o uso previsto. No entanto, enquanto o curso d'água não possuir enquadramento aprovado pelo órgão competente, considera-se classe 2 para as águas doces (BRASIL, 2005).

Já para a gestão, condições e parâmetros específicos para efluentes (3), aplica-se a Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Assim, para ocorrer o lançamento de efluentes em corpos d'água, deve-se atender a esta resolução (figura 9), pois mesmo quando tratados, os efluentes não podem causar poluição ou contaminação (BRASIL, 2011).

Figura 9 - Fluxograma do lançamento de efluentes, conforme requisitos das Resoluções CONAMA nº 357/2005 e nº 430/2011.



Fonte: Von Sperling et al., (2009a). * se houver relevante interesse público e estudos técnicos.

Desta forma, quando fala-se em padrões de águas brutas, de águas utilizadas para o lazer (balneabilidade) e residuárias tratadas, a consulta às resoluções citadas acima é imprescindível (quadro 13).

No entanto, o local de lançamento do efluente tratado é outro aspecto que deve ser destacado. O lançamento de efluentes em águas superficiais é permitido e muito utilizado no Brasil, desde que o efluente atenda aos requisitos das Resoluções CONAMA nº 357/2005 e nº 430/2011 (figura 9), mas não é a única alternativa. O lançamento de efluente pode ocorrer em solo ou ainda ser reutilizado para fins diversos (LOPES; SANTOS, 2012).

Quadro 13 - Padrão de qualidade de água doce (classe 2), efluente tratado e balneabilidade.

Parâmetros	Unidade	Resolução CONAMA		
		nº 357/2005	nº 430/2011	nº 274/2000
		Água Doce Classe 2	Efluente Tratado	Balneabilidade
Clorofila a	$\mu\text{g.L}^{-1}$	30	-	-
Sólidos totais	mg.L^{-1}	-	-	-
Sólidos totais dissolvidos	mg.L^{-1}	500	-	-
Turbidez	UNT	100	-	-
Nitrato	mg.L^{-1} de N	10	-	-
Nitrito	mg.L^{-1} de N	1	-	-
Nitrogênio amoniacal	mg.L^{-1} de N	3,7 para $\text{pH} \leq 7,5$ 2,0 para $7,5 < \text{pH} \leq 8,0$	20	-
Coliformes totais	Unid.100mL ⁻¹	-	-	-
Coliformes termotolerantes	und.100mL ⁻¹	B	-	D
Escherichia coli	und.100mL ⁻¹	-	-	E
Bactérias heterotóficas	UFC.100mL ⁻¹	-	-	-
Demanda bioquímica de oxigênio	mg.L^{-1}	5	C	-
Fósforo total	mg.L^{-1} de P	0,1 (Lótico)	-	-
Condutividade elétrica	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	-	-	-
Temperatura	°C	-	40	-
pH		6,0 a 9,0	5,0 a 9,0	6,0 a 9,0
Materiais flutuantes		VA	-	-
Odor		VA	-	-
Materiais sedimentáveis		VA	-	-
Floração de algas		-	-	A

Fonte: BRASIL (2000); BRASIL (2005); e BRASIL (2011). Legenda: A = Ausentes; VA = Virtualmente ausentes; B = máximo de 1000 unidades.100 mL⁻¹ em 80% ou mais de pelo menos seis amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral; C = remoção mínima de 60% da DBO; D = Satisfatória quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo, 250 coliformes termotolerantes por 100mL. E imprópria quando valor obtido na última amostragem for superior a 2500 coliformes termotolerantes por 100mL. E = quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo 800 Escherichia coli por 100 mL. E imprópria quando o valor obtido na última amostragem for superior a 2000 Escherichia coli por 100 mililitros.

No artigo 2º da Resolução CONAMA nº 430/2011 menciona-se que a disposição de efluentes no solo, mesmo tratados, não está sujeita aos parâmetros e padrões de lançamento dispostos na mesma. Já no artigo 27º da Resolução CONAMA nº 396 de 03 de abril de 2008, menciona-se que a atividade não poderá conferir às águas subterrâneas características em desacordo com o seu enquadramento, mas não é permitida a atividade em águas de classe especial e nos outros casos demanda plano específico e programa de monitoramento da qualidade da água subterrânea (BRASIL, 2008). Segundo Von Sperling (2005), ainda não é o adequado, o ideal seria ter um padrão de lançamento em solo, considerando as condições do aquífero e das técnicas de disposição, como ocorre na Resolução CONAMA nº 357/2005.

Diante disso, por não haver resolução específica ao lançamento de esgotos em solo, as resoluções CONAMA nº 357/2005 e 430/2011, são utilizadas na presente pesquisa meramente como referência. Além disso, é essencial destacar que quando houver legislação estadual e a mesma apresentar-se mais restritiva e até mesmo conter parâmetros não contemplados na legislação federal, deve-se utilizá-la como base para o atendimento. Em Roraima, não existe legislação estadual para enquadramento e lançamento de efluentes, por isso a legislação federal foi utilizada.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral e os específicos são elencados nos itens a seguir. O objetivo geral conduziu a pesquisa e os objetivos específicos retratam as ações que foram realizadas e os meios de execução.

2.1 Objetivo Geral

Realizar diagnóstico da lagoa de infiltração, receptora do efluente tratado do Matadouro e Frigorífico Industrial de Roraima - MAFIR, por meio do monitoramento da qualidade do efluente e da área superficial, visando a conservação da bacia hidrográfica do Igarapé Água Boa, em Boa Vista - RR.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar um monitoramento da qualidade dos efluentes tratados da lagoa de infiltração e das águas superficiais do Igarapé Água Boa, por meio de variáveis físicas, químicas, hidrobiológicas e microbiológicas;
- Analisar a variação temporal e espacial dos parâmetros físicos, químicos, hidrobiológicos e microbiológicos, por meio dos dados utilizados no monitoramento;
- Discutir os padrões de qualidade da água e de efluentes, conforme as Resoluções CONAMA nº 357/2005 e nº 430/2011; e
- Realizar análise temporal da lagoa de infiltração, por meio de levantamento bibliográfico e imagens digitais.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nos itens a seguir serão apresentados: a localização e caracterização da área de estudo e os procedimentos de amostragem e análises.

3.1 Área de Estudo - Localização e Caracterização

O estado de Roraima localiza-se na Região Norte do Brasil, ocupa área de 224.303,187 km² (IBGE, 2015). Limita-se ao norte e noroeste com a Venezuela, a leste com a Guiana, a sudeste com o estado do Pará e ao sul e oeste com o estado do Amazonas (DUARTE, 1997). O principal sistema de drenagem de Roraima é bacia hidrográfica do rio Branco, formado pelos rios Uraricoera e Surumu a cerca de 30 km a montante da cidade de Boa Vista (CARVALHO, 2015). Boa Vista é a capital do estado, está localizada na margem direita do rio Branco, ocupa área de 5.687,037 km² (IBGE, 2016). Possui duas estações climáticas bem definidas, chuvosa no período de abril a setembro, e seca no período de outubro a março. Nos meses de junho e julho ocorrem as maiores precipitações do ano com médias superiores a 330 mm (ARAUJO et al., 2001; DUARTE, 1997).

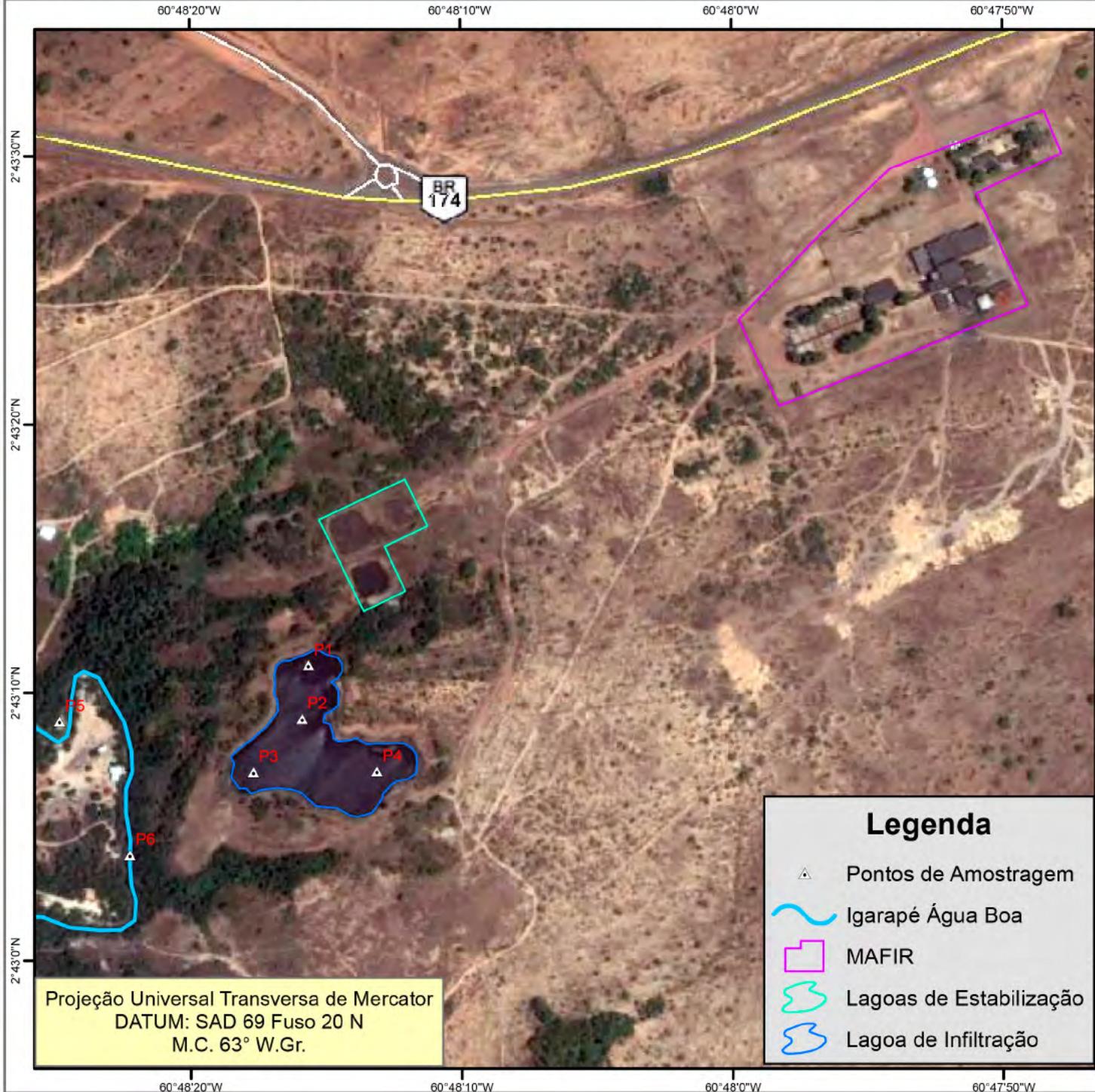
Na bacia hidrográfica do rio Branco, mais precisamente na microbacia do igarapé Água Boa, na BR 174, Km 752 em Boa Vista – RR, está localizado o Matadouro Frigorífico Industrial de Roraima – MAFIR (figura 10). Está inserido na região de baixo curso da microbacia, indo no sentido norte está após a BR 174, onde já recebeu a contribuição de seus principais afluentes, os igarapés da Cobra, Urubu, Pau Rainha e da Paca. Uma região composta por savana graminosa e latossolo amarelo alumínico, pertencente a formação boa vista, com superfícies pediplanadas de relevo levemente ondulado, não excedendo 90 metros de altitude (ME, 1980; MME, 2002).

Este matadouro possui capacidade de abate de aproximadamente 400 bovinos.dia⁻¹ e 100 suínos.dia⁻¹. Durante o processo de abate gera-se água residuária de dois tipos que são direcionadas para linhas coletoras individuais.

A linha verde coleta águas residuárias provenientes do início do processo, já a da linha vermelha coleta nos processos posteriores ao abate e possui quantidades significativas de sangue, uma vez que o MAFIR não faz a coleta e aproveitamento do mesmo.

Figura 10 - Localização da área de estudo.

Data: 05/07/2016
Escala: 1:6.500



Legenda

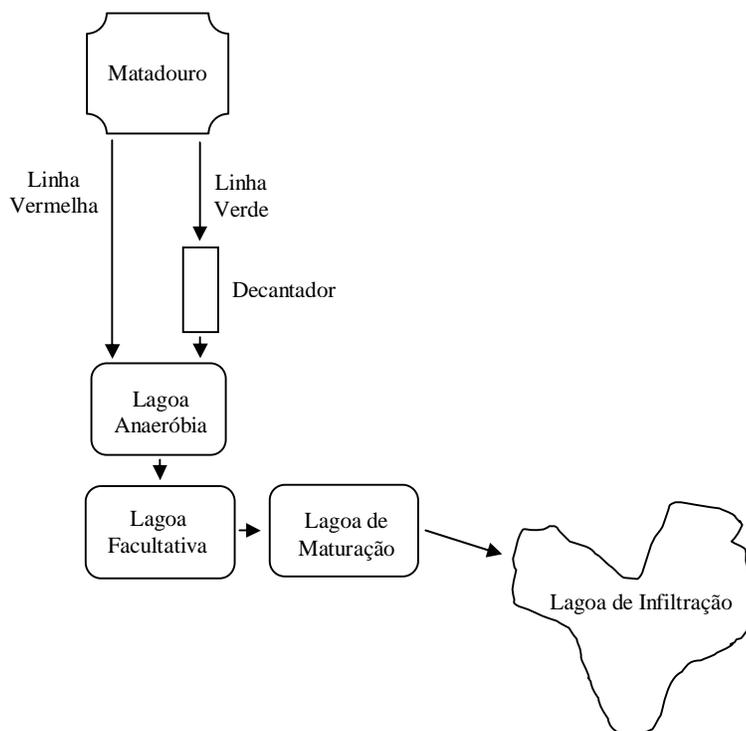
- ▲ Pontos de Amostragem
- ~ Igarapé Água Boa
- MAFIR
- ~ Lagoas de Estabilização
- ~ Lagoa de Infiltração



A estação de tratamento de águas residuárias do MAFIR realiza o tratamento das águas residuárias de todo o complexo de abate (linha verde + linha vermelha). É composta por tratamento primário (decantador) e um sistema de lagoa de estabilização (secundário), em série, constituído de três lagoas, anaeróbia, facultativa e maturação (figura 11). As águas residuárias das duas linhas se unem na lagoa anaeróbia, mas as águas da linha verde passam anteriormente pelo decantador.

As três lagoas de tratamento apresentam dimensões iguais, com 40 metros de largura e 40 metros de comprimento, distanciadas 20 metros uma da outra (CODESAIMA, 2003), com profundidade média estimada de 1,8m e vazão média em torno de 10 L.s^{-1} (FREITAS, 2002). O sistema de tratamento parece operar normalmente, com exceção do decantador e da lagoa anaeróbia que estão encobertos por rejeitos.

Figura 11 - Fluxograma do sistema de tratamento de águas residuárias do Matadouro e Frigorífico Industrial de Roraima - MAFIR.



Após as três lagoas de tratamento, na porção Sul, a aproximadamente 70 metros da lagoa de maturação, está localizada a última lagoa (figura 12). Segundo o laudo técnico de vistoria do Departamento de Meio Ambiente de Roraima, esta lagoa foi construída como uma alternativa emergencial (RORAIMA 1999) e denominada como bacia e/ou lagoa de infiltração, caracterizada como um tratamento terciário, uma medida de segurança e que

objetiva a infiltração e percolação das águas residuárias (FREITAS, 2002). Ainda na área de estudo, estão localizados dois pontos de controle no igarapé Água Boa, a montante e a jusante da lagoa de infiltração. Estão à oeste da lagoa, a aproximadamente 180 metros da mesma.

Figura 12 - Foto aérea da localização do Matadouro e Frigorífico Industrial de Roraima - MAFIR, das lagoas de estabilização e infiltração, do igarapé Água Boa e do balneário.



Fonte: Adaptado de Caleffi (2009).

Segundo Freitas (2002), a região do matadouro apresenta latossolo amarelo e topografia plana com declínio em direção ao igarapé Água Boa. Uma área que se caracteriza como uma das mais baixas de Boa Vista, com cotas que variam de 97 a 99,50 metros, com vegetação rasteira e arbustos. As espécies arbóreas apresentam-se com maior incidência no canal entre a lagoa de maturação e a lagoa de infiltração e na área de preservação permanente do igarapé Água Boa.

Em relação à ocupação humana, esta região apresenta certas peculiaridades. Na margem esquerda do igarapé Água Boa, logo após ser cortado pela BR 174, está localizado um imóvel rural de propriedade pública, na qual o Matadouro e Frigorífico Industrial do Estado de Roraima - MAFIR e todo o seu sistema de tratamento de águas residuárias estão instalados. O restante da área do baixo curso é ocupado por propriedades privadas, representados por sítios e chácaras com construções variadas, desde simples galpões de madeira a grandes casas de alvenaria, ambas localizadas próximas ao igarapé. Os imóveis

rurais são ocupados por seus moradores, familiares, amigos, caseiros e frequentadores do igarapé, principalmente nos finais de semana, pois utilizam o local para o lazer.

A margem esquerda do igarapé Água Boa apresenta menor população residente e um balneário particular localizado à montante do sistema de tratamento de águas residuárias do MAFIR. A margem direita apresenta mais construções, uma população mais residente e um balneário particular localizado em frente ao sistema de tratamento. E a aproximadamente 1.300m do igarapé, foi construído um novo matadouro, mas ainda não está em operação.

3.2 Amostragem

Os pontos utilizados no monitoramento foram escolhidos por meio de imagens de satélite e confirmados após a realização de visitas a campo, onde foi possível determinar a significância e a viabilidade de acesso dos pontos escolhidos. O monitoramento utilizou pontos de coletas fixos e suas localizações (quadro 14) foram demarcadas com o auxílio de um GPS modelo GARMIN ETREX, Legend HCx, aparelho este que utiliza o Sistema de Posicionamento Global.

Quadro 14 - Informações sobre os pontos de coleta de amostras.

Nome	Nº	Coordenadas geográficas*	Localização
LAG	P1	2°43'9.54"N /60°48'17.16"O	Lagoa de infiltração: próximo ao lançamento
	P2	2°43'7.80"N /60°48'17.64"O	Lagoa de infiltração: centro
	P3	2°43'5.83"N /60°48'19.05"O	Lagoa de infiltração: margem esquerda
	P4	2°43'5.52"N /60°48'15.29"O	Lagoa de infiltração: margem direita
IGM	P5	2°43'7.74"N /60°48'26.16"O	Ig. Água Boa: 200 m à montante da lagoa
IGJ	P6	2°43'2.70"N /60°48'24.78"O	Ig. Água Boa: 168 m à jusante da lagoa.

*Datum South América 69 - SAD 69.

Os quatro pontos de monitoramento na lagoa de infiltração (P1, P2, P3 e P4) foram escolhidos no intuito de monitorar, de forma representativa, a qualidade do efluente. São sub amostras que serão tratadas e analisadas como uma média da lagoa de infiltração (LAG). Enquanto que os pontos de monitoramento no igarapé Água Boa foram escolhidos de forma que em um deles seria possível obter amostras de água isentas de influência das atividades do matadouro e outro com alguma possibilidade. Assim, coletou-se uma amostra a montante (IGM / P5) e outra a jusante (IGJ / P6) da lagoa de infiltração e analisadas individualmente (figura 13).

A influência nas águas superficiais do igarapé e consequentemente na microbacia foi avaliada, pois mesmo que o sistema de tratamento não realize o lançamento do efluente tratado no igarapé, ocorre o lançamento em uma lagoa de infiltração que é um tipo de disposição final de efluente em solo localizado a aproximadamente 118 metros de distância do igarapé Água Boa.

Figura 13 - Pontos de coleta de amostras de efluente tratado e águas superficiais.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2016).

3.2.1 Frequência e periodicidade

A respeito da frequência e periodicidade das coletas de amostras, o monitoramento incluiu coletas no período da manhã, entre 8 e 11 horas, nos meses de setembro, outubro e

novembro de 2015 e janeiro, março e abril de 2016, totalizando 6 meses de monitoramento e compreendendo o período seco.

3.2.2 Procedimentos de coleta de amostras

Os cuidados com o material (estocagem, manutenção e transporte do material), organização (escolha dos frascos, equipamentos, reagentes e vidrarias), logística, agendamento (materiais e equipamentos), elaboração de formulários de registro, identificação de amostras e as regras de segurança para coleta foram realizados conforme os procedimentos descritos por ABNT (1987) e Brandão et al. (2011). A calibração de equipamentos foi realizada conforme os manuais de cada equipamento e a preparação de reagentes segundo APHA, AWWA e WEF (2012).

As vidrarias e os frascos coletores utilizados nos procedimentos microbiológicos foram esterilizados em autoclave a 121 °C por 30 minutos. Os frascos e vidrarias utilizados nos demais procedimentos foram descontaminados com solução de ácido nítrico 10% por 48 horas, lavadas com água destilada e mantidas em estufa de secagem por 2 horas a 100°C. E os meios de cultura dos procedimentos microbiológicos foram preparados, conforme recomendação do fabricante.

As amostras coletadas foram do tipo simples (BRANDÃO et al., 2011), de águas brutas e residuárias tratadas, coletadas superficialmente, a 0,30 metros da superfície. Para a coleta das amostras na lagoa, utilizou-se de um barco a remo cedido pelo CBio e reboque do Corpo de Bombeiros, com apoio do Setor de Transporte da UFRR (figura 14).

As amostras foram utilizadas em ensaios físico, químico, biológico e microbiológico para a caracterização da composição e concentração das águas monitoradas. Para cada ponto de coleta, foram utilizados três frascos coletores, sendo em garrafas de polietileno esterilizadas com capacidade de 0,5 L, para o uso em análises microbiológicas; garrafas de vidro âmbar descontaminado em ácido nítrico (10%) com capacidade de 0,3 L para análises de DBO₅; e garrafas de polietileno descontaminada com capacidade de 2 L para as demais determinações. Os frascos foram devidamente lacrados e identificados com o nome do ponto de coleta e data.

As variáveis condutividade elétrica, pH, temperatura, sólidos totais dissolvidos e salinidade foram medidas in situ, com o auxílio da sonda portátil multiparâmetros, modelo HI 9828 da HANNA.

Figura 14 - Procedimento de amostragem (A) e uso do barco a remo (B).



3.2.3 Preservação das amostras

As amostras foram conservadas e transportadas em caixas térmicas com gelo para dois laboratórios. As amostras referentes aos ensaios microbiológicos foram enviadas ao Laboratório de Microbiologia do Centro de Estudos da Biodiversidade - CBio e as demais amostras foram enviadas ao Laboratório de Extração e Fermentação do Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais - PRONAT, ambos localizados na Universidade Federal de Roraima - UFRR, em Boa Vista, Roraima.

As amostras coletadas para os ensaios de microbiologia e DBO_5 foram processadas imediatamente, não demandando armazenamento e refrigeração complementar. Para as demais, utilizou-se procedimentos descritos em APHA, AWWA e WEF (2012), que considera técnicas de preservação, tipo de recipiente, volume de amostra necessária, tipo de preservação e prazo para ensaios físico-químicos específicos para cada variável.

3.3 Análises físicas, químicas, hidrobiológicas e microbiológicas

Para a determinação de amônia, nitrito, nitrato, clorofila a e fosfato utilizou-se o espectrofotômetro de absorção molecular UV/visível, modelo UV-1800 Shimadzu. Os demais procedimentos para a determinação das variáveis são descritas a seguir. É importante ressaltar que as determinações laboratoriais foram realizadas em triplicata.

3.3.1 Condutividade elétrica, pH, temperatura, sólidos totais dissolvidos e salinidade.

Estas variáveis foram medidas in situ, com o auxílio da sonda portátil multiparâmetros, modelo HI 9828 da HANNA. O sensor foi submergido superficialmente, a 30 cm de profundidade (BRANDÃO et al., 2011) e os dados registrados em ficha de campo apropriada.

3.3.2 Turbidez

Em laboratório determinou-se a turbidez das amostras de água bruta e residuária tratada com o auxílio de um turbidímetro Alfakit, modelo AT2K.

3.3.3 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_{5,20})

A determinação da DBO_{5,20} foi realizada conforme descrito em APHA, AWWA e WEF (2012), método 5210 B. Nesse método, as amostras são acondicionadas a uma temperatura de 20 °C, durante 5 dias, visando avaliar a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar a matéria orgânica.

3.3.4 Fósforo Total

A determinação de fosfato total nas amostras foi realizada através do método espectrofotométrico, em comprimento de onda de 880 nm, conforme descrito em APHA, AWWA e WEF (2012), método 4500-P E.

3.3.5 Nitrito

A determinação de nitrito nas amostras foi realizada através do método espectrofotométrico, em comprimento de onda de 543 nm, conforme descrito em APHA, AWWA e WEF (2012), método 4500-NO₂⁻ B.

3.3.6 Nitrato

A determinação de nitrato nas amostras foi realizada através do método espectrofotométrico, em comprimento de onda de 415 nm.

3.3.7 Nitrogênio Amoniacal

A determinação de amônia nas amostras foi realizada através do método espectrofotométrico, em comprimento de onda de 660 nm, conforme descrito em APHA, AWWA e WEF (2012), método 4500-NH₃ F.

3.3.8 Sólidos Totais

A determinação de sólidos totais nas amostras foi realizada através do método 2540 B, descrito em APHA, AWWA e WEF (2012), onde uma amostra homogeneizada é evaporada em uma estufa a 103 a 105 ° C, até peso constante.

3.3.9 Clorofila a

A determinação de clorofila a nas amostras foi realizada através do método espectrofotométrico, conforme a norma técnica L5.306, descrito em CETESB (2014a). As amostras foram preservadas em um freezer a -20°C e utilizou-se filtro de fibra de vidro de 47 mm de diâmetro, com porosidade de 1,6 µm.

3.3.10 Grupo Coliforme

As análises de coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* em amostras de água foram realizadas utilizando a técnica de tubos múltiplos e a contagem pela técnica de número mais provável (NMP), conforme descrito em APHA, AWWA e WEF (2012), métodos 9221 B, 9221C, 9221E e 9221F.

A primeira etapa é denominada fase presuntiva de coliformes. Nesta etapa utilizou-se o Caldo Lactose da HIMEDIA em tubos de ensaio com tubos de Durhan na posição invertida. Foram utilizadas cinco séries com cinco tubos de ensaio, totalizando 25 tubos por amostra.

Inicialmente, retirou-se 100 mL da amostra e foram preparadas três diluições sucessivas (0,1; 0,01 e 0,001) em solução salina (cloreto de sódio). Posteriormente, foram transferidos 10 mL da amostra para os tubos da 1ª série, com 10 mL do caldo lactosado duplo (dobro da concentração) e 1 mL da amostra para os tubos da 2ª série com 10 mL de caldo lactosado simples. Nas demais séries, foram utilizadas alíquotas de 1 mL das diluições, ou seja, para a 3ª série foi transferido 1 mL da diluição 10^{-1} (0,1 mL), em cada tubo; para a 4ª série, 1 mL da diluição 10^{-2} (0,01 mL) e na 5ª série, 1 mL da diluição 10^{-3} (0,001 mL), ambos foram adicionados a 10 mL de caldo lactosado simples. Após as inoculações, os tubos foram incubados a 35° C por 48 horas.

Após as 48 horas, os tubos que apresentaram resultado positivo (produção de gás e turvação), foram submetidos à próxima etapa do teste, denominado teste confirmativo para coliformes totais. Nesta etapa, foi realizada a transferência de alíquotas de 1 mL dos tubos presuntivos positivos para tubos em série contendo Caldo Verde Brilhante Bile 2% (Caldo Brila) da MERCK. Todos os tubos foram incubados a 35°C durante 48 horas.

Após a incubação, novamente foi verificado a presença de gás e turvação. Os tubos que apresentaram resultado positivo para coliformes totais foram submetidos à próxima etapa do teste, denominado teste confirmativo para coliformes termotolerantes. Nesta etapa foi realizada a transferência de alíquotas de 1 mL dos tubos positivos para tubos em série contendo um meio seletivo, o caldo EC da MERCK. Todos os tubos foram incubados em banho-maria durante 24 horas a uma temperatura de 44.5°C a 45°C.

