



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Urutaí
Programa de Pós-Graduação em Conservação de
Recursos Naturais do Cerrado

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIBEIRÃO SAMPAIO EM PIRES DO RIO - GO ANTES E APÓS O LANÇAMENTO DE EFLUENTE DE ABATEDOURO AVÍCOLA.

CRYSLARA DE SOUZA LEMES

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Débora Astoni Moreira

Co-orientador: Prof. Dr. José Antônio Rodrigues de Souza

Urutaí, abril de 2021.



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano

Reitor

Prof. Dr. Elias de Pádua Monteiro

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação e Inovação

Prof. Dr. Alan Carlos da Costa

Campus Urutaí

Diretor Geral

Prof. Dr. Paulo César Ribeiro Cunha

Diretor de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação

Prof. Dr. Anderson Rodrigo da Silva

**Programa de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais do
Cerrado**

Coordenador

Prof. Dr. Daniel de Paiva Silva

Urutaí, abril de 2021.

CRYSLARA DE SOUZA LEMES

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO
RIBEIRÃO SAMPAIO EM PIRES DO RIO - GO ANTES
E APÓS O LANÇAMENTO DE EFLUENTE DE
ABATEDOURO AVÍCOLA.**

Orientador(a)

Prof^ª. Dr^ª. Débora Astoni Moreira

Coorientador(a)

Prof. Dr. José Antônio Rodrigues de Souza

Dissertação apresentada ao Instituto Federal Goiano –
Campus Urutaí, como parte das exigências do Programa
de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais
do Cerrado para obtenção do título de Mestre.

Urutaí (GO)
2021

Os direitos de tradução e reprodução reservados.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser gravada, armazenada em sistemas eletrônicos, fotocopiada ou reproduzida por meios mecânicos ou eletrônicos ou utilizada sem a observância das normas de direito autoral.

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

LL552a Lemes, Cryslara
Avaliação da qualidade da água do córrego Sampaioem Pires do Rio (GO), antes e após o lançamento de efluentes de abatedouro avícola. / Cryslara Lemes; orientadora Débora Moreira; co-orientador José Souza. -- Urutaí, 2021.
54 p.

Dissertação (Mestrado em Mestrado em conservação de recursos naturais do cerrado) -- Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, 2021.

1. esgoto. 2. frigorífico de aves. 3. corpo receptor. 4. autodepuração. I. Moreira, Débora, orient. II. Souza, José, co-orient. III. Título.



FICHA DE APROVAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Título da dissertação:	Avaliação da qualidade da água do Ribeirão Sampaio em Pires do Rio – GO antes e após o lançamento de efluente de abatedouro avícola.
Orientador(a):	Débora Astoni Moreira
Coorientador(a):	José Antônio Rodrigues de Souza
Autor(a):	Cryslara de Souza Lemes

Dissertação de Mestrado **APROVADA** em 05 de maio de 2021, como parte das exigências para obtenção do Título de **MESTRE EM CONSERVAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS DO CERRADO**, pela Banca Examinadora especificada a seguir.

Prof.^a. Dr.^a. **Débora Astoni Moreira**
Orientadora, IF Goiano – Campus Urutaí
Presidente

Prof. Dr. **José Antônio Rodrigues de Souza**
Co-orientador, IF Goiano – Campus Urutaí
Membro titular

Prof. Dr. **Leandro Caixeta Salomão**
Avaliador, IF Goiano – Campus Urutaí
Membro titular

Dr.^a. **Janine Mesquita Gonçalves**
Avaliador, IF Goiano – Campus Urutaí
Membro titular

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- Tese Artigo Científico
 Dissertação Capítulo de Livro
 Monografia – Especialização Livro
 TCC - Graduação Trabalho Apresentado em Evento
 Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____

Nome Completo do Autor: CRYSLARA DE SOUZA LEMES

Matrícula: 2019101330940043

Título do Trabalho: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIBEIRÃO SAMPAIO EM PIRES DO RIO (GO), ANTES E APÓS O LANÇAMENTO DE EFLUENTES DE ABATEDOURO AVÍCOLA.

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 17/06/2021

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

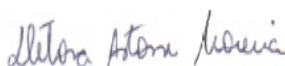
Local

URUTAÍ, 16/06/2021.
Data



Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:



Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 50/2021 - DE-UR/CMPURT/IFGOIANO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO

ATA Nº/65

BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos cinco dias do mês de maio do ano de dois mil e vinte e um, às sete horas, reuniram-se os componentes da banca examinadora em sessão pública realizada por videoconferência, para procederem à avaliação da defesa de dissertação em nível de mestrado, de autoria de **Cryslara de Souza Lemes**, discente do **Programa de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado do Instituto Federal Goiano - Campus Urutaí**, com trabalho intitulado "**Avaliação da qualidade da água do córrego Sampaio em Pires do Rio (GO), antes e após o lançamento de efluentes de abatedouro avícola**". A sessão foi aberta pela presidente da banca examinadora, **Profa. Dra. Débora Astoni Moreira**, que fez a apresentação formal dos membros da banca. A palavra, a seguir, foi concedida ao autor da dissertação para, em 30 minutos, proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o examinado, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se à avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado, a dissertação foi **APROVADA**, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRA EM CONSERVAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS DO CERRADO**, na área de concentração em **Ciências Ambientais**, pelo

Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega da secretaria do Programa de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado da versão definitiva da dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, a defesa perderá a validade se não cumprida essa condição, em até **60 (sessenta) dias** da sua ocorrência. A banca examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa dissertação em periódicos após procedida as modificações sugeridas.

Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de dissertação de mestrado, e para constar, foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada eletronicamente pelos membros da banca examinadora.

Membros da Banca Examinadora:

Nome	Instituição	Situação no Programa
Profa. Dra. Débora Astoni Moreira	IF Goiano – Campus Urutaí	Presidente
Prof. Dr. Leandro Caixeta Salomão	IF Goiano – Campus Urutaí	Membro interno
Prof. Dr. José Antônio Rodrigues de Souza	IF Goiano – Campus Urutaí	Membro interno
Dra. Janine Mesquita Gonçalves	IF Goiano – Campus Urutaí	Membro externo

Documento assinado eletronicamente por:

- **Jose Antonio Rodrigues de Souza**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 05/05/2021 13:28:05.
- **Janine Mesquita Goncalves**, ENGENHEIRO AGRONOMO, em 05/05/2021 10:33:41.
- **Leandro Caixeta Salomao**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 05/05/2021 10:18:52.
- **Debora Astoni Moreira**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 05/05/2021 09:48:57.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 05/05/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 264926
Código de Autenticação: 5eb0c70a4c



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Urutaí

Rodovia Geraldo Silva Nascimento, Km 2,5, Zona Rural, None, URUTAI / GO, CEP 75790-000

(64) 3465-1900

*“A ciência nunca resolve um problema
sem criar pelo menos outros dez.”
(George Bernard Sha).*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Paulo e Tereza por toda dedicação e empenho em minha educação, por todo o incentivo que me deram não me deixando desistir de algum objetivo ou fraquejar diante de alguma adversidade, por todos os ensinamentos de perseverança e fé.

À Nutriz Agroindustrial de alimentos, na pessoa do senhor Giuliano Tomazini, pela oportunidade de trabalhar em minha área de formação e por toda confiança em meu trabalho e constante incentivo a buscar por capacitação profissional.

SUMÁRIO

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano	ii
Campus Urutaí	ii
SUMÁRIO	11
1. INTRODUÇÃO.....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1. Aspectos gerais.....	18
2.2. Legislação.....	19
2.3. Tratamento de efluentes.....	19
2.3.1. Tratamento preliminar e primário (processos físico-químicos).....	20
2.3.2. Tratamento secundário (processos biológicos).....	20
2.3.3. Tratamento terciário (polimento).....	21
2.4. Qualidade das águas.....	22
2.4.1. Índice de qualidade das águas (IQA).....	23
2.4.2. Índice de Estado Trófico (IET).....	27
2.5. Autodepuração de corpos d'água.....	28
2.5.1. Coeficiente de desoxigenação (K1).....	30
2.5.2. Coeficiente de re-aeração (K2).....	32
2.5.3. Modelagem de autodepuração.....	33
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
5. CONCLUSÃO.....	52
6. REFERÊNCIAS.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Zonas de autodepuração.	29
Figura 2. Mapa da micro região IBGE de Pires do Rio.....	34
Figura 3. Rede hidrográfica de Pires do Rio.....	35
Figura 4. Peneira estática.....	35
Figura 5. Flotador.....	35
Figura 6. Visão geral da ETEI.....	36
Figura 7. Pontos de coleta do efluente bruto (esq.) e tratado (dir.) – calhas parshall inicial e final	37
Figura 8. Ponto de lançamento do efluente final	38
Figura 9. DBO exercida do efluente do abatedouro de aves.	48
Figura 10. Curva de depleção de oxigênio Ribeirão Sampaio para o período chuvoso.	48
Figura 11. Curva de depleção de oxigênio Ribeirão Sampaio no período seco.....	49
Figura 12. Alteração na DBO do Ribeirão Sampaio - Período chuvoso.....	50
Figura 13. Alteração das concentrações de DBO no Ribeirão Sampaio - Período seco.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características comuns das águas residuárias de frigoríficos.	18
Tabela 2. Valores genéricos do coeficiente K1 (base e, 20°C) para vários tipos de efluentes e águas.....	31
Tabela 3. Valores típicos de K2 (base e, 20°C).....	32
Tabela 4. Valores típicos de K2 baseados em modelos com dados hidráulicos.....	32
Tabela 5. Características físicas do tratamento biológico.	41
Tabela 6. Caracterização bioquímica do efluente bruto.....	42
Tabela 7. Caracterização química e bioquímica do efluente tratado.	42
Tabela 8. Características físicas, químicas, bioquímicas e microbiológicas do corpo receptor.	43
Tabela 9. Índices de qualidade das águas.....	45
Tabela 10. Classificação do IQA conforme a ANA.	46
Tabela 11. Classificação do IET para ambientes lóticos.....	46
Tabela 12. Valores do IAQ e IET (CL, PT e T) para o corpo receptor nos períodos de estiagem e chuvoso	46

LISTA DE ABREVEATURAS, SIGLAS E FÓRMULAS QUÍMICAS

ANA – Agência Nacional de Águas
CC – Concentração crítica OD
CETESB – Companhia ambiental do estado de São Paulo
CF – Coliformes Termotolerantes
CONAMA – Conselho nacional do meio ambiente
Cs – Concentração de saturação de OD
DBO – demanda bioquímica de oxigênio
DBO_{5,20} – demanda bioquímica de oxigênio incubada por 5 dias a 20°C
DQO – Demanda química de oxigênio
ETE(s) – Estação de Tratamento de Efluentes
ETEI – estação de tratamento de efluentes industriais
FFO – fábrica de farinhas e óleos
H⁺ - íon hidrogênio
IET – índice de estado trófico
IQA – índice de qualidade de água
K1 – Coeficiente de desoxigenação
K2 – Coeficiente de re-aeração
MO – Matéria Orgânica
N – nitrogênio
NO₃ – nitrato
OD – oxigênio dissolvido
P – Fósforo
PEAD – Polietileno de alta densidade
pH – potencial hidrogeniônico
PNRH – Política Nacional dos Recursos Hídricos
ST – Sólidos Totais
TDH – tempo de detenção hidráulico
Tu – Turbidez
UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais
ΔT – variação de temperatura

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIBEIRÃO SAMPAIO EM PIRES DO RIO – GO ANTES E APÓS O LANÇAMENTO DE EFLUENTE DE ABATEDOURO AVÍCOLA.

RESUMO

Os efluentes industriais possuem alto potencial poluidor e se lançados indiscriminadamente em corpos d'água podem causar sérios danos ambientais. Assim, este estudo objetivou analisar os impactos causados pelo lançamento do efluente tratado pela ETEI de abatedouro de aves localizado no município de Pires do Rio – GO em um trecho do Ribeirão Sampaio, bem como quantificar o coeficiente de desoxigenação (K_1) do efluente e então simular o potencial de autodepuração do corpo d'água. O estudo foi realizado por meio avaliação sazonal em duas campanhas (período seco e chuvoso), amostragem pontual simples do efluente, bem como do corpo receptor coletada em dois pontos (montante e a jusante do lançamento do efluente industrial). Os dados obtidos dos testes para determinação de IQA e IET foram submetidos à análise qualitativa; a avaliação da DBO do efluente por meio de regressão não-linear permitiu determinar o valor de $K_{1\text{experimental}}$ do efluente final; e a simulação da autodepuração do corpo receptor foi avaliada por meio de análise das curvas de DBO e depleção de OD. O K_1 obtido para o efluente final foi de 0,098 evidenciando degradação prévia da fração da matéria orgânica mais facilmente assimilável. Os índices (IQA e IET) permitiram afirmar que a água no trecho de estudo encontra-se com qualidade entre BOA e REGULAR. O corpo d'água não apresentou queda significativa de qualidade após recebimento do efluente industrial. De maneira geral observou-se que o corpo receptor possui baixo potencial de eutrofização. Os dados permitiram concluir que o Ribeirão Sampaio sofre contaminação prévia ao lançamento do efluente de industrial. Fato explicado pela expansão urbana que atingiu as áreas próximas às margens do Ribeirão colaborando para a supressão das reservas de mata ciliar fato que compromete a qualidade das águas superficiais.

