

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA  
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**VITÓRIA CAROLINE DE ALMEIDA**

**ESTUDO DE UM SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO DE EFLUENTE  
PARA AUMENTO DA EFICIÊNCIA DA LAGOA ANAERÓBIA DE UM  
ABATEDOURO DE PEIXES**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**LONDRINA**

**2023**

**VITÓRIA CAROLINE DE ALMEIDA**

**ESTUDO DE UM SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO DE EFLUENTE  
PARA AUMENTO DA EFICIÊNCIA DA LAGOA ANAERÓBIA DE UM  
ABATEDOURO DE PEIXES**

**Study of an effluent recirculation system to increase the efficiency  
of the anaerobic lagoon of a fish slaughterhouse**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Londrina, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenharia Química.

Orientadora: Profa. Dra. Pricila Marin.

**LONDRINA**

**2023**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**VITÓRIA CAROLINE DE ALMEIDA**

**ESTUDO DE UM SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO DE EFLUENTE PARA  
AUMENTO DA EFICIÊNCIA DA LAGOA ANAERÓBIA DE UM ABATEDOURO  
DE PEIXES**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Química da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 07/Dezembro/2023.

---

Pricila Marin  
Doutorado em Engenharia Química  
Universidade tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Londrina

---

Patricia Hissae Yassue Cordeiro  
Doutorado em Engenharia Química  
Universidade tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Londrina

---

Edmar Rodrigues Salomão  
Técnico em Química  
Representante da Empresa

**LONDRINA**

**2023**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, criador e mantenedor da minha vida. Sem Ele, tenho absoluta certeza que não teria chegado até aqui;

Aos meus pais, Cido e Ilza, por sonharem os meus sonhos comigo, sempre fazendo tudo que esteve ao alcance para que essa etapa se concretizasse;

Aos amigos da graduação, Ana Maria, Bruno, Kádimo, Lincoln, Paulo, Sara, Thaynara e Vinícius, por compartilharem comigo os bons e maus momentos, tornando essa jornada mais leve;

À minha orientadora, Profa. Dra. Pricila Marin, pela paciência e sabedoria com que me auxiliou na realização deste trabalho;

Aos demais professores do Departamento de Engenharia Química, *Campus Londrina*, pelo conhecimento compartilhado na formação, em especial ao Prof. Dr. Guilherme Machado, pelas oportunidades e conselhos durante essa jornada;

Ao Edmar, pela companhia e paciência com que me ensinou as atividades do estágio e ao responsável técnico da empresa, Vinícius, pela supervisão do estágio;

Sem dúvidas, esta página não é capaz de agradecer a todos que fizeram parte dessa jornada. Assim sendo, estendo meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão dessa etapa.

## RESUMO

O processamento de pescado tem parcela significativa no que diz respeito ao consumo de água e descarte de resíduos líquidos pelas indústrias, uma vez que sua produção gera elevadas quantidades de efluente rico em carga orgânica poluidora, necessitando de tratamento adequado para que possa ser descartado sem ocasionar danos aos recursos hídricos e à vida de animais aquáticos, exigindo uma estação de tratamento de efluentes que opera satisfatoriamente. O objetivo deste trabalho consiste em propor uma nova configuração para a lagoa anaeróbia da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) de um abatedouro de peixes, associada à recirculação de parte do conteúdo de saída da lagoa, promovendo maior interação das bactérias estabilizadoras com a matéria orgânica e aumentando a eficiência dessa etapa. Para tal, foram analisados os parâmetros físico-químicos e biológicos do efluente de lançamento e das águas à montante e à jusante do ponto de descarga. Também, foram avaliadas as condições operacionais do tratamento anaeróbico e os parâmetros físico-químicos e biológicos do efluente da lagoa anaeróbia. Os resultados sugerem que o ponto negativo dessa etapa de tratamento consiste no volume da lagoa ser muito maior que o necessário, tornando o tempo de residência muito alto e ofertando poucos nutrientes aos microrganismos, prejudicando sua multiplicação e atividade. Além disso, destacou-se a possibilidade de altas concentrações de sódio e cloro estarem contribuindo para inibição da atividade bacteriana, favorecendo a não ativação da lagoa anaeróbia. Diante disso, a proposta deste trabalho abrange a alteração da configuração da lagoa anaeróbia de convencional para uma lagoa de alta taxa e a criação de um sistema de recirculação de parte do efluente da saída da lagoa, encaminhando-o à entrada da lagoa, promovendo maior oferta de nutrientes aos microrganismos, sendo ambas as alterações viáveis para contornar os problemas destacados.

Palavras-chave: configuração de lagoa; lagoa de alta taxa; carga orgânica; microrganismos.

## **ABSTRACT**

Fish processing has a significant share in terms of water consumption and disposal of liquid waste by industries, since its production generates high amounts of effluent rich in polluting organic load, requiring adequate treatment so that it can be discarded without causing damage to water resources and the lives of aquatic animals, requiring an effluent treatment plant that operates satisfactorily. The objective of this work is to propose a new configuration for the anaerobic lagoon of the Effluent Treatment Station (ETE) of a fish slaughterhouse, associated with the recirculation of part of the contents leaving the lagoon, promoting greater interaction of stabilizing bacteria with the matter organic and increasing the efficiency of this stage. To this end, the physical-chemical and biological parameters of the discharge effluent and the waters upstream and downstream of the discharge point were analyzed. Also, the operational conditions of the anaerobic treatment and the physical-chemical and biological parameters of the effluent from the anaerobic lagoon were evaluated. The results suggest that the negative point of this treatment stage is that the volume of the lagoon is much larger than necessary, making the residence time very high and offering few nutrients to the microorganisms, hindering their multiplication and activity. Furthermore, the possibility of high concentrations of sodium and chlorine contributing to the inhibition of bacterial activity was highlighted, favoring the non-activation of the anaerobic lagoon. In view of this, the proposal of this work encompasses changing the configuration of the anaerobic lagoon from a conventional one to a high-rate lagoon and the creation of a system for recirculating part of the effluent at the lagoon outlet, directing it to the lagoon entrance, promoting greater supply of nutrients to microorganisms, both changes being viable to overcome the problems highlighted.

Keywords: pond configuration; high rate pond; organic load; microorganisms.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Configurações da lagoa anaeróbia. (a) lagoa anaeróbia convencional e (b) lagoa anaeróbia de alta taxa. ....	22
Figura 2 – Diagrama de Ishikawa para a baixa eficiência da lagoa anaeróbia.....	36
Figura 3 – Esquematização da proposta de melhoria na lagoa anaeróbia.....	38
Figura 4 – Tubulação utilizada para lançamento de efluente na lagoa.....	38
Figura 5 – Elementos necessários para recirculação do efluente de saída da lagoa anaeróbia. ....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Condições de lançamento do efluente.....	15
Tabela 2 – Parâmetros físico-químicos e biológicos do efluente de lançamento do abatedouro e das águas à montante e à jusante do ponto de descarga.....	29
Tabela 3 – Parâmetros avaliados na lagoa anaeróbia do abatedouro.....	31



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BRS	Bactérias Redutoras de Sulfato
CEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
FAD	Flotação por Ar Dissolvido
IAT	Instituto de Terra e Água
NBR	Normas Brasileiras
OD	Oxigênio Dissolvido
pH	Potencial Hidrogeniônico
s. d.	Sem Data
SMEWW	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater
SST	Sólidos Suspensos Totais