Por fim, os tubos que apresentaram resultado positivo para coliformes termotolerantes foram submetidos à última etapa do teste, denominado teste confirmativo para *E. coli*. Nesta etapa foi realizada a transferência de alíquotas de 1 mL dos tubos positivos para tubos em série contendo meio Rapid Hicoliform Agar da HIMEDIA. Posteriormente, todos os tubos com meio inclinado foram incubados a 35°C durante 24 horas. Após a incubação, os tubos foram expostos a luz ultra-violeta (365 nm) e o ensaio foi considerado positivo para *E. coli* quando houve a formação de fluorescência azul.

Este procedimento é seletivo, a cada etapa, os tipos de microrganismos presentes são reduzidos, afinando devido ao meio de cultura utilizado e condições de incubação. Neste caso, todo o procedimento microbiológico utilizou-se do método dos tubos múltiplos com a contagem pela técnica de número mais provável (NMP), iniciando por fermentação

(presuntivo, coliformes totais e termotolerantes) e finalizando pelo método fluorogênico (*E. coli*).

3.3.11 Bactérias Heterotróficas

A contagem de bactérias heterotróficas em amostras de água (UFC.mL⁻¹) foi realizada utilizando o método de espalhamento em placa (Spread Plate), conforme descrito em APHA, AWWA e WEF (2012), método 9215 C. Neste caso, uma alíquota de 0,1 mL da amostra foi espalhada com uma Alça de Drigalsky estéril, em placas com meio Plate Account Agar - PCA, em triplicata, e incubadas a 35 °C por 48 h. Após a incubação, foi realizada a contagem das unidades formadoras de colônias (UFC) presentes nas placas e realizada a média aritmética das triplicatas.

3.3.12 Índice do Estado Trófico (IET)

O IET foi calculado para o igarapé e para a lagoa de infiltração, por meio do Índice de Carlson, modificado por Lamparelli (2004). O IET final foi obtido por meio da média aritmética simples dos índices de fósforo total e clorofila a obtidos durante os meses de monitoramento. De posse do IET final do igarapé e lagoa, foi realizada a classificação dos ambientes de acordo com as categorias de estado trófico, ou seja, em ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico, supereutrófico ou hipereutrófico.

3.4 Dados de precipitação e número de abate

Os dados de precipitação, referente ao período da pesquisa, foram obtidos no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa - BDMEP da rede de estações meteorológicas convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Os dados referem-se a estação OMM: 82024, localizada em Boa Vista nas coordenadas 2.816°N e 60.65°W, a um raio de aproximadamente 20 Km da unidade de estudo, na margem direita do rio Branco (INMET, 2016).

Já o número de abate, foi obtido no Banco de Dados de Quantidade de Abate Estadual por Ano e Espécie do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2016b)

3.5 Análise temporal da área superficial da lagoa de infiltração

A lagoa de infiltração foi construída com o propósito de receber as águas residuárias tratadas do sistema de tratamento do matadouro. Este método de disposição de águas residuárias no solo, por meio de alagamentos de áreas busca a infiltração e percolação das águas, no intuito de realizar um tratamento complementar, fazer o reuso da água uma vez que é possível devolvê-la ao ambiente e também realizar a disposição final.

Apesar da eficiência do sistema, esta forma de disposição não é usual no Brasil. Assim, compreender como este sistema está instalado, forma de operação, justificativa para a implantação e suas características locais é essencial.

Para isso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica para o levantamento de informações gerais e técnicas, o registro fotográfico para a caracterização da situação atual e utilizadas imagens históricas do Google Earth nos anos de 2003, 2005, 2012, 2013, 2014 e 2016, para o monitoramento da área superficial da lagoa.

3.6 Análise Integrada

A análise integrada consiste em um diagnóstico a partir dos dados de qualidade do efluente da lagoa de infiltração (LAG), dos dados de qualidade da água superficial no igarapé Água Boa a montante (IGM) e a jusante (IGJ) da lagoa, as informações das características da lagoa de infiltração e levantamento bibliográfico, visando analisar e agrupar as inter-relações existentes na área de estudo da microbacia hidrográfica do igarapé Água Boa. Já que a forma de relação entre o homem e a natureza, por meios técnicos e sociais, produz e cria o espaço, demandando uma visão da bacia hidrográfica como sistema, com ações, formas, funções e processos específicos (SANTOS, 2008).

3.7 Tratamento dos dados

As amostras não coletadas e as concentrações não detectadas foram consideradas como dado faltante no tratamento estatístico dos dados.

A medida de tendência central, foi utilizada para definir os pontos amostrais P1, P2, P3 e P4 em apenas um ponto representativo da lagoa (LAG), os pontos no igarapé Água Boa,

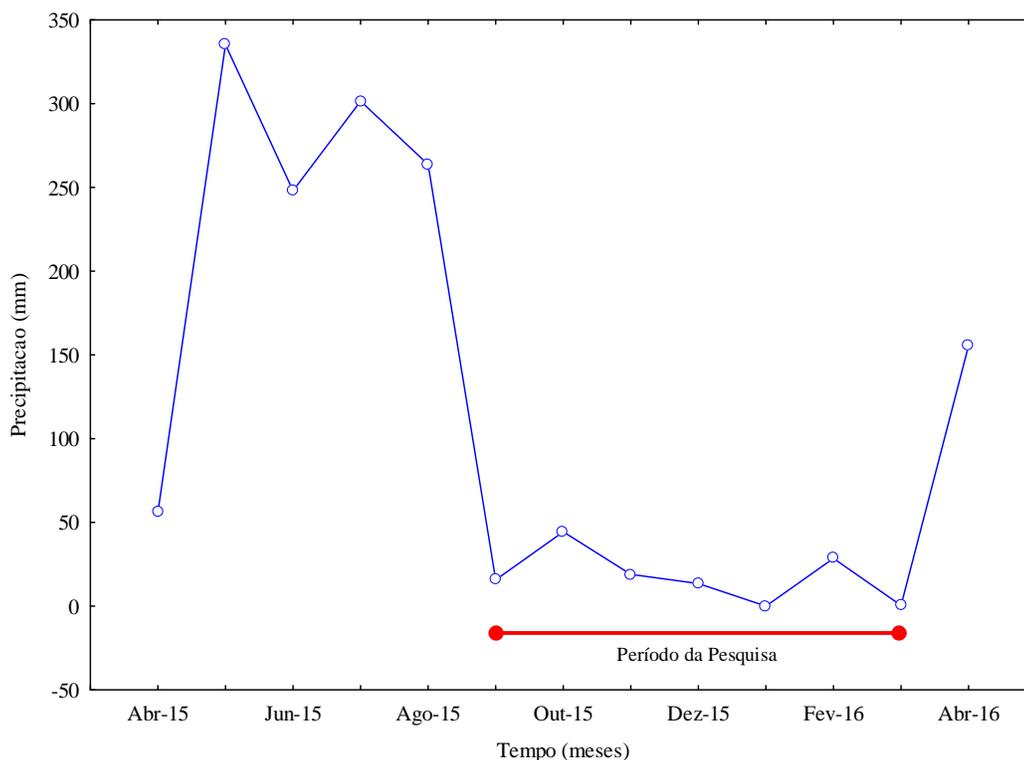
localizados a montante e a jusante da lagoa, foram analisados individualmente e definidos como IGM e IGJ, respectivamente.

Os resultados obtidos foram tabelados utilizando-se o software Microsoft Office Excel 2007 e dispostos em tabelas, com os resultados estatísticos, média e desvio padrão. E os gráficos estatísticos presentes neste trabalho foram gerados a partir da ferramenta estatística Statistica 8, produzida pela empresa StatSoft Inc. A partir do ferramenta, foram plotados gráficos da distribuição de frequência (histograma) com o “p” do Shapiro Wilk W test, a fim de verificar a normalidade dos dados para cada variável ($p < 0,05$, distribuição não normal). Posteriormente, utilizou-se o teste não paramétrico Kruskal-Wallis nos dados de cada variável correlacionado com os três pontos amostrais ($p < 0,05$, existe diferença significativa entre os pontos amostrais). E elaborada a matriz de correlação de Spearman, utilizada para variáveis quantitativas que não satisfazem exigências para emprego do coeficiente de correlação de Pearson, tal como a distribuição normal (OLIVEIRA, 2015).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A coleta de dados da pesquisa foi realizada em sua maior parte, no período seco (outubro a março). A precipitação total correspondeu a 277 mm, variando de 0 mm em janeiro de 2016 a 155,5 mm em abril de 2016, uma média de 35 mm mensais (figura 15).

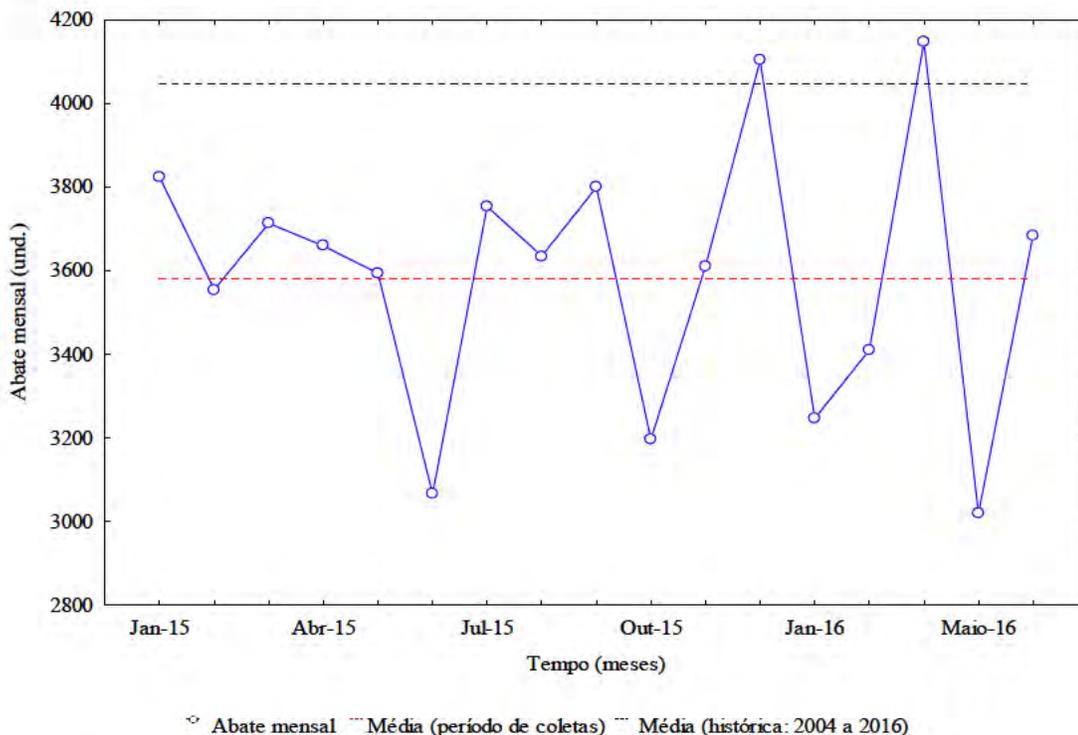
Figura 15 - Precipitação total mensal em Boa Vista - RR.



Fonte: INMET (2016).

Outra informação fundamental para a análise de dados é o número de abate mensal no Matadouro e Frigorífico Industrial de Roraima - MAFIR. Já que quanto maior o número de abate, maior é o volume de água residuária produzida e consequentemente, maior a quantidade de nutrientes e carga orgânica lançada para o tratamento. Durante o período de coleta de dados da pesquisa, o abate mensal variou de 3.020 a 4.146 unidades, com média mensal de 3.580 unidades. Os meses de novembro, dezembro e março apresentaram média mensal superior à média do período da pesquisa (figura 16). E os meses de dezembro e março apresentaram ainda, média mensal superior a média mensal histórica (4.047 unidades), que compreende o período de junho de 2004 a maio de 2016 (MAPA, 2016b).

Figura 16 - Abate mensal no Matadouro e Frigorífico Industrial de Roraima, no período de janeiro de 2015 a maio de 2016.



Fonte: MAPA (2016b).

Esses dados são indispensáveis para as análises e correlações propostas no presente estudo. No entanto, é importante destacar que os dados do monitoramento serão avaliados e comparados com o número de abate dos meses anteriores, devido ao fato que a água residuária gerada em um determinado mês, estará em tratamento por aproximadamente 45 dias. Segundo Sperling (2005) para o tratamento da água residuária em um sistema como o implantado no MAFIR, são necessários em média, 3 a 6 dias de detenção em lagoa anaeróbia, 15 a 45 dias em lagoa facultativa e 12 dias em lagoa de maturação única, com variações conforme eficiência pretendida. Assim, somente após esse tempo a água residuária estará tratada e será lançada na lagoa de infiltração.

4.1 Análise das variáveis físicas, químicas, hidrobiológicas e microbiológicas.

Foi aplicado o teste de normalidade Shapiro Wilk W nos parâmetros monitorados para identificar a normalidade dos dados por meio de distribuição de frequência e a maioria dos parâmetros obteve $p < 0,05$, portanto não existe normalidade na distribuição do conjunto de

dados. Diante disso, optou-se pelo teste não paramétrico Kruskal-Wallis, para a avaliação espacial dos dados e elaborada a matriz de correlação de Spearman para avaliação da correlação das variáveis. A seguir, as variáveis monitoradas são apresentadas individualmente e avaliadas, segundo a série temporal e espacial.

4.1.1 Potencial Hidrogeniônico

A determinação do potencial hidrogeniônico (pH) das águas superficiais e residuárias é indispensável, pois o mesmo indica as reações químicas mais favoráveis no ambiente. A atividade biológica, por exemplo, ocorre na maioria dos casos em ambientes com pH entre 6 e 8 (SOUSA, 2001). E os valores afastados da neutralidade podem afetar a vida aquática e os microrganismos responsáveis pelo tratamento biológico dos esgotos (VON SPERLING, 2005).

Em ambientes com influência antrópica, os valores baixos podem indicar lançamentos de efluentes industriais e processo de decomposição de algum tipo de matéria orgânica. Enquanto que valores elevados podem estar associados ao lançamento de efluentes industriais ou proliferação de algas. Estas variações também podem ocorrer naturalmente, pois podem estar associadas a dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica e fotossíntese (ESTEVES, 2011; VON SPERLING, 2005).

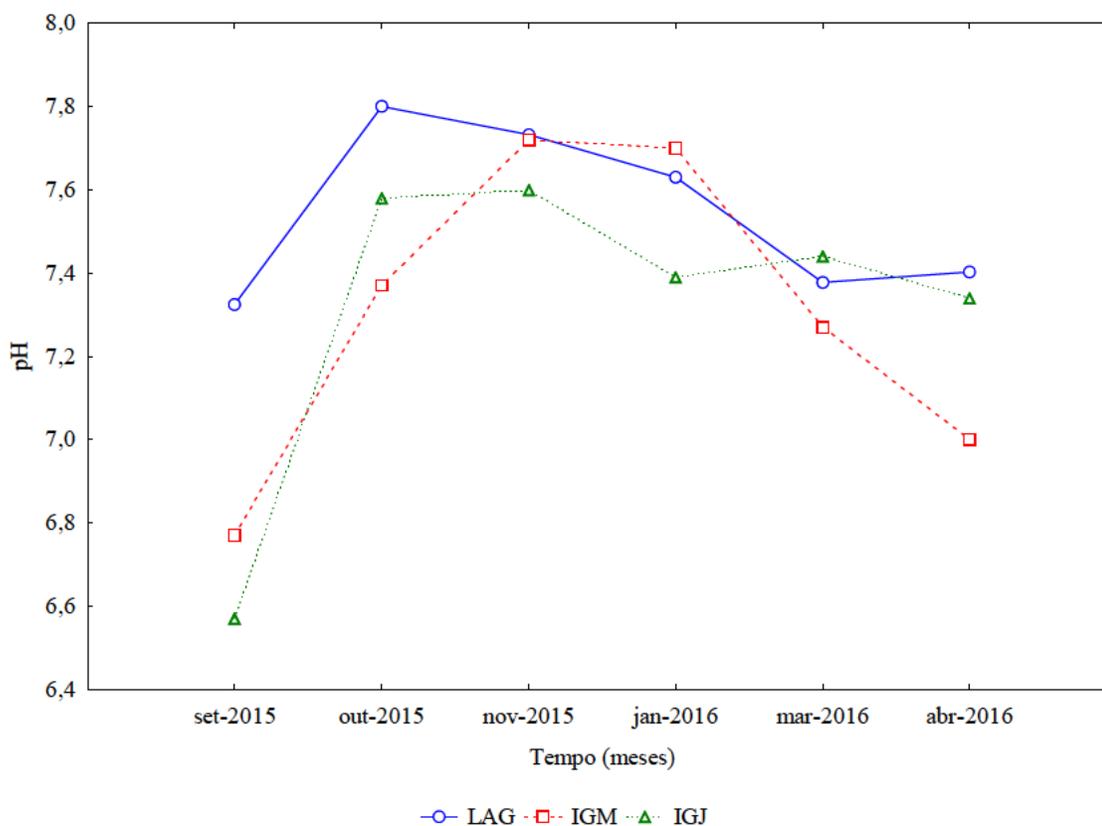
Nas águas superficiais do igarapé Água Boa, os valores de pH variaram de 6,57 (IGJ) a 7,72 (IGM), com média de 7,31. No efluente da lagoa de infiltração (LAG), as médias de pH variaram de 7,33 a 7,80, com média geral de 7,54, ambos durante o período de setembro de 2015 a abril de 2016 (figura 17).

No que diz respeito aos limites permitidos para águas doces de classe 2, descritos na Resolução Conama nº357/2005 (pH: 6 a 9) e aos padrões de lançamento de efluentes descritos na Resolução Conama nº 430/2011 (pH: 5 a 9), os valores obtidos foram satisfatórios, pois atenderam os limites permitidos em todo o período monitorado (BRASIL, 2005; 2011).

Em relação a série temporal, as menores médias de pH foram encontradas em setembro, indicando um caráter levemente ácido das águas superficiais do igarapé Água Boa (IGM = 6,77; IGJ = 6,57) e levemente alcalino das águas residuárias da lagoa de infiltração (LAG = 7,33). Esse comportamento no igarapé Água Boa (IGM e IGJ), deve-se ao fato de que este mês sucede o período chuvoso que possibilita o carreamento de grandes quantidades de folhas, galhos e cascas no curso d'água. Segundo Esteves (2011), durante a decomposição

destes materiais, são produzidos ácidos húmicos, aumenta-se o consumo de oxigênio (O_2) e a produção de gás carbônico (CO_2) que ao reagir com a água gera ácido carbônico (H_2CO_3), reduzindo os valores de pH da água. Na lagoa de infiltração (LAG), outros fatores podem influenciar, principalmente o processo de fotossíntese das algas.

Figura 17 - Valores de pH do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.



A partir de outubro, com o início do período seco, redução da precipitação mensal e aumento da temperatura, o pH atingiu os maiores valores em todos os pontos, com valores levemente alcalinos. Em novembro, o valor do pH aumentou no igarapé Água Boa, principalmente no ponto IGM, e reduziu em LAG, mas mantiveram um padrão levemente alcalino. Nos meses posteriores, houve pequena variação em LAG e IGJ, com uma tendência a redução dos valores de pH, mas ambos levemente alcalinos e uma maior variação no ponto IGM, atingindo valores de pH neutro em abril de 2016.

Sant'Ana (2007) monitorou dois pontos no igarapé Água Boa, próximos ao da presente pesquisa e encontrou valor médio de pH igual a 5,74, inferior ao valor médio atual de 7,31.

Essas diferenças indicam uma mudança no potencial hidrogeniônico do ambiente, de águas ácidas para águas levemente alcalinas. Em relação aos efluentes da lagoa de infiltração (LAG), os valores de pH variaram de 7,33 a 7,80, permanecendo no intervalo de 7 a 9, encontrado por Del Nery et al. (2013), Ribeiro, Sandri e Boêno (2013) e Thebaldi et al. (2013).

Apesar de não haver lançamento de efluentes do matadouro no igarapé, mas apenas uma proximidade entre os pontos monitorados (LAG, IGM e IGJ), o pH encontrado no efluente da lagoa de infiltração foi similar ao encontrado nas águas superficiais do igarapé Água Boa, não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre os ambientes (tabela 1). Este fato também foi verificado por Thebaldi et al. (2013) e Ribeiro, Sandri e Boêno (2013), mas neste caso, ocorreu o lançamento de efluentes tratados de matadouro no rio.

Tabela 1 - Valores de pH do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e da água superficial do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.

pH	Local	Meses						Média Local	DP Local
		set/15	out/15	nov/15	jan/16	mar/16	abr/16		
Concentração	LAG (P1)	7,30	7,92	7,88	7,58	6,99	6,98	7,44a	0,42
	LAG (P2)	7,48	7,88	7,80	7,80	7,29	7,26	7,59a	0,28
	LAG (P3)	7,39	7,82	7,78	7,62	7,51	7,69	7,64a	0,16
	LAG (P4)	7,13	7,58	7,47	7,52	7,72	7,68	7,52a	0,21
	IGM (P5)	6,77	7,37	7,72	7,70	7,27	7,00	7,31a	0,38
	IGJ (P6)	6,57	7,58	7,60	7,39	7,44	7,34	7,32a	0,38
Média mensal	LAG	7,33	7,80	7,73	7,63	7,38	7,40	-	-
	IGM e IGJ	6,67	7,48	7,66	7,55	7,36	7,17	-	-
DP mensal	LAG	0,15	0,15	0,18	0,12	0,31	0,35	-	-
	IGM e IGJ	0,46	0,23	0,05	0,06	0,02	0,16	-	-

*Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem entre os pontos de análise no mesmo período de coleta para $p < 0,05$, pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ($p = 0,3594$).

Os valores de pH apresentaram correlação regular, positiva e significativa ($p < 0,05$) entre os valores de turbidez ($r = 0,51$), fósforo total ($r = 0,50$) e demanda bioquímica de oxigênio ($r = 0,66$). Indicando que nos meses e ambientes monitorados, os valores de turbidez, fósforo total, demanda bioquímica de oxigênio e pH apresentaram comportamento semelhante. E apesar do pH ser influenciado pelos sólidos dissolvidos (VON SPERLING, 2005), no presente monitoramento apresentou correlação positiva, mas não significativa ($p < 0,05$).

Em uma análise geral, os dados coletados possibilitam classificar as águas superficiais e residuárias em levemente alcalinas, indicando que toda a amônia está na forma ionizada,

não tóxica (NH_4^+), o que não afeta a vida aquática e os microrganismos responsáveis pelo tratamento biológico dos esgotos. E existe a presença de alcalinidade de bicarbonatos, pois os valores de pH não ultrapassaram o valor limite de 8,3. No entanto, isso pode variar na lagoa de infiltração, pois sofre influências diárias da intensa atividade fotossintética, que possibilita a assimilação do dióxido de carbono livre, a elevação do pH e a presença da amônia na forma livre (NH_3). E dos processos oxidativos, que consome a alcalinidade e pode reduzir o pH, afetando as taxas de crescimento dos microrganismos responsáveis pela oxidação (VON SPERLING, 2005).

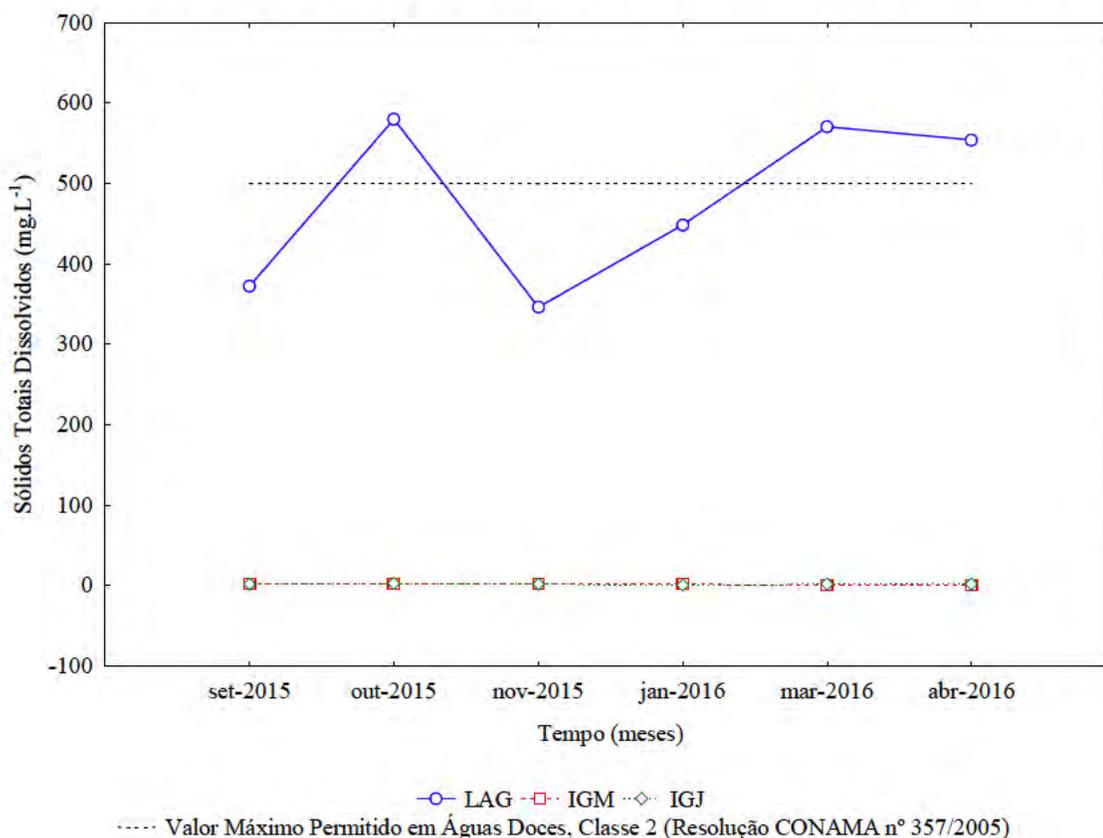
4.1.2 Sólidos Totais Dissolvidos, Turbidez, Condutividade Elétrica e Salinidade.

Os sólidos totais dissolvidos quando presentes na água, pode ser um constituinte responsável pelo sabor, odor, acidez, dureza e alcalinidade e um indicador da presença de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e matéria orgânica. Já a turbidez, é um parâmetro de monitoramento indispensável pois pode estar associada a compostos tóxicos e organismos patogênicos, reduzir a penetração da luz e prejudicar a fotossíntese (VON SPERLING, 2005).

Durante o monitoramento, os valores de sólidos totais dissolvidos variaram de 1mg.L^{-1} (IGJ e IGM) a $580,0\text{mg.L}^{-1}$ (LAG) e os de turbidez de 0,0 NTu (IGJ e IGM) a 165,63 NTu (LAG). O valor máximo permitido para águas doces de classe 2 é de 500mg.L^{-1} de sólidos totais dissolvidos e 100 NTu de turbidez (BRASIL, 2005). Os valores obtidos nos pontos IGM e IGJ foram satisfatórios, inferiores ao valor máximo permitido em todo o período monitorado (figuras 18 e 19). Em relação a LAG, estes parâmetros não estão previstos para o monitoramento de águas residuárias tratadas (BRASIL, 2011). No entanto, os valores encontrados para sólidos totais dissolvidos e turbidez impossibilitaria o lançamento no Igarapé Água Boa, se fosse necessário utilizá-lo como corpo receptor, pois os valores de turbidez foram superiores ao valor máximo permitido durante todo o período monitorado e os de sólidos totais dissolvidos, nos meses de outubro de 2015 e março e abril de 2016.

Já a condutividade elétrica fornece uma boa indicação que está ocorrendo modificações na composição de uma água, aumenta à medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados e representa uma medida indireta da concentração de poluentes (CETESB, 2009). E a salinidade ocasionada pelo conjunto de sais normalmente dissolvidos na água, pode conferir características incrustantes (VON SPERLING, 2005) e influenciar diretamente os processos aquáticos químicos e biológicos.