Palavras-chave: Esgoto, frigorífico de aves, corpo receptor, autodepuração.

ASSESSMENT OF SAMPAIOS RIVER WATER QUALITY IN PIRES DO RIO – GO BEFORE AND AFTER THE LAUNCHING OF POULTRY SLAUGHTERHOUSE EFFLUENT.

ABSTRACT

Industrial effluents have a high polluting potential and, if discharged indiscriminately into courses of water, can cause serious environmental damage. Thus, this study aimed to analyze the impacts caused by the discharge of the wastewater from a IETP from a slaughterhouse located in Pires do Rio - GO in a stretch of stream Sampaio, as well as to quantify the deoxygenation coefficient (K_1) of the wastewater and then simulate the self-cleaning potential of the course of water. The study was carried out by means of seasonal evaluation in two campaigns (dry and rainy period), simple point sampling of the effluent, as well as the course of water collected at two points (upstream and downstream of the industrial effluent discharge). The data obtained from the tests for determining WQI and TSI were submitted to qualitative analysis; the COB evaluation of the effluent by means of non-linear regression allowed to determine the K_1 experimental value of the final effluent; and the simulation of the self-purification of the course of water was evaluated by analyzing the COB curves and DO depletion. The K_1 obtained for the final effluent was 0.098, showing previous degradation of the fraction of organic matter more easily assimilated. The indices (WQI and TSI) allowed us to state that the water in the study section is of a quality between GOOD and REGULAR. The river did not show a significant drop in quality after receiving the industrial effluent. In general, a course of water with low eutrophication potential was observed. The data allowed us to conclude that stream Sampaio suffers contamination prior to the release of industrial effluent. This fact is explained by the urban expansion that reached the areas close to its margins, helping to suppress riparian forest reserves, compromising the quality of the surface waters.

Keywords: Sewer, birdslaughterhouse, receiving body, self-purification.

1. INTRODUÇÃO

É recente a percepção de que a água trata-se de um recurso natural esgotável, nem sempre estando disponível em quantidade ou qualidade suficiente aos seus usos múltiplos dentro de uma sociedade. As ações antrópicas de maneira concentrada como o lançamento de efluentes domésticos e industriais nos corpos d'água estão entre os fatores de crescente pressão e degradação desses recursos naturais. Nesse contexto se enquadram as atividades de indústrias de abate e processamento de aves por caracteristicamente consumirem grandes volumes de água como matéria prima em seus processos higiênicos e produtivos e, conseqüentemente, gerar altos volumes de efluentes com considerável potencial poluidor.

Visando a proteção dos corpos receptores de efluentes a legislação ambiental brasileira determina que sejam realizados estudos de verificação da eficiência dos sistemas de tratamento de efluentes industriais. O objetivo deste monitoramento é garantir que o corpo receptor conserve suas características originais, assegurando os requisitos necessários para sua proteção bem como manter a qualidade hídrica, finalidades de uso e enquadramento. Contudo, a proteção dos recursos hídricos não deve ser restrita à análise dos efluentes, sendo igualmente significativa a avaliação e monitoramento da qualidade da água ao longo do curso do rio (GUEDES, 2019; NUNES, 2008).

A forma como um corpo d'água se comporta após receber uma poluição deve ser avaliada como ferramenta de gestão dos recursos hídricos para manutenção de suas características naturais (SALLA, 2013; GUEDES, 2019; Barros, 2008). Além deste monitoramento pode-se citar como igualmente importantes: os estudos de potencial de eutrofização; a compilação das características físico, químicas e microbiológicas do corpo d'água através da composição de índices de qualidade das águas – IQA. esses estudos associados à avaliação da qualidade do efluente final a ser lançado em um corpo receptor subsidiam a tomada de decisões acerca do uso de uma bacia hidrográfica ou corpo d'água. Entretanto o que se observa é que tais estudos são negligenciados, deixando de ser realizados ou sendo realizados sem critérios específicos.

Tal fato ocorre pela falta de análises mais aprofundadas tanto dos corpos d'água quanto dos diferentes tipos de efluentes industriais. Poucas são as informações existentes sobre o lançamento de efluentes de abatedouro avícola em corpo hídrico e quando realizados os estudos utilizam-se de índices gerais conhecidos de efluentes sanitários que nem sempre refletem a realidade desses efluentes (GUEDES, 2019). Cada efluente industrial apresenta

características próprias inerentes ao processo industrial empregado, devendo então ser avaliados individualmente.

Em vista do exposto objetivou-se com esse trabalho analisar a qualidade da água a montante e a jusante do lançamento do efluente de abatedouro avícola no Ribeirão Sampaio em Pires do Rio – GO. Foi avaliada a existência de variação sazonal nos parâmetros físicos, químicos e biológicos relacionados à qualidade da água, além de: determinados o índice de qualidade das águas – IQA e índice de estado trófico – IET para o corpo d'água antes e após o recebimento do efluente; quantificado o coeficiente de desoxigenação (K1) experimental do efluente de abatedouro avícola comparando-o com o de demais estudos existentes; simulado o potencial de autodepuração do corpo d'água.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Aspectos gerais

Atualmente os efluentes industriais representam as maiores e mais prejudiciais fontes de poluição existentes (SCHATZMANN, 2009; BUSTILLO-LECOMPTE, 2014), sendo suas características físico-químicas e biológicas determinadas em função do tamanho da indústria, tipo de uso da água e da reciclagem dos efluentes líquidos (NARDI *et. al.* 2005).

A indústria abatedora de frango utiliza em seu processo produtivo um alto volume de água e conseqüentemente produz um alto volume de efluentes que comumente são lançados em corpos d'água. Esses efluentes constituem-se basicamente de material orgânico protéico, gorduras, penas, areia, fezes e ossos (SCHATZMANN, 2009; CREMONINI *et. al.* 2018), ou seja, matéria orgânica, inorgânica e nutrientes. Dentre os parâmetros que mais conferem potencial poluidor a esse tipo de efluente pode-se citar a alta concentração de DBO (Demanda bioquímica de Oxigênio), DQO (demanda química de oxigênio) e nutrientes como o nitrogênio (N) e o fósforo (P), sendo o sangue, urina e as fezes das aves a fonte primária desses parâmetros (TEIXEIRA, 2006).

Por suas características de composição o lançamento indiscriminado desse tipo de efluente no solo ou na água pode causar sérios danos aos ecossistemas aquáticos, bem como grave contaminação do solo e riscos à saúde humana. Na Tabela 1 são apresentadas as características médias dos efluentes de frigoríficos de acordo com BUSTILLHO-LECOMPTE (2014):

Tabela 1. Características comuns das águas residuárias de frigoríficos.

Parâmetro	Alcance	Média
TOC (mgL ⁻¹)	100 – 1200	546
DBO (mgL ⁻¹)	610-4635	1209
DQO (mgL ⁻¹)	1250-15900	4221
TN	50-841	427
TSS	300-2800	1664
pH	4,90-8,10	6,95

Fonte: Bustillo-Lecompte (2014).

Von Sperling (1996) ressalta que em termos de poluição a repercussão mais nociva para um corpo d'água está vinculada à queda dos níveis de oxigênio dissolvido - OD no mesmo sendo o impacto estendido a toda comunidade aquática. O OD pode então ser

considerado um parâmetro fundamental na determinação do grau de contaminação de um corpo d'água (MENDES, 2019). Em corpos receptores de efluentes o OD disponível na água é consumido nos processos biológicos de respiração dos micro-organismos responsáveis pela degradação da DBO e em processos de oxidação de formas nitrogenadas contidas no efluente. Assim o efluente de abatedouro de aves apresenta grande potencial poluidor podendo alterar a qualidade das águas superficiais e subterrâneas se lançado indiscriminadamente.

2.2. Legislação

Os consideráveis riscos de degradação ambiental serviram de embasamento para o desenvolvimento de legislações que proporcionem a preservação dos recursos naturais e ecossistemas. Na esfera federal a Resolução nº 430/2011 do CONAMA (BRASIL, 2011) regulamenta as condições e padrões de lançamento de efluentes em corpos d'água através de limites de concentração nos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos do efluente final. A Resolução nº 357/2005 do CONAMA (BRASIL, 2005) por sua vez dispõe sobre a classificação e enquadramento dos corpos d'água em classes de uso. No Brasil, os padrões de lançamento de efluentes tornam-se cada vez mais restritivos e o não cumprimento da legislação ambiental pode acarretar em sanções legais (NARDI *et. al.* 2005).

Para efluentes da indústria frigorífica de frango que contem alta concentração de carga orgânica e de nutrientes, os parâmetros de DBO e as concentrações de compostos fosfatados e nitrogenados são as variáveis mais difíceis de enquadramento na lei (SCHATZMANN, 2009) por exigirem grande redução de concentração no tratamento.

2.3. Tratamento de efluentes

A necessidade de tratamento anterior à disposição final dos efluentes no meio ambiente vai depender inicialmente de sua caracterização e quantificação, levando em consideração fatores como composição física, química, biológica, toxicidade e volume de efluente gerado (NARDI *et. al.* 2005). O nível de tratamento necessário por sua vez, é função de características diversas da planta como: porte da unidade, processo produtivo empregado, tipos de produtos finais industrializados, consumo de água (SCHATZMANN, 2009); e características locais: clima da região, disponibilidade de área, qualificação de mão de obra,

características do efluente final esperado (eficiência de remoção necessária), aspectos econômicos, operacionais, dentre outros. Assim, a unidade de tratamento deverá ser compatível com o tipo de efluente gerado.

Sabe-se que os processos produtivos industriais estão em constante transformação visando o aumento da produtividade e que as características do efluente industrial de frigorífico de aves estão intimamente relacionadas à quantidade de aves abatidas, volume de água utilizado no processo, e aos procedimentos operacionais e de sanitização de instalações e equipamentos (NARDI *et. al.* 2005). Assim os efluentes gerados podem sofrer consideráveis mudanças afetando significativamente a eficiência da remoção de poluentes das ETEIs e a consequente qualidade hídrica do corpo receptor.

Os tratamentos de efluentes se dividem em três etapas/níveis, são elas:

2.3.1. Tratamento preliminar e primário (processos físico-químicos)

O tratamento preliminar constitui o primeiro estágio do tratamento de efluentes e tem por objetivo proteger equipamentos e tubulações de desgastes ou entupimentos ocasionados pelo arraste de materiais grosseiros que compõem os efluentes (SCHATZMANN, 2009). São consideradas unidades componentes do tratamento preliminar: medidor de vazão, caixa de areia/ gordura, peneiras (estáticas ou rotativas) e gradeamento.

O tratamento primário por sua vez visa à remoção de sólidos contidos nos efluentes, sendo eles do tipo flotáveis, sedimentáveis e óleos e graxas (SCHATZMANN, 2009; VON SPERLING, 1996). Esta etapa do tratamento, se adequadamente dimensionada, remove uma pequena parcela de carga orgânica dos efluentes, continuando ele ainda com elevados teores de DBO e DQO.

2.3.2. Tratamento secundário (processos biológicos)

O tratamento secundário tem por objetivo básico a remoção de carga orgânica do efluente (dissolvida e/ou em suspensão), podendo também remover (parcialmente) os nutrientes (VON SPERLING, 1996). Pode ocorrer por meio de processos biológicos: aeróbios (que necessitam de oxigênio) tais como o lodo ativado, filtros percoladores e lagoas mecanicamente aeradas; anaeróbios (que ocorrem na ausência de oxigênio no meio) tais como as lagoas anaeróbias, tanques sépticos, reator UASB; e facultativos (que utiliza ambos os processos) (SCHATZMANN, 2009).

Cada processo de tratamento possui suas particularidades variando os índices de mecanização necessários, os graus de dificuldade operacional, custo e a eficiência. Dentre os métodos existentes os mais comumente utilizados no Brasil são: disposição sobre o solo, lodo ativado, filtros biológicos e lagoas de estabilização com suas variantes, sendo grande o destaque dado para essas últimas por sua simplicidade, eficiência, baixo custo e facilidade de dimensionamento e operacional

As lagoas de estabilização correspondem aos sistemas naturais de tratamento, e por esse motivo são a forma de tratamento biológico mais utilizadas em ETEIs de abatedouros. Nelas procura-se reproduzir em local controlado e curto espaço de tempo os processos naturais de autodepuração que ocorrem nos corpos d'água ao receber uma carga de poluentes.