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>A empresa</b> .....	<b>13</b>
2.1.1	Processo produtivo dos filés.....	13
2.1.2	Efluentes gerados no processo produtivo.....	14
2.1.3	Padrões de lançamento de efluentes industriais em corpos hídricos .....	15
2.1.4	A estação de tratamento de efluentes da empresa .....	17
<b>2.2</b>	<b>Funcionamento da lagoa anaeróbia</b> .....	<b>20</b>
<b>2.3</b>	<b>Aspectos químicos e bioquímicos da degradação anaeróbia</b> .....	<b>22</b>
<b>2.4</b>	<b>Parâmetros de controle no tratamento anaeróbio</b> .....	<b>24</b>
<b>2.5</b>	<b>Estado da arte</b> .....	<b>25</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>27</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>29</b>
4.1	Caracterização do efluente de lançamento e dos pontos à montante e à jusante do local de descarga .....	29
4.2	Avaliação dos parâmetros de controle da lagoa anaeróbia.....	31
4.3	Proposta de melhoria para aumento da eficiência da lagoa anaeróbia do abatedouro de peixes .....	36
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>40</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>41</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a alimentação saudável e manutenção do bem-estar físico ao longo dos anos tem corroborado para o aumento significativo do consumo mundial de peixes (SONE e MOREJON, 2019; CAMPOS, 2020). O Anuário 2023 de Peixe BR da Piscicultura, disposto na Assembleia Legislativa do Paraná (2023), constatou que, em 2022, foram cultivadas cerca de 860.355 toneladas de peixes em território nacional, gerando uma receita de, aproximadamente, R\$ 9 bilhões, com crescimento de 2,3% em relação ao ano anterior. Diante disso, o processamento de peixes tem se mostrado uma atividade de grande retorno financeiro e tem atraído consideráveis investimentos. Entretanto, deve-se levar em consideração que os frigoríficos são um dos setores que mais consomem água em suas atividades, resultando em elevada quantidade de efluentes líquidos com alta carga orgânica (MULTIAGUAS, s. d.).

Uma característica das águas residuárias dessa atividade industrial é a grande concentração de sangue e gordura, carnes, escamas, vísceras e outros resíduos, caracterizando-se por grandes quantidades de sólidos em suspensão, valores altos de demanda química de oxigênio (DQO) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO), além de concentrações significativas de nitrogênio (SONE e MOREJON, 2019). Diante disso, a destinação desse efluente deve ser considerada com muita atenção.

Associado às características poluidoras do efluente gerado no processamento de pescado, destaca-se a crescente preocupação das empresas com as possíveis consequências de seus processos. O setor industrial tem intensificado, cada vez mais, o controle dos resíduos gerados em suas atividades, de forma que o descarte não traga danos aos ecossistemas (SILVEIRA, 2010). Além disso, existem normas e órgãos regulamentadores para o lançamento de efluentes industriais, considerando crime, com punição por lei, o despejo inadequado dos resíduos líquidos das atividades industriais (TERA AMBIENTAL, 2019).

Em virtude disso, investimentos consideráveis têm sido feitos na implementação de sistemas de tratamentos de resíduos líquidos, acarretando gastos adicionais às companhias. Em contrapartida, essa medida apresenta uma nova fonte de receita para as empresas, uma vez que se torna possível reaproveitar o efluente tratado em outros setores, além de comercializar os subprodutos (SILVEIRA, 2010).

Nesse sentido, as tecnologias consolidadas para o tratamento de efluentes de industriais abrangem processos físicos, químicos e biológicos, a fim de remover a matéria orgânica, partículas suspensas, coloides e demais substâncias das águas residuárias, diminuindo, assim, os impactos ambientais ocasionados pelo setor agroindustrial brasileiro (BIASSI, 2014; PACHECO *et al.*, 2022).

Houve, ainda, um grande avanço tecnológico na área de tratamento de resíduos líquidos industriais, corroborando para o aumento da utilização de processos anaeróbicos, não apenas no território brasileiro, tendo em vista as condições de temperatura favoráveis, mas também em todo o mundo. Dentre os benefícios encontrados no tratamento anaeróbio, tem-se o fato de não utilizarem energia para aeração do efluente, além de apresentarem menor geração de lodo, acrescido ao potencial para geração de energia. Entretanto, as lagoas anaeróbicas podem apresentar mau cheiro, proveniente da liberação de gás sulfídrico (BOHRZ, 2010). Apesar disso, são bastante recomendadas para tratamento de efluentes em abatedouros (VILVERT, 2017).

Dessa forma, deseja-se que o processo de tratamento das águas residuárias ocorra com a maior eficiência possível, garantindo resultados satisfatórios para os parâmetros do efluente de lançamento, atendendo a legislação, de forma que o meio ambiente não seja prejudicado. A partir disso, observou-se que a etapa anaeróbica do tratamento de efluentes do abatedouro em questão é um ponto que exige maior atenção, tendo em vista a não ativação da lagoa e a baixa eficiência constatadas pela consultoria ambiental da empresa, por meio da coloração mais clara que o esperado para esse tipo de lagoa, bem como ausência de bolhas, um dos indicativos de boa atividade de fermentação.

Portanto, o presente trabalho tem como objetivo propor um sistema de recirculação de efluente na lagoa anaeróbica e alteração na configuração de entrada deste efluente, de forma a fornecer maior concentração de carga orgânica aos microrganismos, fazendo com que se multipliquem e depurem a matéria poluidora com maior eficiência. Para isso, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar o efluente por meio dos parâmetros físico-químicos e biológicos determinados por lei para lançamento de efluentes em corpos hídricos;

- Analisar os parâmetros físico-químicos e biológicos do corpo receptor à montante e à jusante do ponto de lançamento;
- Verificar os parâmetros de controle da lagoa anaeróbica, avaliando se estão em conformidade com o esperado;
- Propor alternativas para melhoria da eficiência da lagoa anaeróbia.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico apresenta, brevemente, a empresa e o processo produtivo dos filés de peixe, bem como os resíduos líquidos gerados na atividade produtiva, os padrões exigidos por lei para lançamento de efluentes em corpos hídricos e a Estação de Tratamento de Efluentes. Em seguida, aborda o funcionamento da lagoa anaeróbia e os aspectos químicos e bioquímicos envolvidos na depuração da matéria orgânica, finalizando com os parâmetros de controle pertinentes ao tratamento anaeróbio e estado da arte.

### 2.1 A empresa

A indústria consiste em um frigorífico de peixes, no qual são produzidos filés. Todo o processo produtivo é realizado na estrutura da empresa, sob controle rígido de qualidade, desde o recebimento dos animais até a expedição dos filés, garantindo, assim, segurança e qualidade nos produtos comercializados.

Além disso, a empresa possui uma estação de tratamento de efluentes que recebe os resíduos líquidos do processo produtivo, submetendo-os a tratamentos primário e secundário, de forma que o efluente atenda as legislações pertinentes e possa ser lançado no arroio Pedregulho sem causar impactos negativos aos corpos hídricos e faunas locais. Futuramente, o efluente tratado no estabelecimento será implementado na fertirrigação em solo agrícola.

#### 2.1.1 Processo produtivo dos filés

A seguir, encontram-se descritas as etapas, desde o recebimento da matéria-prima até a expedição dos filés.

Inicialmente, os peixes recebidos são descarregados nos tanques de depuração, nos quais são previamente avaliados pH, temperatura e oxigênio dissolvido (OD) na água, a fim de garantir condições de vida adequada aos animais. Da depuração, uma esteira os envia para a insensibilização, a fim de que haja perda da consciência por meio de choque elétrico, evitando sofrimento desnecessário ao longo do processo.

Em seguida, os animais passam por uma balança Hopper e são direcionados à sangria – essa etapa consiste em realizar um corte específico nos peixes e enviá-los a um resfriador, do tipo *chiller*, no qual a água encontra-se na faixa de 0 a 7 °C, o

que facilita o sangramento. Depois, os peixes seguem para a descamação, onde são retiradas as escamas por meio de água a altas pressões e, posteriormente, para o lavador de pescados, a fim de remover resíduos de escamas que permaneceram incrustados.

Os animais seguem, então, para a etapa de evisceração, na qual são retiradas as vísceras e a cabeça, enviando os peixes para a filetagem. Na filetagem, os colaboradores realizam o corte dos filés e os enviam para a descouradeira, para que seja removida a pele. A carcaça e a pele são armazenadas e, posteriormente, descartadas na caçamba de resíduos do processo produtivo.

Os filés sem pele são destinados ao refile para a retirada de espinhos e realização de cortes de ajuste. Depois, seguem para a classificação, etapa na qual os filés que se encontram dentro dos padrões de qualidade vão para o congelamento no girofreezer e, posteriormente, ao glaciamento. Já os que apresentam não conformidade são reprocessados ou descartados, a depender do tipo de inadequação.