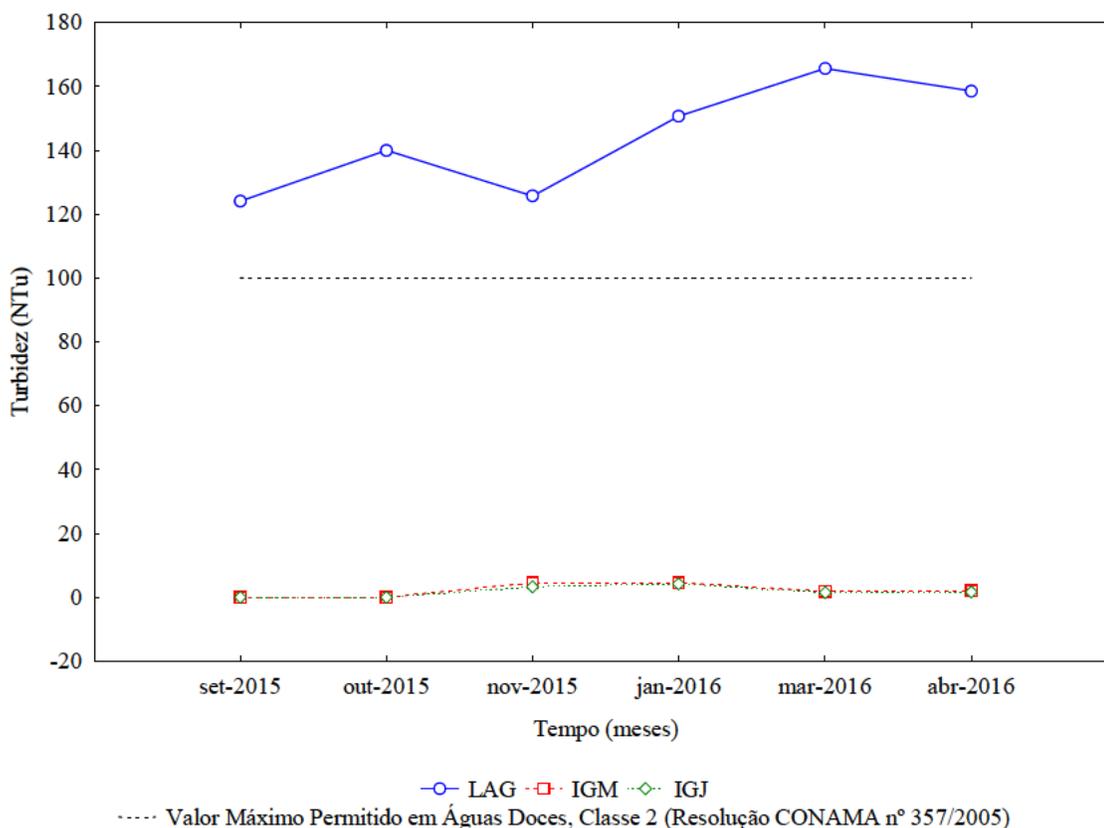
Figura 18 - Concentração de Sólidos Totais Dissolvidos do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.



No presente monitoramento, os valores de condutividade elétrica variaram de $6 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (IGJ e IGM) a $1.160 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (LAG) e os de salinidade de $0,0\%$ (IGJ e IGM) a $0,58\%$ (LAG), conforme apresentados nas figuras 20 e 21. Os valores máximos permitidos para esses parâmetros não estão previstos nas Resoluções CONAMA nº 357/2005 e nº 430/2011 (BRASIL, 2005; 2011).

Em relação a série temporal, as águas superficiais do igarapé Água Boa (IGM e IGJ) apresentaram valores baixos e com pequenas variações, em todo período monitorado. Os valores de sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica foram maiores em IGJ ($2,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e $3,83 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) que em IGM ($1,7 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e $3,67 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). Enquanto que a turbidez foi maior em IGM ($2,2 \text{ NTu}$) que em IGJ ($1,8 \text{ NTu}$). A salinidade nos dois pontos foi de $0,0\%$, em todo o período monitorado. Os valores obtidos foram semelhantes aos encontrados por Sant'Ana (2007), sendo $3,6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de sólidos totais dissolvidos e $3,92 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ de condutividade elétrica.

Figura 19 - Valores de Turbidez do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.

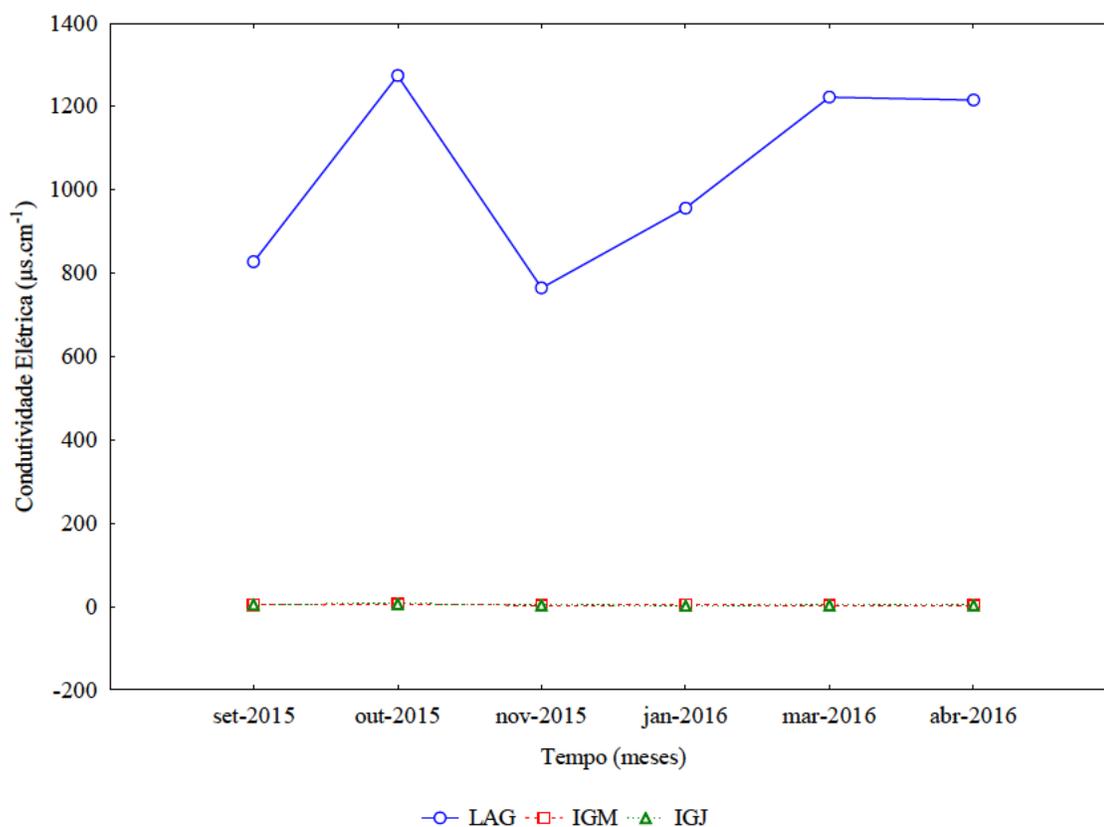


Na lagoa de infiltração (LAG), os valores médios de turbidez no efluente variaram de 124,08 NTu a 165,63 NTu, valores próximos à 118,15 NTu encontrado por Ribeiro, Sandri e Boêno (2013). Os valores médios de condutividade elétrica variaram de 697 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a 1.160 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, inferiores às médias de 1.560 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ encontrada por Thebaldi et al. (2013) e 2.310 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ por Ribeiro, Sandri e Boêno (2013). As médias de sólidos totais dissolvidos variaram de 346,2 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a 580,0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e as de salinidade de 0,33 % a 0,58 %.

No efluente da lagoa de infiltração, os menores valores de sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica e salinidade foram encontrados em setembro e novembro e os maiores em outubro e março. Apesar de setembro suceder os meses com número de abate acima da média mensal anual (3.626 unidades), também sucedeu os meses com maiores precipitações mensais de 2015, portanto acredita-se que os valores sofreram influência da precipitação que diluiu os sólidos e sais. Em outubro, os valores aumentaram após o segundo mês com baixas precipitações e meses sucessivos de abatimentos acima da média mensal nos meses anteriores. Em novembro, atingiu-se os menores valores no período monitorado, provavelmente devido ao

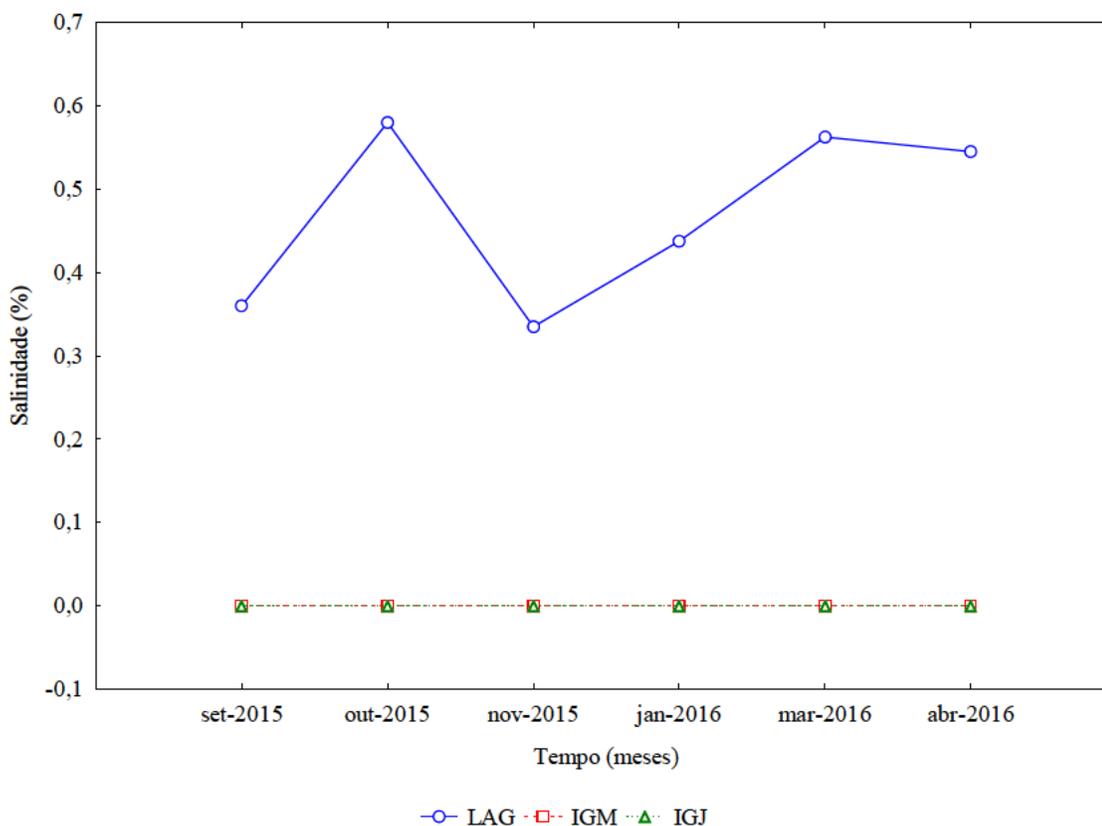
abate abaixo da média mensal no mes anterior. Em janeiro, março e abril, a precipitação mensal manteve-se inferior a 29 mm, chegando a 0,0 mm em janeiro e o número de abate aumentou, possibilitando novamente um aumento dos valores de sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica e salinidade nestes meses.

Figura 20 - Valores de Condutividade Elétrica do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.



No efluente da lagoa de infiltração os valores de sólidos totais dissolvidos, turbidez, condutividade elétrica e salinidade foram maiores que nas águas superficiais do igarapé Água Boa. Os ambientes apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os valores, indicando que os ambientes são distintos. No entanto, é importante destacar que as águas superficiais nos pontos IGM e IGJ são similares (tabela 2). Thebaldi (2013) e Ribeiro, Sandri e Boêno (2013) encontraram diferenças significativas nos valores de condutividade elétrica em pontos a montante e jusante do deságue de efluentes tratados de matadouro, mas Ribeiro, Sandri e Boêno (2013) não encontraram diferença significativa para turbidez.

Figura 21 - Valores de Salinidade do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.



Os sólidos totais dissolvidos apresentaram correlação forte, positiva e significativa ($p < 0,05$) com nove parâmetros de monitoramento, sendo eles representados pela salinidade ($r = 0,85$), índice de estado trófico ($r = 0,82$), sólidos totais ($r = 0,67$), turbidez ($r = 0,62$), coliformes totais ($r = 0,66$), bactérias heterotróficas ($r = 0,71$), nitrito ($r = 0,86$) e fósforo total ($r = 0,77$). Rolim et al. (2013), encontraram correlação muito forte ($r = 0,988$) entre a condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos, valor este próximo ao encontrado no presente estudo ($r = 0,95$).

A condutividade elétrica apresentou correlação forte a muito forte, positiva e significativa ($p < 0,05$) com sete parâmetros de monitoramento, sendo eles representados pela salinidade ($r = 0,82$), índice de estado trófico ($r = 0,78$), sólidos totais ($r = 0,68$), coliformes totais ($r = 0,63$), bactérias heterotróficas ($r = 0,76$), fósforo total ($r = 0,71$), sólidos totais dissolvidos ($r = 0,95$) e nitrito ($r = 0,91$). Apesar da condutividade elétrica ser influenciada pela temperatura (CETESB, 2009), no presente monitoramento, apresentou correlação fraca e não significativa ($p < 0,05$).

Tabela 2 - Valores de Sólidos Totais Dissolvidos (STD), Condutividade Elétrica (CE), Salinidade (SAL) e Turbidez (TURB.) do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e da água superficial do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.

Dados	Local	Meses						Média Local	DP Local	
		set/15	out/15	nov/15	jan/16	mar/16	abr/16			
STD	Concentração (mg.L ⁻¹)	LAG (P1)	374,0	587,0	344,0	449,0	584,0	556,0	482,3a	108,4
		LAG (P2)	372,0	581,0	346,0	451,0	572,0	557,0	479,8a	104,9
		LAG (P3)	370,0	580,0	346,0	445,0	561,0	554,0	476,0a	103,2
		LAG (P4)	373,0	572,0	349,0	449,0	565,0	550,0	476,3a	100,1
		IGM (P5)	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0	1,7b	0,5
		IGJ (P6)	2,0	3,0	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0b	0,6
	Média mensal	LAG	372,3	580,0	346,3	448,5	570,5	554,3	-	-
		IGM e IGJ	2,0	2,5	2,0	1,5	1,5	1,5	-	-
	DP mensal	LAG	1,7	6,2	2,1	2,5	10,1	3,1	-	-
		IGM e IGJ	261,8	408,4	243,4	316,1	402,3	390,9	-	-
CE	Concentração (µs.cm ⁻¹)	LAG (P1)	749	1174	694	891	1186	1115	968,2a	219,3
		LAG (P2)	745	1161	693	900	1145	1113	959,5a	209,4
		LAG (P3)	741	1161	691	889	1121	1108	951,8a	206,5
		LAG (P4)	750	1144	710	902	1127	1099	955,3a	195,4
		IGM (P5)	4,00	5,00	3,00	4,00	3,00	3,00	3,7b	0,8
		IGJ (P6)	5,00	7,00	4,00	3,00	4,00	4,00	4,5b	1,4
	Média mensal	LAG	746,3	1160,0	697,0	895,5	1144,8	1108,8	-	-
		IGM e IGJ	4,5	6,0	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-
	DP mensal	LAG	4,1	12,3	8,8	6,5	29,3	7,1	-	-
		IGM e IGJ	524,5	816,0	490,4	630,7	807,0	781,5	-	-
SAL	Concentração (%)	LAG (P1)	0,37	0,58	0,33	0,44	0,58	0,55	0,48a	0,11
		LAG (P2)	0,36	0,58	0,33	0,44	0,56	0,55	0,47a	0,11
		LAG (P3)	0,36	0,58	0,33	0,43	0,55	0,54	0,47a	0,11
		LAG (P4)	0,36	0,59	0,35	0,44	0,56	0,54	0,47a	0,10
		IGM (P5)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00b	0,00
		IGJ (P6)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00b	0,00
	Média mensal	LAG	0,36	0,58	0,34	0,44	0,56	0,55	-	-
		IGM e IGJ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-
	DP mensal	LAG	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-
		IGM e IGJ	0,26	0,41	0,24	0,31	0,40	0,39	-	-
TURB.	Concentração (NTu)	LAG (P1)	136,68	136,1	138,19	150,63	163,65	156,99	147,05a	11,77
		LAG (P2)	128,76	149,4	111,33	150,63	164,82	158,96	143,99a	20,15
		LAG (P3)	137,22	137,0	137,18	150,09	171,33	164,93	149,63a	15,31
		LAG (P4)	93,65	137,3	115,90	151,38	162,70	153,40	135,72a	26,27
		IGM (P5)	0,00	0,00	4,71	4,55	1,87	2,01	2,19b	2,08
		IGJ (P6)	0,00	0,00	3,39	4,17	1,53	1,64	1,79b	1,72
	Média mensal	LAG	124,08	139,9	125,65	150,68	165,63	158,57	-	-
		IGM e IGJ	0,00	0,00	4,05	4,36	1,70	1,83	-	-
	DP mensal	LAG	20,65	6,32	14,03	0,53	3,90	4,83	-	-
		IGM e IGJ	87,74	98,98	85,98	103,47	115,91	110,83	-	-

*Médias seguidas de letras diferentes na coluna, diferem entre os pontos de análise no mesmo período de coleta para $p < 0,05$, pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ($p = 0,0016$ para STD; $p = 0,0021$ para CE, $p = 0,0003$ para SAL e $p = 0,029$ para TURB.).

Já a salinidade apresentou correlação forte, positiva e significativa ($p < 0,05$) com nove parâmetros de monitoramento, sendo eles representados pelos sólidos totais dissolvidos ($r = 0,84$), condutividade elétrica ($r = 0,82$), índice de estado trófico ($r = 0,76$), sólidos totais ($r = 0,81$), turbidez ($r=0,84$), coliformes totais ($r = 0,82$), bactérias heterotróficas ($r=0,78$), nitrito ($r = 0,76$) e fósforo total ($r = 0,78$).

A turbidez apresentou correlação forte, positiva e significativa ($p < 0,05$) com seis parâmetros de monitoramento, sendo eles representados pelos sólidos totais dissolvidos ($r=0,62$), salinidade ($r = 0,84$), índice de estado trófico ($r = 0,60$), sólidos totais ($r = 0,67$), coliformes totais ($r = 0,72$) e fósforo total ($r=0,79$).

Enfim, os valores de sólidos totais dissolvidos e turbidez encontrados nas águas superficiais do igarapé Água Boa indicam que a mesma é transparente (não turva) e que na necessidade de realizar a captação para abastecimento humano, é possível dispensar a coagulação química e usar diretamente o processo de filtração lenta (VON SPERLING, 2005). Os valores de condutividade elétrica e salinidade obtidos são característicos de um ambiente não impactado e com águas doce, ou seja, com valores de condutividade elétrica e salinidade inferiores a $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e 0,5 %, respectivamente (CETESB, 2009; BRASIL, 2005).

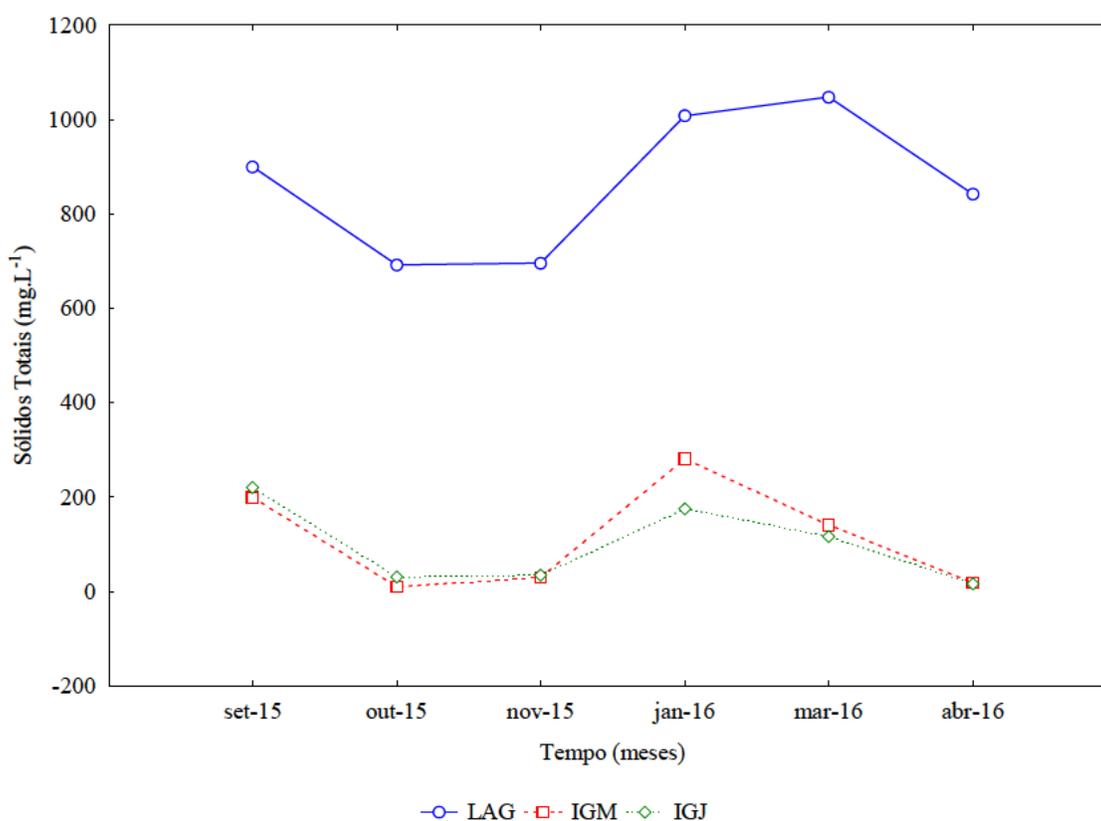
E na lagoa de infiltração, os valores encontrados são característicos de ambiente impactado, com variação de água doce a salobra e turva. Devido a isso, gera-se um efeito poluidor que pode propiciar salinidade excessiva e problemas de permeabilidade do solo (VON SPERLING, 2005). E os dados obtidos destacam a importância sanitária dos parâmetros sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica e a salinidade, pois ambos apresentaram forte correlação com coliformes e bactérias heterotróficas e conseqüentemente, podem estar associados a patogênicos.

4.1.3 Sólidos Totais

Os sólidos totais constituem a totalidade de matéria que não seja água, em um efluente, incluindo os contaminantes (BRAILE; CAVALCANTI, 1993; VON SPERLING, 2005), portanto altas concentrações podem dificultar as atividades fotossintéticas (ANDRADE; KÖNIG,1996), reter bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, promover a decomposição anaeróbia e causar danos aos peixes e à vida aquática (CETESB, 2009).

Durante o monitoramento, a concentração de sólidos totais nas águas superficiais do igarapé Água Boa variou de 10,75 mg.L⁻¹ (IGM) a 281,25 mg.L⁻¹ (IGM), com média de 106,29 mg.L⁻¹. E no efluente da lagoa de infiltração (LAG), os valores variaram de 692,13 mg.L⁻¹ a 1.047,96 mg.L⁻¹, com média de 846,41 mg.L⁻¹, ambos durante o período de setembro de 2015 a abril de 2016. Azzolini, Frinhani e Fabro (2011) encontraram concentração média de 2.341,2 mg.L⁻¹ e Ide et al. (1997) de 1.269,4 mg.L⁻¹, ambos para efluentes tratados de indústria alimentícia e com valores maiores aos encontrados em LAG (figura 22).

Figura 22 - Concentração de Sólidos Totais do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.



O valor máximo permitido para sólidos totais não foi estabelecido nas resoluções específicas para águas doces e lançamento de efluentes (BRASIL, 2005; 2011). Em relação a temporalidade, foi verificado comportamento semelhante nos ambientes monitorados, com maiores valores em setembro, janeiro e março e menores em outubro, novembro e abril

Apesar do comportamento semelhante, as concentrações de sólidos totais no efluente da lagoa de infiltração são significativamente maiores ($p < 0,05$) que nas águas superficiais do

igarapé Água Boa (tabela 3) e similares nos pontos do igarapé Água (IGM e IGJ). Além disso, a concentração de sólidos totais apresentou correlação forte e significativa ($p < 0,05$) com nove parâmetros do monitoramento, representados pelos sólidos totais dissolvidos ($r = 0,67$), condutividade elétrica ($r = 0,68$), salinidade ($r = 0,81$), índice de estado trófico ($r = 0,82$), turbidez ($r = 0,67$), coliformes totais ($r = 0,80$), bactérias heterotróficas ($r = 0,70$), nitrito ($r = 0,65$) e fósforo total ($r = 0,79$).

Tabela 3 - Concentração de Sólidos Totais (ST) do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e da água superficial do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.

ST	Local	Meses						Média Local	DP Local
		set/15	out/15	nov/15	jan/16	mar/16	abr/16		
Concentração (mg.L ⁻¹)	LAG (P1)	700,0	742,2	751,0	1087,5	1043,7	856,0	863,4a	165,4
	LAG (P2)	600,0	689,3	688,5	987,5	1119,5	759,5	807,4a	201,6
	LAG (P3)	1200,0	658,8	692,0	1043,7	1083,0	895,7	928,9a	219,4
	LAG (P4)	1100,0	678,2	652,5	912,5	945,7	859,0	858,0a	169,6
	IGM (P5)	200,0	10,8	29,5	281,2	141,0	19,5	113,7b	112,1
	IGJ (P6)	220,0	31,5	35,0	175,0	116,0	16,0	98,9b	85,1
Média mensal	LAG	900,0	692,1	696,0	1007,8	1047,9	842,5	-	-
	IGM e IGJ	210,0	21,1	32,3	228,1	128,5	17,8	-	-
DP mensal	LAG	294,4	35,7	40,8	75,6	74,9	58,2	-	-
	IGM e IGJ	487,9	474,5	469,3	551,3	650,2	583,2	-	-

*Médias seguidas de letras diferentes na coluna, diferem entre os pontos de análise no mesmo período de coleta para $p < 0,05$, pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ($p = 0,0034$).

De forma geral, os dados indicam que os sólidos totais apresentam importância sanitária, devido a relação com coliformes e bactérias heterotróficas e conseqüentemente, podem estar associados a microrganismos patogênicos. E a partir dos dados de concentração de sólidos totais e os de sólidos dissolvidos, foi verificado que nas águas superficiais do igarapé Água Boa (IGM e IGJ) predominam os sólidos suspensos (94,8 %) e nas água residuárias da lagoa de infiltração (LAG) os sólidos dissolvidos (57,3 %), ambos também evidenciados pela coloração das águas.

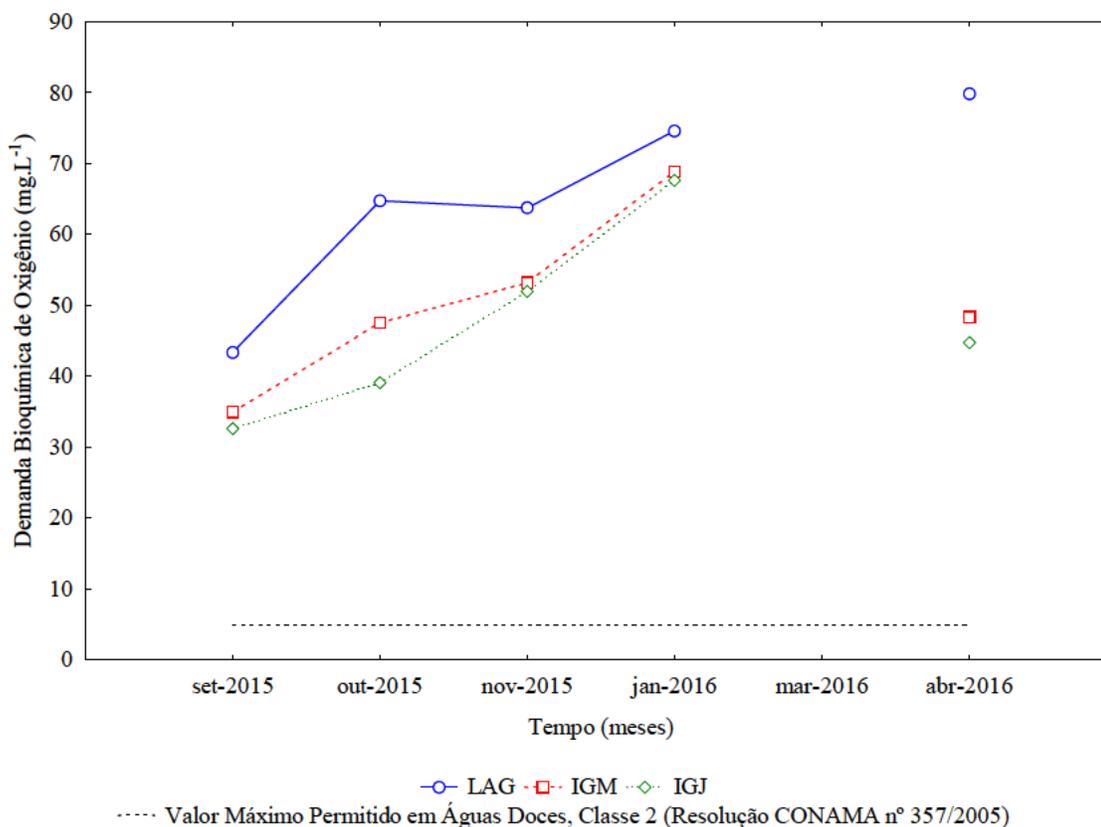
4.1.4 Demanda Bioquímica de Oxigênio

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é uma forma indireta de determinar o teor de matéria orgânica (VON SPERLING, 2005), importante no monitoramento de águas brutas

e residuárias. No caso das águas brutas, a presença de um alto teor de matéria orgânica pode indicar um incremento da microflora local e conseqüentemente produzir sabores e odores desagradáveis, induzir ao completo esgotamento do oxigênio na água e interferir no equilíbrio da vida aquática. E em relação às águas residuárias, auxilia no controle da eficiência das estações de tratamento biológico (CETESB, 2009).