As lagoas podem admitir inúmeras configurações entre os processos anaeróbios, aeróbios e facultativos, a depender da eficiência desejada do processo e da disponibilidade de área para instalação. Por se tratar de um processo essencialmente natural a estabilização da matéria orgânica ocorre de maneira relativamente lenta, assim o tempo de detenção do efluente em lagoas de estabilização tende a ser elevado.

2.3.3. Tratamento terciário (polimento)

As etapas de tratamento anteriormente citadas são, de maneira geral, insuficientes na remoção de compostos contaminantes específicos. Assim, é conhecido como tratamento terciário ou polimento as etapas de tratamento que visam a remoção de nutrientes, elementos patogênicos, metais pesados, compostos não biodegradáveis e sólidos remanescentes. Os métodos de tratamento terciário têm rara aplicação no Brasil (VON SPERLING, 1996) sendo as lagoas de maturação, processos de remoção de nutrientes e filtração, os mais difundidos. Dentre as tecnologias existentes pode-se citar: coagulação/floculação/sedimentação, desinfecção, eletro-coagulação, processos oxidativos avançados, processos de adsorção em carvão ativado, calagem e osmose reversa.

Os objetivos da remoção de nutrientes nas estações de tratamento estão diretamente relacionados à finalidade de uso do efluente previsto ao final do tratamento bem como aos impactos causados pelo seu aporte nos corpos receptores. A exemplo, busca-se remover a amônia para evitar o consumo de OD no corpo d'água em decorrência da sua oxidação (nitrificação).

2.4. Qualidade das águas

A água é um recurso natural indispensável à vida e veículo para diversas substâncias e organismos (SANTOS, 2018), em corpos d'água forma sistemas e ecossistemas complexos. É considerada solvente universal servindo ao transporte da maioria dos gases, elementos e substâncias que se tem conhecimento. Por esse motivo apresenta uma infinidade de usos, e uma crescente demanda no desenvolvimento das atividades da sociedade (NUNES, 2008). Dentre os usos pode-se citar: recreativo, dessedentação de animais, abastecimento público, irrigação, transporte, geração de energia, industrial, entre outros. Cada uma das possibilidades de uso das águas superficiais ou subterrâneas encontra-se vinculada às suas características físico-químicas e microbiológicas traduzidas em forma de parâmetros, sendo a qualidade hídrica influenciada por vários fatores de origem natural ou antrópica (PAULA, 2011).

Um dos objetivos da Política nacional de recursos hídricos – PNRH lei nº 9.433 (Brasil, 1997) é assegurar às gerações atuais e futuras a disponibilidade de águas em qualidade e quantidade suficientemente adequadas para os seus respectivos usos. Contudo o que se observa atualmente é a deterioração constante das qualidades hídricas de corpos d'água, gerando escassez, conflitos vinculados ao uso da água e crescente pressão sobre os recursos hídricos. O abastecimento público, por exemplo, que compreende o uso mais nobre de um corpo d'água (SANTOS, 2018) pode vir a ser comprometido em decorrência da deterioração na qualidade ambiental por ações antrópicas de origem doméstica ou industrial, podendo inclusive limitar seu potencial de uso (MENDES *et. al.* 2019).

Uma das ferramentas de gestão de recursos hídricos utilizadas pela PNRH é o enquadramento dos corpos d'água em classes (de 1 a 4) de acordo com a resolução do CONAMA 357/2005. A utilização das águas é associada à sua qualidade onde os diversificados usos estão condicionados a padrões específicos, sendo que, quanto maiores os números de classe menos nobres são os fins de uso das águas e conseqüentemente os parâmetros de qualidade passam a ser menos exigentes (PAULA, 2011).

Em Goiás a grande maioria dos cursos d'água não apresenta prévio enquadramento de classe de acordo com a resolução do CONAMA nº 357 devido à ausência de estudos específicos (ANA, 2013), sendo então caracterizados na condição de Classe II seguindo a recomendação do artigo 42 da referida lei.

Apesar de a avaliação da qualidade das águas ser fundamental para avaliar seu potencial de uso e prognosticar as consequências de uma atividade poluidora, poucas são as informações acerca da qualidade hídrica no Brasil (PAULA, 2011).

Nota-se, portanto, a necessidade de aplicação da análise e monitoramento da qualidade da água como ferramentas para a melhor gestão de recursos hídricos (SANTOS, 2018). O monitoramento de um curso d'água, através de conhecimentos sobre as atividades que impactam a qualidade da água, pode também ser entendido como um mecanismo de avaliação, contribuindo na tomada de decisões e na definição de formas de manejo. A gestão adequada dos recursos hídricos permite a tomada de decisões de maneira mais ágil possibilitando a detecção precoce de problemas ambientais e consequente redução nos passivos ambientais (MENDES *et. al.* 2019).

2.4.1. Índice de qualidade das águas (IQA)

O IQA constitui um valor resultante da síntese de diferentes parâmetros de qualidade das águas indicando a salubridade da água analisada. Trata-se de uma importante ferramenta para analisar os efeitos da poluição pontual e não-pontual em um corpo d'água e tem dentre os objetivos: avaliar o cumprimento da legislação ambiental, acompanhamento da qualidade dos recursos hídricos, analisar os cenários de intervenção possíveis, permitir a adoção de medidas de controle e manejo ambiental ao corpo d'água, conceder informação ao público.

Desenvolvido com o intuito de fornecer informações básicas de qualidade das águas para o público bem como proporcionar o gerenciamento ambiental de recursos hídricos (NUNES, 2008), o IQA é composto por variáveis contendo parâmetros de qualidade das águas considerados relevantes para a avaliação de sua qualidade. Os índices são calculados individualmente, sendo o produto ponderado dos resultados para essas variáveis proporciona resultados que classificam os corpos d'água em termos de qualidade em ótimo, bom, aceitável, moderado ou ruim. Diversos são os índices existentes para avaliação da qualidade das águas, sendo que o desenvolvido pela CETESB (2019) se utiliza de nove variáveis. Por se tratar de cálculos de produtos ponderados, a inexistência de valores de alguma das nove variáveis inviabiliza o cálculo do IQA (CETESB, 2019).

A seguir estão as descrições dos parâmetros utilizados na determinação do IQA nesse estudo:

- Turbidez

A turbidez pode ser definida como a medida do grau de interferência à passagem da luz através da massa líquida. Assim a turbidez está relacionada à presença de materiais em

suspensão em uma amostra de água, podendo ser de origem natural (partículas de rocha, argila, silte) ou antrópica (despejos domésticos e industriais, processos erosivos, crescimento excessivo de algas).

A avaliação da turbidez é importante dado sobre a intensidade de luz difundida em uma massa líquida, influenciando diretamente processos que são dependentes da penetração de luz. Barros (2008) ressalta que altos valores de turbidez podem ocasionar aumento de temperatura, redução da luz disponível para as plantas e alterações na taxa de fotossíntese, além de interferir nos tipos de usos da água, sendo então parâmetro muito utilizado na caracterização de águas naturais.

- Temperatura

A temperatura é o parâmetro que mede a intensidade de calor do meio. Nas águas esse parâmetro pode ser de origem natural (através da transferência de calor por radiação e condução) ou antrópica (lançamento de efluentes, que segundo o CONAMA 357 não deve ultrapassar 40° C dado que pode causar impactos significativos nos corpos d'água).

Em um regime climático normal, ocorrem variações de temperatura sazonais, diurnas e em estratos verticais em um corpo d'água (BARROS, 2008). Alterações na temperatura influenciam diretamente nos processos físicos, químicos e biológicos de corpos d'água. Elevações de temperatura, por exemplo, podem gerar aumento das taxas de reações químicas e biológicas, ou reduções na solubilidade dos gases na massa líquida, ou influenciar no crescimento e reprodução de organismos.

- pH

O potencial hidrogeniônico (pH) representa a concentração de íons hidrogênio H^+ em um meio, sendo parâmetro responsável por indicar a condição de acidez, alcalinidade ou neutralidade deste. Entende-se que o pH é um dos parâmetros ambientais mais difíceis de interpretar dado que pode ser influenciado por diversos fatores tanto naturais quanto antrópicos, e está intimamente relacionado á alcalinidade.

O pH é variável de influência sobre os alguns processos biológicos e químicos que ocorrem na natureza, determinando todos os equilíbrios que se estabelecem em um corpo de água e por esse motivo é uma variável importante no monitoramento de recursos hídricos (CETESB, 2019). Na maioria dos casos, as faixas de pH admissíveis estão entre 6 e 8, sendo que a legislação do CONAMA 357 determina para rios classes 1 a 3 faixas de pH entre 6 e 9.

- Sólidos totais

Com rigor, toda a matéria, com exceção da água contida em líquidos, é classificada como material sólido. No entanto, analiticamente a concentração total de sólidos (sólidos totais) numa amostra de água é definida como a matéria que permanece como resíduo após processos de evaporação, secagem ou calcinação da amostra durante um determinado tempo e temperatura.

Apesar de estarem tipicamente vinculados às características físicas de uma água, os sólidos também se associam às características químicas e biológicas da massa líquida. São de origem natural, por exemplo, por meio de processos erosivos, ou origem antrópica por meio do lançamento de resíduos sólidos ou líquidos.

- OD

Trata-se de parâmetro imprescindível na avaliação das condições de qualidade de um ambiente aquático, permitindo a verificação de possíveis impactos ambientais como eutrofização e poluição hídrica. Barros (2008) afirma que a concentração apropriada de oxigênio dissolvido é essencial à manutenção dos processos de autodepuração em sistemas aquáticos.

As principais fontes de oxigênio na água são a troca com a atmosfera que depende das condições hidráulicas dos corpos d'água (como a velocidade de escoamento), e via fotossíntese. Sabe-se que os parâmetros: pressão atmosférica, temperatura e salinidade, têm influência direta sobre a solubilidade do oxigênio num meio líquido sendo os dois últimos inversamente proporcionais à solubilidade do OD.

- DBO

Corresponde à quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica biodegradável presente na água por meio dos processos de decomposição microbiana aeróbia. A quantidade de matéria orgânica presente em uma massa líquida é diretamente proporcional à DBO necessária no processo, ou seja, quanto menor a quantidade de matéria orgânica disponível no meio menor será a DBO exercida (BARROS, 2008).

A DBO é parâmetro indicativo do grau de poluição orgânica dos corpos hídricos correspondendo a uma importante variável na determinação da qualidade da água. Assim ambientes naturais não poluídos apresentam baixa concentração de DBO e corpos d'água poluídos possuem valores de DBO elevados.

Para fins de análises de resultados estuda-se a $DBO_{5,20}$ que corresponde à quantidade de oxigênio consumido durante 5 dias em um meio com uma temperatura de 20°C. Altos valores desse parâmetro provocam uma redução drástica de OD na água, podendo interferir nos processos ecossistêmicos de um corpo d'água, causando mortandades de peixes e eliminação de outros organismos aquáticos.

- Nitrato

Trata-se de uma das formas reduzidas do nitrogênio, sendo considerada a mais estável e abundante nas águas. O nitrato é produzido no corpo d'água por meio dos processos de nitrificação. A determinação das formas predominantes de nitrogênio em um corpo d'água pode fornecer informações sobre o estágio de poluição deste, sendo a presença de nitrogênio orgânico e amoniacal indicativo de contaminação recente e as formas reduzidas (nitrito e nitrato) indicativas de contaminação remota (TEIXEIRA, 2006).

- Fósforo total

O fósforo é um macro-nutriente que, em águas naturais, apresenta-se predominantemente na forma de fosfatos. Sua origem na massa líquida pode ser de fontes naturais ou antrópicas, sendo que as maiores fontes de fósforo não naturais encontram-se nos efluentes domésticos (matéria fecal), na drenagem pluvial de áreas agrícolas, e efluentes industriais principalmente nas indústrias de fertilizantes, laticínio, frigoríficos e abatedouros.

Apesar de exercer atividades fundamentais ao metabolismo de diversos seres vivos, o excesso de fósforo em um corpo d'água pode conduzir a processos de eutroficação do mesmo, gerando perdas na biodiversidade aquática.

- Coliforme termotolerante

Essas bactérias ocorrem no trato intestinal de animais de sangue quente e correspondem a um grupo de bactérias consideradas indicadoras de contaminação de um corpo d'água por poluição doméstica ou industrial. O grupo mais conhecido dessas bactérias é a *E. Colli*, e apesar de não ser patogênica, sua presença em grandes quantidades em uma massa líquida é indicativo da possibilidade de presença de microorganismos patogênicos que transmitem doenças de veiculação hídrica. Assim, uma água que não possui *E. Colli* por exemplo é vista como uma água de baixo risco e não como uma água segura.