Do congelamento, os filés são encaminhados à embalagem primária e, depois, à secundária, seguindo para a câmara de estocagem, onde são armazenados em temperaturas na faixa de -18 °C a -25 °C até a expedição.

### *2.1.2 Efluentes gerados no processo produtivo*

O efluente gerado no processamento industrial dos peixes corresponde aos resíduos líquidos resultantes tanto das etapas de abate e de beneficiamento dos filés, como da higienização dos setores produtivos. Logo, a água residual do processo constitui-se de altas concentrações de gorduras e sangue dissolvidos, sólidos grosseiros, como escamas e vísceras, e sanitizantes oriundos da limpeza do ambiente de produção, o que resulta em elevada carga orgânica e nitrogenada, exigindo atenção frente à alta carga poluidora do efluente (CAMPOS, 2020).

Devido a isso, os resíduos líquidos dessa atividade industrial apresentam altos valores de sólidos suspensos totais (SST), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO), necessitando de tratamentos eficientes, a fim de evitar danos ecológicos decorrentes do lançamento do efluente ao meio ambiente (CAMPOS, 2020).

Em média, a estação trata cerca de 80 m<sup>3</sup> de efluente diariamente, exceto aos finais de semana e feriados – quando não há expediente na empresa. No tópico a seguir, encontram-se especificados os parâmetros estabelecidos por lei para

lançamento de efluentes industriais em corpos hídricos.

### 2.1.3 Padrões de lançamento de efluentes industriais em corpos hídricos

No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é o órgão regulamentador, instituído pela Lei 6.938/81, que dispõe das normas exigidas para assegurar a qualidade ambiental, incluindo o lançamento de efluentes industriais (TERA AMBIENTAL, 2019).

Segundo a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, qualquer efluente advindo de fontes poluidoras podem ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos hídricos, após serem submetidos a tratamento adequado, de forma que obedeçam às condições e exigências determinadas nesta e em outras normas (SILVEIRA, 2010).

No Paraná, a empresa atende aos padrões dispostos na Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005) e na Resolução CEMA 070/09 (PARANÁ, 2009). Para melhor visualização, a Tabela 1 apresenta os valores permitidos para os parâmetros de lançamento de efluentes industriais, segundo essas normativas.

**Tabela 1 – Condições de lançamento do efluente.**

Parâmetro	Limite permitido pela legislação
Vazão de lançamento <sup>(1)</sup>	1,79 m <sup>3</sup> /h
pH <sup>(2)</sup>	Entre 5 e 9
Temperatura <sup>(2)</sup>	Inferior a 40°C
Materiais Sedimentáveis <sup>(2)</sup>	Até 1 mL/L
Óleos vegetais e gorduras animais <sup>(3)</sup>	Até 50 mg/L
Demanda Bioquímica de Oxigênio <sup>(3)</sup>	60 mg/L
Demanda Química de Oxigênio <sup>(3)</sup>	Até 200 mg/L
Toxicidade Aguda ( <i>Daphnia magna</i> ) <sup>(3)</sup>	Até 8
Toxicidade Aguda ( <i>Vibrio fischeri</i> ) <sup>(3)</sup>	Até 8

1 – Valor retirado da Portaria de Outorga Prévia de Lançamento nº 10424/2022;

2 – Valores retirados da Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005);

3 – Valores retirados da Resolução CEMA 070/09 (PARANÁ, 2009).

**Fonte: Brasil (2005) e Paraná (2009).**

O controle de cada um dos parâmetros apresentados na Tabela 1 é de suma importância. Em caso de lançamentos fora dos padrões estabelecidos, podem acarretar sérios prejuízos, tanto ao corpo hídrico quanto à vida aquática.



Em relação à vazão de lançamento, a empresa obedece ao limite outorgado pela Portaria de Outorga Prévia de Lançamento – Nº 10451/2022, sendo estabelecido o limite máximo de lançamento do efluente de 1,79 m<sup>3</sup>/h. A outorga consiste no direito concedido pelo poder público à empresa de utilizar os recursos hídricos, nesse caso para o lançamento do efluente tratado, de forma controlada, por determinado período, minimizando impactos e conflitos (CEIVAP, s. d.).

O controle do potencial hidrogeniônico (pH) nos efluentes descarregados em rios é de suma importância, uma vez que pode interferir diretamente sobre a fisiologia de diversas espécies – por exemplo, em pHs muito baixos, os peixes podem sofrer morte imediata, já em pHs altos e elevadas temperaturas, a amônia presente no meio se torna extremamente tóxica e prejudicial à vida dos animais. Além disso, a alteração desse parâmetro pode influenciar indiretamente no meio aquático, levando à precipitação de metais pesados, que são elementos químicos tóxicos, e interferência na solubilidade de nutrientes. Devido a isso, o pH do efluente de lançamento deve estar entre 5,0 e 9,0 (TERRANÁLISES, 2021; CETESB, s. d.).

Além disso, a temperatura do efluente permitida para o descarregamento em corpos hídricos é de até 40 °C (BRASIL, 2005), uma vez que o não atendimento dos limites de tolerância térmica acarreta grande impacto sobre o crescimento e reprodução da vida aquática, além de influenciar outros parâmetros da água, como tensão superficial e viscosidade (TERA AMBIENTAL, 2018).

Outro parâmetro analisado para o descarte dos resíduos líquidos industriais são os sólidos sedimentáveis. Esses materiais são indicadores importantes de poluição, uma vez que sua análise mostra se os efluentes estão livres de contaminação. Segundo a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), o limite permitido é de 1 mL de material sedimentável para 1 L de efluente. O despejo de efluentes com elevada carga de sólidos sedimentáveis pode levar ao assoreamento das águas, bem como ao sufocamento de organismos aquáticos e ovos (PROMATEC AMBIENTAL, 2021; ACQUAPHI, s. d.).

Para óleos vegetais e gorduras animais, as normativas permitem até 50 mg de material para 1 L de efluente. A conformidade com esse limite estabelecido é importante, pois a presença de óleos e gorduras corroboram para a formação de sólidos agregados ou partículas em suspensão, além de gerarem maus odores. Associado a isso, tem-se que a decomposição desses compostos aumentam os índices de DBO e DQO do meio, diminuindo o oxigênio dissolvido, trazendo enormes

prejuízos ao ambiente aquático (RIBEIRO e BOTARI, 2022).

Outros critérios extremamente importantes no que diz respeito ao tratamento e despejo de efluentes industriais, são os valores de DBO e DQO. A Demanda Bioquímica de Oxigênio indica o nível de poluição das águas, pois tal parâmetro relaciona a quantidade de oxigênio que microrganismos aeróbios consomem para decompor a carga orgânica do ambiente aquático. Em outras palavras, se as águas apresentam alta DBO, há baixa concentração de oxigênio dissolvido no meio, o que compromete a manutenção da vida aquática, podendo esgotar o oxigênio da água, resultando no desaparecimento de espécies; já as águas com baixa DBO apresentam elevadas concentrações de oxigênio dissolvido e são, portanto, consideradas não poluídas (PROMATEC AMBIENTAL, 2020; DIAS, s. d.). A partir disso, as resoluções vigentes permitem DBO de até 60 mg para cada litro de efluente lançado em corpos hídricos (PARANÁ, 2009).

Juntamente com a análise de DBO, é feita a avaliação da DQO do efluente, a fim de constatar a biodegradabilidade do mesmo. A Demanda Química de Oxigênio indica a quantidade de oxigênio necessária para que a matéria orgânica seja oxidada por um reagente químico e apresenta valores maiores que a DBO, exceto em casos muito raros. Além disso, quanto mais o valor de DBO se aproxima da DQO, tem-se um efluente mais biodegradável (PROMATEC AMBIENTAL, 2020). Segundo a Resolução CEMA 070/2009 (PARANÁ, 2009), o valor permitido para o parâmetro de DQO é de até 200 mg para 1 L de efluente.