Nas águas superficiais do igarapé Água Boa, as concentrações de DBO variaram de 32,63 mg.L⁻¹ (IGJ) a 68,88 mg.L⁻¹ (IGM), com média de 48,91 mg.L⁻¹. No efluente da lagoa de infiltração (LAG), as concentrações variaram de 43,40 mg.L⁻¹ a 79,86 mg.L⁻¹, com média de 65,28 mg.L⁻¹, ambos durante o período de setembro de 2015 a abril de 2016 (figura 23). É importante destacar que em março, os valores não foram obtidos, pois houve interrupção de energia no estado de Roraima (FELIX, 2016). Durante a interrupção, a amostra de DBO estava na incubadora e permaneceu por mais de 10 horas em temperaturas superiores ao determinado no procedimento, invalidando a amostra.

Figura 23 - Concentração da Demanda Bioquímica de Oxigênio do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.



No que diz respeito aos limites permitidos para águas doces de classe 2 descritos na Resolução Conama nº 357/2005, os valores obtidos no igarapé Água Boa (IGM e IGJ) não foram satisfatórios, foram superiores ao valor máximo permitido (DBO: 5 mg.L⁻¹) durante todo o período monitorado. Em relação aos padrões de lançamento de efluentes, descritos na Resolução Conama nº 430/2011, exige-se que o tratamento realize remoção mínima de 60% da DBO inicial, assim a concentração final está condicionada a concentração inicial (efluente bruto). No presente estudo não foi determinada a concentração inicial, portanto não é possível afirmar se o efluente tratado atendeu ao determinado na resolução.

Os menores valores de DBO foram encontrados em setembro, em todos os pontos. Acredita-se que isso é reflexo dos meses anteriores que apresentaram maiores índices pluviométricos do ano, ocasionando menor tempo de residência da água no igarapé e diluição dos efluentes na lagoa de infiltração. No período chuvoso ocorre o carreamento de material alóctone para os cursos d'água e revolvimento do sedimento do igarapé, mas a saída de água e matéria orgânica do sistema é mais rápida (GENTIL; TUCCI; SANT'ANA, 2008). Assim, a concentração de matéria orgânica residente é menor, devido a perda e a diluição. No caso de LAG, a saída do sistema é somente por infiltração ou evaporação, portanto, o menor valor neste mês deve-se, provavelmente, ao efeito diluidor das chuvas.

Nos meses seguintes, IGM e IGJ apresentaram aumento mensal dos valores até janeiro, onde atingiu as concentrações máximas de 68,8 mg.L⁻¹ e 67,6 mg.L⁻¹, respectivamente. E em abril, os valores reduziram em média 32 % em relação ao mês anterior. Em LAG, os valores foram crescentes em outubro, houve uma pequena redução em novembro (1,5 %) e aumentou nos meses seguintes, atingindo a concentração máxima de 79,86 mg.L⁻¹ em abril.

O aumento de DBO deve-se a menor precipitação nesse período, propiciando maior tempo de residência da água, aumento da autodepuração e conseqüentemente, aumento do consumo de oxigênio. Prova desta influência, que em abril, a precipitação aumentou e as concentrações de DBO voltaram a reduzir no igarapé (IGM e IGJ) devido ao efeito diluidor das chuvas. Isso não ocorreu em LAG, uma vez que os valores continuaram aumentando, mas neste caso o número de abate é outro fator determinante e os meses de dezembro e março apresentaram valores 13% acima da média anual de 2015, lançando maiores cargas de matéria orgânica para tratamento.

Sant'Ana (2007) monitorou dois pontos no igarapé Água Boa, próximos ao da presente pesquisa e encontrou concentração média de DBO de 0,97 mg.L⁻¹, inferior ao valor médio atual de 48,9 mg.L⁻¹, indicando que está ocorrendo uma mudança na quantidade de matéria

orgânica que entra neste ambiente. Já no efluente da lagoa de infiltração, a concentração média de DBO foi de 65,28 mg.L⁻¹, inferior as concentrações médias apresentadas por Thebaldi et al. (2013) de 203,41 mg.L⁻¹, por Santos et al. (2011) de 100,10 mg.L⁻¹, por Ribeiro, Sandri e Boêno (2013) de 75,64 mg.L⁻¹ e por Del Nery et al. (2013) de 210 mg.L⁻¹.

Apesar da matéria orgânica apresentar como forma do constituinte responsável tanto os sólidos suspensos quanto os dissolvidos (VON SPERLING, 2005), a DBO apresentou correlação forte, positiva e significativa com a turbidez ($r = 0,80$) e fraca, positiva e não significativa com sólidos totais dissolvidos ($r = 0,29$). Houve também correlação regular, positiva e significativa ($p < 0,05$) com o fósforo total ($r = 0,53$) e salinidade ($r = 0,55$).

As concentrações de DBO encontradas no efluente da lagoa de infiltração (LAG) foram similares às concentrações encontradas nas águas superficiais do igarapé Água Boa (IGM e IGJ), não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$), mesmo não havendo lançamento de efluentes no igarapé (tabela 4). Desta forma, as águas superficiais do igarapé Água Boa nos pontos IGM e IGJ apresentam concentração de DBO similar a de um efluente tratado. Na literatura, quando ocorre o lançamento de efluentes de matadouro no corpo receptor, a concentração da DBO nas águas superficiais aumenta após o lançamento, conforme apresentado por Thebaldi (2013) e Ribeiro, Sandri e Boêno (2013).

Tabela 4 - Concentração da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e da água superficial do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.

DBO	Local	Meses						Média Local	DP Local
		set/15	out/15	nov/15	jan/16	mar/16	abr/16		
Concentração (mg.L ⁻¹)	LAG (P1)	43,50	63,24	65,26	68,88	-	78,95	63,97a	12,94
	LAG (P2)	44,31	63,24	62,84	77,34	-	80,16	65,58a	14,29
	LAG (P3)	42,30	65,66	62,84	83,38	-	78,95	66,63a	16,12
	LAG (P4)	43,50	66,87	64,05	68,88	-	81,37	64,93a	13,69
	IGM (P5)	35,05	47,53	53,17	68,88	-	48,34	50,59a	12,22
	IGJ (P6)	32,63	39,07	51,96	67,67	-	44,79	47,23a	13,47
Média mensal	LAG	43,40	64,75	63,75	74,62	-	79,86	-	-
	IGM e IGJ	33,84	43,30	52,57	68,28	-	46,57	-	-
DP mensal	LAG	0,83	1,81	1,16	7,07	-	1,16	-	-
	IGM e IGJ	6,76	15,17	7,90	4,49	-	23,54	-	-

*Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem entre os pontos de análise no mesmo período de coleta para $p < 0,05$, pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ($p = 0,3840$).

Além disso, é imprescindível destacar que a demanda por oxigênio pode surgir devido a entrada no curso d'água de matéria orgânica vegetal, matéria orgânica animal, despejos industriais e despejos domésticos (VON SPERLING, 2005). E as águas superficiais do igarapé Água Boa apresentaram concentração média nove vezes superior ao limite máximo permitido para águas de classe 2 (BRASIL, 2005). Assim, compreende-se que o ambiente está sendo modificado, poluído.

4.1.5 Temperatura

A temperatura afeta a taxa de reação da maioria dos processos químicos e biológicos. Possui influência no metabolismo microbiano, o que pode afetar as taxas de estabilização da matéria orgânica. O seu aumento reduz a solubilidade do oxigênio no meio líquido e acelera os processos de absorção do oxigênio e de geração de odor nas unidades de tratamento (VON SPERLING, 2005). Nas águas superficiais do igarapé Água Boa, os valores de temperatura variaram de 28,5 °C (IGM) a 30,08 °C (IGM), com média de 29,43 °C. No efluente da lagoa de infiltração (LAG), os valores variaram de 28,60 a 30,75 °C, com média de 29,79 °C, ambos durante o período de setembro de 2015 a abril de 2016 (figura 24).

A Resolução CONAMA nº 357/2005 não determina temperatura máxima permitida em águas doces (BRASIL, 2005). Já a Resolução CONAMA nº 430/2011 determina temperatura máxima de 40 °C para que ocorra o lançamento em corpos d'água (BRASIL, 2011). Neste caso, o lançamento do efluente não é realizado em corpo d'água, mas se fosse necessário realizar, o critério foi atendido durante todo o período monitorado.

Em relação à análise temporal, os menores valores de temperatura foram encontrados em janeiro e março, com médias de 28,8 °C. E os maiores em setembro, com média de 30,2°C. Apesar das variações verificadas no período, não foram superiores a 1,15 °C nas águas superficiais do igarapé Água Boa (IGM e IGJ) e 2,15 °C no efluente da lagoa de infiltração (LAG).

As temperaturas das águas nos ambientes monitorados não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$). Assim, a temperatura dos efluentes da lagoa de infiltração apresentaram valores estatisticamente similares às temperaturas das águas superficiais do igarapé Água Boa, mesmo não havendo lançamento de efluentes no igarapé (tabela 5). E apesar da temperatura interferir nos processos biológicos e químicos da água, como discutido

anteriormente, foi o único parâmetro do monitoramento que não apresentou correlação com os demais.

Figura 24 - Valores de Temperatura do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.

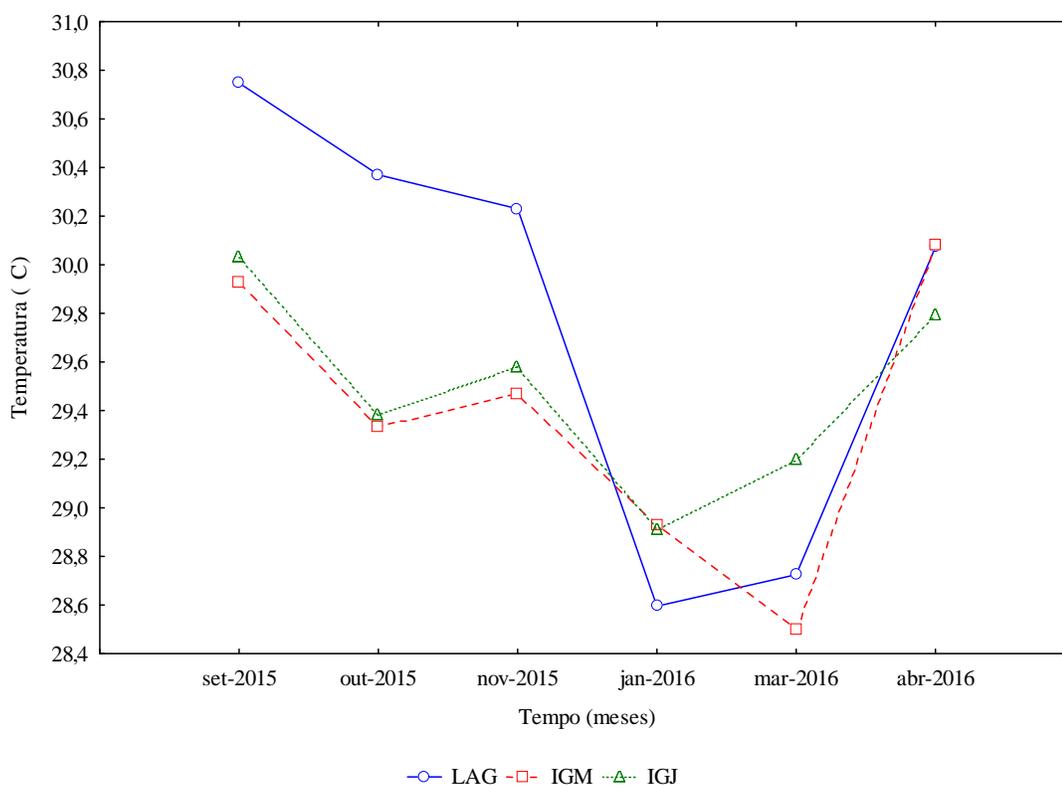


Tabela 5 - Valores de Temperatura do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e da água superficial do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.

Temperatura	Local	Meses						Média Local	DP Local
		set/15	out/15	nov/15	jan/16	mar/16	abr/16		
Valores (°C)	LAG (P1)	30,70	30,23	30,43	28,62	28,00	30,02	29,7a	1,1
	LAG (P2)	31,06	30,54	30,39	28,87	29,70	29,98	30,1a	0,8
	LAG (P3)	30,75	30,46	30,31	28,76	28,30	30,51	29,8a	1,0
	LAG (P4)	30,48	30,25	29,79	28,13	28,90	29,78	29,6a	0,9
	IGM (P5)	29,93	29,33	29,47	28,93	28,50	30,08	29,4a	0,6
	IGJ (P6)	30,03	29,38	29,58	28,91	29,20	29,79	29,5a	0,4
Média mensal	LAG	30,7	30,4	30,2	28,6	28,7	30,1	-	-
	IGM e IGJ	30,0	29,4	29,5	28,9	28,9	29,9	-	-
DP mensal	LAG	0,2	0,2	0,3	0,3	0,7	0,3	-	-
	IGM e IGJ	0,5	0,7	0,5	0,2	0,1	0,1	-	-

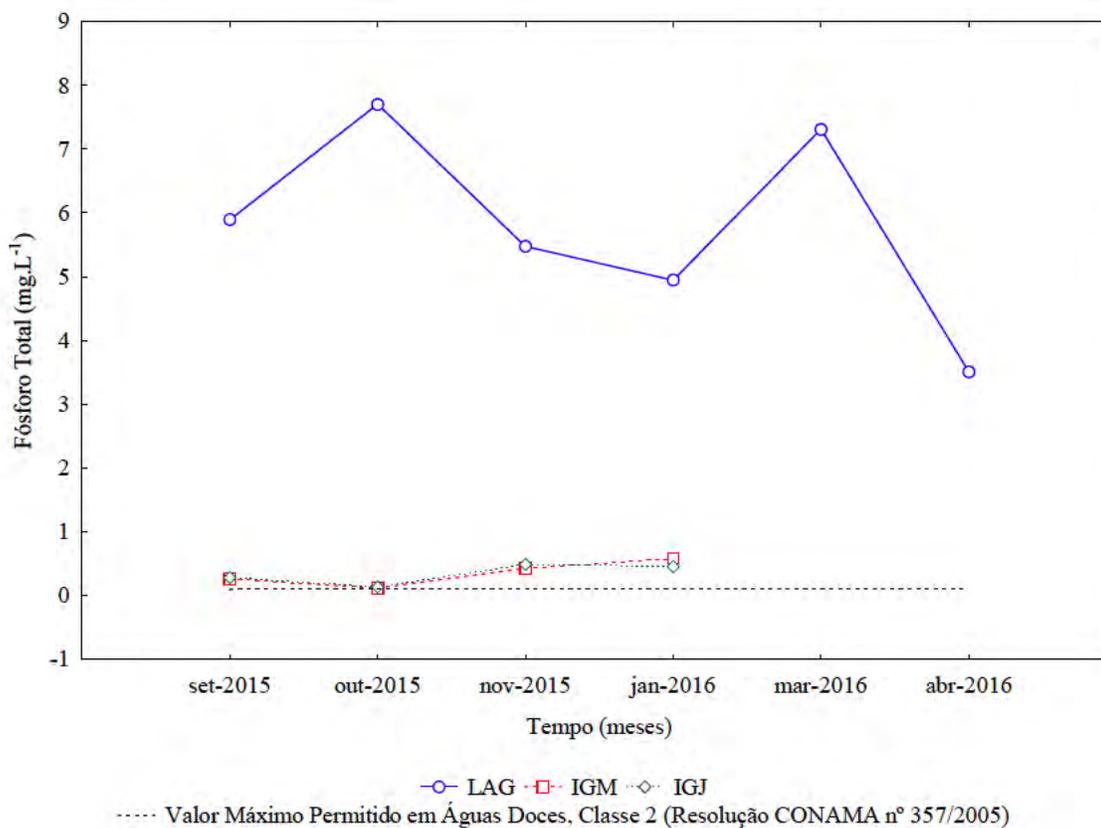
*Médias seguidas de letras iguais na coluna, não diferem entre os pontos de análise no mesmo período de coleta para $p < 0,05$, pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ($p = 0,4703$).

4.1.6 Fósforo Total

O fósforo é um nutriente limitante, um parâmetro utilizado para caracterização de águas residuárias e corpos d'água. É essencial para o crescimento dos microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica e em altas concentrações pode conduzir a um crescimento exagerado de algas e à eutrofização de ambientes aquáticos (VON SPERLING, 2005).

As concentrações de fósforo total nas águas superficiais do igarapé Água Boa variaram de $0,00 \text{ mg.L}^{-1}$ (IGM e IGJ) a $0,59 \text{ mg.L}^{-1}$ (IGM), com média de $0,35 \text{ mg.L}^{-1}$. No efluente da lagoa de infiltração (LAG) as concentrações variaram de $3,51$ a $7,70 \text{ mg.L}^{-1}$, com média de $5,81 \text{ mg.L}^{-1}$, ambos durante o período de setembro de 2015 a abril de 2016 (figura 25).

Figura 25 - Concentração de Fósforo Total do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.



As concentrações de fósforo total obtidas nas águas superficiais do igarapé Água Boa (IGM e IGJ) foram superiores ao valor máximo permitido ($0,1 \text{ mg.L}^{-1}$) para águas doces de classe 2, nos meses de setembro a novembro de 2015 e janeiro de 2016 (BRASIL, 2005). Não foi definida a concentração máxima de fósforo em efluentes tratados para o lançamento em corpos d'água receptores (BRASIL, 2011). No entanto, se fosse necessário realizar tal ação, as concentrações encontradas impossibilitariam o lançamento no igarapé Água Boa. Essa alternativa seria possível somente após estudos comprovando que o lançamento não acarretaria prejuízos para os usos previstos no enquadramento do corpo d'água (BRASIL, 2005).

Nas águas superficiais do igarapé Água Boa (IGM), a maior concentração de fósforo total foi encontrada em janeiro ($0,59 \text{ mg.L}^{-1}$) e a menor em março e abril quando não foram detectadas. Em IGJ, a maior concentração de fósforo total foi encontrada em novembro ($0,49 \text{ mg.L}^{-1}$) e a menor em março e abril quando também não foram detectadas. As concentrações foram superiores a média de $0,06 \text{ mg.L}^{-1}$ encontrada por Esbel (2006), no igarapé Grande, localizado na mesma cidade.

O período com maiores precipitações pluviométricas de 2015 ocorreram em junho, julho e agosto, período este que favorece a erosão e a entrada de solo e fósforo no sistema aquático. As concentrações de fósforo acima dos limites em IGM e IGJ em setembro ainda pode ser consequência da precipitação dos meses anteriores. O processo também é intensificado pela ocupação das áreas de preservação permanente do igarapé por balneários e sítios, que potencializa o risco de contaminação por esgotos domésticos.

Em outubro, as concentrações de fósforo total reduziram, voltaram a aumentar em novembro e janeiro, mas não foram detectadas em março e abril. Nesses meses, a precipitação foi baixa e segundo Wetzel (1993), o fósforo é um nutriente limitante da produtividade biológica, quando está presente favorece o surgimento de algas e assim é rapidamente assimilado. Desta forma, acredita-se que nos últimos meses, a demanda pelo nutriente foi superior a sua entrada.

Nos efluentes da lagoa de infiltração (LAG), a maior concentração de fósforo total foi encontrada em outubro ($7,70 \text{ mg.L}^{-1}$) e a menor em abril ($3,51 \text{ mg.L}^{-1}$), inferiores às apresentadas na literatura. Ribeiro, Sandri e Boêno (2013) e Del Nery et al (2013) encontraram médias de $12,35 \text{ mg.L}^{-1}$ e 26 mg.L^{-1} (faixa de 4 a 46 mg.L^{-1}), respectivamente. A lagoa apresenta uma dinâmica diferente do igarapé, pois constitui um corpo d'água lêntico artificial, eutrofizado e recebe diariamente efluente tratado com cargas de fósforo. Neste caso,

tanto a precipitação quanto o número de abate podem influenciar nas concentrações de fósforo.

Em agosto, foi realizada uma visita para o reconhecimento do local da pesquisa e foi observado que a lagoa estava cheia devido ao período chuvoso e as águas apresentavam coloração verde escura, parcialmente transparente. Já em setembro, as chuvas já não eram mais constantes e durante a coleta de dados foi observado que a lagoa permanecia cheia, mas a coloração era verde leitosa. Uma película verde foi formada em toda superfície da lagoa.

Essa mudança de coloração evidencia o aumento de algas no local, de produtividade biológica e consequentemente indica a presença de fósforo em setembro. Já que este nutriente é o primeiro elemento a limitar a produtividade biológica (WETZEL, 1993). Durante o mês de outubro, as águas permaneceram com a coloração verde leitosa, as concentrações de fósforo aumentaram e a película superficial era mais espessa, acumulando nas bordas da lagoa pela ação do vento. Em novembro e janeiro, havia uma película superficial azul-esverdeada, com odores acentuados, que acumulava na margem do ponto 3 (P3) da lagoa e as concentrações de fósforo reduziram continuamente. Acredita-se que essa redução seja ocasionada pela constante atividade fotossintética e assimilação do fosfato pelos microrganismos.

Já em março a concentração de fósforo aumentou. A lagoa recebeu uma carga de nutriente maior, devido a maior abate mensal do ano ter ocorrido em dezembro. Este período foi seco, a precipitação em quatro meses totalizou 42,4 mm e houve redução do nível da lagoa, propiciando a concentração de nutrientes. Com isso, a atividade fotossintética aumenta, o fósforo é assimilado pelos microrganismos e novamente em abril, a cor da água era similar a cor encontrada em agosto e as concentrações são reduzidas, atingindo os menores valores do período. Segundo Wetzel (1993), as entradas de fósforo no sistema precisam ser mais ou menos contínuas para conseguir manter níveis elevados de produtividade.

O fósforo total apresentou correlação forte, positiva e significativa ($p < 0,05$) com os sólidos totais dissolvidos ($r = 0,77$) e sólidos totais ($r = 0,79$) e ambos representam o constituinte responsável do nutriente (VON SPERLING, 2005). Além desses, apresentou correlação regular a forte, positiva e significativa ($p < 0,05$) com outros oito parâmetros do monitoramento, representados pelo pH ($r = 0,50$), condutividade elétrica ($r = 0,71$), salinidade ($r = 0,78$), índice de estado trófico ($r = 0,85$), turbidez ($r = 0,79$), coliformes totais ($r = 0,68$), bactérias heterotróficas ($r = 0,73$) e nitrito ($r = 0,66$). Em águas de abastecimento, o fósforo não representa problemas de ordem sanitária (VON SPERLING, 2005), mas em corpos d'água

e águas residuárias tratadas e brutas podem representar, destacado por sua correlação com coliformes totais e bactérias heterotróficas.

As concentrações de fósforo total no efluente da lagoa de infiltração (LAG) foram maiores que nas águas superficiais do igarapé Água Boa (IGM e IGJ), com diferenças significativas ($p < 0,05$). E as concentrações no igarapé Água Boa à montante (IGM) e à jusante (IGJ) de LAG foram similares, não diferenciam estatisticamente entre si (tabela 6). Ribeiro, Sandri e Boêno (2013), mostraram que após o lançamento do efluente tratado de matadouro no corpo d'água, a concentração média de fósforo total do ponto à montante apresentou-se menor que do ponto à jusante, mas não o suficiente para diferenciar os ambientes. Isso impossibilita afirmar que no trajeto monitorado não ocorra contribuições significativas de fósforo.

De acordo as concentrações de fósforo total obtidas no monitoramento, na lagoa de infiltração (LAG) esse nutriente tem origem principalmente antropogênica (excrementos de animais) e em concentrações que possibilitam o crescimento de algas e a eutrofização. No igarapé Água Boa, esse nutriente apresentou-se em excesso em alguns meses e não foi detectado em outros. Devido a possibilidade da entrada deste nutriente por fontes não naturais (antropogênicas), isso precisa ser controlado para evitar a degradação do curso d'água.

Tabela 6 - Concentração de Fósforo Total do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e da água superficial do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.

Fósforo Total	Local	Meses						Média Local	DP Local
		set/15	out/15	nov/15	jan/16	mar/16	abr/16		
Concentração (mg.L ⁻¹)	LAG (P1)	5,05	7,01	4,48	4,92	9,35	2,70	5,58a	2,30
	LAG (P2)	5,99	7,50	5,87	5,06	8,78	2,95	6,02a	2,01
	LAG (P3)	6,35	8,59	5,84	4,93	5,63	4,04	5,90a	1,54
	LAG (P4)	6,18	7,71	5,71	4,87	5,48	4,35	5,72a	1,17
	IGM (P5)	0,27	0,12	0,43	0,59	nd	nd	0,35b	0,20
	IGJ (P6)	0,28	0,14	0,49	0,46	nd	nd	0,34b	0,16
Média mensal	LAG	5,89	7,70	5,47	4,94	7,31	3,51	-	-
	IGM e IGJ	0,27	0,13	0,46	0,52	-	-	-	-
DP mensal	LAG	0,58	0,66	0,67	0,08	2,04	0,81	-	-
	IGM e IGJ	3,97	5,35	3,54	3,13	-	-	-	-

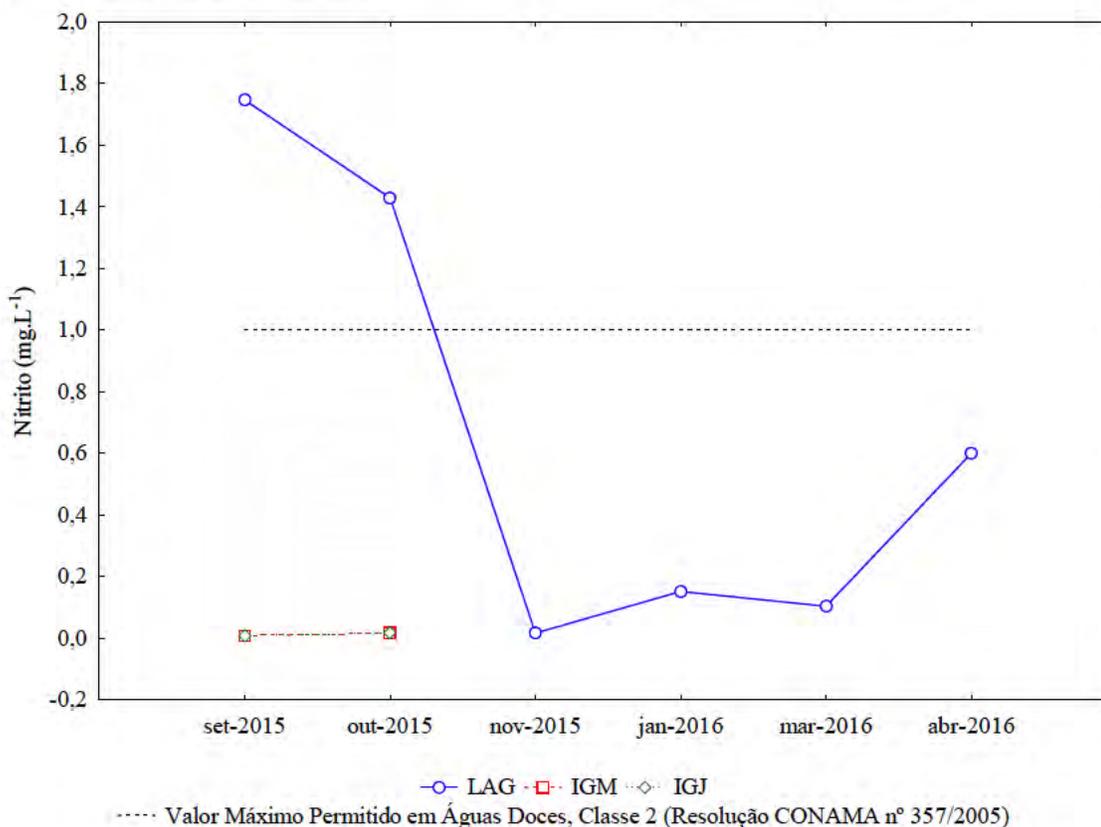
*Médias seguidas de letras diferentes na coluna, diferem entre os pontos de análise no mesmo período de coleta para $p < 0,05$, pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ($p = 0,0081$).