De acordo com Santos (2018) índices como o IQA facilitam o entendimento do público leigo principalmente por combinar diversos resultados em um só e diferentes unidades de medidas em um único parâmetro, reportando as informações de maneira simples e direta. Entretanto, é importante reforçar que, por reunir em um único resultado os valores de diferentes parâmetros, o IQA oferece também limitações, principalmente relacionadas à perda na interpretação das variáveis individuais e suas inter-relações (NUNES, 2008).

2.4.2. Índice de Estado Trófico (IET)

O IET classifica os corpos d'água em diferentes graus de trofia (SANTOS, 2018), sendo que a metodologia utilizada pela CETESB (2019) trabalha apenas com as variáveis clorofila-*a* e fósforo total. As clorofilas são os pigmentos naturais mais abundantes presentes nas plantas, sendo a clorofila-*a* responsável pela fotossíntese oxigênica predominante nas algas. A clorofila-*a* é o pigmento utilizado para realizar a etapa fotoquímica (o primeiro estágio do processo fotossintético), enquanto os demais pigmentos auxiliam na absorção de luz e na transferência da energia radiante para os centros de reação. Os valores relacionados ao parâmetro fósforo total podem ser entendidos como a medida do potencial de eutrofização de um corpo d'água (VON SPERLING, 1996), enquanto a medida da clorofila corresponde à resposta do corpo hídrico ao agente causador da poluição de um corpo d'água. Santos (2018) afirma ser o IET final a média entre os dois índices, ponderando satisfatoriamente a causa e o efeito do processo de eutrofização.

Barros (2008) aponta ser a eutrofização o problema atual mais vinculado à qualidade das águas. Um corpo d'água eutrofizado apresenta diversas consequências diretas nas finalidades de uso das águas, podendo causar problemas estéticos e recreacionais; maior dificuldade e elevação dos custos do tratamento de água; toxicidade das algas; redução da navegação e capacidade de transporte (VON SPERLING, 1996). Portanto, a determinação do índice de trofia de um corpo receptor de efluentes é importante parâmetro a ser considerado nas análises de qualidade hídrica. De acordo com CETESB (2019) um corpo d'água pode ser classificado como: oligotrófico (lagos claros e com baixa produtividade), mesotrófico (lagos com média produtividade) e eutrófico (lagos com grande produtividade de algas).

2.5. Autodepuração de corpos d'água

O processo de autodepuração de um corpo d'água está associado ao seu reequilíbrio ambiental (MENDES, 2019) por meio de mecanismos físicos, químicos e biológicos que atuam na mudança das concentrações de poluentes recebidos em um corpo d'água (PAULA, 2011). Ou seja, a autodepuração é um processo natural que envolve a capacidade de um corpo d'água atenuar as cargas poluidoras recebidas ao sofrer alguma perturbação externa como o lançamento de efluentes (GUEDES, 2019). Os estudos de autodepuração permitem ainda avaliar a necessidade de aperfeiçoamento do desempenho das Estações de tratamento de efluentes – ETEs e, conseqüentemente, a qualidade do efluente final, bem como controlar a descarga de poluentes para que a qualidade hídrica do corpo receptor seja mantida.

Paula (2011) ressalta que, apesar de autodepuração permitir que o corpo d'água restabeleça suas condições de equilíbrio, não necessariamente o ecossistema volta às suas condições iniciais, apenas atinge condições tal qual não apresente problemas ambientais. A autora ressalta ainda que a vazão de um corpo d'água pode ser associada à capacidade de assimilação de poluentes em um corpo d'água.

O lançamento de efluentes em corpos d'água tem como impacto o consumo de OD no corpo receptor (GUEDES, 2019) causando danos à qualidade das águas e conseqüente desequilíbrio entre a biota e os sistemas abióticos (MENDES, 2019), ressaltando-se os prejuízos para os organismos aquáticos superiores que desaparecem reduzindo a biodiversidade local (BRANDELERO *et. al.* 2010). As quedas do OD no corpo receptor ocorrem em função do processo biológico de degradação da matéria orgânica disponível no efluente: as bactérias se proliferam e tendem a consumir oxigênio gerando conseqüente diminuição do OD no corpo d'água até que toda a DBO seja consumida. Em decorrência da capacidade de autodepuração, após a redução do OD na massa líquida ocorre o restabelecimento do nível deste OD por meio da estabilização da matéria orgânica (NUNES, 2008). Sabe-se que, dentre outros fatores, a concentração máxima de OD na água é função da temperatura e pressão atmosférica local que, por sua vez, é função da altitude. Paula (2011) simplifica o balanço de oxigênio na massa líquida como sendo os fenômenos responsáveis no consumo de oxigênio: oxidação da matéria orgânica; demanda bentônica e a nitrificação; de produção de oxigênio: a re-aeração atmosférica e a fotossíntese. Todo esse processo pode ser observado na Figura 1 que demonstra as quatro zonas da autodepuração existentes em um corpo d'água, são elas: zona de degradação, decomposição ativa, recuperação e zona de águas limpas (GUEDES, 2019).

- Zona de águas limpas: montante do lançamento (e/ou a jusante da zona de recuperação de um corpo receptor); OD e vida aquática superior às demais zonas; ecossistema estável.
- zona de degradação: a jusante do ponto de lançamento de efluentes tratados apresenta-se alta concentração de MO disponível para decomposição, bem como conseqüente diminuição da concentração de OD e grande sedimentação de sólidos.
- zona de decomposição ativa: após a zona de degradação; concentração de OD atinge o valor mínimo (Concentração crítica – CC), ou seja, esta zona é a que o corpo d'água apresenta sua pior qualidade.
- zona de recuperação: após a zona de decomposição ativa a maior parte da MO encontra-se estabilizada, logo se inicia o aumento da concentração de OD no meio, cujo restabelecimento se dá por meio da reaeração atmosférica, fotossíntese e recebimento de contribuintes mais oxigenados (NUNES, 2008). Observa-se clarificação da água e restabelecimento da vida aquática.

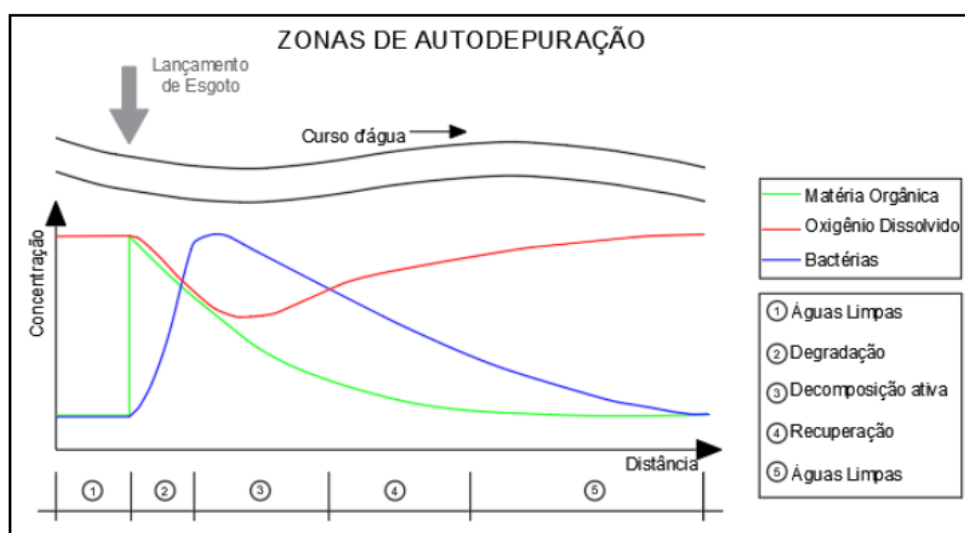


Figura 1. Zonas de autodepuração.
Fonte: Mendes (2019)

A depender das características e volume do efluente lançado, a reaeração e a fotossíntese passam a ser insuficientes. Nunes (2008) cita que cada corpo receptor possui um limite de matéria orgânica biodegradável que é capaz de receber e assimilar, sendo importante então avaliar o potencial de autodepuração de corpos d'água para sua adequada gestão e também como ferramenta de complementação dos tratamentos de efluentes se utilizada com os devidos critérios técnicos (PAULA, 2011).

Thebaldi *et. al.* (2011) afirma que idealmente os efluentes deveriam ser lançados em corpos hídricos volumosos e perenes, o que garantiria a autodepuração da carga recebida sem

grandes riscos para o corpo receptor e o ecossistema que ele comporta. Contudo vários são os corpos d'água que margeiam cidades, indústrias e zonas rurais que recebem uma carga enorme de efluentes superiores à sua capacidade de autodepuração, ocasionando a perda de qualidade hídrica do mesmo e tornando suas águas impróprias para diversos usos.

Nos processos de autodepuração existem as taxas que coordenam os processos (re-aeração, bio-degradação de matéria orgânica, crescimento de bactérias decompositoras, e outras). Tais taxas são dotadas de constantes (K) nas reações, sendo o coeficiente de desoxigenação (K1) e o de re-aeração (K2) constantes importantes no processo. A escolha desses coeficientes mostra-se como a chave para a seleção da curva que melhor represente a realidade de um sistema (PAULA, 2011; BRANDELERO *et. al.* 2010), sabendo que esse ajuste é aproximado e não exatamente preciso.

2.5.1. Coeficiente de desoxigenação (K1)

O K1 é importante parâmetro na modelagem de OD no meio aquático (GUEDES, 2019) e é uma das ferramentas para a modelagem da qualidade da água (BRANDELERO *et. al.* 2010). O processo de consumo de OD em um corpo receptor de efluente pode ser medido por meio de acompanhamento da DBO que é basicamente governado pelo coeficiente de desoxigenação – K1 (NUNES, 2008).

Existem diferentes métodos matemáticos e estatísticos para a determinação do K1 sendo obtidos através de análises em amostras de águas ou efluentes na leitura do parâmetro DBO ao longo de 5 e 20 dias, ou seja a DBO utilizada é a exercida ao longo de vários dias, não podendo então o estudo se limitar apenas à DBO₅. Os métodos mais utilizados são: mínimos quadrados de REED – THERIAUT; método da inclinação de THOMAS; método dos momentos de MOORE, THOMAS e SNOW; método da diferença de logaritmos de FAIR (NUNES, 2008).

O coeficiente varia de acordo com a presença de substâncias inibidoras, a composição e concentração de MO na água, o tratamento aplicado ao efluente e suas características (GUEDES, 2019). Além desses fatores temperatura também influencia as taxas de conversão de matéria orgânica dado que tem influência direta no metabolismo microbiano (PAULA, 2011), sendo governado pela equação:

$$K_{1T} = K_{1,20} \cdot \theta^{(T-20)} \dots\dots\dots \text{Equação 1}$$

Onde,

K_{1T} : K_1 a uma temperatura qualquer (d^{-1})

$K_{1,20}$: K_1 a uma temperatura de 20°C (d^{-1})

T: temperatura do líquido (°C)

θ : coeficiente de temperatura (1,047, adimensional)

A interpretação θ permite afirmar que valores de K_1 aumentam 4,7% para cada 1°C na temperatura da água.

Mendes (2019) trata o K_1 dentro da modelagem matemática da qualidade das águas de corpos receptores de efluente como coeficiente que representa a taxa de degradação do esgoto no meio líquido. Sendo que, quanto maior o K_1 , mais rápida é a taxa de consumo de oxigênio do meio, da mesma forma quanto mais tratado for o efluente menor será o coeficiente (NUNES, 2008). Assim a depender do efluente e do tipo de tratamento que um efluente recebeu, diferentes serão os valores admitidos para o coeficiente K_1 , exemplificados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores genéricos do coeficiente K_1 (base e, 20°C) para vários tipos de efluentes e águas.

Origem	K_1 (d^{-1})
Água residuária de elevada concentração	0,35 – 0,45
Água residuária de baixa concentração	0,30 – 0,40
Efluente primário	0,30 – 0,40
Efluente secundário	0,12 – 0,24
Efluente terciário	0,10 – 0,20
Rios com águas limpas	0,09 – 0,21
Água para abastecimento público	< 0,12

Fonte: Nunes (2008).