Por fim, são realizados os testes de ecotoxicidade aguda no efluente da empresa. Esses bioensaios tem por objetivo saber a dimensão e de que forma as substâncias químicas presentes no efluente de lançamento são nocivas a diferentes tipos de seres vivos dos corpos hídricos, informando possíveis riscos ao meio ambiente e preservação de espécies aquáticas. Para tal, são implementados dois testes, a análise com fotobactérias *Vibrio fischeri* e a análise com microcrustáceos *Daphnia magna* (MENDONÇA, 2005), sendo o valor de 8 o limite máximo para ambas, segundo as legislações vigentes (PARANÁ, 2009).

#### *2.1.4 A estação de tratamento de efluentes da empresa*

A estação de tratamento de efluentes da empresa recebe os resíduos líquidos gerados em todo o processamento industrial dos peixes que, como citado anteriormente, são resultantes do abate dos peixes, do beneficiamento dos filés e da

higienização dos setores produtivos. Ressalta-se que o efluente proveniente do recebimento e troca de água dos tanques de depuração é tratado de forma separada, conforme será apresentado posteriormente.

O tratamento dos resíduos líquidos da produção inicia-se com o gradeamento interno do efluente bruto. Nessa etapa, retém-se sólidos grosseiros que podem danificar equipamentos, tubulações e válvulas (MARCONDES, 2012). Depois, o efluente segue para a peneira rotativa autolimpante, a fim de separar as vísceras e sólidos médios, os quais ficam armazenados em caixas abaixo da peneira e são descartados na caçamba de resíduos da produção.

O efluente segue, então, para um tanque de equalização de 30 m<sup>3</sup>, com um agitador hiperbólico acoplado. Esse sistema tem por finalidade realizar a homogeneização dos líquidos, tendo em vista o caráter diverso das substâncias presentes no efluente. Nessa etapa, é adicionada a solução de polímero aniônico. Em seguida, o efluente é direcionado para o sistema de flotação por ar dissolvido – FAD.

O sistema FAD tem início no pré-floculador, onde é dosado agente coagulante e mantém-se agitação constante. Na empresa, utiliza-se um coagulante inorgânico, o policloreto de alumínio (PAC) e sua dosagem depende da consistência do lodo formado e da clarificação do efluente de saída do flotador, variando, geralmente, de 6 a 9%.

Da pré-floculação, a massa de efluente com coagulante adentra o compartimento de ar dissolvido. Nesse sistema, uma câmara de saturação operando a altas pressões dissolve o ar, enviando-o ao compartimento de flotação – o qual opera à pressão atmosférica – formando microbolhas (MORUZZI, 2014). Ao entrarem em contato com a massa líquida de efluente, as microbolhas promovem a flotação dos sólidos presentes, separando-os do efluente clarificado. Então, os raspadores de lodo enviam os flocos da superfície para o tanque de lodo, que conta com um sistema de agitação, enquanto o efluente clarificado é destinado a uma caixa elevatória.

O material do tanque de lodo é enviado para o tanque de condicionamento, a fim de prepará-lo e homogeneizá-lo para a etapa seguinte. Nessa parte, dosa-se polímero catiônico e um agitador mecânico mantém a agitação da massa. Esta é, então, direcionada à prensa desaguadora, com a finalidade de separar o líquido da massa de lodo. Nessa etapa, a água retirada no filtro prensa é redirecionada ao tanque de equalização e a torta desidratada é depositada na caçamba abaixo da prensa para que seja, posteriormente, destinada a um aterro por uma empresa licenciada

(SIEGLE, 2013).

Já o efluente clarificado que sai do flotador, é armazenado em uma caixa elevatória e segue para o tratamento secundário, adentrando na lagoa anaeróbia. Esse tipo de sistema opera na ausência de oxigênio e utiliza bactérias metanogênicas e acidogênicas para degradar a matéria orgânica presente no efluente, liberando metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), sulfetos, ácidos, dentre outras substâncias solubilizadas (MARCONDES, 2012). Vale ressaltar que, devido ao aproveitamento da lagoa previamente construída na empresa, o volume da lagoa anaeróbia é maior que o necessário para a vazão de efluente tratado, o que pode resultar em baixa eficiência da lagoa. Por serem os principais focos deste estudo, o tratamento anaeróbico e a problemática da lagoa serão, posteriormente, abordados com detalhes.

Após a lagoa anaeróbia, o efluente segue para a lagoa aerada, a fim de que a matéria orgânica seja depurada por microrganismos a partir de processos oxidativos (MARCONDES, 2012). Nessa etapa, cerca de 85% da carga poluidora do efluente de entrada dessa lagoa é consumida. Depois, o efluente segue para a lagoa de polimento, a qual tem pouca profundidade, variando de 0,6 a 1 m, contribuindo para maior penetração dos raios solares no líquido, desfavorecendo a multiplicação de microrganismos patogênicos (BARBOSA, 2013). Projetos futuros da empresa visam utilizar a lagoa de polimento para o sistema de fertirrigação agrícola.

Posteriormente, o efluente é bombeado para o filtro, constituído por quatro camadas de elementos filtrantes, sendo eles: dois tipos de pedras com diâmetros diferentes, areia – para retenção de sólidos suspensos – e carvão ativado – para retenção de sólidos voláteis (TESTEZLAF, 2008). Por fim, o efluente passa por uma calha Parshall, onde é possível verificar a vazão outorgada pelo Instituto de Terra e Água (IAT) e segue para o ponto de lançamento, afluindo no arroio Pedregulho.

Além do sistema de tratamento de efluentes brutos já apresentado, têm-se o proveniente do recebimento e troca de água dos tanques de depuração dos peixes, apresentados a seguir.

O efluente gerado no descarregamento e depuração dos peixes pode conter escamas, animais mortos e fezes, além de outros resíduos advindos dos tanques de engorda e água de salmoura – em que os animais são transportadas até a unidade. Devido a isso, esses efluentes passam por algumas etapas iniciais diferentes do efluente bruto.

Inicialmente, são enviados à cisterna-pulmão, onde ficam armazenados.

Depois, seguem para a peneira estática com o objetivo de reter sólidos grosseiros, como escamas, a fim de não prejudicar as tubulações. Na sequência, ao contrário do efluente bruto, são submetidos diretamente às etapas de tratamento secundário, iniciando pela lagoa anaeróbia, sem passar pelas etapas de equalização, flotação e caixa elevatória, uma vez que as mesmas compõem o tratamento físico-químico, o qual é implementado quando não é possível remover os poluentes de forma satisfatória por meio do tratamento biológico convencional (TERAAMBIENTAL, 2013).

Assim sendo, devido às características desse efluente, isto é, com concentrações elevadas de sal – diferindo-se do efluente bruto do processo, rico em gorduras, sangue e sanitizantes – o mesmo pode ser enviado diretamente ao tratamento biológico. Ao final do tratamento, também é descarregado no arroio Pedregulho.

## **2.2 Funcionamento da lagoa anaeróbia**

As lagoas anaeróbicas são reatores abertos, geralmente construídos com profundidade de 3,5 a 5 m, que operam em temperatura ambiente e sob condições de anaerobiose, não fazendo uso de sistemas de aquecimento ou mistura. Dessa forma, devido à baixa complexidade de construção, fácil operação, baixa produção de sólidos e eficiência satisfatória, sua implementação não exige altos custos de investimento. Contudo, existem algumas desvantagens nesse sistema, como aspecto visual desagradável, resultante da flutuação de materiais na superfície, além de liberação de compostos voláteis oriundos da digestão de proteínas, como o gás sulfídrico, causando odores indesejáveis (VILVERT, 2017).

Nesse tipo de sistema, as condições anaeróbicas são resultado da taxa de produção de oxigênio várias vezes inferior à de consumo, fazendo com que não haja oxigênio dissolvido na massa líquida. Assim, sólidos sedimentáveis e microrganismos anaeróbicos são responsáveis pela remoção de poluentes orgânicos do efluente, por meio da fermentação da matéria orgânica, fazendo com que ela seja transformada em substâncias mais simples e degradáveis, além de biogás – formado por, aproximadamente, 60% metano e 40% gás carbônico. Entretanto, além de gerar um efluente carente de oxigênio dissolvido, tem-se concentrações nocivas de sulfetos e amônia, tornando necessária a implementação de etapas posteriores de tratamento, geralmente, procedimentos biológicos aeróbios (BOHRZ; SILVEIRA, 2010).