4.1.7 Série de Nitrogênio (Nitrogênio Amoniacal, Nitrito e Nitrato)

É um nutriente indispensável para o crescimento de algas e microrganismos responsáveis pelo tratamento de esgotos, mas em elevadas concentrações pode favorecer a eutrofização e quando na forma de amônia livre é tóxico aos peixes. Assim, a determinação da forma predominante do nitrogênio pode fornecer informações sobre o estágio da poluição e suas consequências (VON SPERLING, 2005).

Durante o monitoramento foram determinadas as concentrações de nitrito, nitrato e nitrogênio amoniacal. Devido a quantidade de concentrações não detectadas, somente o nitrito foi apresentado graficamente. Nas águas superficiais do igarapé Água Boa, o nitrito foi detectado em setembro (IGM e IGJ = $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$) e outubro (IGM e IGJ = $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$) em concentrações inferiores às médias encontradas por Thebaldi et al. (2011) de $0,07 \text{ mg.L}^{-1}$ e Ribeiro, Sandri e Boêno (2013) de $0,14 \text{ mg.L}^{-1}$ (figura 26).

Figura 26 - Concentração de Nitrito do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.



O nitrogênio amoniacal foi detectado somente em janeiro e apenas em IGM (0,01 mg.L⁻¹), em concentrações inferiores às médias encontradas por Thebaldi et al. (2011) e Ribeiro, Sandri e Boêno (2013) de 0,03 mg.L⁻¹ e 0,18 mg.L⁻¹, respectivamente. E o nitrato foi detectado em IGM (0,29 mg.L⁻¹) e IGJ (0,30 mg.L⁻¹) somente em setembro e em concentrações inferiores à média de 0,75 mg.L⁻¹ encontrada por Thebaldi et al. (2011) e 0,52 mg.L⁻¹ encontrada por Sant'Ana (2007), sendo a última no igarapé Água Boa (tabela 7).

Tabela 7 - Concentração de Nitrogênio (amoniaco, nitrato e nitrito) do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e da água superficial do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.

Dados	Local	Meses						Média Local	DP Local	
		set/15	out/15	nov/15	jan/16	mar/16	abr/16			
Nitrogênio Amoniacal	LAG (P1)	nd	nd	nd	5,78	nd	nd	5,78	-	
	LAG (P2)	nd	nd	nd	5,80	nd	nd	5,80	-	
	Concentração (mg N.L ⁻¹)	LAG (P3)	nd	nd	nd	5,72	nd	nd	5,72	-
		LAG (P4)	nd	nd	nd	5,80	nd	nd	5,80	-
		IGM (P5)	nd	nd	nd	0,01	nd	nd	0,01	-
		IGJ (P6)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-
	Média mensal	LAG	-	-	-	5,78	-	-	-	-
		IGM e IGJ	-	-	-	0,01	-	-	-	-
	DP mensal	LAG	-	-	-	0,04	-	-	-	-
		IGM e IGJ	-	-	-	4,08	-	-	-	-
	Nitrato	LAG (P1)	1,37	0,61	nd	4,20	nd	0,43	1,65a	1,75
		LAG (P2)	1,26	0,50	nd	3,78	nd	0,18	1,43a	1,63
		Concentração (mg N.L ⁻¹)	LAG (P3)	1,10	0,39	nd	4,47	nd	0,30	1,56a
LAG (P4)			1,52	0,71	nd	4,79	nd	0,64	1,92a	1,96
IGM (P5)			0,29	nd	nd	nd	nd	nd	0,14b	0,20
IGJ (P6)			0,30	nd	nd	nd	nd	nd	0,15b	0,22
Média mensal		LAG	1,31	0,55	-	4,31	-	0,39	-	-
		IGM e IGJ	0,29	-	-	0,00	-	-	-	-
DP mensal		LAG	0,18	0,14	-	0,43	-	0,20	-	-
		IGM e IGJ	0,72	-	-	3,05	-	-	-	-
Nitrito		LAG (P1)	1,73	1,75	0,02	0,15	0,14	0,44	0,71a	0,82
		LAG (P2)	1,76	1,51	0,02	0,10	0,08	0,45	0,65a	0,78
		Concentração (mg N.L ⁻¹)	LAG (P3)	1,76	0,65	0,02	0,16	0,08	0,59	0,54a
	LAG (P4)		1,74	1,80	0,02	0,19	0,11	0,91	0,79a	0,82
	IGM (P5)		0,01	0,02	nd	nd	nd	nd	0,01b	0,01
	IGJ (P6)		0,01	0,02	nd	nd	nd	nd	0,01b	0,01
	Média mensal	LAG	1,75	1,43	0,02	0,15	0,10	0,60	-	-
		IGM e IGJ	0,01	0,02	-	-	-	-	-	-
	DP mensal	LAG	0,01	0,53	0,00	0,04	0,03	0,22	-	-
		IGM e IGJ	1,23	1,00	-	-	-	-	-	-

*Médias seguidas de letras diferentes na coluna, diferem entre os pontos de análise no mesmo período de coleta para $p < 0,05$, pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ($p = 0,0081$ para nitrato e $p = 0,0039$ para nitrito).

No efluente da lagoa de infiltração (LAG) as concentrações de nitrato variaram de 0,00 mg.L⁻¹ a 4,31 mg.L⁻¹, com média de 1,64 mg.L⁻¹ e em outubro e março não foram detectadas. As médias encontradas em LAG foram intermediárias as encontradas por Thebaldi et al. (2011) e Ribeiro, Sandri e Boêno (2013), sendo 0,61 mg.L⁻¹ e 4,11 mg.L⁻¹, respectivamente. As concentrações de nitrito variaram de 0,02 mg.L⁻¹ a 1,75 mg.L⁻¹, com média de 0,67 mg.L⁻¹, média superior às encontradas por Thebaldi et al. (2011) e Ribeiro, Sandri e Boêno (2013), sendo 0,18 mg.L⁻¹ e 0,23 mg.L⁻¹, respectivamente. E em relação ao nitrogênio amoniacal, Thebaldi et al. (2011) encontraram média de 0,36 mg.L⁻¹ e Ribeiro, Sandri e Boêno (2013) de 0,43 mg.L⁻¹ em efluentes tratados de matadouro. A concentração de nitrogênio amoniacal em LAG foi superior às encontradas na literatura (5,78 mg.L⁻¹), mas como este nutriente foi detectado somente em janeiro, indica certa semelhança com as médias encontradas na literatura, ambos com baixas concentrações para este tipo de efluente tratado.

A concentração máxima de nitrogênio amoniacal, nitrato e nitrito em águas doces de classe 2 é 2 mgN.L⁻¹, 10 mgN.L⁻¹ e 1 mg N.L⁻¹, respectivamente (BRASIL, 2005). Assim, as concentrações obtidas nas águas superficiais do igarapé Água Boa (IGM e IGJ) foram satisfatórias em todo o período monitorado, pois foram inferiores ao valor máximo permitido previsto para essa classe. E para que possa ocorrer o lançamento de efluentes tratados em corpos d'água, a concentração máxima é definida apenas para o nitrogênio amoniacal, como 20 mg.L⁻¹ (BRASIL, 2011). Apesar do efluente apresentar padrão de lançamento para nitrogênio amoniacal, as concentrações deste nutriente em janeiro e de nitrito em setembro e outubro foram superiores ao limite previsto para águas doces de classe 2. Assim, se fosse necessário realizar o lançamento do efluente tratado no igarapé Água Boa, seria possível somente após a elaboração de estudos específicos, comprovando que o lançamento não alteraria o enquadramento do corpo d'água (BRASIL, 2005).

No efluente da lagoa de infiltração, esperava-se realmente encontrar baixas concentrações de nitrogênio amoniacal devido ao tempo de detenção do tratamento biológico. E isso foi confirmado, mas foram encontradas também concentrações reduzidas de nitrito e nitrato, indicando que durante o tratamento ocorre nitrificação e desnitrificação. Segundo Von Sperling (2005), no processo de nitrificação, o nitrogênio amoniacal é oxidado a nitrito e depois a nitrato e em ambientes propícios a desnitrificação, o nitrato é convertido a nitrito e depois é perdido como nitrogênio gasoso. E em algumas condições, ocorre também a perda de amônia por volatilização.

As concentrações de nitrato e nitrito foram maiores no efluente da lagoa de infiltração que nas águas superficiais do igarapé Água Boa, com diferenças significativas ($p < 0,05$) entre

os ambientes monitorados (tabela 7). Os valores de nitrogênio amoniacal não foram analisados estatisticamente, devido a grande incidência de valores não detectados.

Os sólidos totais dissolvidos e os suspensos (turbidez) são as formas dos constituintes responsáveis do nitrogênio, mas apenas o primeiro apresentou correlação significativa ($p < 0,05$) com o nitrito ($r = 0,86$) e o nitrato ($r = 0,56$). Houve correlação regular, positiva e significativa ($p < 0,05$) entre o nitrato e a clorofila a ($r = 0,56$), uma fonte natural de nitrogênio. E correlação regular, positiva e significativa ($p < 0,05$) entre o nitrito e os coliformes termotolerantes ($r = 0,53$), que são encontrados em excrementos de animais, uma fonte antropogênica de nitrogênio (VON SPERLING, 2005).

O nitrato¹ e o nitrito² apresentaram correlação positiva e significativa ($p < 0,05$) com outros 8 parâmetros do monitoramento, sendo representados pela condutividade elétrica ($r = 0,59^1$; $r = 0,91^2$), salinidade ($r = 0,51^1$; $r = 0,76^2$), índice de estado trófico ($r = 0,76^1$; $r = 0,81^2$), sólidos totais ($r = 0,64_1$; $r = 0,65^2$), coliformes totais ($r = 0,55^1$; $r = 0,56^2$), bactérias heterotróficas ($r = 0,53^1$; $r = 0,75^2$), nitrito ($r = 0,71^1$), nitrato ($r = 0,71^2$) e fósforo total ($r = 0,50^1$; $r = 0,66^2$).

Enfim, as concentrações de nitrogênio encontradas nas águas superficiais do igarapé Água Boa são inferiores ao limite máximo para águas doces de classe 2 e não indicam contaminação recente por esgotos. No efluente da lagoa de infiltração, as concentrações estão sendo reduzidas por processos naturais e nos dois ambientes as concentrações de nitrogênio inorgânico foram inferiores às concentrações de fósforo.

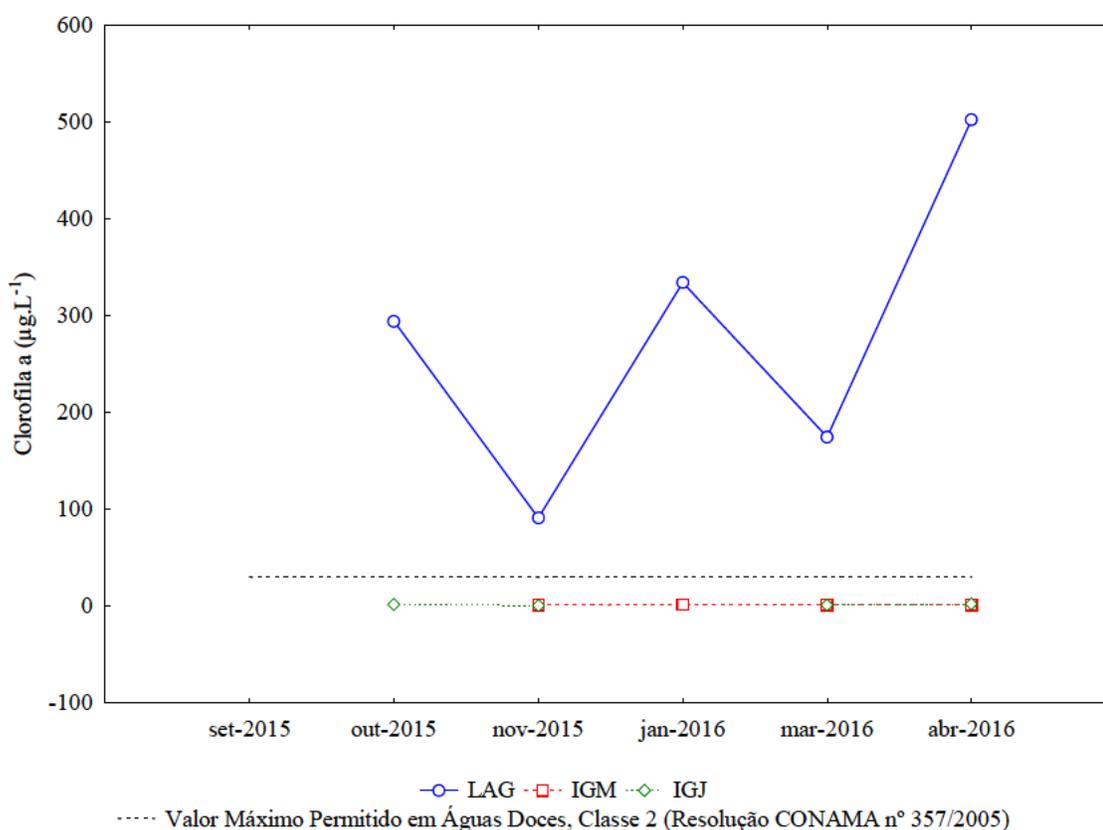
4.1.8 Clorofila a

A determinação de clorofila a possibilita avaliar o grau de enriquecimento de corpos d'água por nutrientes, uma ferramenta importante na avaliação de impacto de contaminantes orgânicos e inorgânicos e outros distúrbios (CETESB, 2014).

Nas águas superficiais do igarapé Água Boa, as concentrações de clorofila a variaram de $0,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ (IGJ e IGM) a $2,18 \mu\text{g.L}^{-1}$ (IGJ), com média de $1,12 \mu\text{g.L}^{-1}$. E nos efluentes da lagoa de infiltração (LAG), as concentrações variaram de $90,88$ a $502,12 \mu\text{g.L}^{-1}$, com média de $279,10 \mu\text{g.L}^{-1}$, ambos durante o período de outubro de 2015 a abril de 2016 (figura 27). É importante destacar que não foi detectada clorofila a no ponto IGM em outubro e em IGJ em janeiro, por isso os dados não constam no gráfico da figura 27. Além disso, em setembro a determinação não foi realizada devido a problemas operacionais.

As concentrações de clorofila a nas águas superficiais do igarapé Água Boa (IGM e IGJ) foram satisfatórias para águas doces de classe 2 em todo o período monitorado, pois foram inferiores a $30 \mu\text{g.L}^{-1}$ (BRASIL, 2005). Em relação ao lançamento de efluentes em corpos d'água, não foi definido limite máximo para clorofila a (BRASIL, 2011), mas as concentrações encontradas nas águas residuárias da lagoa de infiltração impossibilitam o lançamento do mesmo no igarapé Água Boa, se fosse necessário realizar tal procedimento.

Figura 27 - Concentração de Clorofila a do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.



As concentrações de clorofila a nas águas superficiais do igarapé Água Boa apresentaram pequenas variações durante o monitoramento. Em IGM, a maior concentração foi encontrada no mesmo mês com maiores concentrações de fósforo, isso não ocorreu em IGJ, mas ambos apresentaram médias similares de clorofila a e fósforo no período (tabela 8).

Nas águas residuárias da lagoa de infiltração (LAG), a maior concentração de clorofila a foi encontrada em abril ($502,11 \mu\text{g.L}^{-1}$) e a menor em outubro ($90,88 \mu\text{g.L}^{-1}$), valores superiores ao encontrado por Ide et al. (1997) em efluente tratado ($3,46 \mu\text{g.L}^{-1}$). As maiores

concentrações de clorofila a na lagoa de infiltração (LAG) não foram encontradas no mês com maiores concentrações de fósforo total, o comportamento foi inverso.

Estudos sobre a correlação entre o fósforo total e a clorofila em ambientes aquáticos indicam que quando a correlação é forte, a maior parte do fósforo total está na forma particulada, representado na maior parte pelo próprio fitoplâncton. Em situação oposta, quando a correlação é baixa, significa que outros fatores podem controlar a abundância de fitoplâncton (TUNDISI; TUNDISI, 2008), indicando uma relação específica para cada ambiente aquático. Além disso, muitas espécies de algas, especialmente as cianobactérias, absorvem nutrientes ativamente, mesmo quando a concentração interna é maior do que a externa, mas ainda há concentrações significativas de nutrientes no meio. Este mecanismo possibilita que populações de algas continuem a crescer e reproduzir-se mesmo após o esgotamento de nutrientes do meio (ESTEVES, 2011).

As concentrações de clorofila a nas águas residuárias da lagoa de infiltração (LAG) são maiores que nas águas superficiais do igarapé Água Boa (IGM e IGJ), com diferenças significativas ($p < 0,05$), chegando a atingir uma concentração 328 vezes maior (tabela 8).

Tabela 8 - Concentração de Clorofila a do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e da água superficial do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.

Clorofila a	Local	Meses						Média Local	DP Local
		set/15	out/15	nov/15	jan/16	mar/16	abr/16		
Concentração ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	LAG (P1)	-	645,08	97,42	397,39	291,62	583,61	403,02a	221,95
	LAG (P2)	-	202,26	89,40	370,21	99,79	201,96	192,72a	112,91
	LAG (P3)	-	156,37	71,58	298,93	74,25	609,44	242,11a	225,15
	LAG (P4)	-	172,85	105,14	269,08	232,25	613,45	278,56a	197,25
	IGM (P5)	-	nd	0,89	1,78	0,89	0,89	0,89b	0,63
	IGJ (P6)	-	1,34	0,30	nd	0,67	2,18	0,90b	0,87
Média mensal	LAG	-	294,14	90,88	333,90	174,48	502,12	-	-
	IGM e IGJ	-	0,67	0,59	0,89	0,78	1,53	-	-
DP mensal	LAG	-	234,73	14,39	59,93	104,38	200,54	-	-
	IGM e IGJ	-	207,52	63,84	235,47	122,82	353,96	-	-

*Médias seguidas de letras diferentes na coluna, diferem entre os pontos de análise no mesmo período de coleta para $p < 0,05$, pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ($p=0,0134$).

Ademais, a clorofila a foi o único parâmetro do monitoramento que apresentou correlação tanto com coliformes termotolerantes ($r=0,62$) quanto com *E. coli* ($r=0,61$) destacando a importância do monitoramento desta variável no âmbito biológico, mas também sanitário.

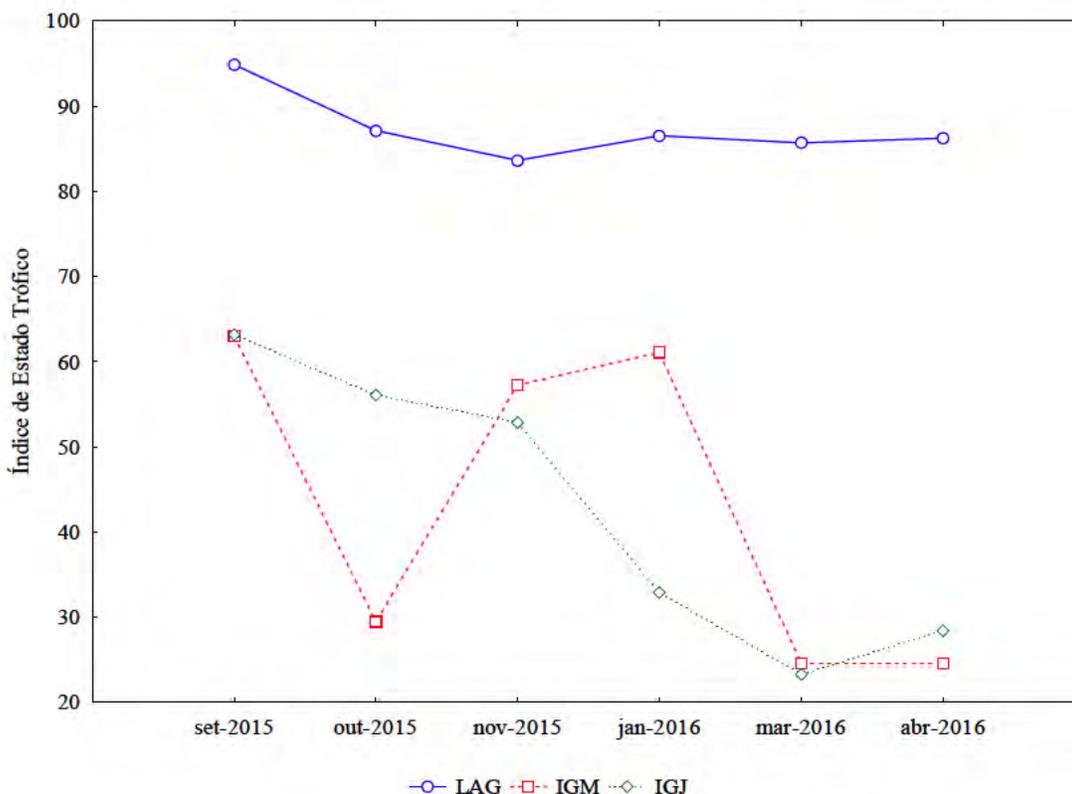
4.1.9 Índice do Estado Trófico

O Índice do Estado Trófico (IET) avalia o enriquecimento por nutrientes e seus efeitos relacionados ao crescimento excessivo de algas, auxiliando no diagnóstico, ao unir variáveis em um único número (CETESB, 2014).

O valor máximo para IET não está definido em resolução. O intuito foi determinar o valor do índice para as águas superficiais do igarapé Água Boa (IGM e IGJ) e confirmar a eutrofização da lagoa de infiltração (LAG), pois o mesmo recebe efluentes de um processo de tratamento biológico que demanda um adequado balanço de C:N:P para o desenvolvimento dos microrganismos (VON SPERLING, 2005), portanto é um ambiente eutrofizado.

Nas águas superficiais do igarapé Água Boa, o índice de estado trófico variou de 23,30 (IGJ) a 63,23 (IGJ), com média de 43,28. E nas águas residuárias da lagoa de infiltração (LAG), os valores variaram de 83,65 a 94,88, com média de 87,36, ambos durante o período de outubro de 2015 a abril de 2016 (figura 28).

Figura 28 - Valores do Índice de Estado do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.



O índice variou nos meses monitorados de ultraoligotrófico a eutrófico em IGM e de ultraoligotrófico a supereutrófico em IGJ, mas ambos apresentaram médias que os classificaram em um ambiente ultraoligotrófico. Os pontos IGM e IGJ apresentaram concentrações de fósforo total superiores ao valor máximo permitido em quatro das seis coletas do monitoramento, mas em relação a clorofila, os valores foram baixos em todo o período monitorado, inclusive não foi detectada em outubro (IGM) e janeiro (IGJ) refletindo nos valores invertidos e na classificação do estado trófico nesses meses. Foi verificado também que houve maiores variações entre os índices de IGM e IGJ nos meses em que a clorofila a não foi detectada, que quando o fosfato não foi detectado. E em IGM e IGJ o IET mensal determinado pelo índice da clorofila a não coincidiu com o determinado pelo índice do fósforo. Segundo CETESB (2014), isso ocorre em corpos hídricos em que o processo esteja limitado por fatores ambientais, como a temperatura da água ou a baixa transparência. No entanto, o IET final, considerando todo o período foi igual para clorofila a e fósforo total.

Em relação as águas residuárias da lagoa de infiltração (LAG), já foi apresentado e discutido anteriormente que as concentrações de clorofila a e fósforo total foram superiores aos valores máximos permitidos para lançamento em corpos hídricos enquadrados em classe 2. E conforme esperado, o estado trófico do ambiente foi classificado como hipereutrófico em todo o período monitorado e o IET determinado pelo índice da clorofila a coincidiu com o determinado pelo índice do fósforo, indicando que o processo de eutrofização encontra-se plenamente estabelecido (CETESB, 2014).

Houve diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os valores do índice trófico nos ambientes monitorados (tabela 9), indicando que os valores de IET encontrados na lagoa de infiltração com efluentes tratados são diferentes estatisticamente dos valores encontrados no Igarapé Água Boa (IGM e IGJ). E os valores dos pontos IGM e IGJ não diferenciam estatisticamente entre si. Além disso, o IET apresentou correlação forte, positiva e significativa ($p < 0,05$) com dez parâmetros do monitoramento, sendo esses representados por alguns nutrientes (nitrogênio e fósforo), parâmetros microbiológicos e principalmente parâmetros físicos, tais como os sólidos totais dissolvidos ($r = 0,82$), condutividade elétrica ($r = 0,77$), salinidade ($r = 0,76$), sólidos totais ($r = 0,92$), turbidez ($r = 0,63$), coliformes totais ($r = 0,73$), bactérias heterotróficas ($r = 0,73$), nitrato ($r = 0,82$), nitrito ($r = 0,75$) e fósforo total ($r = 0,85$).

Segundo Von Sperling (2005), o processo de eutrofização ocorre em ambientes lênticos, principalmente em ambientes pertencentes à sistemas de tratamento, devido às condições ambientais serem mais favoráveis para o crescimento de algas e outras plantas. Isso

pode ser observado na lagoa de infiltração com águas residuárias tratadas, onde a mesma foi classificada como hipereutrófico, com a eutrofização plenamente estabelecida. Já em ambientes lóticos, a eutrofização também pode ocorrer, embora seja menos frequente devido a turbidez e velocidades elevadas. E isso também foi observado nas águas superficiais do igarapé Água Boa, classificada como ultraoligotrófica.

Tabela 9 - Valores do Índice de Estado Trófico (IET) do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e da água superficial do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.

IET	Local	Meses						Média Local	DP Local
		set/15	out/15	nov/15	jan/16	mar/16	abr/16		
Valores	LAG (1)	93,97	89,24	83,25	86,98	88,17	86,11	87,95a	3,59
	LAG (2)	95,00	86,60	83,86	86,89	85,35	83,78	86,91a	4,17
	LAG (3)	95,36	86,38	83,30	86,29	83,28	87,44	87,01a	4,44
	LAG (4)	95,19	86,30	84,17	86,00	86,00	87,68	87,56a	3,90
	IGM (5)	62,98	29,50	57,28	61,09	24,55	24,55	43,32b	18,94
	IGJ (6)	63,23	56,12	55,49	32,89	23,30	28,42	43,24b	16,97
Média mensal	LAG	94,88	87,13	83,65	86,54	85,70	86,25	-	-
	IGM e IGJ	63,10	42,81	56,39	46,99	23,93	26,49	-	-
DP mensal	LAG	0,62	1,41	0,45	0,47	2,01	1,79	-	-
	IGM e IGJ	22,47	31,34	19,28	27,97	43,68	42,26	-	-

*Médias seguidas de letras diferentes na coluna, diferem entre os pontos de análise no mesmo período de coleta para $p < 0,05$, pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ($p = 0,0033$). **Em setembro, o IET foi calculado apenas com as concentrações de fósforo total, pois devido a problemas operacionais a clorofila a não foi determinada. E nos meses em que a clorofila a ou o fósforo total não foram detectados nas amostras, considerou-se $IET (CLa) = 0$ e $IET (P_T) = 0$, no cálculo do IET médio.

4.1.10 Coliformes Totais, Termotolerantes, Escherichia coli e Bactérias Heterotróficas.

As bactérias do grupo coliforme são utilizadas como indicadores de contaminação fecal, pois podem indicar se a água foi contaminada por fezes e se por isso apresenta potencialidade para transmitir doenças (VON SPERLING, 2005). Já as heterotróficas, apesar da maioria não ser patogênica, pode representar riscos a saúde e provocar o aparecimento de odores desagradáveis. Além disso, sabe-se que um aumento na população desta bactéria pode comprometer a detecção de bactérias do grupo coliformes, por isso a necessidade de análise conjunta (BRASIL, 2006).