Barros (2008) afirma que é importante a avaliação dos resultados de DBO estarem vinculados ao coeficiente K_1 evitando interpretações superficiais incorretas: o autor discorre que diferentes efluentes podem, por exemplo, admitir um mesmo resultado para a DBO_5 , contudo as diferenças nas progressões das DBOs ao longo dos dias desses efluentes demonstram que eles geram diferentes impactos em um corpo d'água em termos de consumo de OD. Em seu estudo Guedes (2019) sugere que avaliar os valores reais do coeficiente K_1 para efluentes industriais é fator importante para evitar prejuízos ambientais aos corpos d'água, dado que permitem obter maior assertividade nas análises de autodepuração de um

corpo receptor de efluentes industriais com cenários e condições simuladas mais próximas às existentes em um corpo d'água.

2.5.2. Coeficiente de re-aeração (K2)

O K2 tem como dados de entrada as variações de concentrações de OD no tempo (NUNES, 2008). Sua determinação é bastante complexa e envolve diferentes métodos (PAULA, 2011), podendo ser por meio de correlações entre as características hidráulicas, ou dados de vazão do corpo d'água ou através de valores médios Tabelados (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3. Valores típicos de K2 (base e, 20°C)

Corpo de água	K ₂ (d ⁻¹)	
	Profundo	Raso
Pequenas lagoas	0,12	0,23
Rios vagarosos, grandes lagos	0,23	0,37
Grandes rios com baixa velocidade	0,37	0,46
Grandes rios com velocidade normal	0,46	0,69
Rios rápidos	0,69	1,15
Corredeiras e quedas d'água	> 1,15	> 1,61

Fontes: Nunes (2008)

Tabela 4. Valores típicos de K2 baseados em modelos com dados hidráulicos.

Pesquisadores	Fórmulas	Faixa de aplicação
O'CONNOR E DOBBINS (1958)	$3,73 \cdot v^{0,5} \cdot H^{-1,5}$	$0,6m \leq H < 4,0m$ $0,05ms^{-1} \leq v < 0,8ms^{-1}$
CHURCHILL <i>et. al.</i> (1962)	$5,0 \cdot v^{0,97} \cdot H^{-1,67}$	$0,6m \leq H < 4,0m$ $0,8ms^{-1} \leq v < 1,5 ms^{-1}$
OWENS <i>et. al.</i> (apud BRANCO, 1976)	$5,3 \cdot v^{0,67} \cdot H^{-1,85}$	$0,1m \leq H < 0,6m$ $0,05 ms^{-1} \leq v < 1,5 ms^{-1}$

Notas: v: velocidade do curso d'água (m.s-1) h: altura da lâmina d'água (m)

Fontes: Nunes (2008)

Analisando as Tabelas 3 e 4 pode-se observar que para corpos d'água mais rasos e velozes o processo de re-aeração é mais rápido (K2 mais elevados).

2.5.3. Modelagem de autodepuração

Por ser computacional a modelagem matemática permite a obtenção de resultados mais rápidos quando comparado com as medições analíticas realizadas em laboratório. Segundo Nunes (2008) a modelagem permite avaliar as condições atuais, mas também estimar as condições futuras de um corpo receptor, além de proporcionar simulações de diferentes cenários de lançamentos de poluentes no corpo d'água. Paula (2011) ressalta que além de permitir a representação da situação atual dos corpos d'água, os modelos matemáticos permitem simular alternativas e prever impactos do lançamento de efluentes por exemplo.

A poluição de águas geradas pelo lançamento de efluentes domésticos ou sanitários pode ser modelada a partir dos parâmetros indicativos DBO e OD (BRANDELERO *et. al.* 2010). Para modelagem de autodepuração as seguintes características são necessárias: do corpo receptor - vazão, velocidade de escoamento, altura da lâmina d'água, OD, DBO₅, K1, Cs, OD mínimo permissível, K2, temperatura da água e altitude; do efluente – vazão, OD, DBO₅.

Dentre os modelos existentes para modelagem de qualidade hídrica pode-se citar o modelo clássico de Streeter-Phelps, o modelo QUAL2K de Chapra, QUAL2E da Agência de proteção ambiental dos Estados Unidos – USEPA, QUAL-UFMG da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. O modelo matemático de Streeter e Phelps é o mais utilizado atualmente por sua simplicidade, contudo os poucos dados de entrada exigidos pelo modelo podem produzir conclusões errôneas, mascarando problemas (PAULA, 2011). Os modelos mais avançados minimizam essas lacunas, comparando resultados modelados com os experimentais e possibilitando a predição de cenários diversos, porém são muito mais complexos de ser aplicados.

É válido ressaltar que para o uso adequado de modelos matemáticos é importante o conhecimento por parte do usuário, para alimentar o modelo com os dados de entrada corretamente e interpretar devidamente os dados de saída. Brandelero *et. al.* (2010) discorre que uma das maiores dificuldades encontradas para a aplicação da modelagem matemática da qualidade das águas é a ausência de dados sobre os coeficientes das reações.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado em um trecho do Ribeirão Sampaio localizado no município de Pires do Rio – GO (Figura 2), bacia do Rio Paraná sub-bacia do Rio Paranaíba.

A ETEI em estudo é anexa a uma Fábrica de subprodutos (Fábrica de Farinhas e Óleos - FFO) que contém unidades de tratamento preliminar (Figura 4) e primário (Figura 5). A parte sólida removida no processo produtivo, sangue, óleos e graxas são processados, sendo o restante da massa líquida encaminhada para o tratamento biológico em lagoas de estabilização. O efluente é direcionado para as lagoas 1 e 2 que operam em paralelo (lagoas anaeróbicas) desaguando na L3 de onde o sistema continua em série (figura 6).

As amostragens foram realizadas em duas campanhas: agosto/2020 cujas temperaturas médias mínimas e máximas foram, respectivamente, 19°C e 32°C, ausência de precipitações; dezembro/2020, mês de temperaturas médias mínimas e máximas de 21°C e 29°C, respectivamente, e precipitações médias mensais de 240mm.

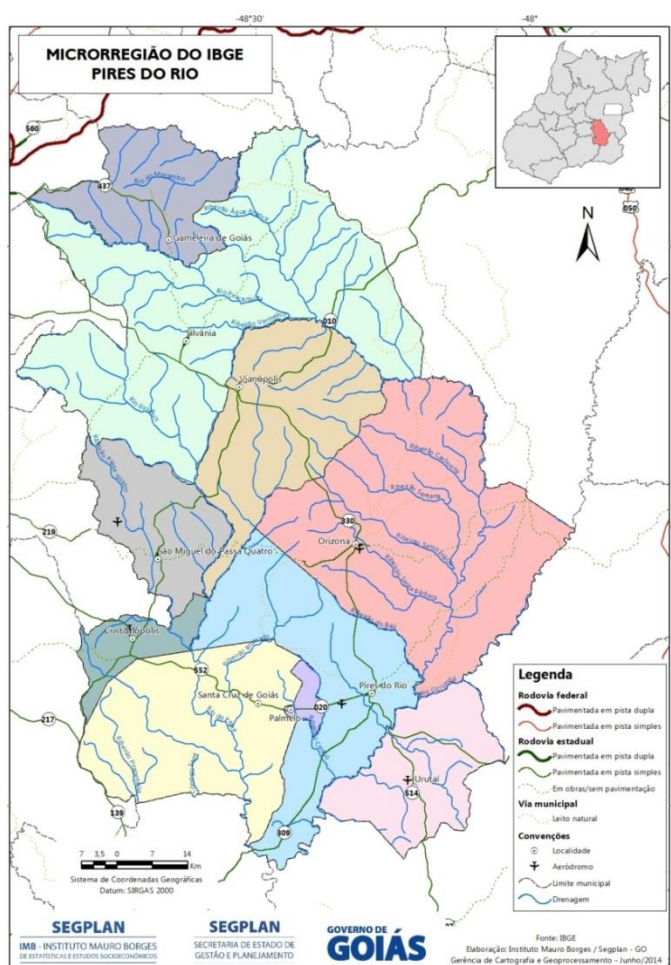


Figura 2. Mapa da micro região IBGE de Pires do Rio.
Fonte: SEGPLAN (2018)

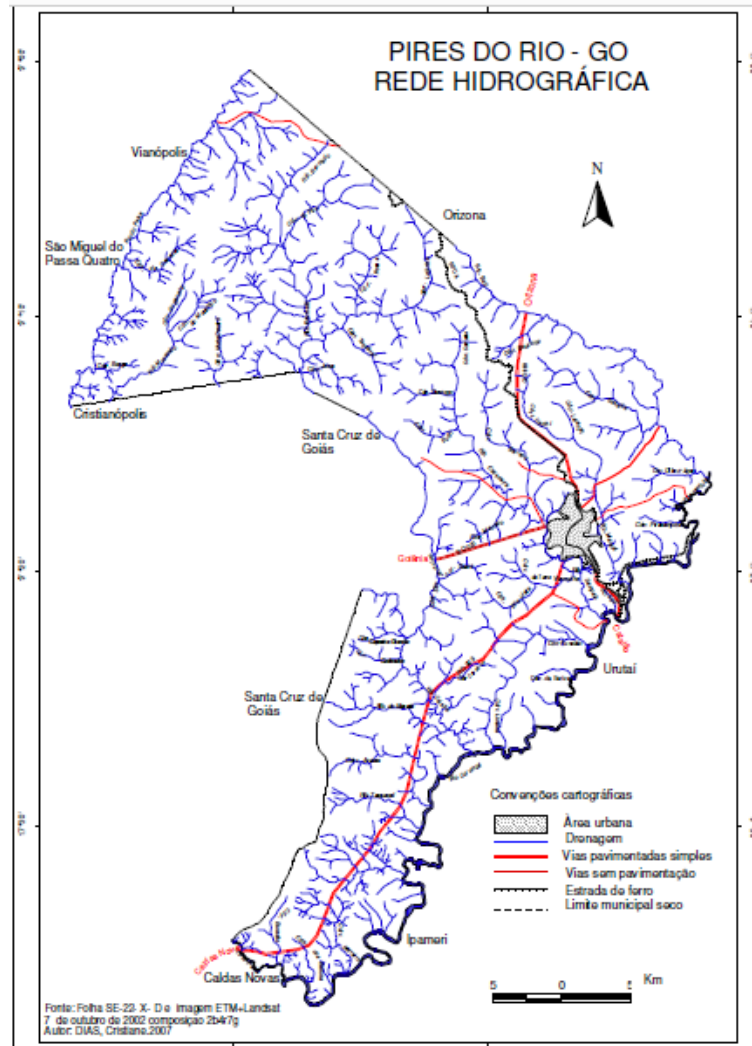


Figura 3. Rede hidrográfica de Pires do Rio.
Fonte: DIAS (2008)



Figura 4. Peneira estática.



Figura 5. Flotador.



Figura 6. Visão geral da ETEI
 Fonte: Google Earth

Os dados de TDH do efluente no sistema de tratamento e sua respectiva taxa de aplicação volumétrica foram obtidos pelas equações abaixo 2 e 3:

$$\frac{V}{Q} = \text{TDH} \quad \dots\dots\dots \text{Equação 2}$$

$$V = \frac{Q \times S_0}{L_s} \quad \dots\dots\dots \text{Equação 3}$$

Onde,

V = Volume da lagoa (m³)

Q = Vazão média afluyente (m³/d⁻¹)

TDH = Tempo de detenção hidráulico (d)

S₀ – Concentração de DBO (kgm⁻³);

L_s– Taxa de aplicação volumétrica (kgm⁻³d⁻¹).

Foram realizadas análises de caracterização do efluente bruto e tratado do abatedouro de aves, sendo o efluente bruto coletado na entrada da ETEI na unidade de calha parshall e o efluente tratado coletado na calha parshall final localizada antes do lançamento no corpo receptor (Figura 7).

As amostragens foram realizadas de maneira manual através de método aleatório simples em outubro de 2020, sendo as amostras coletadas acondicionadas em frascos de polietileno de alta densidade (PEAD) de um litro e conduzidas para o laboratório de análises físico-químicas e o laboratório de microbiologia da empresa Óleos Vegetais de Goiás - OLVEGO onde foram determinados, segundo metodologias do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017), os seguintes parâmetros físicos,

químicos e microbiológicos do efluente: Temperatura, turbidez, sólidos totais, pH, oxigênio dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO, Demanda Química de Oxigênio – DQO, série de Nitrogênio (Nitrogênio Orgânico, N-amoniacal, Nitrito, Nitrato), coliformes totais e termotolerantes. Como os ensaios foram realizados logo após a coleta não se fez necessário a adição de preservantes no efluente coletado. Os ensaios foram realizados em condição de temperatura ambiente e pressão atmosférica.



Figura 7. Pontos de coleta do efluente bruto (esq.) e tratado (dir.) – calhas parshall inicial e final

Foram realizadas análises da qualidade da água do manancial receptor dos efluentes da ETEI (Figura 8). Para tanto, foram coletadas amostras a montante, jusante e no ponto de lançamento dos efluentes e seguindo a metodologia da CETESB (2019) determinados o IQA, IET e a condição de enquadramento do corpo d'água nos respectivos pontos a segundo resolução CONAMA 357/2005. As amostras do corpo d'água foram coletadas a aproximadamente de 300 metros a montante e a 10 metros a jusante do lançamento de efluente industrial objetivando uma caracterização mais real do impacto causado pela poluição pontual.