Segundo Bohrz (2010), a etapa inicial da depuração da carga orgânica se dá por meio da diferença de densidades entre os sólidos presentes no meio, fazendo com que os sólidos sedimentáveis se depositem no fundo da lagoa, formando bancos de lodos e, aqueles com densidade superior à da água, formem uma camada flutuante na superfície do sistema, denominada espuma, que é composta, principalmente, por substâncias insolúveis e de degradação complexa, como gorduras, óleos e graxas. Nessa área superficial, também existe a degradação da carga orgânica, dependendo da quantidade de matéria e de condições ambientais, como temperatura e ventos, fazendo com que a área de recobrimento e espessura sejam variáveis.

Além disso, é possível encontrar as bactérias responsáveis pela depuração da carga orgânica em qualquer ponto da massa líquida. Contudo, a maior parte da biomassa em atividade no sistema, o lodo, encontra-se nas camadas mais profundas da lagoa, na área de produção de biogás. Dessa forma, a liberação de gás nessa região favorece o contato entre os microrganismos e a matéria orgânica, por meio da formação de bolhas que promovem a mistura do líquido (BOHRZ, 2010).

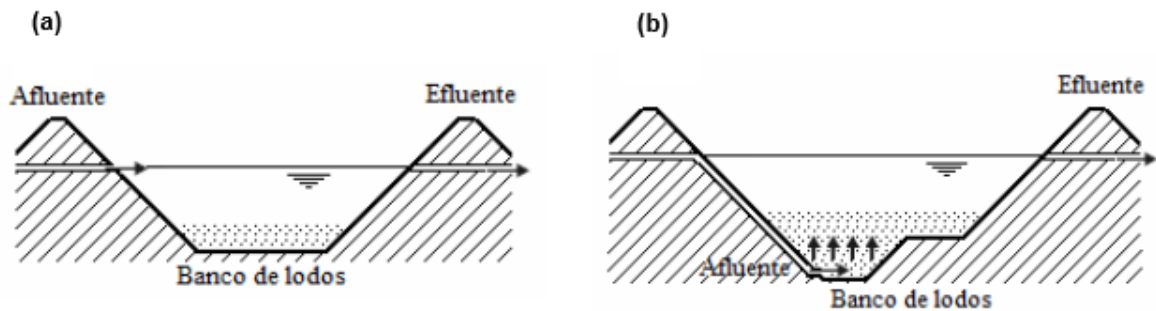
Outro fator relevante de análise é referente à permanência, ou não, da espuma em lagoas anaeróbias, existindo dois argumentos distintos sobre o assunto. O favorável à conservação defende que a espuma auxilia na diminuição do contato entre o efluente e o oxigênio atmosférico, além de minimizar perdas de calor da massa líquida e liberação de odores desagradáveis. Por outro lado, ressalta-se que remover a camada de espuma melhora o aspecto visual da lagoa, além de evitar a proliferação de mosquitos no local. Assim sendo, infere-se que a decisão de remover ou não a espuma está associada às condições climáticas da região, por exemplo, em áreas de clima frio, a diminuição da perda de calor para a atmosfera justificaria a permanência dessa camada na superfície (BOHRZ, 2010).

A classificação de lagoas anaeróbias é feita levando em consideração o sistema hidráulico, podendo ser classificadas como convencionais ou de alta taxa. Na primeira, o efluente escoar na horizontal, conforme as posições de entrada e saída, como pode ser observado na Figura 1, item (a). Dessa forma, há maior depósito de sólidos e microrganismos no fundo da lagoa, reduzindo a ação sobre os poluentes dissolvidos no afluente, resultando em tempos maiores de detenção hidráulica (MONTEGGIA e ALÉM SOBRINHO, 1999).

Já nas lagoas anaeróbias de alta taxa (Figura 1, item b), a alimentação do efluente ocorre em uma camada profunda da lagoa, tornando o fluxo ascendente, o

que promove maior contato entre o líquido e a biomassa ativa do sistema, fazendo com que a depuração da carga orgânica aconteça em tempos menores (MONTEGGIA e ALÉM SOBRINHO, 1999).

**Figura 1 – Configurações da lagoa anaeróbia. (a) lagoa anaeróbia convencional e (b) lagoa anaeróbia de alta taxa.**



Fonte: Adaptado de Bohrz (2010).

Diante disso, destaca-se que a lagoa anaeróbia da empresa tem a configuração de uma lagoa convencional, uma vez que a entrada e saída do efluente ocorre nas camadas da superfície.

### 2.3 Aspectos químicos e bioquímicos da degradação anaeróbia

Simplificadamente, a degradação anaeróbia ocorre em duas macrofases: a digestão ácida, na qual microrganismos acidogênicos transformam substâncias complexas, como lipídios, carboidratos e proteínas, em compostos mais simples, como os ácidos graxos voláteis; e a digestão metanogênica, na qual as bactérias transformam os produtos intermediários em gás carbônico e metano (BOHRZ, 2010).

Pensando na representação estequiométrica, o processo anaeróbio consiste em uma substância genérica constituída por carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio, em que microrganismos de várias espécies atuam na redução para compostos menos complexos. Nesse sentido, esse processo bioquímico utiliza de condições específicas e acontece em etapas subsequentes de hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Entretanto, dependendo da composição do efluente tratado, pode haver uma quinta etapa, denominada sulfetogênese (SOARES *et al.*, 2017; PEREIRA, 2022).

Sob condições de anaerobiose, a hidrólise acontece lentamente, tornando-se

necessária a atenção a alguns fatores que podem afetá-la, como a relação entre volume e superfície das partículas, estrutura das moléculas orgânicas, concentração de nitrogênio amoniacal e de produtos da etapa, temperatura e pH do meio, e tempo de residência. Pensando nisso, pode-se acelerar essa etapa por meio da adição de compostos químicos que contribuam para maior produção de metano (SOARES *et al.*, 2017).

Nessa etapa ocorre a quebra do substrato – isto é, da matéria orgânica constituída, em grande parte, por sólidos suspensos ou insolúveis – em compostos mais solúveis. Simplificadamente, os lipídios, carboidratos e proteínas são quebrados, respectivamente, em ácidos graxos de cadeias longas, açúcares e aminoácidos (SOARES *et al.*, 2017).

Os produtos formados na hidrólise são metabolizados na acidogênese por bactérias fermentativas, como as dos gêneros *Lactobacillus*, *Streptococcus* e *Escherichia*, e transformados em substâncias mais simples, como álcoois, dióxido de carbono, amônia, gás sulfídrico, hidrogênio, ácido lático e ácidos graxos voláteis – sendo este último um dos principais produtos das bactérias fermentativas (SOARES *et al.*, 2017).

Vale ressaltar, também, que tanto na hidrólise quanto na acidogênese não há diminuição da DQO, tendo em vista a característica dessas etapas serem, basicamente, a conversão de moléculas complexas em compostos mais simples. Além disso, apenas 1% das bactérias acidogênicas são facultativas, ou seja, conseguem oxidar a carga orgânica de forma aeróbia (BOHRZ, 2010).

A acetogênese é o momento no qual as bactérias dos gêneros *Syntrophobacter* e *Syntrophomonas* convertem os ácidos graxos e álcoois obtidos na etapa anterior em acetato, hidrogênio, formiato e dióxido de carbono, que serão metabolizadas posteriormente. Nessa etapa ocorre a sintrofia – mutualismo realizado entre dois microrganismos que combinam seus potenciais metabólicos a fim de catabolizar um substrato (CAVALEIRO e ALVEZ, 2020) – entre as bactérias metanogênicas e homoacetogênicas, possibilitando crescimento das mesmas e viabilizando a produção de acetato (SOARES *et al.*, 2017; GUERI *et al.*, 2017; AMARAL *et al.*, 2019).