No período de outubro de 2015 a abril de 2016, a densidade de coliformes totais nas águas superficiais do igarapé Água Boa (IGM) variou de $1.300 \text{ NMP.100mL}^{-1}$ a $4.900 \text{ NMP.100mL}^{-1}$, com média de $2.917 \text{ NMP.100mL}^{-1}$. Desta média de coliformes totais, 357

NMP.100mL⁻¹ (12,23%) representam os coliformes termotolerantes e deste último grupo, 347 NMP.100mL⁻¹ (97,20%) são *Escherichia coli* (*E. coli*). Em IGJ, a densidade de coliformes totais variou de 790 NMP.100mL⁻¹ a 24.000 NMP.100mL⁻¹, com média de 9.298 NMP.100mL⁻¹. Desta média de coliformes totais, 965 NMP.100mL⁻¹ (10,38%) representam os coliformes termotolerantes e deste último grupo, 607 NMP.100mL⁻¹ (62,93%) são *E. coli* (tabelas 10, 11 e 12). Sant'Ana (2007) monitorou dois pontos no igarapé Água Boa e encontrou densidades médias de coliformes termotolerantes iguais a 22 NMP.100mL⁻¹ e 21 NMP.100mL⁻¹, indicando que, em uma escala temporal, houve depreciação da qualidade da água neste ambiente. Em relação a densidade de bactérias heterotróficas, os valores variaram de 60 UFC.100mL⁻¹ (IGM) a 700 UFC.100mL⁻¹ (IGJ), com média de 437 UFC.100mL⁻¹.

Tabela 10 - Densidade de Coliformes Totais, Coliformes Termotolerantes, *Escherichia coli* e Bactérias Heterotróficas do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro e outubro de 2015.

	Dados*	Local	Coliformes Totais	Coliformes Termotolerantes	<i>Escherichia coli</i>	Bactérias Heterotróficas
set/15	Densidade	LAG (1)	160.000	4.300	10	2.850
		LAG (2)	92.000	7.900	20	1.790
		LAG (3)	11.000	21	10	3.000
		LAG (4)	54.000	700	0	7.070
		IGM (5)	2.800	24	0	380
		IGJ (6)	24.000	2.100	0	520
	Média mensal	LAG	79.250	3.230	10	3.678
		IGM e IGJ	13.400	1.062	0	450
	DP mensal	LAG	63.189	3.635	8	2324
		IGM e IGJ	46.563	1.533	7	2282
out/15	Densidade	LAG (1)	17.000	17	11	3.000
		LAG (2)	17.000	10	8	4.450
		LAG (3)	35.000	220	130	5.540
		LAG (4)	92.000	330	350	2.400
		IGM (5)	1.300	220	220	700
		IGJ (6)	1.700	110	79	480
	Média mensal	LAG	40.250	144	125	3.848
		IGM e IGJ	1.500	165	150	590
	DP mensal	LAG	35.528	157	160	1.419
		IGM e IGJ	27.400	14	17	2.303

* A densidade de coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* é em NMP.100mL⁻¹ e a de bactérias heterotróficas em UFC.100mL⁻¹.

Tabela 11 - Densidade de Coliformes Totais, Coliformes Termotolerantes, Escherichia coli e Bactérias Heterotróficas do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de novembro de 2015 e janeiro de 2016.

Dados	Local	Coliformes Totais	Coliformes Termotolerantes	Escherichia coli	Bactérias Heterotróficas		
nov/15	Densidade	LAG (1)	54.000	49	23	2.957	
		LAG (2)	92.000	24	24	2.615	
		LAG (3)	160.000	330	330	2.720	
		LAG (4)	160.000	33	33	4.000	
		IGM (5)	4.600	130	130	120	
		IGJ (6)	790	49	49	690	
	Média mensal	LAG	116.500	109	103	3.073	
		IGM e IGJ	2.695	90	90	405	
	DP mensal	LAG	52.570	147	151	634	
		IGM e IGJ	80.472	13	9	1.886	
	jan/16	Densidade	LAG (1)	35.000	490	490	3.000
			LAG (2)	92.000	1.300	1.300	4.490
LAG (3)			160.000	490	490	6.350	
LAG (4)			160.000	2.400	2.400	4.110	
IGM (5)			4.900	17	17	320	
IGJ (6)			13.000	13	13	670	
Média mensal		LAG	111.750	1.170	1.170	4.488	
		IGM e IGJ	8.950	15	15	495	
DP mensal		LAG	60.378	904	904	1.393	
		IGM e IGJ	72.690	816	816	2.823	

* A densidade de coliformes totais, coliformes termotolerantes e escherichia coli é em NMP.100mL⁻¹ e a de bactérias heterotróficas em UFC.100mL⁻¹.

Nos efluentes da lagoa de infiltração (LAG), a densidade de coliformes totais variou de 40.250 NMP.100mL⁻¹ a 160.000 NMP.100mL⁻¹, com média de 100.354 NMP.100mL⁻¹. Desta média de coliformes totais, 5.448 NMP.100mL⁻¹ (5,43%) representam os coliformes termotolerantes e deste último grupo, 3.693 NMP.100mL⁻¹ (67,80%) são E. coli. A densidade foi similar à encontrada por Imolene et al. (1999) para um efluente tratado de matadouro em lagoa de estabilização (coliformes totais = 160.000 NMP.100mL⁻¹) e inferior ao encontrado por Azzolini, Frinhani e Fabro (2011) para um efluente tratado de agroindústria (coliformes totais = 367.500 NMP.100mL⁻¹ e coliformes termotolerantes = 283,587 NMP.100mL⁻¹). Já a densidade de bactérias heterotróficas variou de 2.745 UFC.100mL⁻¹ a 3.848 UFC.100mL⁻¹, com média de 3.511 UFC.100 mL⁻¹.

Tabela 12 - Densidade de Coliformes Totais, Coliformes Termotolerantes, Escherichia coli e Bactérias Heterotróficas do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de março e abril de 2016.

	Dados	Local	Coliformes Totais	Coliformes Termotolerantes	Escherichia coli	Bactérias Heterotróficas	
mar/16	Densidade	LAG (1)	3.500	1.300	140	1.960	
		LAG (2)	160.000	430	21	3.050	
		LAG (3)	54.000	2.100	2	3.840	
		LAG (4)	160.000	3.900	46	4.080	
		IGM (5)	2.200	49	13	560	
		IGJ (6)	3.300	17	2	670	
	Média mensal	LAG	94.375	1.933	52	3.233	
		IGM e IGJ	2.750	33	8	615	
	DP mensal	LAG	78.531	1.478	61	955	
		IGM e IGJ	64.788	1.343	31	1.850	
	abr/16	Densidade	LAG (1)	160.000	2.400	2400	2.500
			LAG (2)	160.000	13.000	2400	1.990
LAG (3)			160.000	35.000	24000	5.010	
LAG (4)			160.000	54.000	54000	1.490	
IGM (5)			1.700	1.700	1700	60	
IGJ (6)			13.000	3.500	3500	70	
Média mensal		LAG	160.000	26.100	20700	2748	
		IGM e IGJ	7.350	2.600	2600	65	
DP mensal		LAG	0,0	23.028	24.423	1.563	
		IGM e IGJ	107.939	16.617	12.798	1.896	

* A densidade de coliformes totais, coliformes termotolerantes e escherichia coli é em NMP.100mL⁻¹ e a de bactérias heterotróficas em UFC.100mL⁻¹.

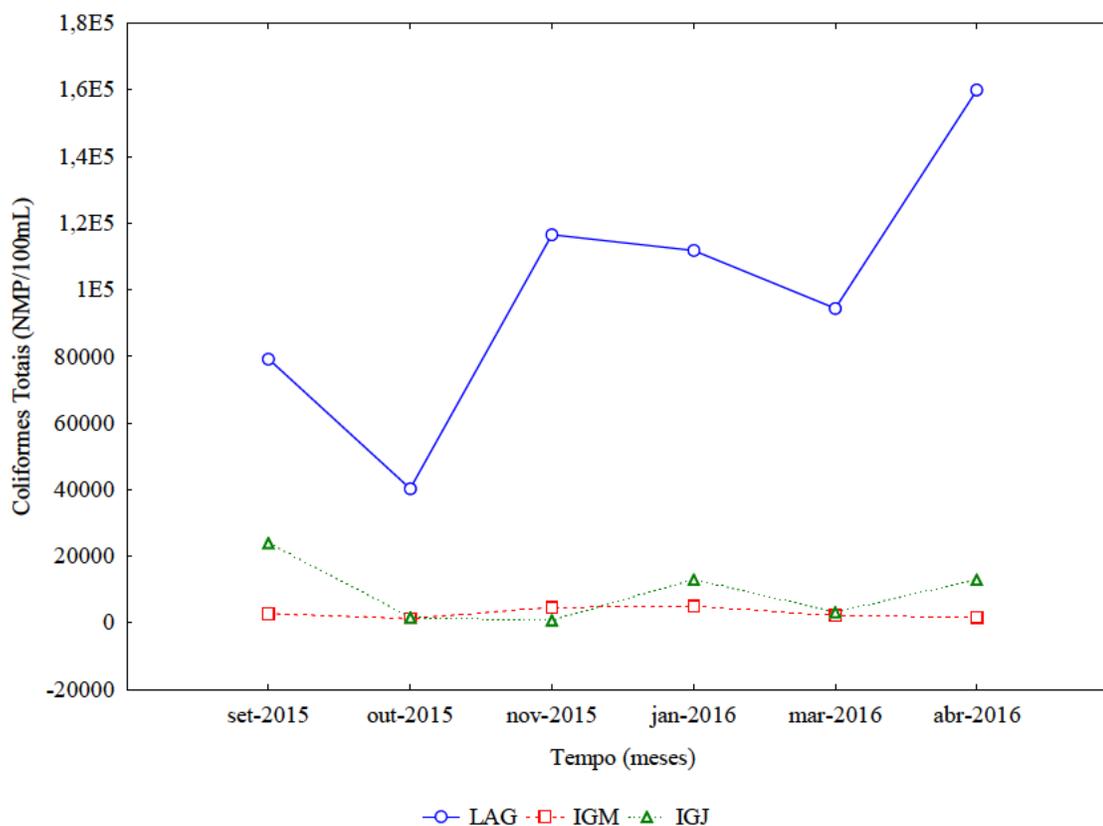
O valor máximo permitido para coliformes totais em águas doces (classe 2), lançamento de efluentes e para contato direto (balneabilidade) não foi estabelecido pelas resoluções específicas, somente para coliformes termotolerantes e E.coli (BRASIL, 2000; 2005; 2011). Em relação a coliformes termotolerantes, o valor máximo é de 1000 NMP/100mL, em 80% ou mais de pelo menos seis amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral (BRASIL, 2005).

Esse monitoramento não foi realizado com frequência bimestral e não abrangeu um ano, mas a partir dos dados coletados foi possível verificar que IGM, IGJ e LAG apresentaram densidades de coliformes termotolerantes inferiores a 1000 NMP.100mL⁻¹ em 66,6%, 66,6% e 33,3% das amostras, respectivamente (figuras 29, 30 e 31).

Em relação a balneabilidade, a água é considerada imprópria para a recreação de contato primário quando o valor obtido na última amostragem for superior a 2.500 NMP.100mL⁻¹ para coliformes termotolerantes e 2000 NMP.100mL⁻¹ para E. coli (BRASIL,

2000). Diante disso, somente IGJ foi considerada imprópria e apenas em abril. O ponto LAG não possui esse uso (recreação de contato primário), portanto não foi classificado.

Figura 29 - Densidade de Coliformes Totais do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.

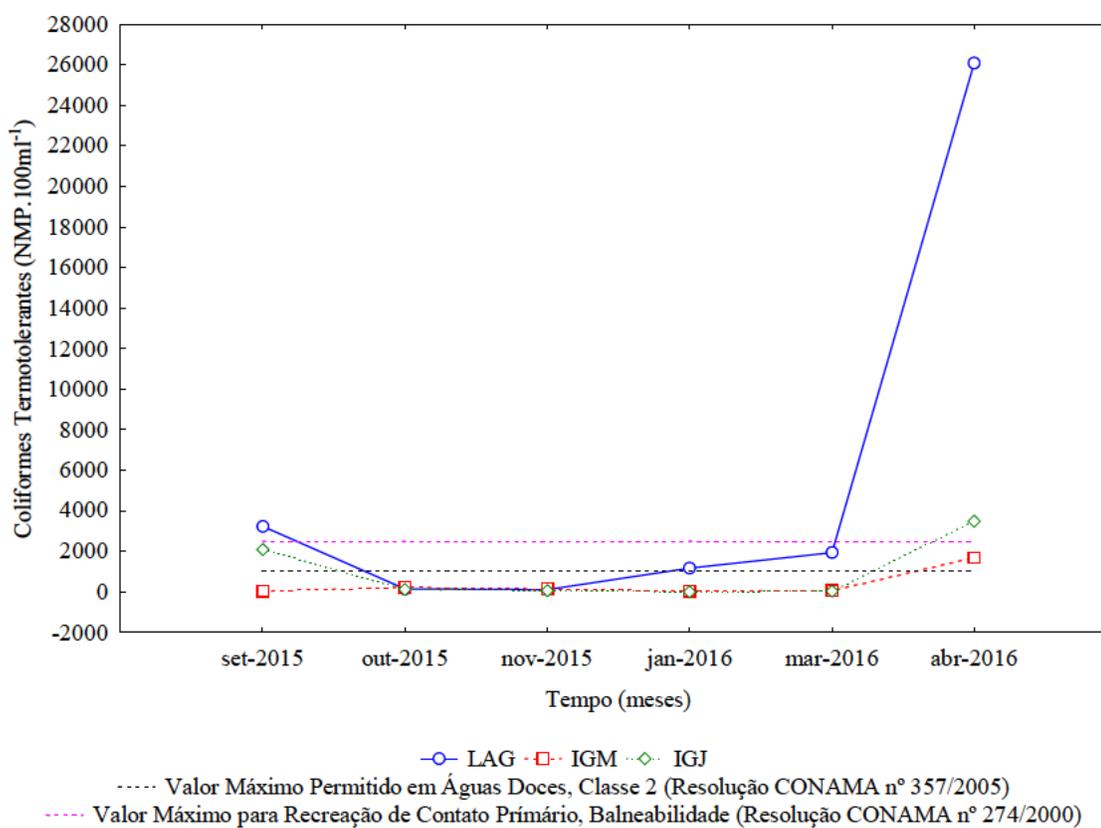


A densidade máxima permitida de bactérias heterotróficas não foi estabelecida pelas resoluções específicas para qualidade de águas doces e lançamento de efluentes (BRASIL, 2005; 2011). No entanto, em ambientes de tratamento por processo biológico, as bactérias são fundamentais para a estabilização da matéria orgânica, portanto serão sempre encontradas. Já em ambientes naturais, como no igarapé Água Boa, as bactérias indicarão a qualidade bacteriológica da água e estarão presentes com a mesma função, mas espera-se encontrar com densidades inferiores se não houver lançamento de esgotos, dentre outras fontes de matéria orgânica.

Nas águas superficiais do igarapé Água Boa, as maiores densidades de coliformes totais foram encontradas em setembro (IGJ) e janeiro (IGM) e de coliformes termotolerantes e E. coli em abril. Esperava-se encontrar as maiores densidades de coliformes termotolerantes e E. coli em janeiro e março, pois nesses meses é maior o número de visitas aos balneários e

sítios e pode aumentar o risco de contaminação por dejetos humanos provenientes de fossas negras e lançamento direto de rede de esgoto clandestina no igarapé. No entanto, neste período foram encontradas as menores densidades de coliformes termotolerantes e E.coli. Além disso, os maiores valores encontrados em abril apresentaram um padrão distinto dos meses anteriores, acredita-se que seja contaminação pontual ou a precipitação favoreceu a entrada destes microrganismos no ambiente. Já a densidade de bactérias heterotróficas apresentou menores valores em abril (IGM, IGJ) e maiores em outubro (IGM) e novembro (IGJ), indicando que em alguns períodos o seu crescimento foi favorecido e em outros limitado (figura 32).

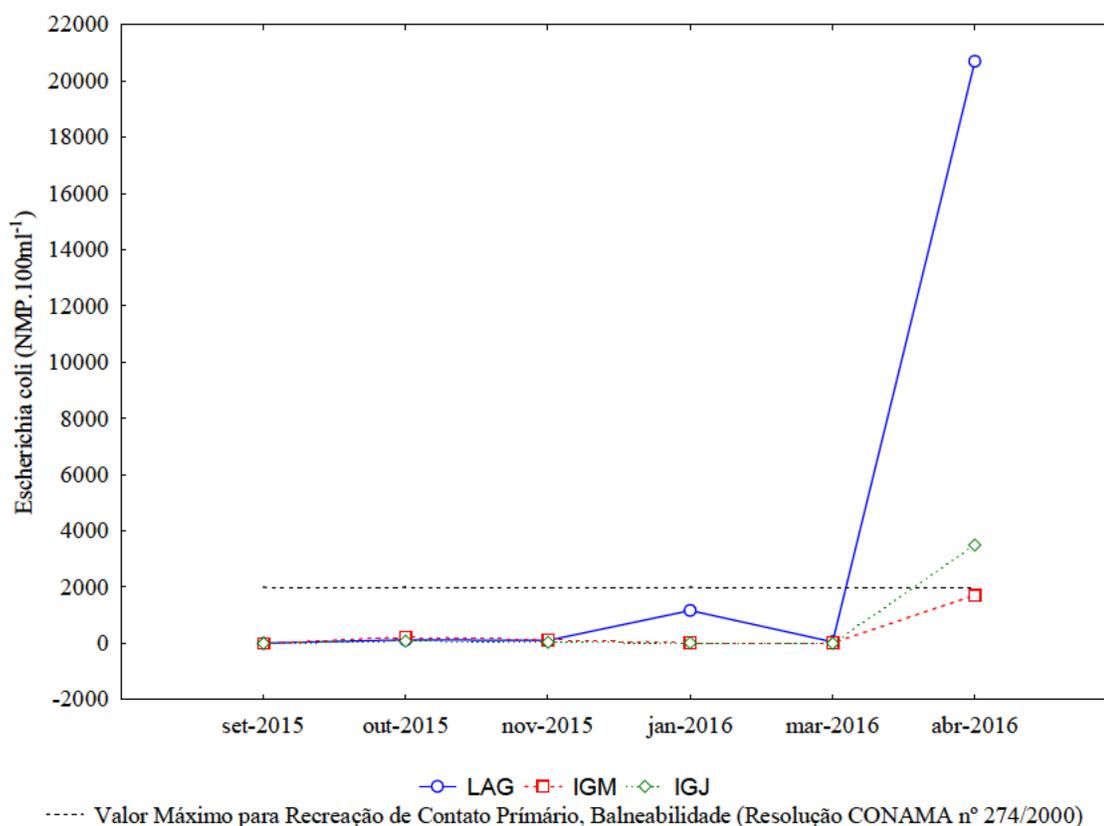
Figura 30 - Densidade de Coliformes Termotolerantes do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.



No efluente da lagoa de infiltração (LAG), a variação temporal pode ser justificada pela análise conjunta de outros aspectos, principalmente a precipitação e o número de abate. Após um período com pouca precipitação, as chuvas tornaram-se mais frequentes em abril, o que pode aumentar a densidade de coliformes totais, provenientes do carreamento de material

alóctone para a lagoa. Além disso, em dezembro e março o número de abate foi superior a média de 2015, com isso grandes volumes de águas residuárias com dejetos de animais foram geradas e conseqüentemente o número de coliformes totais, termotolerantes e *E. coli* aumentaram, atingindo os maiores valores do monitoramento. Os menores valores de coliformes totais, termotolerantes e *E. coli* não foram encontrados no mesmo mês, mas em outubro houve a menor média mensal. Já a densidade de bactérias heterotróficas apresentou menores valores em abril e maiores em janeiro.

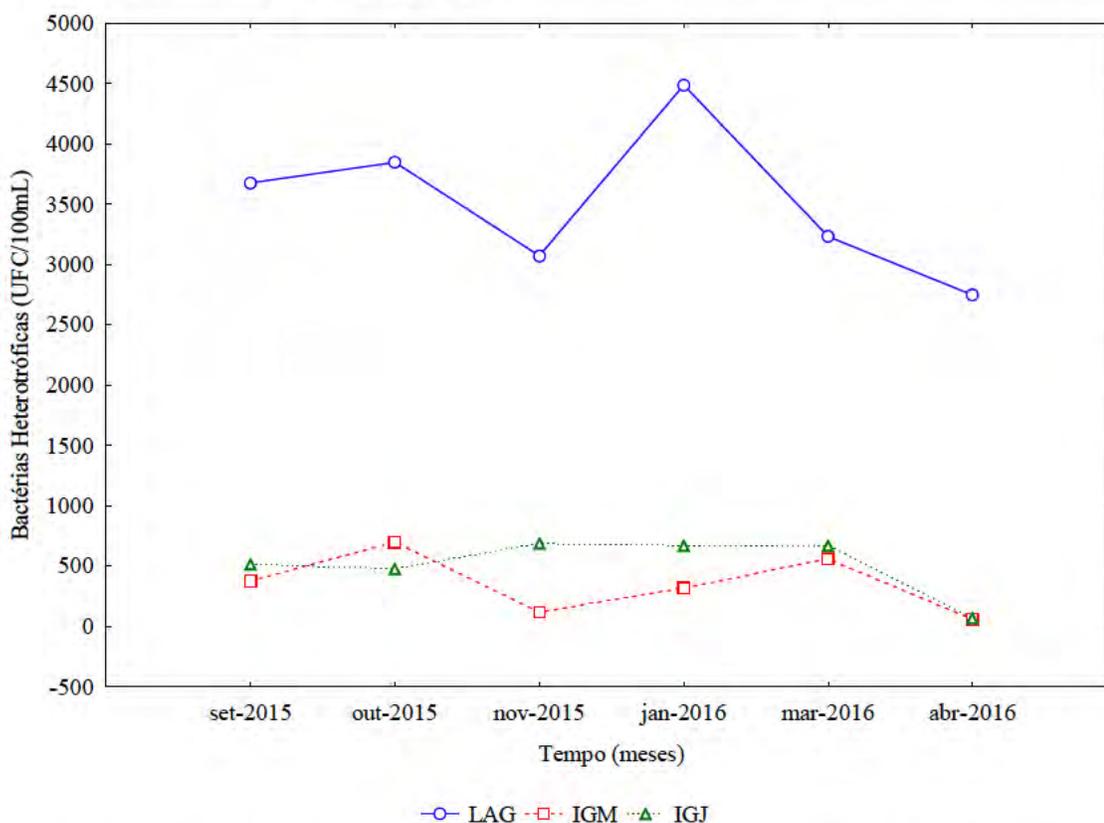
Figura 31 - Densidade de *Escherichia coli* do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.



Os parâmetros microbiológicos apresentaram comportamento semelhante a outros parâmetros do monitoramento, as correlações são interessantes pois são específicas aos ambientes e período monitorados. Os coliformes totais, por exemplo, apresentaram correlação regular a forte, positiva e significativa ($p < 0,05$) com dez parâmetros, representados pelos sólidos totais dissolvidos ($r = 0,66$), condutividade elétrica ($r = 0,63$), salinidade ($r = 0,82$), índice de estado trófico ($r = 0,69$), sólidos totais ($r = 0,80$), turbidez ($r = 0,72$), bactérias

heterotróficas ($r = 0,55$), nitrato ($r = 0,55$), nitrito ($r = 0,55$) e fósforo total ($r = 0,68$). Os coliformes termotolerantes apresentaram correlação regular, positiva e significativa ($p < 0,05$) com condutividade elétrica ($r = 0,49$), *E. coli* ($r = 0,51$) e nitrito ($r = 0,53$). Já a *Escherichia coli* apresentou correlação somente com coliformes termotolerantes ($r = 0,51$), sendo esta regular, positiva e significativa ($p < 0,05$).

Figura 32 - Densidade de Bactérias Heterotróficas do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.



Já as bactérias heterotróficas apresentaram correlação forte e significativa ($p < 0,05$) com o fósforo total ($r = 0,73$), um nutriente essencial para o seu crescimento (VON SPERLING, 2005) e baixa e não significativa ($r = 0,35$) com a DBO, indicando que no período com maiores densidades de bactérias heterotróficas são encontradas maiores concentrações de fósforo e não necessariamente de DBO. Gonzalez, Paranhos e Lutterbach (2006), também encontraram correlação positiva entre bactérias heterotróficas e nutrientes, entre eles o fósforo. Houve também correlação forte e significativa ($p < 0,05$) com sólidos totais dissolvidos ($r = 0,71$), condutividade elétrica ($r = 0,76$), salinidade ($r = 0,78$), índice de

estado trófico ($r = 0,56$), sólidos totais ($r = 0,70$), turbidez ($r = 0,59$), coliformes totais ($r = 0,55$), nitrato ($r = 0,53$) e nitrito ($r = 0,75$).

A densidade de coliformes totais e bactérias heterotróficas no efluente da lagoa de infiltração (LAG) foi maior que nas águas superficiais do igarapé Água Boa (IGM e IGJ), foram densidades significativamente diferentes ($p < 0,05$), o que distingue os ambientes quanto a esses dois parâmetros (tabela 13). Ao analisar a densidade de coliformes termotolerantes e *E. coli* isso não ocorreu, indicando que as águas superficiais do igarapé Água Boa estão sendo poluídas com a adição de substâncias que contenham bactérias do grupo coliforme, como por exemplo, excrementos de animais de sangue quente, a ponto de não distinguir significativamente de um efluente tratado.

Tabela 13 - Média da densidade de Coliformes Totais (CT), Coliformes Termotolerantes (CTerm), *Escherichia coli* (*E. coli*) e Bactérias Heterotróficas (BAC) do efluente da lagoa de infiltração (LAG) e das águas superficiais do igarapé Água Boa montante (IGM) e jusante (IGJ) de LAG, no período de setembro de 2015 a abril de 2016.

Local	CT (NMP.100ml ⁻¹)	CTerm (NMP.100ml ⁻¹)	<i>E. coli</i> (NMP.100ml ⁻¹)	BAC (NMP.100ml ⁻¹)
LAG (P1)	71.583a	1.426a	1672a	2711 a
LAG (P2)	102.167a	3.777a	5434a	3064ab
LAG (P3)	96.667a	6.360a	14050a	4410b
LAG (P4)	131.000a	10.227a	21494a	3858ab
IGM (P5)	2.917b	357a	662a	357c
IGJ (P6)	9.298b	965a	1489a	517c

*Médias seguidas de letras diferentes na coluna, diferem entre os pontos de análise no mesmo período de coleta para $p < 0,05$, pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ($p = 0,0028$ para CT; $p = 0,1684$ para CTerm; $p = 0,4301$ para *E. coli* e $p = 0,0027$ para BAC).

Não houve diferença significativa ($p < 0,05$) no igarapé Água Boa, nos pontos a montante (IGM) e a jusante (IGJ) da lagoa de infiltração (LAG). Os ambientes apresentaram qualidade de água similar apesar da localização, afastando a possibilidade de interferência da lagoa de infiltração. E o ponto LAG (P3) possui maior densidade de bactérias heterotróficas que o ponto LAG (P1), com diferença significativa ($p < 0,05$). O único parâmetro no monitoramento que indicou diferenças significativas na lagoa de infiltração, os demais apresentavam a lagoa como homogênea.

Foi verificado também, grande variação na densidade de bactérias na escala temporal, fato evidenciado pelo desvio padrão. Isto pode ser explicado pela variabilidade temporal das coletas, pelo ciclo de entrada de poluentes pelo abate na lagoa de infiltração e fontes difusas no igarapé Água Boa. Esta variabilidade também foi observada por Souza e Gastaldini (2014), e os autores associaram a variabilidade ao lançamento de efluentes domésticos.

E por fim, a Fundação Nacional de Saúde destaca que a determinação da densidade de bactérias é importante, pois pode comprometer a detecção de bactérias do grupo coliformes (BRASIL, 2006). E isso foi verificado durante a pesquisa, pois em outubro no ponto IGM encontrou-se as menores densidade de coliformes totais e as maiores de bactérias heterotróficas e o mesmo ocorreu em novembro no ponto IGJ. O contrário também foi observado em abril, quando tanto as águas superficiais do igarapé Água Boa quanto o efluente da lagoa de infiltração apresentaram as maiores densidades de coliformes termotolerantes e E. coli e as menores densidades de bactérias heterotróficas. Diante disso, compreende-se que mesmo tendo encontrado densidades significativas do grupo coliformes nos ambientes monitorados, esses valores podem na verdade representar densidades maiores, além do registrado, pois a grande densidade de bactérias heterotróficas pode ter comprometido a detecção deste grupo e subestimar os valores reais.