As amostras foram coletadas na calha central do rio sendo amostras do tipo simples e de superfície (com profundidade entre 15 e 20 cm da superfície). A amostragem foi realizada simultaneamente para as análises físico-químicas e microbiológicas (coletadas na mesma campanha de coleta). As análises seguiram as metodologias descritas em APHA (2017) sendo

realizadas em duplicata e em período não superior a 24 horas da coleta. A temperatura foi medida em campo usando um termômetro eletrônico.



Figura 8. Ponto de lançamento do efluente final

Os parâmetros analisados para a determinação do IQA e IET foram: temperatura (°C), pH, turbidez (NTU), fósforo total (mg.L⁻¹), nitrato (mg.L⁻¹), oxigênio dissolvido (mg.L⁻¹), DBO (mg.L⁻¹), sólidos totais (mg.L⁻¹), coliformes termo-tolerantes (NMP.100mL⁻¹) e clorofila-*a*. Sendo o IQA calculado através de produto ponderado de seus respectivos índices (CETESB, 2019) e o IET através de média entre os dois índices que o compõem (especificadas para rio pelas equações 4 e 5).

$$\text{IET (CL)} = 10 \times (6 - ((-0,7 - 0,6 \times (\ln \text{CL})) / \ln 2)) - 20 \quad \dots\dots\dots \text{Equação 4}$$

$$\text{IET (PT)} = 10 \times (6 - ((0,42 - 0,36 \times (\ln \text{PT})) / \ln 2)) - 20 \quad \dots\dots\dots \text{Equação 5}$$

Onde:

PT: concentração de fósforo total medida à superfície da água, em µg.L⁻¹;

CL: concentração de clorofila a medida à superfície da água, em µg.L⁻¹;

ln: logaritmo natural.

Os dados de vazões médias foram obtidos por meio de trabalho. Para determinação da vazão do corpo receptor selecionou-se área do leito do rio retilínea, com declividades laterais moderadas, fora de turbulências ou remansos ocasionados por barramentos, e com leito do rio firme. Para esse estudo foi utilizado o método do objeto flutuador, seguindo a metodologia descrita por Pruski *et. al.* (2006). Para a velocidade média de escoamento adotou-se a equação 6 sendo aplicando o coeficiente de 0,8 para a correção da velocidade de escoamento superficial para velocidade média no canal aberto.

$$V_{\text{média}} = 0,8 \times V_{\text{superficial}} \quad \dots\dots\dots \text{Equação 6}$$

A vazão do corpo d'água foi obtida através da soma dos produtos das velocidades médias por suas respectivas subáreas (SALLA, 2013), multiplicada pelo coeficiente de correção de velocidade

As coletas e análises para a determinação do K1 do efluente ocorreram no mês de outubro/2020.

Objetivando evitar as interferências exercidas pelo nitrogênio no efluente, optou-se por seguir a metodologia de Guedes (2019). Assim, a DBO exercida foi acompanhada por um total de 20 dias intervalados da seguinte forma: dia 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 12, 14, 16, 18 e 20. Como conseguinte foi realizada análise de regressão não linear e ajustes de equações exponenciais obtendo-se o valor de K1 experimental, de acordo com a equação 7.

$$Y = L_0 \cdot (1 - e^{-K1 \cdot t}) \quad \dots\dots\dots \text{Equação 7}$$

Onde, Y: DBO exercida em um tempo t (mg.L⁻¹)

L0: DBO remanescente em t = 0 (mg.L⁻¹)

t: tempo (dia)

O coeficiente K1 obtido é referente a uma temperatura de 20°C sendo então corrigido para a temperatura do efluente de análise através da equação 8:

$$K1^{x^{\circ}\text{C}} = K1^{20^{\circ}\text{C}} \cdot 1,047^{(x-20)} \quad \dots\dots\dots \text{Equação 8}$$

A autodepuração do corpo receptor foi simulada por meio de modelagem matemática seguindo o modelo de Streeter-Phelps citado por Nunes (2008). O Ribeirão Sampaio foi então considerado um canal de escoamento permanente e uniforme, e os seguintes dados de entrada foram utilizados:

- Do corpo d'água a montante do lançamento: vazão, velocidade de escoamento, OD, altitude, profundidade média, DBO5
- Do efluente: vazão, DBO5 e OD.
- O coeficiente K1 utilizado foi o experimental obtido através de análises laboratoriais
- Para determinação do coeficiente K2 utilizou-se o método de Dutra (2014), sendo calculada a média entre os modelos usuais de K2 dos autores Churchill e Owens para

determinação do K2 a 20°C (3,20). Para o período seco utilizou-se a média dos coeficientes determinado pelas equações de Bansal e Padden & Gloyna devido à pequena lâmina (h) e velocidade (v) do corpo d'água (4,25).

Os dados obtidos dos testes para determinação de IQA e IET foram submetidos à análise qualitativa seguindo a metodologia adotada pela CETESB (2019), sendo os índices utilizados para auxiliar na interpretação dos resultados obtidos.

A análise de regressão não-linear permitiu determinar o valor de $K1_{\text{experimental}}$ do efluente final, sendo realizada comparação qualitativa com o K1 existente em outros estudos da área.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A região do Ribeirão Sampaio sob estudo é área remanescente do bioma Cerrado. O mapeamento atual do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica da região de estudo indicou predominância de atividades agropecuárias em 70% da área total (ANA, 2013). Notou-se que, assim como as demais áreas do bioma, a região de estudo sofre ampla degradação ambiental e possui biodiversidade ameaçada dadas as características de ocupação da região. Dias (2008) afirma que as matas ciliares da região são áreas bastante atingidas no processo de degradação ambiental com a supressão vegetal, gerando assoreamento nas margens dos corpos d'água.

“O córrego Sampaio que serve de limite entre a zona urbana e rural praticamente não há mata ciliar e apresenta diversos tipos de degradação ambiental, necessitando de ações de recuperação urgentes (DIAS, 2008).”

O Ribeirão Sampaio é utilizado como corpo receptor de efluente municipal (DIAS, 2008) bem como do efluente industrial oriundo da ETEI de abatedouro de aves da região, sendo também manancial de captação de água para abastecimento industrial e de propriedades rurais da região de Pires do Rio e entorno.

A ETEI é dotada de tratamento biológico em lagoas de estabilização com elevado TDH. No ano de desenvolvimento dessa pesquisa (2020) e durante o período de coletas de amostras do efluente e corpo receptor, não houveram variações consideráveis nas vazões nas características físico-químicas e microbiológicas do efluente industrial final fruto do aumento de fluxo de abate da empresa. A vazão média do efluente tratado é de 300 m³/h e o TDH (18 dias) do sistema de tratamento é relativamente alto pelo volume de abate da unidade, o que também pode ser um motivo para não variação do efluente final coletado (vide Tabela 5).

Tabela 5. Características físicas do tratamento biológico.

CARACTERÍSTICAS	UNIDADE	L1	L2	L3	L4	L5	L6
Altura	m	6	6	6	6	6	3
Área superficial	m ²	4.273	4.085	2.924	3.980	4.509	4.479
Inclinação dos taludes	°	0	0	0	0	0	0
Vazão	m ³ /h	300	300	300	300	300	300
TDH	dias	3,5	3,4	2,4	3,3	3,7	1,9

Fonte: O autor.

Em virtude do tipo de atividade desenvolvida pela empresa o efluente bruto apresenta elevadas concentrações de carga orgânica e baixa variação de temperatura e pH (Tabela 6).

Tabela 6. Caracterização bioquímica do efluente bruto.

Parâmetros	Mês	
	Agosto	Dezembro
Temperatura (°C)	24,40	30,70
pH	7,90	8,70
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	6.730,00	5.670,00
DBO (mg O ₂ L ⁻¹)	4.058,80	3.428,60

Fonte: O autor

Devido aos controles nos processos operacionais bem como as características de elevado TDH o sistema apresenta elevada eficiência global - superior a 95%, evidenciando o cumprimento do art. 16 da resolução CONAMA 430 (Tabela 7). É válido ressaltar que os resultados obtidos foram de amostras pontuais de um sistema de tratamento de efluentes dinâmico. Assim, possivelmente existem variações causadas pela carga e vazão dos efluentes, que eventualmente podem desestabilizar o sistema causando alterações nas características do efluente bruto e conseqüentemente no efluente tratado.

Tabela 7. Caracterização química e bioquímica do efluente tratado.

Parâmetros	Mês		CONAMA 430/2011
	Agosto	Dezembro	
Temperatura (°C)	28,90	27,50	< 40,0
Turbidez (UNT)	71,80	94,00	NR ¹
Sólidos (mg L ⁻¹)	714,00	734,00	Remoção > 60%
pH	7,90	7,40	Entre 5,0 a 9,0
OD (mg L ⁻¹)	< 1,00	< 1,00	NR
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	424,00	279,00	NR
DBO (mg O ₂ L ⁻¹)	222,6	146,5	Redução mínima de 60%

N _{total} (mg L ⁻¹)	129,92	19,18	NR
N _{orgânico} (mg L ⁻¹)	2,38	1,82	NR
N _{amoniacoal} (mg L ⁻¹)	127,54	17,36	< 20 mg/L
Nitrito (mg L ⁻¹)	0,025	0,068	NR
Nitrato (mg L ⁻¹)	1,80	0,90	NR
Coliformes totais (NMP/100 mL)	7,0 x 10 ²	2,8 x 10 ⁵	NR
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	7,0 x 10 ²	2,8 x 10 ⁵	NR

¹ parâmetro não regulamentado.

Fonte. O autor

Sabe-se que existe uma relação entre a vazão de um corpo d'água e sua qualidade hídrica (NUNES, 2008). Em Goiás as variações de origem sazonal devem ser avaliadas pois o Estado apresenta estações climáticas bem definidas, seca no inverno e úmida no verão. Levando esse fato em consideração obteve-se a vazão do corpo receptor como sendo 604,8 m³/h para o período de estiagem e 1.213,2 m³/h para o período chuvoso. Observa-se que para o período de estiagem a vazão do efluente corresponde a mais de 49% do volume de escoamento do Ribeirão Sampaio, sendo então a qualidade desse efluente significativa para a manutenção da vida aquática no curso do corpo d'água.

O impacto do lançamento de efluentes da ETEI pôde ser avaliado pelos resultados obtidos pelas características físicas, químicas, bioquímicas e microbiológicas do corpo receptor nos períodos de estiagem e chuvoso, a montante e a jusante do lançamento do efluente (Tabela 8).

Tabela 8. Características físicas, químicas, bioquímicas e microbiológicas do corpo receptor.

PARÂMETRO	ESTIAGEM		CHUVOSO	
	MONTANTE	JUSANTE	MONTANTE	JUSANTE
Temperatura (°C)	21,5	21,5	24,6	24,6
Turbidez (NTU)	8,58	12,21	39,91	37,53
Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)	100	196	159	139
pH	6,26	6,9	6,80	6,9
OD (mg.L ⁻¹)	9,9	4,98	6,01	5,83
Nitrato (mg.L ⁻¹)	0,7	0,4	2,40	3,50
Fósforo Total (mg.L ⁻¹)	0	1,2 x 10 ⁻⁵	0	0
CF (NMP/100 mL)	250	1.300	6.700	1.300
DBO (mg.L ⁻¹)	8,87	22,03	22,21	28,12
Clorofila A (mg.L ⁻¹)	0,556	3,614	5,56	1,668

Altitude (m)	760	760	760	760
Coordenadas	17° 19' 51" S 48° 16' 21" W	17° 20' 01" S 48° 16' 19" W	17° 19' 51" S 48° 16' 21" W	17° 20' 01" S 48° 16' 19" W

Fonte: O autor.

Os resultados permitem afirmar que: As variações de temperatura observadas nas campanhas estão basicamente vinculadas às variações de temperatura do ar sendo o que o município apresenta clima tropical úmido, não refletindo vinculação do lançamento do efluente industrial sob esse parâmetro; o parâmetro pH também não sofreu alterações consideráveis nos períodos estudados; do período seco para o chuvoso ocorre uma redução no OD, decorrente basicamente do aumento de matéria orgânica nas águas no início da chuva e o consequente consumo de OD para estabilização da mesma, fato que se confirma com o aumento observado nas concentrações de DBO para o mesmo período. Observa-se que assim como nos resultados obtidos por Santos (2018) o OD mostra-se acima dos limites mínimos da Resolução CONAMA 357/2005, estando apenas o ponto a jusante do lançamento no período de seca no valor limítrofe de 5 mg/L. No que diz respeito ao fósforo total, diferente dos resultados obtidos por Santos (2018) com um máximo de 0,54 mg/L, o Ribeirão Sampaio não apresenta amostras acima do limite permitido pela legislação.