A etapa final do processo de digestão anaeróbia é denominada metanogênese, que consiste na conversão do carbono em metano e dióxido de carbono, por meio de dois grupos de microrganismos metanogênicos, caracterizados conforme as vias metabólicas. As bactérias acetoclásticas transformam acetato em metano, já as



hidrogenotróficas transformam hidrogênio e gás carbônico em metano. Vale ressaltar que ambas exigem, estritamente, condições de anaerobiose (SOARES *et al.*, 2017; AMARAL *et al.*, 2019).

A ocorrência da etapa de sulfetogênese depende das características do efluente em tratamento, ou seja, presença de substâncias sulfuradas no meio. Nesses casos, bactérias redutoras de sulfato (BRS) reduzem esses compostos a sulfeto. Vale ressaltar que esses microrganismos anaeróbios restritos conseguem utilizar vários tipos de substratos, como diferentes ácidos aromáticos, glicerol, açúcares, cadeias de ácidos graxos, aminoácidos, dentre outros. Portanto, a presença desses componentes na massa líquida pode provocar alterações no metabolismo da digestão anaeróbia, uma vez que as BRS podem consumir muitos dos intermediários formados, resultando em competição com as bactérias acetogênicas e metanogênicas (BOHRZ, 2010).

#### **2.4 Parâmetros de controle no tratamento anaeróbio**

A boa eficiência da digestão anaeróbia está associada à manutenção adequada das variáveis de controle do sistema, sendo elas de caráter operacional ou variações ambientais. Nesse caso, deve-se dar especial atenção a fatores como ausência de oxigênio, pH, temperatura, carga de nutrientes e tempo de detenção hidráulica, a fim de não prejudicar o bom desempenho do processo (BOHRZ, 2010; IERVOLINO, 2019).

Tendo em vista que as bactérias heterotróficas são as responsáveis por depurarem a matéria orgânica, faz-se necessário garantir as condições necessárias para sua reprodução e atividade (SILVA, 2007). Nesse sentido, promover condições de anaerobiose no meio é um fator inegociável, tendo em vista que a presença de oxigênio dissolvido no meio resultaria na morte dos microrganismos metanogênicos presentes na lagoa, uma vez que estes são anaeróbios restritos (IERVOLINO, 2019).

Além da ausência de oxigênio, o potencial hidrogeniônico é um parâmetro importante quando se trata de processos anaeróbios. Segundo Pereira *et al.* (2009), a grande maioria das bactérias tem pH ótimo de crescimento na faixa de 6,5 a 7,5, com variações mínimas e máximas entre pH 4 e 9; alguns autores, no entanto, estendem a faixa ótima até pH 8, como destaca Bohr (2010). Além disso, o insucesso do processo está ligado a concentrações elevadas de ácidos graxos voláteis – fator observado por meio de valores baixos para o potencial hidrogeniônico da lagoa. Logo,

esses ácidos devem permanecer em equilíbrio com a alcalinidade do meio, evitando, assim, a inibição do processo (PEREIRA *et al.*, 2009).

Outro critério determinante para o bom desempenho do processo é a temperatura, pois é um dos fatores que ditam o crescimento microbiano. As bactérias não são capazes de controlar sua temperatura interna, então, esta é determinada pela temperatura do ambiente. Assim sendo, o crescimento de cada espécie bacteriana é favorecido sob faixas características de temperatura, podendo as mesmas serem classificadas em psicrófilas, mesófilas e termófilas, que crescem, respectivamente, nas faixas de 0 a 20 °C, 25 a 40°C e 45 a 60 °C (SILVA, 2007).

Segundo Silva (2007), existem dois níveis ótimos de temperatura para a digestão anaeróbia. Para as bactérias mesófilas, este valor encontra-se na faixa entre 30 e 35 °C, já para as termófilas, varia de 50 a 55 °C. Entretanto, quando o processo ocorre na faixa termófila, os parâmetros de controle apresentam maior instabilidade, trazendo danos consideráveis ao processo quando há variação na temperatura. Por isso, conduzir a depuração anaeróbia na faixa mesófila, entre 30 e 40 °C, apresenta resultados mais eficientes.

Além disso, deve-se destacar a relevância da carga adequada de macro e micronutrientes no sistema, pois a presença destes indicadores influencia significativamente o metabolismo e a atividade dos microrganismos. Assim sendo, substâncias como carbono, nitrogênio, fósforo, ferro, potássio, sódio e magnésio, dentre outros – de forma balanceada – são considerados os principais nutrientes para as bactérias anaeróbias, contribuindo positivamente para o processo de digestão (GUERI *et al.*, 2017). Ainda, Bohrz (2010) enfatiza que a restrição ou ausência de algum desses compostos pode resultar no acúmulo de ácidos graxos voláteis e redução da taxa de metanogênese.

Por fim, tem-se o tempo de retenção hidráulica, que se refere ao tempo entre a entrada e saída do efluente na lagoa anaeróbia, representando, portanto, o período necessário para que um substrato seja totalmente depurado no sistema de digestão. A boa eficiência do digestor está associada ao menor tempo de permanência e maior tempo de decomposição (SOARES *et al.*, 2017).

## **2.5 Estado da arte**

Diversos estudos científicos abordam a temática das lagoas anaeróbias

utilizadas no tratamento de efluentes oriundos de atividades industriais. Nesse sentido, a exploração de aspectos como o tipo de processo desenvolvido na empresa, bem como das características das águas residuárias oriundas da atividade industrial, os tipos de tratamento implementados e os parâmetros de controle para lançamento de efluentes industriais, são determinantes para se obter uma visão geral da atividade da empresa, possibilitando a delimitação do objeto de estudo, isto é, pontos que podem ser melhorados na empresa. No caso deste trabalho, o objeto de estudo é a lagoa anaeróbia da estação de tratamento de efluentes de um abatedouro de peixes.

A partir disso, pôde-se elencar, por meio de literatura confiável e consistente, os principais assuntos específicos relacionados à temática central deste estudo de caso, como a compreensão acerca do funcionamento da lagoa anaeróbia, abordando os pontos característicos desse tipo de lagoa – como as possíveis configurações da mesma – e as etapas envolvidas na digestão anaeróbia, bem como identificar e avaliar os parâmetros de controle envolvidos nesse tipo de sistema. Dessa forma, tornou-se possível propor hipóteses e soluções plausíveis para a problemática abordada.

### 3 METODOLOGIA

A fim de atingir os objetivos desse trabalho, inicialmente, foi realizada a caracterização do efluente de lançamento da empresa, comparando os valores obtidos com os permitidos pela legislação. Também, foram avaliados os parâmetros físico-químicos e biológicos das águas à montante e à jusante ao ponto de lançamento, analisando os possíveis impactos causados pelo efluente da empresa.

Na sequência, foram estudados os parâmetros de controle da lagoa anaeróbica, analisando se os mesmos estão em concordância com o indicado pela teoria, bem como os parâmetros físico-químicos e biológicos do efluente de entrada da mesma. A partir disso, tornou-se possível estabelecer os pontos que podem ser ajustados, de forma a aumentar a eficiência do tratamento anaeróbico.

Todas as análises do efluente tratado, do montante e do corpo receptor foram realizadas pelo laboratório terceirizado do estabelecimento, a partir de coleta manual no corpo hídrico, em intervalos trimestrais e em duplicata, sendo os resultados enviados diretamente à empresa – nesse sentido, vale ressaltar que os dados dispostos neste trabalho referem-se, exclusivamente, aos resultados obtidos pelas análises realizadas no mês de junho de 2023. Segundo o laboratório, as metodologias empregadas nestas análises foram as seguintes.

Os ensaios de Ecotoxicidade aguda com *Daphnia magna*-FT e *Vibrio fischeri*-FT foram realizados seguindo-se as metodologias apresentadas nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT NBR 12713 e ABNT 15411-1, respectivamente. As análises de pH, determinação de óleos e graxas vegetais e gorduras animais, DBO, DQO e sólidos sedimentáveis pelo método gravimétrico foram feitos de acordo com a metodologia Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater SMWW – 23 ed. 2017. Os ensaios de DBO, DQO e sólidos sedimentáveis pelo método gravimétrico foram feitos de acordo com a norma de SMWW-23 ed. 2017, sendo empregadas as metodologias 5210 B, 5220 D e 2540 F, nessa ordem.