4.2 Análise temporal da área superficial da lagoa de infiltração

De acordo com a Secretaria de Meio Ambiente, Interior e Justiça - SEMAIJUS, o sistema de tratamento de águas residuárias do MAFIR foi construído tendo como corpo receptor dos efluentes tratados, o igarapé Água Boa (RORAIMA, 1993). Devido ao lançamento, moradores, produtores e jornais locais registraram denúncias e reclamações informando que o sistema de tratamento de efluentes era deficiente e causava a poluição do igarapé (BOA VISTA, 1992; MAIA, 1993). Desta forma, os órgãos ambientais responsáveis, emitiram notificações solicitando melhorias no sistema de tratamento (IBAMA, 1993).

O sistema de tratamento foi reformado em 1993 (RORAIMA 1993), mas as denúncias persistiram (APROAB, 1996) e uma notificação foi emitida para regularizar o sistema de tratamento e interromper o lançamento no igarapé (IBAMA, 1996). Assim, em 1999, os registros já informam o uso de uma quarta lagoa de tratamento. E desde então tem sido utilizada como receptora de efluentes tratados do MAFIR.

Também encontramos uma quarta lagoa (açude), que de acordo com o técnico do MAFIR que acompanhou a vistoria, foi construída como alternativa para quando o sistema de lagoa de estabilização não estivesse funcionando, atualmente está funcionando como corpo receptor. O corpo receptor do sistema é um igarapé que passa cerca de 100m do mesmo, segundo o técnico do MAFIR este por enquanto

não está recebendo os efluentes das lagoas, o qual foi constatado pela vistoria (RORAIMA 1999, p.103).

Diante dos fatos, entende-se que a quarta lagoa foi construída como uma alternativa operacional, para evitar o lançamento no igarapé Água Boa. Em 2002, no Plano de Controle Ambiental - PCA do empreendimento, a última lagoa foi denominada como bacia e/ou lagoa de infiltração, caracterizada como um tratamento terciário, uma medida de segurança e que objetiva a infiltração e percolação das águas residuárias. O processo de "percolação do efluente na bacia de infiltração irá reduzir a níveis mínimos, as demandas orgânicas e químicas deixando-os dentro dos parâmetros legais" (FREITAS, 2002, p. 125).

Posteriormente, em 2005, no Plano de Recuperação de Áreas Degradadas do empreendimento, novas definições foram dadas para esta última lagoa.

A sua feição difere das características dos lagos naturais (circulares) justamente por aproveitar o desenho topográfico do terreno. A formação desse lago obedeceu as características litohidrológicas das lagoas naturais, ou seja, pouca permeabilidade do solo e, as más condições de drenagem onde o lençol freático mantém-se pouca profundidade da superfície [...] Apesar de criada artificialmente, já pode ser considerada como parte de um contexto hidrológico do local. A sua formação se deu da mesma forma que as naturais, ou seja, preenchimento de depressões naturais (aumentada pela ação antrópica) e solo de péssima drenagem que permite acúmulo de água. O que difere da natural é a qualidade da água armazenada que, por se tratar de um local de retenção de efluentes de um matadouro não deve apresentar as condições compatíveis com as naturais, muito embora se observe a presença de espécies animais que frequentam as demais lagoas. O lençol freático neste local situa-se entre 4,0 a 5,0 metros da superfície (RR AMBIENTAL, 2004, p. 20, 25).

Ainda segundo a RR Ambiental (2004), esta lagoa apresenta pequena profundidade e uma área de 2,4757 ha. Além disso, para garantir a contenção dos efluentes, foram construídas barragens para reduzir o risco de transbordamento, já que as águas residuárias tratadas são lançadas diariamente e a lagoa não realiza o deságue, mas "o rompimento da barragem, neste caso, proporcionará degradação séria ao ecossistema a jusante deste local devido a grande quantidade de material carregado e a qualidade química e biológica da água armazenada" (RR AMBIENTAL, 2004, p. 36).

Após o levantamento deste histórico, buscou-se caracterizar a lagoa durante o período de monitoramento e foram observadas algumas características do ambiente. Primeiramente esta lagoa não possui vertedouro, não há saída para outra lagoa ou lançamento em recurso hídrico superficial. A saída do efluente é por evaporação ou percolação, e no último caso as

águas residuárias tratadas chegam ao subsolo. Durante o período das coletas, o vento apresentou direção de oeste para leste, ou seja, da lagoa para o igarapé Água Boa, favorecendo o acúmulo de algas e plantas aquáticas, neste ponto. A delimitação da lagoa é bem definida pelos taludes construídos, o que está próximo ao igarapé Água Boa é mais alto que o do sentido contrário, assim ao iniciar o período seco foi possível observar a redução da área superficial (lâmina d'água) pelo lado mais baixo (figura 33).

Além disso, verificou-se a permanência da coloração verde no efluente tratado, mudando de um verde escuro transparente, para um verde leitoso com uma película azul-esverdeada e retornando para o verde escuro transparente, confirmando a eutrofização do ambiente e impossibilitando a determinação da transparência, por meio do uso de disco de secchi (figura 34).

Figura 33 - Margem leste da lagoa de infiltração (LAG) em outubro de 2015 (A) e março de 2016 (B).



Figura 34 - Cor do efluente da lagoa de infiltração em agosto de 2015 (A) e outubro de 2016 (B).



O local apresenta um odor forte, principalmente em LAG (P3), onde as algas acumulam formando uma película grossa (escuma) sobre a lagoa de infiltração. Apesar disso, foram encontrados animais em todas as coletas, sendo frequente a presença de jacarés, capivaras, marrecos e peixes. O efluente tratado é lançado em apenas um ponto da lagoa LAG (P1), desloca-se para os demais pontos, mas permanece retido neste ambiente até que ocorra a infiltração ou evaporação. Apesar da ação dos ventos e do tempo de detenção, verificou-se que não existe diferença significativa ($p < 0,05$) na qualidade do efluente dentro da lagoa, ou seja, a qualidade é similar estatisticamente em P1, P2, P3 e P4, com exceção à densidade de bactérias heterotróficas.

Foi verificado ainda que em outubro, março e abril o ambiente apresentou salinidade superior a 0,5%, correspondente a um ambiente salobro (BRASIL, 2005). O processo de salinização por efluentes foi observado também por outros autores. Segundo Urbano et al. (2015), a irrigação de um ambiente com esgoto tratado não alterou as propriedades físico-químicas do solo, mas indicou um ligeiro risco a salinidade. E Simões et al. (2013) verificaram que a concentração de sais presentes no efluente tratado utilizado na irrigação, prejudicou o crescimento de uma espécie sensível a salinidade.

Outra importante informação coletada, diz sobre a função da lagoa. Segundo Freitas (2002), a quarta lagoa opera como uma lagoa de infiltração que recebe o efluente da lagoa de maturação e o mesmo permanece retido no local até que ocorra a infiltração. No entanto, as imagens de satélite nos anos de 2003, 2005, 2012, 2013, 2014 e 2016 mostram que ocorre variação significativa da área superficial da lagoa de infiltração (figura 35).

Considerando as imagens disponíveis, a área superficial da lagoa variou de 1,31 a 2,31 ha, com área média de 1,98 ha. A maior área superficial foi encontrada em novembro de 2012, 76% maior que a área de 2003. No entanto, em dezembro de 2013 e outubro de 2014, houve redução de 5% e 11%, respectivamente. Somente em fevereiro de 2016, houve aumento novamente (6%) e mesmo com a redução da área nos anos anteriores, ainda é 58% maior que a área encontrada em 2003 (quadro 15).

A área superficial da lagoa apresentou correlação forte e positiva ($r = 0,942$) entre o número de abate no ano anterior e foi significativa, comprovada pelo p-valor de 0,0016, menor que o nível de significância adotado de 5% ($r^2 = 0,76$). A correlação da área superficial e a precipitação do ano anterior foi fraca, negativa ($r = -0,08$) e não significativa.

Esses valores indicam semelhança no comportamento da variação da área superficial da lagoa em razão do número de bovinos abatidos. Isso é coerente, uma vez que a lagoa recebe efluentes tratados a mais de uma década e o acúmulo de materiais pode reduzir o

volume útil da lagoa, tornando-a cada vez mais rasa e ocasionando um aumento da área superficial, porém é um processo extremamente lento (VON SPERLING, 2005).

Figura 35 - Imagens da lagoa de infiltração (LAG) em 2003, 2005, 2012, 2013, 2014 e 2016.



Fonte: Google Earth (2016).

Apesar disso, durante o processo a função de permitir a infiltração do efluente tratado pode ser prejudicada, favorecendo a acumulação e potencializando o risco de transbordamento. Isso já foi previsto em projeto e os taludes localizados a oeste são mais altos para evitar transbordamentos para o igarapé Água Boa. Segundo RR Ambiental (2004), o rompimento do talude causaria degradação ao ecossistema a jusante. Assim, entende-se que esse fato deve ser compreendido e monitorado, para evitar conseqüências para a bacia hidrográfica do igarapé Água Boa.

Quadro 15 - Precipitação pluviométrica, número de abate do Matadouro e Frigorífico Industrial de Roraima, área e perímetro da lagoa de infiltração (LAG).

Período	Perímetro (m)	Área (ha)	P (mm)	Abate
jan/2003	641,89	1,31	1612,8	*
fev/2005	723,75	1,79	1997,8	28.696
nov/2012	827,06	2,31	1547,4	54.994
jan/2013	812,63	2,27	1526,3	53.623
dez/2013	828,092	2,18	1850,7	52.455
out/2014	810,64	1,95	1452	49.521
fev/2016	793,99	2,07	1333,3	42.786

Fonte: INMET (2016) e MAPA (2016a). *Não disponibilizado no banco de dados de MAPA (2016a).

4.3 Análise Integrada

A análise integrada consiste em unificar os resultados encontrados e discutir de forma conjunta, integrada e objetiva, as inter-relações das técnicas aplicadas na pesquisa para trazer respostas a respeito da mudança do espaço e de suas funções. Ou seja, de que forma a atual situação da unidade de estudo pode afetar a conservação da microbacia hidrográfica, os grupos populacionais envolvidos e a saúde pública.

Iniciando pelo processo de abate, o aumento do consumo de carne exige que todo o processo (abate, industrialização e conservação) seja cada vez mais eficiente. O mercado atual estabelece padrões, demandando o cumprimento de legislações específicas e certificações de origem da carne no intuito de garantir a qualidade e segurança sanitária dos produtos. Ao se adaptar a esses padrões, entende-se que o processo produtivo reduzirá os riscos de contaminação da carne e produtos e a possibilidade de destinar ao consumidor produtos provenientes de bovinos comprometidos com doenças, que causariam impactos a saúde pública.

Diante disso, a instalação do Matadouro e Frigorífico Industrial de Roraima - MAFIR em Boa Vista-RR buscou garantir essa segurança. É um matadouro estadual que possibilita que os bovinos locais sejam abatidos no estado a preços favoráveis para incentivar o abate legalizado. Assim, a carne produzida e consumida no estado não causaria impacto na saúde pública local, geraria arrecadação por meio de tributos e reduziria a demanda por carnes produzidas em outras regiões. Um novo matadouro será instalado próximo ao MAFIR, na mesma bacia hidrográfica, com isso aumentará o abate e a comercialização de carnes legalizadas, estimulará a redução de preços devido a maior oferta e pode coagir a venda clandestina. No entanto, atualmente o MAFIR e outros dois matadouros particulares que realizam o abate legalizado em Roraima.

De acordo com os fatos apresentados, no cenário atual do número de matadouros regularizados existentes em Roraima e considerando o instante que valoriza diferentemente os objetos (SANTOS, 2008) é indiscutível a importância neste momento, do desenvolvimento das atividades produtivas do MAFIR. E a partir disso, inicia-se a discussão do valor do empreendimento enfatizando o local na qual o mesmo está instalado. Segundo Santos (2008), a técnica, que neste caso é representada pelo abate, tem a capacidade de influenciar na produção do espaço e compreendê-la como um todo propicia uma melhor percepção das relações coexistentes.

Durante a análise do local na qual o MAFIR está inserido verificou-se que as margens da região do baixo curso d'água do igarapé Água Boa, são ocupadas principalmente por sítios, balneários, pequenos produtores, muitos não são residentes e frequentam somente nos finais de semana. De acordo com tipo de instalações encontradas, acredita-se que o igarapé seja utilizado para usos consuntivos (abastecimento de água para consumo humano, dessedentação de animais, irrigação de pequenas plantações) e não consuntivos (lazer de contato primário). É demandado para funções específicas, mas as mesmas são passíveis de modificação com a mudança dos processos e da construção do espaço.

Diante disso, é possível afirmar que o MAFIR é um empreendimento com a função de produzir carne com qualidade, que envolve uma questão de saúde pública, localizado dentro de uma microbacia em que seu principal igarapé tem funções que demandam qualidade de água restritiva. Assim, deve-se discutir de que forma tudo isso influencia nos grupos populacionais, para que as duas funções não sejam comprometidas e altere o espaço de forma negativa.

Iniciando essa discussão, sabe-se que o MAFIR realizava o lançamento de efluentes tratados no igarapé, com isso a população passou a não utilizá-lo para lazer, indicando que

neste período houve alteração das funções do corpo d'água. Em 1996, com a proibição de lançamento de efluentes tratados no igarapé (IBAMA, 1996), foi possível retornar com as funções anteriores devido a melhora na qualidade da água. Isso foi comprovado por duas pesquisas, sendo a primeira em 2004, onde estas águas foram classificadas como de excelente balneabilidade e excelente Índice de Qualidade Ambiental - IQA (VITAL, 2004). E em 2006, foram classificadas como excelente balneabilidade e um bom Índice de Qualidade Ambiental - IQA (SANT'ANA, 2007). Indicando que se houve comprometimento da qualidade das águas do igarapé Água Boa no passado, devido ao lançamento de efluentes, as águas superficiais recuperaram a sua qualidade nos anos posteriores.

A presente pesquisa, não teve como objetivo determinar os índices de qualidade e balneabilidade, impossibilitando a comparação com as pesquisas anteriores. No entanto, com os dados obtidos foi verificado que os valores de pH, sólidos totais dissolvidos, turbidez, temperatura, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal e clorofila atenderam os padrões estabelecidos na legislação específica para o enquadramento em classe 2 e o ambiente apresentou nível de trofia de um ambiente ultraoligotrófico. Foram superiores aos limites estabelecidos, somente os parâmetros DBO e fósforo total, mas as águas apresentaram qualidade insatisfatória para contato primário em abril no ponto IGJ, devido a densidade de coliformes termotolerantes e E. coli, indicando contaminação de origem fecal (esgoto) no igarapé no percurso monitorado.

Além disso, os pontos monitorados a montante (IGM) e a jusante (IGJ) da lagoa de infiltração (LAG) não apresentaram diferenças significativas durante todo o monitoramento, ou seja, a qualidade da água é similar estatisticamente ($p < 0,05$). E para indicar alguma contaminação efetiva, neste trajeto monitorado, estes pontos precisavam apresentar diferenças significativas entre eles. Assim, não foi possível identificar contaminação no igarapé, devido a lagoa de tratamento, conforme evidenciado também pelo monitoramento realizado por Sant'Ana (2007). Onde a mesma monitorou pontos próximos ao da presente pesquisa, ou seja, a montante e a jusante da lagoa e os valores também foram similares nestes pontos.

Outro ponto de discussão desta análise integrada consiste no fato da última lagoa de tratamento (LAG) ter a função de infiltração, no intuito de realizar disposição final do efluente tratado, tratamento complementar e reúso da água. Segundo Corrêa, Filho e Bernades (2000), o sistema de infiltração rápida é uma alternativa ao lançamento de efluentes tratados em rios. Ainda segundo o autor, em uma área de empréstimo mostrou-se promissor, pois possibilitou eficiência de 88,3% para a remoção de fósforo. Assim, como sabe-se que a lagoa possui efluente tratado com qualidade que o impossibilita de ser lançado no igarapé Água

Boa, destaca-se que a medida tomada em 1996, de proibir o lançamento do mesmo no igarapé Água Boa foi adequada (IBAMA, 1996), garantindo a qualidade das águas superficiais do igarapé Água Boa para diferentes usos.

No entanto, isso levanta um outro ponto de discussão, pois ao restringir os efluentes tratados em um local, para que ocorra a infiltração, entende-se que parte dos nutrientes e demais constituintes do efluente atingirá as camadas mais profundas do solo, podendo chegar ao lençol freático, situado entre 4,0 a 5,0 metros da superfície (RR AMBIENTAL, 2004). O retorno da água para o sistema é benéfico, mas a qualidade desta água é algo que demanda avaliação. E esta alternativa de disposição, requer também controle sobre o volume útil da lagoa, pois sabe-se que atualmente a sua área superficial corresponde a uma área maior (58%) que a encontrada em 2003, mas já chegou a um aumento de 76% em 2012 e está diretamente correlacionada com o número de abate. Isso associado ao risco de transbordamento dos efluentes para o igarapé Água Boa, devido ao desnível do terreno e construção dos taludes, torna-se indispensável esse monitoramento. O transbordamento causaria degradação e impossibilitaria o consumo, o contato primário e a vida aquática no local até que o ambiente consiga se restabelecer.

Um exemplo de um risco a saúde humana se esses efluentes atingissem o igarapé, deve-se a presença de grandes quantidades de fitoplâncton, indicado pela detecção de clorofila a em concentrações de até 21 vezes o permitido para o igarapé Água Boa. As algas podem produzir toxinas irritantes a pele e o consumo pode acarretar distúrbios orgânicos de distintas naturezas. Além disso, essa biomassa em conjunto com o extensivo uso de compostos de cloro para a desinfecção e uso em residências, possibilita a formação dos trihalometanos, que possui propriedades carcinogênicas (LIBANIO et al., 2000). Estes efluentes podem ainda possibilitar a disseminação de doenças de veiculação hídrica, associada aos coliformes termotolerantes e E.coli presente em maior densidade na lagoa.

Em relação a ocupação humana na região do baixo Água Boa, entende-se que ocorre transformação do espaço por meio da ocupação das margens do igarapé Água Boa. Isso pode ter influenciado nas diferenças encontradas em 2004 (VITAL, 2004), 2006 (SANT'ANA, 2007) e agora em 2015, já que pode haver contribuição de esgoto doméstico, pluvial e intensificação da erosão pela retirada de parte da vegetação da área de preservação permanente. No entanto é possível conter este processo já que a bacia ainda apresenta grande parte preservada.

Por fim, diante dos fatos apresentados, é possível compreender com esse diagnóstico, que os impactos na microbacia hidrográfica não ocorrem isoladamente, mas são resultados da

integração de efeitos dos diferentes usos da água e do solo, funcionando como um sistema com inter-relações das múltiplas funções, sejam elas sociais, econômicas, ambientais, ecológicas, dentre outras. É indispensável que a bacia hidrográfica seja reconhecida como um sistema, onde existem funções específicas que são frequentemente rearranjados e funcionam em conjunto numa dada área.

Assim, ao realizar as técnicas de monitoramento da qualidade do efluente tratado do processo produtivo do MAFIR, monitoramento das águas superficiais do igarapé Água Boa e análise da área superficial da lagoa com seu histórico e importância, possibilitou compreender dentro dos limites da pesquisa, a dinâmica que ocorre neste espaço a mais de uma década. E permitiu a elaboração do diagnóstico da lagoa de infiltração com ênfase em características relativas a conservação da bacia hidrográfica do Igarapé Água Boa e em como a população residente e a vida aquática adaptam-se diante da instalação deste empreendimento e como poderia ser afetada pelo mesmo.

5 CONCLUSÕES

O igarapé Água Boa possui boa qualidade de água por atender à resolução CONAMA nº 357/2005 em grande parte dos parâmetros da classe 2. O pH é levemente alcalino, possui baixos teores de sólidos dissolvidos, um ambiente ultraoligotrófico, com águas transparentes (não turva) e valores de condutividade elétrica característicos de um ambiente não impactado. Embora as concentrações de fósforo total e demanda bioquímica de oxigênio e as densidades de coliformes termotolerantes e *E. coli* tenham apresentado acima do limite estabelecido pela resolução CONAMA nº 357/2005 em algumas amostras, tornando-a imprópria para o contato primário e usos mais restritivos em abril de 2016. A partir dos dados pôde-se notar que o corpo d'água não está recebendo contaminação de forma contínua, mas persistindo pode ocasionar em um ambiente degradado.

Durante a análise dos dados de qualidade das águas superficiais do igarapé Água Boa, observou-se que os valores de pH, sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica, temperatura, nitrato, clorofila, índice de estado trófico, coliformes totais, coliforme termotolerante, *E. coli* e bactérias heterotróficas foram maiores à jusante da lagoa de infiltração que à montante. E o contrário ocorreu para os valores de turbidez, sólidos totais, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total e nitrogênio amoniacal. No entanto, a partir da realização do teste Kruskal-Wallis, que permite a avaliação espacial do igarapé, observou-se que não há diferença significativa ($p > 0,05$) entre o ponto à montante e à jusante da lagoa de infiltração, podendo-se constatar que a qualidade da água é similar neste trajeto.

As águas superficiais do igarapé Água Boa e o efluente da lagoa de infiltração apresentaram similaridade nos valores de pH, temperatura, demanda bioquímica de oxigênio, *E. coli* e coliformes termotolerantes, não diferiram significativamente ($p > 0,05$). Indicando que o igarapé diferiu da qualidade do efluente tratado para a maioria dos parâmetros, mas está recebendo algum tipo de contaminação.

A partir da realização do teste Kruskal-Wallis, que permite a avaliação espacial da lagoa de infiltração, observou-se que há diferença significativa ($p < 0,05$) somente para bactérias heterotróficas, podendo-se constatar que para os demais parâmetros a qualidade do efluente dentro da lagoa é similar, homogênea.

O efluente da lagoa de infiltração apresentou concentração de sólidos totais dissolvidos, turbidez, fósforo total, demanda bioquímica de oxigênio, clorofila a, nitrito e nitrogênio amoniacal acima do limite estabelecido pela resolução CONAMA nº 357/05 em

algumas amostras, o que poderia comprometer a qualidade das águas superficiais do igarapé Água Boa, se o mesmo fosse o corpo receptor.

A implantação da lagoa de infiltração para recebimento dos efluentes tratados do MAFIR, ao invés do lançamento direto ao igarapé Água Boa, mostrou-se realmente necessária, considerando a qualidade do efluente tratado nas lagoas de estabilização.

A área superficial da lagoa de infiltração variou no período monitorado, com uma tendência de aumento da área, conforme aumenta-se o número de abate no matadouro. Essa correlação é preocupante e destaca o risco de transbordamentos para o igarapé Água Boa, causando contaminação das águas superficiais e prejuízos a saúde pública e à vida aquática. A redução da área superficial pode ter relação com a quantidade de sais presentes no ambiente, pois durante metade do tempo monitorado, o ambiente foi classificado como salobro, indicando um risco de salinização do solo que prejudicaria a infiltração e percolação do efluente.

A partir dos dados obtidos não foi possível afirmar que existe uma contribuição para a degradação das águas superficiais do igarapé Água Boa por parte do processo de disposição de efluente em solo realizado pelo MAFIR. Já que os pontos monitorados a montante e a jusante da lagoa de infiltração apresentaram águas superficiais com qualidade similar ($p < 0,05$) para todos os parâmetros avaliados e diferiram da qualidade do efluente tratado ($p > 0,05$), para a maioria deles.

Acredita-se que a disposição do efluente no solo cause um impacto pontual que demanda monitoramento contínuo. Já que esta situação pode ser alterada e tornar-se mais abrangente se os poluentes atingirem as águas subterrâneas em concentrações inadequadas. Isso pode ocorrer em consequência de um tratamento inadequado e/ou ineficiente que despreze as peculiaridades do ambiente, principalmente em relação ao tipo de solo e o tamanho da camada não saturada.

Ademais, no intuito de garantir a conservação da microbacia do Água Boa, recomenda-se que a Companhia de Desenvolvimento de Roraima, responsável pela gestão do Matadouro e Frigorífico Industrial de Roraima, implante um programa de monitoramento da qualidade e eficiência em seu sistema de tratamento de águas residuárias; instale poços tubulares para o monitoramento da qualidade da água subterrânea, já que a mesma recebe recarga de efluentes tratados; monitore o aumento da área superficial da lagoa e a qualidade estrutural dos taludes que represam o efluente tratado; realize o levantamento de informações sobre o volume útil da lagoa, por meio de estudos de batimetria; e instale vertedouros e monitore a vazão de entrada da lagoa de infiltração.

REFERÊNCIAS

AGENCIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA DO ESTADO DE RORAIMA – ADERR. Gerencia de Monitoramento e Controle. Núcleo de Epidemiologia Animal. **Evolução do Crescimento do rebanho bovino em Roraima entre 2005 e 2015**. Boa Vista: ADERR, 2016.

_____. Gerencia de Monitoramento e Controle. Núcleo de Epidemiologia Animal. Vacinação **2014.1, 2014. 2 2015.1, 2015.2 SFA-RR**. Boa Vista: ADERR, 2016a.

_____. Gerencia de Inspeção de Produtos de Origem Animal. **Memo nº 642/2016/GPOA/ADERR**. Boa Vista, 11 mar. 2016b.

AGUILAR, M. I. et al. Nutrient Removal and Sludge Production in the Coagulation-Flocculation Process. **Water Research**, [S.l], v. 36, s./n., p. 2910-2919, 2002.

ALVES, S.C. A água como elemento fundamental da paisagem em microbacias. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.21, n. 207, p. 9-14, nov./dez. 2000.

AMARAL, R. Frigo 10: Governadora visita instalações de frigorífico em Boa Vista. **FOLHAweb**, 01 nov. 2015. Disponível em: <<http://www.roraimaemfoco.com/frigo-10-governadora-visita-instalacoes-de-frigorifico-em-boja-vista/>>. Acesso em: 01 mar. 2016.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. Washington: American Public Health Association, 2012. 1360 p.

ANDRADE, J. L. S.; KÖNIG, A. **Manual de técnicas físico-químicas e preparo de reagentes para análises de águas residuárias brutas e tratadas**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1996. 70p.

ARAUJO, W. F. et al. Precipitação pluviométrica mensal provável em Boa Vista, Estado de Roraima, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p.563-567, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9898: preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. Rio de Janeiro, 1987

ASSOCIAÇÃO DE PRODUTORES DO ÁGUA BOA - APROAB. Ofício, Denúncia, 002, de 09 de abril de 1996. **Lex**. Processo de Licenciamento Ambiental - FEMACT-RR nº 016001-003502/93-57: Sistema de Tratamento do MAFIR, Boa Vista, p. 73, mar. 1993.

AZEVEDO, P. F.; BANKUTI, F. I. Na clandestinidade: o mercado informal de carne bovina. In: Congresso Internacional de Economia e Gestão de Negócios Agroalimentares, 3, 2001, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: UFSCAR, 2001. p. 1-13. Disponível em <<http://www.gepai.dep.ufscar.br/viewpub.php?id=92>> . Acesso em: 02 abr. 2016.

AZZOLINI, J. C.; FRINHANI, E. DE M. D.; FABRO, L. F. Águas industriais: controle físico-químico e biológico do efluente e medida da eficiência do tratamento na agroindústria. **Unoesc & Ciência - ACET**, Joaçaba, v. 2, n. 1, p. 7-18, jan./jun. 2011.

BARBOSA, R. I. Distribuição das chuvas em Roraima. In: BARBOSA, R. I.; FERREIRA, E.; CASTELLÓN, E. (ed.). **Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima**. Manaus: INPA, 1997. p. 325 - 335.

BARBOSA, R. I.; MIRANDA, I.S. Fitofisionomias e diversidade vegetal das savanas de Roraima. In: BARBOSA, R.I.; XAUD, H.A.M.; COSTA E SOUZA, J.M. (Org.). **Savanas de Roraima: Etnoecologia, Biodiversidade e Potencialidades Agrossilvipastoris**. Boa Vista: FEMACT, 2005. p. 61 - 78.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação dos solos**. São Paulo: Ícone, 1990. 355p.

BOA VISTA. Prefeitura Municipal. Secretária Municipal de Saúde. Divisão de Fiscalização Sanitária. Reclamação, Ocorrência, nº 232/92, de 16 de setembro de 1992. **Lex**. Processo de Licenciamento Ambiental - FEMACT-RR nº 016001-003502/93-57: Sistema de Tratamento do MAFIR, Boa Vista, p. 35, mar. 1993.

BETTEGA, J. M. P. R. et al. Métodos analíticos no controle microbiológico de água para consumo humano. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 950-954, set./ out. 2006.