Nota-se grande elevação da DBO no período seco após o lançamento do efluente, fato explicado pela baixa vazão do corpo receptor e consequente menor diluição do efluente. Uma análise do uso e ocupação do solo da área de estudo através de imagens de satélite evidencia a ausência de mata ciliar ao longo de grandes trechos do Ribeirão Sampaio, esse fato permite considerar que a redução de qualidade observada no corpo receptor (elevada DBO, turbidez e sólidos totais) entre o período de estiagem e chuvoso pode ser decorrente do arraste de carga orgânica para o corpo d'água em virtude do escoamento superficial. Ainda em função do escoamento superficial observa-se também um aumento na concentração de nitratos do período de seca para o período chuvoso, fato que pode estar associado à solubilização de sais retidos nas partículas de solo carreados.

Por meio de ponderação dos resultados dos parâmetros obtidos para o corpo receptor pôde-se especificar índices que mais influenciam negativamente (resultados inferiores a 50) na variação do IQA global (vide Tabela 9). O IQA global observou-se que para o período seco existe uma pequena redução no índice IQA decorrente do lançamento do efluente industrial e baixa vazão do corpo receptor, apesar dessa redução não refletir em mudança de enquadramento de qualidade de acordo com o índice (Tabela 12). Os fatores que mais

contribuem para a citada redução no IQA são, em escala decrescente de significância, a DBO e Coliformes. O corpo d'água estudado por Santos (2018) também apresenta redução do IQA global em virtude do parâmetro coliformes, segundo o autor trata-se de atividade antrópica nas proximidades do ponto de coleta.

Com o aumento da precipitação ocorre elevação da concentração de sólidos em suspensão no corpo d'água, e conseqüentemente aumento dos valores de turbidez. Assim, para o período chuvoso observou-se que além dos índices de coliformes e DBO o índice de turbidez também foi significativo de maneira a reduzir o índice geral em análise (vide Tabela 12).

De acordo com a classificação da CETESB (2019) e ANA (2021) - Tabela 10, o IQA do trecho estudado demonstra estar o Ribeirão em condição de qualidade BOA no período de estiagem e em condição REGULAR no período chuvoso. Observou-se que para o período chuvoso o escoamento superficial resultou em variação considerável na qualidade das águas de origem sazonal assim como no estudo de Santos (2018). Apenas novos estudos com diferentes variações temporais e espaciais no corpo d'água permitirão afirmar se há ou não oscilação do IQA ao longo do ano.

Quanto ao IET (classificação vide Tabela 11), tanto no período de estiagem quanto de chuvas, os resultados para IET_{CL} classificam o corpo receptor como HIPEREUTRÓFICO, enquanto o IET_{PT} e IET_T classificam o corpo receptor como ULTRAOLIGOTRÓFICO, fatos que levam a afirmar que os processos de eutrofização nesse corpo receptor estão limitados a fatores ambientais (como temperatura ou turbidez da água), porém de maneira geral o corpo d'água apresenta muito baixo potencial de eutrofização.

Tabela 9. Índices de qualidade das águas.

		qT	qpH	qOD	qNO ₃	qP	qTu	qST	qC	qDBO
Estiagem	Montante	92	62	89	96	99	73	84	31	37
	Jusante	92	91	64	98	99	65	74	18	9
Chuvoso	Montante	92	86	85	87	99	32	78	9	9
	Jusante	92	91	82	82	99	33	81	18	5

Fonte: O autor.

Tabela 10. Classificação do IQA conforme a ANA.

Nível de qualidade	Varição do IQA: BA, CE, ES, GO, MS, PB, PE, SP.	Varição do IQA: AL, MG, MT, PR, RJ, RN, RS.
Ótima	80 a 100	91 a 100
Boa	52 a 79	71 a 90
Razoável	37 a 51	51 a 70
Ruim	20 a 36	26 a 50
Péssima	0 a 19	0 a 25

Fonte: ANA, (2021).

Tabela 11. Classificação do IET para ambientes lóticos.

Categoria (Estado Trófico)	Ponderação	P-total – P (mg.m ³)	Clorofila a (mg.m ³)
ULTRAOLIGOTRÓFICO	IET < 47	P ≤ 13	CL ≤ 0,74
OLIGOTRÓFICO	47 < IET < 52	13 < P < 35	0,74 < CL ≤ 1,31
MESOTRÓFICO	52 < IET < 59	35 < P < 137	1,31 < CL ≤ 2,96
EUTRÓFICO	59 < IET < 63	137 < P < 296	2,96 < CL < 4,70
SUPERTRÓFICO	63 < IQA < 67	296 < P ≤ 640	4,70 < CL ≤ 7,46
HIPERUTRÓFICO	IET > 67	640 < P	7,46 < CL

Fonte: CETESB (2019)

Tabela 12. Valores do IAQ e IET (CL, PT e T) para o corpo receptor nos períodos de estiagem e chuvoso

	ESTIAGEM		CHUVOSO	
	MONTANTE	JUSANTE	MONTANTE	JUSANTE
IAQ	67,32	52,80	46,76	49,07
IET _{CL}	45,01	61,22	64,94	54,52
IET _{PT}	Não detectado!	12,6	Não detectado!	Não detectado!
IET _T	22,5	36,9	32,5	27,3

Fonte: O autor.

De acordo com as análises realizadas (Tabela 8) e a resolução do CONAMA 357/200 o Ribeirão Sampaio encontra-se predominantemente na condição classe 4 nos pontos e no período estudado. Observa-se que os valores de DBO e coliformes extrapolam aqueles

determinados pela legislação para rios classe 2, 5 mg/L e 1.000 NMP/100 mL (CONAMA 357), respectivamente. Os altos valores de DBO observados são fatores limitantes do enquadramento do rio como classe 3 (não podem ser superiores a 10 mg/L – CONAMA 357). Tais fatos colocam o corpo receptor na pior condição de qualidade prevista na legislação e são preocupantes principalmente em função da consequente redução dos teores de OD no corpo d'água, causando riscos para o desenvolvimento e manutenção da vida aquática do meio.

Os monitoramentos realizados permitiram identificar que o Ribeirão Sampaio admite qualidade muito inferior ao necessário para as suas atuais finalidades de uso na região (abastecimento industrial e de sistemas individuais de abastecimento humano, irrigação, dessedentação animal e afins), evidenciando a impossibilidade da utilização da água do mesmo sem nenhum tipo de tratamento prévio.

Avaliando o parâmetro DBO juntamente com os parâmetros do IQA o presente estudo permitiu concluir que o corpo d'água recebe contaminação pontual ou difusa a montante do lançamento do efluente industrial debilitando sua qualidade. Aproximadamente de 6 km de curso d'água a montante do lançamento do efluente industrial o Ribeirão Sampaio recebe carga de efluente doméstico municipal, sendo esta uma possível fonte poluidora pontual. Maiores monitoramentos ao longo do curso do rio e de seus afluentes se mostram necessários para impedir lançamentos clandestinos de efluentes e garantir que os tratamentos de efluentes lançados no mesmo sejam suficientemente eficientes.

Aproximadamente 4 km a jusante do lançamento do efluente industrial o Ribeirão Sampaio deságua no Rio Corumbá, manancial de grandes dimensões que circunda a região. No que diz respeito à ocupação e usos do solo pôde-se observar via análise das imagens de satélite que a jusante do lançamento da ETEI até seu desaguar no Rio Corumbá há uma elevada ampliação nas áreas verdes e de mata ciliar, fatos que podem proporcionar uma melhor assimilação da carga orgânica recebida pelo Ribeirão.

O efluente apresentou valor K1 experimental de 0,098 (Figura 9). Segundo Von Sperling (1996) o K1 para efluentes secundários está entre 0,10 a 0,45 d⁻¹. O baixo valor de K1 experimental obtido é condizente com o tipo de tratamento que o efluente industrial recebe (secundário), que proporciona que a fração mais facilmente assimilável da matéria orgânica já tenha sido removida restando então apenas a parcela de estabilização mais complexa e lenta. Ou seja, o corpo receptor do efluente industrial tratado vai levar mais tempo para conseguir degradar a carga orgânica que recebe.

Por meio da simulação matemática de autodepuração do corpo d'água obteve-se as curvas de depleção do oxigênio dissolvido para os períodos chuvoso e seco que reforçam a má qualidade hídrica do Ribeirão Sampaio a montante do lançamento do efluente industrial (Figuras 10 e 11).

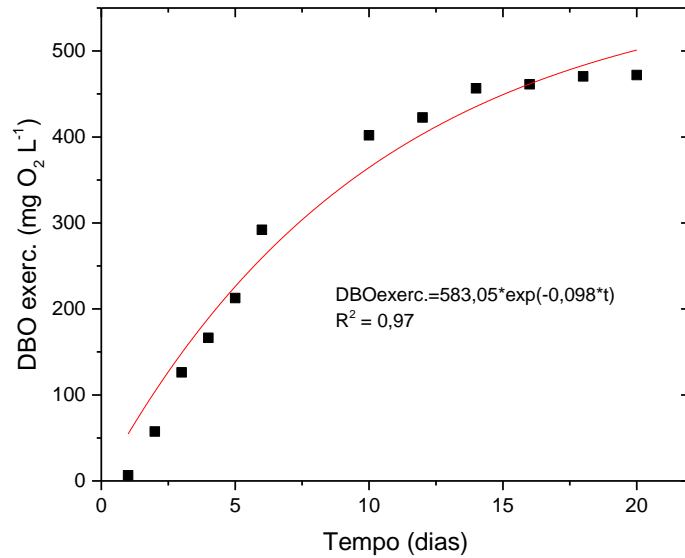


Figura 9. DBO exercida do efluente do abatedouro de aves.

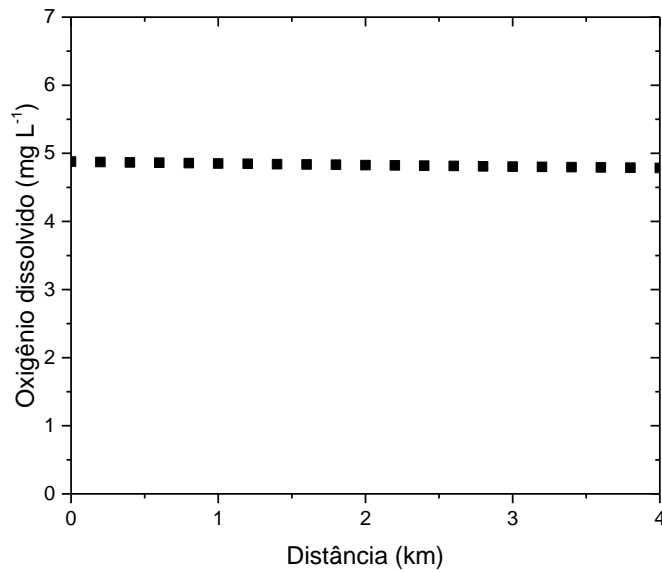


Figura 10. Curva de depleção de oxigênio Ribeirão Sampaio para o período chuvoso.

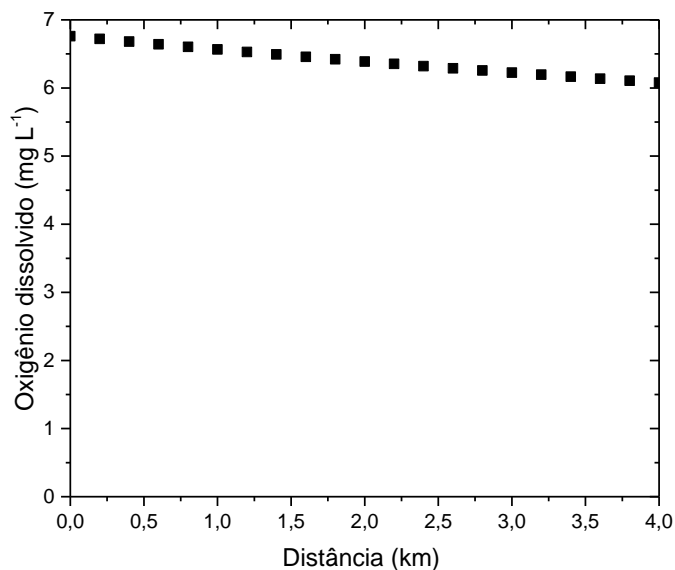


Figura 11. Curva de depleção de oxigênio Ribeirão Sampaio no período seco.