Para o efluente de entrada da lagoa anaeróbia, a quantificação de sólidos totais por secagem de 103 a 105 °C foi realizada conforme a metodologia SMWW-23 ed. 2017, método 2540 B. Os ensaios de DBO e DQO seguiram a norma SMWW-23 ed. 2017, com os métodos 5210 B e 5220 D, nessa ordem.

A quantificação de sódio foi realizada pelas metodologias SMEWW-3030

(preparação) e SMEWW-3120 B (determinação). Já a determinação de cloretos totais foi feita com base na metodologia SMEWW ed. 2017. As análises de pH e temperatura do efluente da lagoa anaeróbia foram realizadas no laboratório da empresa.

Adicionalmente, para a proposta de melhoria no tratamento anaeróbio, foram discutidos os parâmetros de controle da lagoa anaeróbia, isto é, os valores obtidos nas análises de oxigênio dissolvido, pH do efluente na entrada e na saída da lagoa, temperatura, DBO, DQO, sólidos totais, bem como possíveis prejuízos vindos de outras áreas, como as causas das concentrações de sódio e cloretos presentes no efluente da lagoa, a fim de levantar hipóteses e medidas plausíveis para aumento da eficiência da mesma, de forma que pudessem ser utilizados elementos existentes na empresa, diminuindo, na medida do possível, custos na implementação.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados e discutidos os resultados obtidos para os parâmetros físico-químicos e biológicos do efluente de lançamento da empresa, bem como os valores das águas no corpo receptor à montante e à jusante do ponto de lançamento.

Do mesmo modo, serão apresentados tais parâmetros relativos ao efluente de entrada do sistema anaeróbio, acrescidos aos de controle da lagoa anaeróbia, a fim de avaliar a eficiência da mesma. Posteriormente, será detalhada a proposta de melhoria para essa etapa do processo.

### 4.1 Caracterização do efluente de lançamento e dos pontos à montante e à jusante do local de descarga

Os resultados das análises realizadas pelo laboratório terceirizado para os parâmetros físico-químicos e biológicos do efluente tratado, bem como para os pontos de descarga à montante e jusante do corpo receptor, para a análise realizada em junho de 2023, estão dispostos na Tabela 2.

**Tabela 2 – Parâmetros físico-químicos e biológicos do efluente de lançamento do abatedouro e das águas à montante e à jusante do ponto de descarga.**

Parâmetro	Limite segundo legislação	Efluente de lançamento	Ponto à montante do lançamento	Ponto à jusante do lançamento
Vazão de lançamento (m <sup>3</sup> /h)	1,79	1,70	-	-
pH	Entre 5 e 9	7,70	8,10	7,47
Temperatura (°C)	< 40°C	25,00	25,00	25,00
Oxigênio dissolvido (mg/L)	-	6,05	6,15	6,15
Materiais Sedimentáveis (mL/L)	Até 1	< 0,10	-	-
Óleos e graxas vegetais e gorduras animais (mg/L)	Até 50	< 5,00	-	-
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)	60	29,10	142,60	146,10
Demanda Química de Oxigênio (mg/L)	Até 200	90,44	343,21	289,45
Ecotoxicidade Aguda ( <i>Daphnia magna</i> )	Até 8	1,00	-	-
Ecotoxicidade Aguda ( <i>Vibrio fischeri</i> )	Até 8	1,00	-	-

Fonte: Autoria própria (2023).

A partir dos valores apresentados na Tabela 2, juntamente com os padrões para lançamento de efluentes industriais apresentados na Tabela 1, pôde-se concluir informações importantes acerca do tratamento dos resíduos líquidos realizado na Estação de Tratamento de Efluentes da empresa.

A primeira delas é que o tratamento implementado na indústria cumpre a tarefa de remover a carga poluente do efluente, deixando-o em conformidade com os parâmetros exigidos por lei para descarga de águas residuárias. Parâmetros como a vazão de lançamento, o pH e a temperatura mantiveram-se dentro dos limites estabelecidos pela legislação. Para o oxigênio dissolvido, embora não haja um valor estabelecido por lei, observa-se que não houve grande alteração, considerando os valores obtidos à montante e à jusante do ponto de lançamento. Destaca-se, ainda, que os valores do efluente lançado ficaram consideravelmente abaixo dos limites máximos permitidos para todas as outras análises (materiais sedimentáveis, óleos e graxas vegetais e gorduras animais, DBO, DQO e ecotoxicidade aguda, tanto para *Vibrio fischeri*, quanto para *Daphnia magna*). Portanto, é possível inferir que, após passar pelos tratamentos na empresa, o efluente não apresenta danos às espécies do córrego onde é lançado, além de manter a empresa em conformidade com a lei, evitando penalizações.

Alguns pontos chamam a atenção na análise dos dados apresentados na Tabela 2. O primeiro a ser destacado é referente às Demandas Química e Bioquímica de Oxigênio à montante e à jusante do local de descarga do efluente, que ultrapassam consideravelmente os valores indicados como apropriados para o corpo hídrico.

Pôde-se notar que, no ponto anterior ao lançamento das águas tratadas no estabelecimento, a DQO é bem maior que à jusante, iguais a 343,21 e 289,45 mg/L, respectivamente. Uma possibilidade para este comportamento é um eventual descarte de poluentes à montante do lançamento da empresa ou de agrotóxicos oriundos das plantações no entorno, que podem estar prejudicando a qualidade da água, aumentando sua DQO. Nesse sentido, recomenda-se o acompanhamento desse parâmetro, a fim de verificar se, em análises futuras, esse comportamento se mantém e se isso incorreria em danos para os parâmetros à jusante, uma vez que a falta de esclarecimento sobre o ocorrido pode levar à responsabilização da empresa por possíveis prejuízos à vida aquática no córrego à jusante do lançamento.

O segundo aspecto refere-se ao fato de que o valor de DQO após o ponto de descarga é inferior ao obtido à montante do lançamento, sugerindo que o efluente

tratado pode ter influenciado para a diminuição da demanda química de oxigênio neste ponto, colaborando para melhoria da água do córrego, de forma que a quantidade de oxigênio necessário para oxidar a carga orgânica nesse ponto é inferior ao do local à montante do lançamento

Seguindo a análise, têm-se, também, valores altos de concentração para a DBO à montante e à jusante do lançamento do abatedouro, iguais a 142,60 mg/L e 146,10 mg/L, respectivamente. Porém, tais valores são próximos, indicando que a carga orgânica passível de ser consumida por microrganismos nesses pontos é parecida, além de evidenciar que a causa dos números elevados deve estar, possivelmente, em pontos mais distantes da empresa, aos quais não se tem acesso. Nesse sentido, então, deve-se dar atenção aos valores de DQO destacados anteriormente, uma vez que esse parâmetro também indica a presença de componentes que não podem ser biodegradados pelas bactérias, os quais podem poluir as águas e afetar as espécies.

#### 4.2 Avaliação dos parâmetros de controle da lagoa anaeróbia

A Tabela 3 apresenta os parâmetros de controle determinados para a lagoa anaeróbia do abatedouro, obtidos pelas análises realizadas pelo laboratório terceirizado, além dos dados de oxigênio dissolvido, pH e temperatura realizados pelo laboratório da empresa.