BLACK, P.E. **Watershed hidrology**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 1996. 450p.

BRAGA, B. et al. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002. 305 p.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W.A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 1993. 764 p.

BRANDÃO, C. J. et al. (Org.). **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. 327 p.

BRASIL. Agência Nacional de Águas - ANA. **Indicadores de Qualidade - Índice do Estado Trófico (IET)**. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-estado-trofico.aspx>>. Acesso em 15 agosto de 2016.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. Resolução nº 274, de 29 de novembro de 2000. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 25 jan. 2001. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=272>>. Acesso em: 27 mar. 2016.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e da outras providencias. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 02 fev. 2015.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Resolução nº 396, de 03 de abril de 2008. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 07 abr. 2008. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>>. Acesso em: 01 abr. 2016.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 16 maio 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 02 fev. 2015.

_____. Decreto n. 30.691, de 29 de março de 1952. Aprova o novo Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 7 jul. 1952. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1950-1969/D30691.htm>. Acesso em: 02 fev. 2015.

CORREA, R. S.; FILHO, B. de M.; BERNADES, R. S. Deposição de esgoto doméstico para controle de poluição e revegetação induzida em área degradada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 252-256, 2000.

CALEFFI, R. C. **Voo em Roraima, IGEO, HYDROS, Matadouro Frigorífico de Roraima – MAFIR**. Boa Vista, 24 abr. 2009. Disponível em: <<http://www.panoramio.com/photo/21587587>>. Acesso em: 11 abr. 2016.

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**, [S.l.], v. 22, n. 2., p.361-369, 1977.

CARVALHO, T. M.; Síntese dos aspectos hidrogeomorfológicos do Estado de Roraima, Brasil. In: GORAYEB, P.; MEIGUINS, A. (Org.). **Contribuições à Geologia da Amazônia**. 9. ed. Belem: SBG-Norte, 2015. p. 435 - 450.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA – CEPEA. **Abate não fiscalizado de bovinos é estimado pelo Cepea/USP em menos de 10%**. Piracicaba, 02 set. 2014. Disponível em: <http://cepea.esalq.usp.br/comunicacao/Cepea_AbateNaoFiscalizadoBovinos.docx>. Acesso em: 15 jan. 2015.

CHERNICHARO, C. A. de L. et al. Tratamento de esgotos e produção de efluentes adequados a diversas modalidades de reúso da água. In: FLORENCIO, L. BASTOS, R. K. X., AISSE, M. M. (Coord.). **Reúso das águas de esgoto sanitário, inclusive desenvolvimento de tecnologias de tratamento para esse fim**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p 63 - 110.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgar Blucher, 1980. 188 p.

COELHO NETO, A. L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: Guerra, A. J. T. ; Cunha, S. B (org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 2011. p. 93 - 148.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo**: Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. São Paulo: CETESB, 2009. 44p.

_____. Índice de qualidade das águas. In: COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo**. São Paulo, 2014. 520p.

_____. **Norma Técnica L5.306**: Determinação de Clorofila a e Feofitina a: método espectrofotométrico. 3. ed. São Paulo: CETESB, 2014a. 14 p.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DE RORAIMA - CODESAIMA. Locação do MAFIR: Memorial Descritivo, Documento Técnico, s./n, de 18 de junho de 2002. **Lex.** Processo de Licenciamento Ambiental - FEMACT-RR nº 016001-08148/02-37: Licenciamento Ambiental - Frigorífico abatedouro bovino, reparação de carne e subprodutos, Boa Vista, p. 37, ago. 2002.

_____. Planta, Cortes e Detalhes: Estrumeira, tratamento preliminar e lagoas de estabilização - MAFIR, Documento Técnico, 07C, de abril de 2003. **Lex.** Processo de Licenciamento Ambiental - FEMACT-RR nº 016001-08148/02-37: Licenciamento Ambiental - Frigorífico abatedouro bovino, reparação de carne e subprodutos, Boa Vista, p. 278, ago. 2002.

_____. Cadastro Técnico Estadual, Formulário, s./n, de 23 de setembro de 2011. **Lex.** Processo de Licenciamento Ambiental - FEMACT-RR nº 016001-08148/02-37: Licenciamento Ambiental - Frigorífico abatedouro bovino, reparação de carne e subprodutos, Boa Vista, p. 224, ago. 2002.

CUNHA, A. H. N.; VIEIRA, J. A. Detecção da bactéria *Escherichia Coli* em águas residuárias empregando sistema em fluxo por turbidimetria. **Revista Mirante**, Anápolis, v. 7, n. 2, p. 184 - 193, dez. 2014.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Degradação Ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (org.). **Geomorfologia e meio ambiente**. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p. 337 - 371.

DEL NERY, V. et al. Longterm operating performance of a poultry slaughterhouse wastewater treatment plant. **Resources, Conservation and Recycling**, [S.l.], v. 50, s./n., p. 102-114, 2007.

DEL NERY, V. et al. Long-term performance and operational strategies of a poultry slaughterhouse waste stabilization pond system in a tropical climate. **Resources, Conservation and Recycling**, [S.l.], v. 71, s./n., p. 7-14, 2013.

DEL NERY, V.; DAMIANOVIC, M. H. R. Z.; BARROS, F. G. The use of an upflow anaerobic sludge blanket reactor in the treatment of poultry slaughterhouse wastewater. **Water Science Technologic**, [S.l.], v. 44, n. 4, p. 83-91, 2001.

DOMINGUES, V. O. et al. Contagem de bactérias heterotróficas na água para consumo humano: comparação entre duas metodologias. **Saúde**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 15-19, 2007.

DUARTE, E. M. O Estado de Roraima. In: Ministério das Relações Exteriores - MRE. Assessoria de Comunicação Social. **Revista Textos do Brasil**, Brasília, s./v., n. 2, p. 22-27, 1997. Disponível em: <<http://dc.itamaraty.gov.br/imagens-e-textos/revista2-mat5.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Bacia hidrográfica do rio Branco/RR: Relatório Final dos Estudos de Inventário Hidrelétrico**. v. 8: Apêndice D - Estudos Socioambientais. Boa Vista: EPE, 2010. 303p.

ESBELL, D. M. **Influência do deságue do sistema de lagoas de estabilização na quantidade de nutrientes no igarapé Grande, Boa Vista, Roraima**. 2006. 90p. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2006.

ESTEVES, F. de A. (Coord.). **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 829p.

ESTEVES F. A.; PANOSSO R. Fósforo. In: Fundamentos de limnologia. ESTEVES F.A. (Coord.). **Fundamentos de Limnologia**, 3.ed. Rio de Janeiro: Interciência/ FINEP, 2011. p. 259-281.

ESTEVES, F. M.; SILVA-VERGARA, M. L.; CARVALHO, A. C. F. B. Inquérito epidemiológico sobre teníase em população do programa de saúde da família no município Uberaba - MG. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, [S.l.], v. 38, s./n., p. 530 - 531, out./dez. 2005.

FELIX, J. Apagão em Roraima durou mais de dez horas e atingiu oito municípios. **G1 Globo.com**, 08 mar. 2016. Disponível em: <http://g1.globo.com/rr/roraima/noticia/2016/03/apagao-em-roraima-durou-mais-de-dez-horas-e-atingiu-oito-municipios.html>. Acesso em: 12 mar. 2016.

FERNANDES, M. R.; SILVA, J. C. **Programa Estadual de Manejo de Sub-bacias Hidrográficas: fundamentos e estratégias**. Belo Horizonte: EMATER-MG, 1994. 24p.

FILHO, B. C. et al. Bases conceituais da disposição controlada de águas residuárias no solo. In: CAMPOS, J. R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p 321- 356.

FILHO, B. C. et al. Tecnologia do Tratamento de águas residuárias no solo: infiltração rápida, irrigação e escoamento superficial. In: CAMPOS, J. R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999a. p. 364 - 409.

FOLHAWEB. Novo matadouro começa a funcionar em 2015. **FOLHAweb**. 18 nov. 2014. Disponível em: <<http://www.folhabv.com.br/noticia/Novo-matadouro-comeca-a-funcionar-em-2015/2354>>. Acesso em: 01 mar. 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. Natural Resources Management and Environment Department. **Wastewater treatment and use in agriculture - FAO**: Irrigation and drainage paper 47. Roma, 1992. Disponível em <<http://www.fao.org/docrep/T0551E/t0551e06.htm#4.aquiferrechargewithwastewater>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

FREIRE, R. C. LIMA, R. de A. Bactérias heterotróficas na rede de distribuição de água potável no município de Olinda-PE e sua importância para a saúde pública. **Journal of Management and Primary Health Care**. [S.l.], v. 2, n. 3, p. 91-95, 2012.

FREITAS, J. M. de. Plano de Controle Ambiental do Matadouro Frigorífico Industrial de Roraima, 2002. Estudo Técnico, s./n., de agosto de 2002. **Lex**. Processo de Licenciamento Ambiental - FEMACT-RR nº 016001-08148/02-37: Licenciamento Ambiental – Frigorífico abatedouro bovino, reparação de carne e subprodutos. Boa Vista, 2002. p. 88 – 160.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS - FEMARH. Parecer Técnico, 2011. Laudo Técnico, nº 492, de 27 de dezembro de 2011. **Lex**. Processo de Licenciamento Ambiental - FEMACT-RR nº 016001-08148/02-37: Licenciamento Ambiental – Frigorífico abatedouro bovino, reparação de carne e subprodutos. Boa Vista, 2002. p. 283 – 303.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE - FUNASA. **Manual Prático de Análise de Água**. 1. ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004. 146 p.

_____. **Manual Prático de Análise de Água**. 2. ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006. 146 p.

GENTIL, R. C.; TUCCI, A.; SANT'ANNA, C. L. Dinâmica da comunidade fitoplanctônica e aspectos sanitários de um lago urbano eutrófico em São Paulo, SP. **Hoehnea**, [S.l.], v. 35, n. 2, p. 265 - 280, 2008.

GIORDANO, G. **Tratamento e controle de efluentes industriais**. Rio de Janeiro: UERJ, 2004. 81 p. Disponível em: <<http://72.29.69.19/~nead/disci/gesamb/doc/mod7/2.pdf>>. Acesso em: 25 maio 2015.

GONZALEZ, A. M. PARANHOS, R. LUTTERBACH, M. S. Heterotrophic Bacteria Abundances in Rodrigo de Freitas Lagoon. **Brazilian Journal of Microbiology**, Rio de Janeiro, v. 37, s./n., p. 428-433, 2006.

IDE, C.N. et al. **Avaliação do Desempenho de lagoas de estabilização no tratamento de efluentes de matadouro**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 19, 1997, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: FITABES, 1997. p. 14-19.

IMHOFF, K.; IMHOFF, K. R. **Manual de Tratamento de águas residuárias**. 26. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2002. 301 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro, v. 40, s./n., 2012. 68 p.

_____. **Produção da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro, v. 41, s./n., 2013. 108 p.

_____. **Indicadores IBGE: Estatística da Produção Pecuária**. Rio de Janeiro, s./v., s./n., 2014. 50 p.

_____. **Pesquisa Nacional por amostra de domicílio contínua 2015**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=rr>>. Acesso em: 26 abr. 2016.

_____. **Roraima: Boa Vista**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/2VR>>. Acesso em: 26 abr. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS - IBAMA. Notificação, Ocorrência, nº 024356, de 03 de março de 1993. **Lex**. Processo de Licenciamento Ambiental - FEMACT-RR nº 016001-003502/93-57: Sistema de Tratamento do MAFIR, Boa Vista, p. 43, mar. 1993.

_____. Notificação, Ocorrência, nº 024665 e 024666, de 10 de abril de 1996. **Lex**. Processo de Licenciamento Ambiental - FEMACT-RR nº 016001-003502/93-57: Sistema de Tratamento do MAFIR, Boa Vista, p. 85, 87, mar. 1993.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa: Dados Históricos**. Brasília: INMET, 2016. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 30 abr. 2016.

ISOLDI, L. A.; KOETZ, P. R.; FARIA, O. L. V.; ISOLDI, L. Parâmetros de operação do reator UASB em um sistema combinado reator-UASB reator aeróbio. **Engenharia Sanitária Ambiental**, [S.l.], v. 10, n. 4, p. 271-277, out/dez. 2005.

JARDIM, W. F. Measurement and interpretation of redox potential values (E_H) in environmental matrices. **Química Nova**, São Paulo, v. 37, n. 7, p. 1233-1235, 2014.

KELLNER, E.; PIRES, E. C. **Lagoas de Estabilização: projeto e operação**. Rio de Janeiro: ABES, 1998. 244 p.

LACERDA, M. P. C.; ALVARENGA, M. I. N. Recursos naturais da microbacia. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.21, n. 207, p. 21-32, nov./dez. 2000.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d' água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. 235p. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LIBANIO, M. et al. Avaliação da relevância do carbono orgânico total como parâmetro de caracterização de águas de abastecimento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.l.], v. 5, n. 4, p. 41-55, out/dez. 2000.

LIMA, J. M. de. Características do Cooperado Coopercarne. **Revista de Administração de Roraima**, Boa Vista, v. 1, s./n, p. 171-186, 2013.

LIMA, W. de P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. 2. ed. Piracicaba: Departamento de Ciências Florestais - USP, 2008. 245 p.

LOPES, R. L.; SANTOS, A. S. Característica do solo da área de infiltração de efluentes domésticos de uma ETE. In: Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação, 7., 2012, Palmas. **Anais...** Palmas: IFTO, 2012, 6p.

MAIA, A. Vigilância Sanitária multa matadouro por poluir Água Boa. **O Estado de Roraima**, 28 abr. 1993. **Lex**. Processo de Licenciamento Ambiental - FEMACT-RR nº 016001-003502/93-57: Sistema de Tratamento do MAFIR, Boa Vista, p. 52, mar. 1993.

MARA, D. D. **Domestic wastewater treatment in developing countries**. Londres: Earthscan, 2004. 293 p.

_____. Pond Process Design – a practical guide. In: SHILTON, A. (Ed.). **Pond Treatment Technology**, Londres: IWA Publishing, 2005. p. 168-185.

MATHIAS, J. F. C. M. A clandestinidade na produção de carne bovina no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, s./v., p. 63-73, jan/fev/mar. 2008.

MEAT RESEARCH CORPORATION - MRC. **Identification of Nutrient Sources, Reduction Opportunities and Treatment Options for Australian Abattoirs and Rendering Plants**: Final report. Austrália: Meat and Livestock Australia Limited, 1995. 108 p.

MEES, J. B. R. et al. Removal of organic matter and nutrients from slaughterhouse wastewater by using *Eichhornia crassipes* and evaluation of the generated biomass composting. **Engenharia Agrícola**, [S.l.], v. 29, s./n., p. 466-473, 2009.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. Assessoria de Comunicação. MAPA alerta para os perigos do consumo de carne sem fiscalização. **Notícia Aberta**, Brasília, 28 fev. 2013. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/animal/noticias/2013/02/mapa-alerta-para-os-perigos-do-consumo-de-carne-sem-fiscalizacao>>. Acesso em: 03 fev. 2015.

_____. Exportação. **Animal**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/portal/page/portal/Internet-MAPA/pagina-inicial/animal>>. Acesso em: 03 fev. 2015.

_____. Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal. Olho Vivo! Você também é Fiscal. **DIPOA Consumidor**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/animal/dipoa/dipoa-consumidor/olho-vivo>>. Acesso em: 03 fev. 2015a.

_____. Secretaria de Defesa Agropecuária. Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal. Coordenação Geral de Programas Especiais. **Anuário dos programas de controle de alimentos de origem animal do DIPOA**. Brasília, v. 1, n. 1, s./n., 2015b. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/relatorio%20DIPOA24-02.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2016.

_____. **Relatório de Estabelecimentos**. Disponível em: <http://sigsif.agricultura.gov.br/sigsif_cons/ap_estabelec_nacional_rep>. Acesso em: 15 mar. 2016.

_____. **Quantidade de abate estadual por Ano/Espécie**. Disponível em: <http://sigsif.agricultura.gov.br/sigsif_cons/ap_abate_estaduais_cons?p_select=SIM>. Acesso em: 15 mar. 2016a.

_____. **Consulta de Estabelecimento Nacional:** Dados do Estabelecimento Nacional. Disponível em: <http://sigsif.agricultura.gov.br/sigsif_cons/ap_estabelec_nacional_cons>. Acesso em: 15 mar. 2016b.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA - MME. **Zoneamento ecológico econômico da região central do Estado de Roraima.** 2002. Cd room.

MINISTÉRIO DO EXERCITO - ME. Departamento de Engenharia e Comunicações. Diretoria de Serviço Geográfico. **Região Norte do Brasil. Boa Vista.** Boa Vista: DSG, 1980. 1. ed. Escala: 1:100.000.

MONTEIRO, A. Investimentos na estrutura do Mafir beneficiam setor pecuário de Roraima. **Roraima em Foco:** geral, 14 jan. 2016. Disponível em: <<http://www.roraimaemfoco.com/investimentos-na-estrutura-do-mafir-beneficiam-setor-pecuario-de-roraima/>>. Acesso em: 15 mar. 2016.

MOURA, A. N. de. Recarga Artificial de Aquíferos: Os desafios e riscos para garantir o suprimento futuro de água subterrânea. In: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2004, Cuiabá. **Anais... São Paulo:** Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2004. Disponível em <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23608/15688>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

OLIVEIRA, M. A. **Mafir adquire equipamentos novos.** Comunicação Codesaima, Boa Vista, 22 ago. 2013. Disponível em: <<http://www.codesaima.rr.gov.br/mafir-adquire-equipamentos-novos/>>. Acesso em: 11 fev. 2015.

OLIVEIRA, S. C. **Tratamento estatístico de dados ambientais.** Belo Horizonte: Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos - UFMG, 2015. 142p.

PACHECO, J. W.; YAMANAKA, H. T. **Guia técnico ambiental de abates (bovino e suíno).** São Paulo: CETESB, 2008. 98 p.

PAULO, J. Inspeção confirma sucateamento do MAFIR. **FOLHAWEB**, 14 jan. 2015. Disponível em: <<http://www.folhabv.com.br/novo/noticias/view/id/3770/titulo/Inspe%C3%A7%C3%A3o+confirma+sucateamento+do+Mafir.>>. Acesso em: 11 fev. 2015.

PEIXOTO, S. T.; BLANES, M. E. de C.; PYRRHO, A. dos S. Abate clandestino: uma questão a ser enfrentada. **Higiene Alimentar**, [S.l.], v. 27, n. 216/217, jan./fev. 2013.

POPE, M. L. et al. Assessment of the Effects of Holding Time and Temperature on Escherichia coli Densities in Surface Water Samples. **Applied and Environmental Microbiology**, [S.l.], v. 69, n. 10, p. 6201 - 6207, out. 2003.

RABELO, M. H. S.; SILVA, E. K.; PERES, A. de P. Análise de modos e efeitos de falha na avaliação dos impactos ambientais provenientes do abate animal. **Engenharia Sanitária Ambiental**, [S.l.], v. 19, n. 1, p. 79-86, jan./mar. 2014.

RANDHIR, T. O. et al. A watershed-based land prioritization model for water supply protection. **Forest Ecology and Management**, v.143, n.1, p. 47-56, 2001.

RIBEIRO, E. A.; SANDRI, D.; BOÊNO, J. A. Qualidade da água de córrego em função do lançamento de efluente de abate de bovino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 4, p. 425-433, 2013.

ROCHA, R. Empresários anunciam frigorífico privado para 2016, que irá fazer 650 abates diários. **FOLHA web**, 17 nov. 2015. Disponível em: <<http://www.folhabv.com.br/noticia/Empresarios-anunciam-frigorifico-privado-para-2016--que-ira-fazer-650-abates-diarios/11592>>. Acesso em: 01 mar. 2016.

ROLIM, M. M.; LYRA, M. R. C. C.; DUARTE, A. S.; MEDEIROS, P. R. F.; SILVA, E. F. F.; PEDROSA, E. M. R. Influência de uma lagoa de distribuição de vinhaça na qualidade da água. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 155-171, 2013.

RORAIMA. Conselho Estadual de Meio Ambiente Ciência e Tecnologia - CEMACT. Dispõe sobre o Programa Estadual de Descentralização da Gestão Ambiental com fins de execução do compartilhamento da gestão ambiental mediante normas de cooperação entre os Sistemas Federal, Estadual e Municipal de Meio Ambiente; define as tipologias, considerados os critérios de porte, potencial poluidor e natureza da atividade e dá outras providências. Resolução nº 01, de 21 de janeiro de 2014. **Diário Oficial [do] Estado de Roraima**, Boa Vista, RR, 18 fev. 2014. Disponível em: <<http://www.imprensaoficial.rr.gov.br/diarios/doe-20140218.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2015.

_____. Departamento Estadual de Meio Ambiente - DEMA. Relatório de vistoria do MAFIR, Laudo Técnico, s./n., de 12 de abril de 1993. **Lex**. Processo de Licenciamento Ambiental - FEMACT-RR nº 016001-003502/93-57: Sistema de Tratamento do MAFIR, Boa Vista, p. 53-56, 1993.

_____. Departamento Estadual de Meio Ambiente - DEMA. Laudo técnico de vistoria: Lagoa de estabilização do MAFIR/CODESAIMA, Laudo Técnico, s./n., de 29 de dezembro de 1999. **Lex**. Processo de Licenciamento Ambiental - FEMACT-RR nº 016001-003502/93-57: Sistema de Tratamento do MAFIR, Boa Vista, p. 103, mar. 1993.

_____. Departamento Estadual de Meio Ambiente - DEMA. Licença de Operação, Licença Ambiental, 032/02, de 04 de novembro de 2002. **Lex**. Processo de Licenciamento Ambiental - FEMACT-RR nº 016001-08148/02-37: Licenciamento Ambiental - Frigorífico abatedouro bovino, reparação de carne e subprodutos, Boa Vista, p. 67, ago. 2002.

_____. Secretaria de Estado do Planejamento e Desenvolvimento de Roraima - SEPLAN. **Informações Socioeconômicas do Município de Boa Vista - RR**. 1. ed. Boa Vista: CGEES/SEPLAN - RR, 2010. 68p.

_____. Secretaria de Estado do Planejamento e Desenvolvimento de Roraima - SEPLAN. **Panorama e Vetores do Desenvolvimento de Roraima - 2013**. Boa Vista, v. 2, s./n., 2013. 65 p.

_____. Secretaria de Meio Ambiente, Interior e Justiça - SEMAIJUS. Relatório de vitoria do sistema de tratamento do esgoto do Mafir. Laudo Técnico, s./n., de 26 de janeiro de 1993. **Lex**. Processo de Licenciamento Ambiental - FEMACT-RR nº 016001-003502/93-57: Sistema de Tratamento do MAFIR, Boa Vista, p. 20, mar. 1993.

RORAIMA AMBIENTAL, CONSULTORIA E ASSESSORIA - RR AMBIENTAL. Plano de Recuperação de área degradada no entorno das lagoas de estabilização do Matadouro Frigorífico de Roraima, Estudo Técnico, s./n., de 06 de julho de 2005. **Lex**. Processo de Licenciamento Ambiental - FEMACT-RR nº 016001-0365/05-01: Plano de Recuperação de área degradada no entorno das lagoas de estabilização do MAFIR, Boa Vista, p. 10-40, jul. 2004.

SANT'ANA, A. C. Análise multivariada da qualidade de água superficial do municípios de Boa Vista- RR, como auxílio a gestão dos recursos hídricos locais. In: MESSIAS, A. S.; COSTA, M. R. N. (Org.). **Água - Tratamento e Políticas Públicas**. 4. ed. Recife: Universidade Católica de Pernambuco, 2007, p. 53-64.

SANTANA, D. P. **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 63 p.

SANTOS, C. A. S. et al. Sistema de tratamento de efluentes de matadouro bovino utilizando lagoas de estabilização. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 1294-1302, 2011.

SANTOS, M. **A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção**. 4. ed. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2008. 392 p.

SATO, M. I. Z. et al. **Relatório Técnico Monitoramento de Escherichia coli e coliformes termotolerantes em pontos da rede de avaliação da qualidade de águas interiores do Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2008. 21p.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL - SENAI. **Princípios básicos de produção mais limpa em matadouros frigoríficos**. Porto Alegre: Centro Nacional de Tecnologias Limpas, 2003. 59 p.

SILVA FILHO, P. A. da. **Diagnóstico operacional de lagoas de estabilização**. 2007. 169p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa Regional de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária, Natal, 2007.

SILVA, S. A; MARA, D. D. **Tratamento biológico de águas residuárias: lagoas de estabilização**. 1. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1979. 140 p.

SIMÕES, K. da S. et al. Água residuária de esgoto doméstico tratado na atividade microbiana do solo e crescimento da mamoneira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 5, p. 518-523, 2013.

SOUSA, EDUARDO RIBEIRO DE. **Noções sobre qualidade da água: parâmetros de caracterização de uma massa de água**. Lisboa: Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura. Secção de Hidráulica e dos Recursos Hídricos e Ambientais. Licenciatura em Engenharia Civil, 2001. 29p.

SOUSA, J. T.; FORESTI, E. Gestão e controle ambiental utilização de lodo anaeróbio como fonte externa de carbono no processo de desnitrificação de águas residuárias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 69-73, 1999.

SOUZA, E. R.; FERNANDES, M. R. Sub-bacias hidrográficas: unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentáveis das atividades rurais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.21, n. 207, p. 15-20, nov./dez. 2000.

SOUZA, M. M.; GASTALDINI, M. do C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.l.], v. 19, n. 3, p. 253-274, jul./set. 2014.

THEBALDI, M. S. et al. Qualidade da água de um córrego sob influência de efluente tratado de abate bovino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.3, p. 302-309. 2011.

THEBALDI, M. S. et al. Qualidade da água para irrigação de um córrego após receber efluente tratado de abate bovino. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, n.1, p. 109-120, jan./fev. 2013.

TORKIAN, A.; EQBALI, A; HASHEMIAN, S.J. The effect of organic loading rate on the performance of UASB reactor treating slaughterhouse effluent. **Resource Conservation & Recycling**, Teerã, v. 40, s./n, p. 1-11. 2003.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**. Brasília: MMA, 2006. 302p.

TUNDISI, J. G; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 631p

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME; DANISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY; COWI CONSULTING ENGINEERS AND PLANNERS AS, DENMARK. **Cleaner production assessment in meat processing**. Paris: UNEP, 2000. 91 p.

UNIVERSO AGRO - UAGRO. Pesquisa do CEPEA causa polêmica entre analistas de mercado da pecuária de corte. **Redação UAGRO**. 03 set. 2014. Disponível em: <<http://www.uagro.com.br/editorias/pecuaria/2014/09/03/pesquisa-do-cepea-causa-polemica-entre-analistas-de-mercado-da-pecuaria-de-corte.html>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

URBANO, V. R. et al. Physical-chemical effects of irrigation with treated wastewater on Dusky Red Latosol soil. **Revista Ambiente & Agua**, Taubaté, v. 10, n. 4, p. 737-746, out./dez. 2015.

VITAL, M. J. S. **Boa Vista-RR: O monitoramento dos recursos hídricos e a necessidade de indicadores ambientais**. 2004. 106p. Tese (Professor Titular) - Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2004.

VON SPERLING, M. et al. Impacto dos nutrientes do esgoto lançado em corpos de água. In: MOTA, F. S. B.; VON SPERLING, M. (Coord.). **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p 26 - 51.a

VON SPERLING, M. et al. Remoção de Nutrientes em Sistemas Naturais. In: MOTA, F. S. B.; VON SPERLING, M. (Coord.). **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p 293 - 340.

VON SPERLING, M. **Princípio do Tratamento Biológicos de Águas Residuárias**. v. 3: Lagoas de estabilização. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 2002. 196 p.

_____. **Princípio do Tratamento Biológicos de Águas Residuárias**. v. 1: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 2005. 452 p.

WADT, P. G. S. et al. **Sistema de aptidão das terras para recuperação ambiental: uma metodologia de planejamento ambiental**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2004. 38p.

WETZEL, R. G. **Limnologia**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbembkian, 1993. 915p.

ZANATTA, L. C.; RAMAGE, L. Avaliação da eficiência da infiltração de efluentes nas dunas do Aquífero Campeche, Florianópolis, SC. In: XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2014, Belo Horizonte. **Anais... São Paulo**: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2014. Disponível em < <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28250/18368>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

ZANZINI, A. C. da S.; PRADO FILHO, J. F. do. Impacto da atividade agropecuária sobre a fauna silvestre. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.21, n. 202, p.78-87, jan./fev. 2000.