A má qualidade da água do Ribeirão Sampaio é observada nas curvas de depleção de OD, sendo que no período chuvoso os níveis de OD chegam baixos no ponto de lançamento do efluente industrial e se mantém abaixo do valor mínimo recomendado pela legislação (5 mgL⁻¹). No período seco dada a baixa vazão do corpo receptor há uma redução na concentração de OD após o recebimento do efluente industrial. Observa-se que o impacto do lançamento de efluentes é muito maior na redução da concentração de OD no período seco em virtude do baixo volume de diluição do corpo receptor. Para os dois períodos estudados o corpo receptor não apresenta concentrações de OD próximas ao valor esperado para manutenção da vida aquática (9 mg/L) no intervalo utilizado na simulação matemática (4 km).

Durante o percurso de aproximadamente 4 km, o Ribeirão Sampaio inicia o processo de autodepuração não sendo o trecho suficiente para que ele apresente qualidade ambiental satisfatória, sendo que após esse trecho ele deságua em um corpo d'água com alto potencial de autodepuração. É válido ressaltar que trata-se de uma análise teórica feita por meio de simulação matemática considerando-se que o Ribeirão não receba novas perturbações ao longo de seu percurso pós recebimento do efluente industrial, podendo não representar fielmente a situação atual do curso do rio.

De maneira geral observa-se que há o início do processo de depuração do corpo d'água nos trechos a jusante do lançamento industrial, fato confirmado pela redução gradual da carga orgânica que ocorre no Ribeirão Sampaio. Como já citado, a qualidade do corpo

receptor é precária a montante do lançamento do efluente industrial, e após o recebimento do efluente industrial tratado suas características não são consideravelmente alteradas de maneira negativa fato que pode ser observado pela redução da DBO observada para os dois períodos de estudo (figuras 12 e 13).

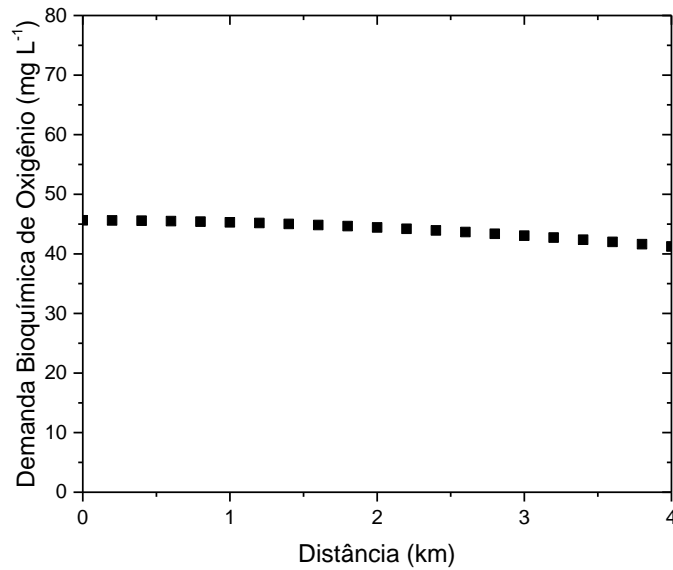


Figura 12. Alteração na DBO do Ribeirão Sampaio - Período chuvoso

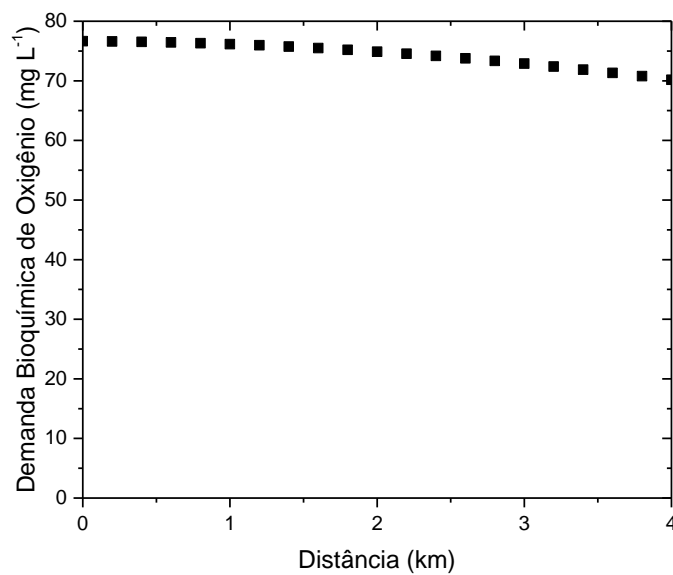


Figura 13. Alteração das concentrações de DBO no Ribeirão Sampaio - Período seco.

De maneira geral observa-se então que a ETEI existente no abatedouro apresenta a eficiência necessária para garantir a condição de não alteração da qualidade ambiental do corpo receptor. Apesar do lançamento do efluente da ETEI atender aos requisitos legais bem como não alterar o enquadramento atual do corpo receptor, este contribui negativamente para a qualidade do corpo receptor dado que o mesmo já se encontra com qualidade de água bastante deteriorada.

O estudo evidencia ser de grande relevância o monitoramento constante de quantidade e qualidade da água como subsídio para confiabilidade e melhor gerenciamento de um recurso hídrico. Dado o grau de degradação observado no Ribeirão Sampaio mostram-se necessários trabalhos investigativos, planejamentos e aplicações de ações que reduzam/eliminem os passivos ambientais existentes permitindo que esse recupere sua qualidade hídrica. Sugere-se que sejam trabalhados programas de recuperação de matas ciliares, bem como programas de proteção dos mananciais e afluentes do Ribeirão Sampaio, com objetivo de garantir acima de tudo a saúde da população. Além disso, os resultados obtidos permitem despertar para a importância da fiscalização das concessionárias de saneamento. Na totalidade os monitoramentos citados permitem que haja um melhor planejamento no desenvolvimento agroindustrial no município de Pires do Rio, sempre vinculado com a preservação da qualidade hídrica e da vida aquática.

5. CONCLUSÃO

De acordo com o estudo conclui-se que:

- O efluente final do abatedouro de aves apresenta conformidade com a legislação ambiental vigente, sendo a eficiência global do sistema superior a 90% de remoção de carga orgânica;
- O lançamento do efluente da ETEI não resulta em características de enquadramento diferentes da condição inicial do rio de acordo com a legislação CONAMA 357/2005;
- O K1 experimental obtido foi de 0,098;
- O Ribeirão Sampaio apresenta baixa qualidade hídrica a montante do lançamento de efluentes apresentando-se predominantemente na condição classe 4;
- O IQA do trecho estudado foi BOM no período de seca e REGULAR no período chuvoso, não variando a montante e a jusante do lançamento do efluente industrial;
- O IETt enquadra o corpo receptor como ULTRAOLIGOTRÓFICO e evidencia seu baixo potencial de eutrofização;
- No período chuvoso a água chega na área de estudo com teor ruim de OD (aproximadamente 7 mg/L), sofre impacto dos lançamento do efluentes industrial, depurando-se mas não retorna à concentração a níveis satisfatórios (superior a 5 mg/L) nos 4 km de curso d'água a jusante. Para o período seco, a água chega na área de estudo com péssimo teor de OD (abaixo de 5 mg/L), sofre o impacto do lançamento industrial e não se recupera a níveis satisfatórios nos primeiros trechos a jusante;
- A DBO é elevada a montante do lançamento do trecho estudado, não permitindo a depuração do mesmo nos 4 km à jusante do lançamento do efluente industrial a teores satisfatórios;
- O estudo evidencia a necessidade de reabilitação do Ribeirão Sampaio.

6. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS–ANA. Indicadores de qualidade: índice de qualidade das águas (IQA), 2021. Disponível em <<http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>>. Acesso em: 13 jan.2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Plano de recursos hídricos e do enquadramento de corpos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do rio Paranaíba. 77 p., Brasília, 2013.

AWWA/APHA/WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 23th edition. DC, Washinton, 2017.

BARROS, F. M. Dinâmica do nitrogênio e do fósforo e estado trófico nas águas do rio Turvo sujo. Viçosa. 193p. Programa de pós graduação em engenharia agrícola – Universidade Federal de Viçosa, 2008.

BRASIL. Lei n.º 9.433, 08 de janeiro de 1997. Presidência da República: Casa Civil.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA. Resolução nº 357, 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá providências. Publicado no Diário Oficial da União em 18-3-2005. Seção 1, p. 58-63.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA. Resolução nº 430, 13 de maio de 2011. 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 de Meio Ambiente – CONAMA. Publicado no Diário Oficial da União em 16-05-2011, n. 92, p. 89.

BRANDELERO, S. M.; SIQUEIRA, E. Q.; LIMA, A. C. B. Desoxigenação em água superficial de ambiente lótico. *Ambi-Água*, Taubaté, v. 5, n. 1, p. 163-171, 2010.

BUSTILLO-LECOMPTE, C. F. *et. al.* Cost-effectiveness analysis of TOC removal from slaughterhouse wastewater using combined anaerobic–aerobic and UV/H₂O₂ processes. *Journal Of Environmental Management*, n. 134, p.145-152, 2014.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2019. Disponível em: <<<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-D-%C3%8Dndices-de-Qualidade-das-%C3%81guas.pdf>>. Acesso em: 28 de out. de 2020.

CREMONINI, J.; NEDEL, T.; HIGARASHI, M. M. Tratamento De Efluentes Da Indústria De Frigoríficos. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*. Ano 03, ed. 12, V. 04, p. 124-138, 2018.

DIAS, C. Mapeamento do município de Pires do Rio – GO: usando técnicas de Geoprocessamento. Uberlândia, 2008. Dissertação (mestrado em geografia) – Universidade Federal de Uberlândia.

DUTRA, W. C. P. Modelagem dos parâmetros de qualidade de água em trecho urbanizado do rio Paraibuna em Juiz de Fora (MG), 2014. Monografia (curso de engenharia ambiental e sanitária) – Universidade de Juiz de Fora.

GUEDES, D. M. *et. al.* Avaliação da influência do Coeficiente de desoxigenação no modelo de autodepuração utilizando efluentes de laticínio. *Revista internacional de ciências*, v. 09, n. 3, p. 32–46, Rio de janeiro, 2019.

MENDES, T. A. *et. al.* Modelo de Streeter-Phelps para estimativa do oxigênio dissolvido em trecho urbano do rio Meia Ponte. *Rev. Tecnia*, v. 4, n. 2, 2019

NARDI, I. R.; LIMA, A. R.; AMORIM, A. K. B.; NERY, V. Análise de séries temporais na operação de sistema de tratamento de águas residuárias de abatedouro de frango. *Revista Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 10, n. 4, p. 339–346, 2005.

NUNES, D. G. Modelagem da autodepuração e qualidade da água do rio Turvo Sujo. (Dissertação). Programa de pós graduação em engenharia agrícola – Viçosa, Minas gerais. 118 p., 2008.

PAULA, L. M. Avaliação da qualidade da água e autodepuração do rio Jordão, Araguari (MG). Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia. 177 p. Uberlândia, 2011.

PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. da; KOETZ, M. Estudo de vazão em cursos d'água. Caderno didático 43, 151 p. Viçosa: AEAGRI, 2006.

SALLA, M. R. *et. al.* Estudo de autodepuração do Rio Jordão, localizado na bacia hidrográfica do Rio Dourados. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 18, n. 2, p. 105-114, 2013.

SANTOS, R. C. L. *et. al.* Aplicação de índices para avaliação da qualidade da água da Bacia Costeira do Sapucaia em Sergipe. Revista Eng. Sanitaria e ambiental, v.23, n. 1, p. 33-46, 2018.

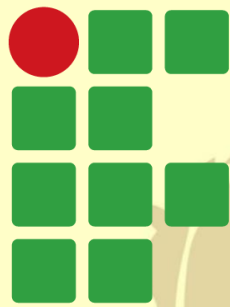
Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento – SEGPLAN. Instituto Mauro Borges de estatística e Estudos Socioeconômicos – IMB. Mapas das micro-regiões do Estado de Goiás: micro região IBGE de Pires do Rio (2018). Disponível em: https://www.imb.go.gov.br/files/docs/mapas/microrregioes-ibge/microrregiao_de_pires_do_rio.pdf. Acesso em: 11/02/2021.

SCHATZMANN, H. C. Tratamento Avançado de Efluentes de Frigorífico de Aves e o reuso da Água. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

TEIXEIRA, R. M. Remoção de Nitrogênio de Efluentes da Indústria Frigorífica Através da Aplicação dos Processos de Nitrificação e Desnitrificação em Biorreatores Utilizados em um Sistema de Lagoas de Tratamento. Tese (Doutorado em engenharia química) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

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

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA, v. 1, 2ª Ed. Revisada, 243 p., Belo Horizonte, 1996.



INSTITUTO FEDERAL

Goiano

Campus
Urutaí