**Tabela 3 – Parâmetros avaliados na lagoa anaeróbia do abatedouro.**

<b>Parâmetro</b>	<b>Valores obtidos nas análises</b>
Vazão de entrada (m <sup>3</sup> /h)	10,00
Oxigênio dissolvido no interior da lagoa (mg/L)	0,05
pH médio do efluente na entrada	6,30
pH médio do efluente na saída	7,87
Temperatura (°C)	24,70
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)	129,40
Demanda Química de Oxigênio (mg/L)	284,97
Sólidos Totais (mg/L)	350,00
Sódio (mg/L)	102,21
Cloretos Totais (mg/L)	147,38

**Fonte: Autoria própria (2023).**



Analisando os valores dos parâmetros apresentados na Tabela 3, pode-se verificar que a vazão de entrada da lagoa é igual a 10 m<sup>3</sup>/h. A partir dessa medida, identificada por meio da calha Parshall, estimou-se que a empresa trata, diariamente, cerca de 80 m<sup>3</sup> de resíduos líquidos. Vale ressaltar que no projeto do tratamento anaeróbio, o volume necessário da lagoa – com sobredimensionamento de segurança – foi estimado em 900 m<sup>3</sup>, considerando a vazão estipulada no período de projeto. Entretanto, a estrutura da lagoa já estava construída anteriormente à chegada do abatedouro nas instalações onde, hoje, é a empresa. Dessa forma, o volume da lagoa anaeróbia existente é de 1044 m<sup>3</sup>, muito maior que o necessário, aumentando o tempo de residência do efluente na mesma.

Em relação ao teor de oxigênio dissolvido no interior da lagoa, observou-se que este é equivalente a 0,05 mg/L, o que é um ponto positivo, uma vez que, a fração de oxigênio significativamente baixa na lagoa possibilita considerar que a mesma mantém condições de anaerobiose, como esperado, não fornecendo problemas às bactérias estritamente anaeróbias.

Foram avaliados, também, os potenciais hidrogeniônicos do afluente e efluente da lagoa, com pHs médios de 6,83 e 7,87, respectivamente. O valor deste parâmetro na faixa de 6 a 7, obtido para o efluente de entrada do tratamento biológico, é condizente com o esperado, uma vez que as águas residuárias vêm do sistema de flotação por ar dissolvido, onde é dosado o coagulante PAC, que tem como uma de suas características diminuir o pH do efluente.

Quanto ao pH de saída da lagoa, observou-se um aumento de cerca de 1 ponto em relação ao da entrada do tratamento, indicando que há atividade na lagoa. Além disso, notou-se que este se encontra dentro da faixa ótima indicada na literatura, o que é um fator muito importante para o bom funcionamento do processo anaeróbio, tendo em vista que as bactérias envolvidas, principalmente as metanogênicas, são bastante sensíveis a esse parâmetro.

No que diz respeito à temperatura, sabe-se que as bactérias têm sua temperatura determinada pelo ambiente onde se encontram. Sendo assim, a temperatura média da lagoa (24,7 °C) pode ser considerada dentro da faixa mesófila, de 25 a 40 °C, sem apresentar prejuízos ao tratamento. Ademais, a variação de temperatura ocorre de acordo com as estações do ano e as lagoas anaeróbias possuem tecnologias bem estruturadas para operar dessa forma. Logo, não há necessidade de investimentos para aquecer ou resfriar o efluente.

Os parâmetros de DBO e DQO, analisados conjuntamente, indicam informações importantes acerca da biodegradabilidade do sistema de tratamento (MENDES, 2012). Segundo Jardim e Canela (2004), Mendes (2012) e Tecnal (s. d.), quando a relação DQO/DBO de determinado efluente é menor que 2,5, o mesmo é altamente biodegradável, sendo recomendado o tratamento por processos biológicos. Ainda, quando essa razão se encontra entre 5,0 e 2,5, a biodegradabilidade do sistema não é tão elevada, exigindo testes para validação do tratamento biológico proposto. Por fim, se a relação DQO/DBO apresenta valores superiores a 5,0, o efluente é considerado não biodegradável, de forma que o tratamento por processos biológicos tem chances baixas de sucesso.

Assim sendo, para o efluente de entrada da lagoa anaeróbia da empresa, obteve-se o valor aproximado de 2,20 para a relação DQO/DBO, indicando que o mesmo é significativamente biodegradável, sendo coerente submetê-lo ao tratamento biológico, iniciando por uma lagoa anaeróbia, tendo em vista a elevada carga orgânica do mesmo.

Em relação à concentração de sólidos totais, entende-se como um dos principais parâmetros a serem considerados nas águas residuárias industriais, uma vez que tem por finalidade identificar quantitativamente a matéria, que não seja água, na forma de compostos suspensos, coloidais ou dissolvidos no efluente (PROMATEC AMBIENTAL, 2023). Para o efluente de entrada da lagoa anaeróbia do abatedouro, obteve-se um valor de 350 mg de sólidos por litro de efluente. O alto teor de material apontado, indica que parte desse material é constituído de sólidos sedimentáveis, os quais ficam armazenados no fundo da lagoa, podendo afetar o seu desempenho, uma vez que carregam consigo nutrientes para depuração da matéria orgânica. Dessa forma, recomenda-se à empresa que sejam realizados ensaios de sólidos totais sedimentáveis e totais dissolvidos, a fim de quantificar a porção que sedimenta nas camadas profundas da lagoa e a que permanece dissolvida no efluente, a fim de obter resultados com maior acurácia, contribuindo para caracterização mais eficiente do efluente e intervenções mais assertivas.

Após um período de observações acerca do comportamento da lagoa anaeróbia do abatedouro, a consultoria ambiental da empresa inferiu que esta não foi efetivamente ativada e está operando abaixo da eficiência esperada. Isso pôde ser constatado devido à coloração mais clara do efluente e ausência de bolhas, bem como falta de lodo na superfície, uma vez que, lagoas anaeróbias ativadas caracterizam-se

pela coloração escura do efluente e presença de bolhas observáveis, além da formação de lodo na superfície. Associado a isso, também foi levado em consideração o tamanho da lagoa ser maior que o necessário. Dessa forma, apesar dos parâmetros do efluente lançado no corpo hídrico estarem em conformidade com os padrões ambientais exigidos, a etapa anaeróbia do tratamento de efluentes da empresa pode ser melhorada, contribuindo para resultados ainda melhores futuramente.

Atentando para a baixa eficiência observada na lagoa anaeróbia, a consultoria ambiental da empresa solicitou que fossem realizadas análises de sódio e cloretos totais no efluente que adentra essa etapa do tratamento, obtendo os valores de 102,11 mg/L e 147,38 mg/L, respectivamente. Segundo Deorsola (2006), concentrações de sais acima de 1% m/v – considerando o volume da lagoa da empresa, estima-se que a concentração máxima permitida para o sódio seria de 104,4 mg/L – e teores de cloreto entre 100 e 20000 mg/L prejudicam os processos anaeróbios, acarretando perda de eficiência da depuração e dificuldades de adaptação das bactérias ao meio, exigindo tempos maiores para aclimatação da biomassa. Tal declaração está em conformidade com o exposto por Ribeiro *et al.* (2013), em que afirmaram que, de fato, o cloreto interfere no tratamento de águas residuárias de atividades industriais. Ainda, Gueri *et al.* (2017) ressaltaram em seus estudos que o sódio caracteriza-se por ser um dos principais agentes inibitórios para a biota de sistemas anaeróbios, variando sua toxicidade em função da concentração no meio. Essas substâncias tóxicas podem ter efeito bactericida, quando os microrganismos não suportam a presença do contaminante, ou bacteriostático, quando as bactérias se adaptam a certas concentrações do inibidor, recuperando a atividade normal depois de determinado tempo de resiliência.

Diante disso, destacam-se dois aspectos que, possivelmente, são os causadores das elevadas concentrações de sódio e cloreto constatadas no efluente que adentra a lagoa anaeróbica e que podem estar prejudicando a ativação da mesma. O primeiro tem a ver com a higienização dos setores produtivos do abatedouro, uma vez que os produtos utilizados para limpeza dessas áreas são bactericidas e, em grande maioria, compostos de cloro e sódio, o que pode provocar a morte dos microrganismos depuradores anaeróbios. A hipótese levantada refere-se ao uso desmedido dessas substâncias. Dessa forma, recomenda-se que seja feita uma observação nesse sentido, verificando se, de fato, a quantidade de produtos saneantes está adequada ao propósito da limpeza ou se tem ocorrido exageros.

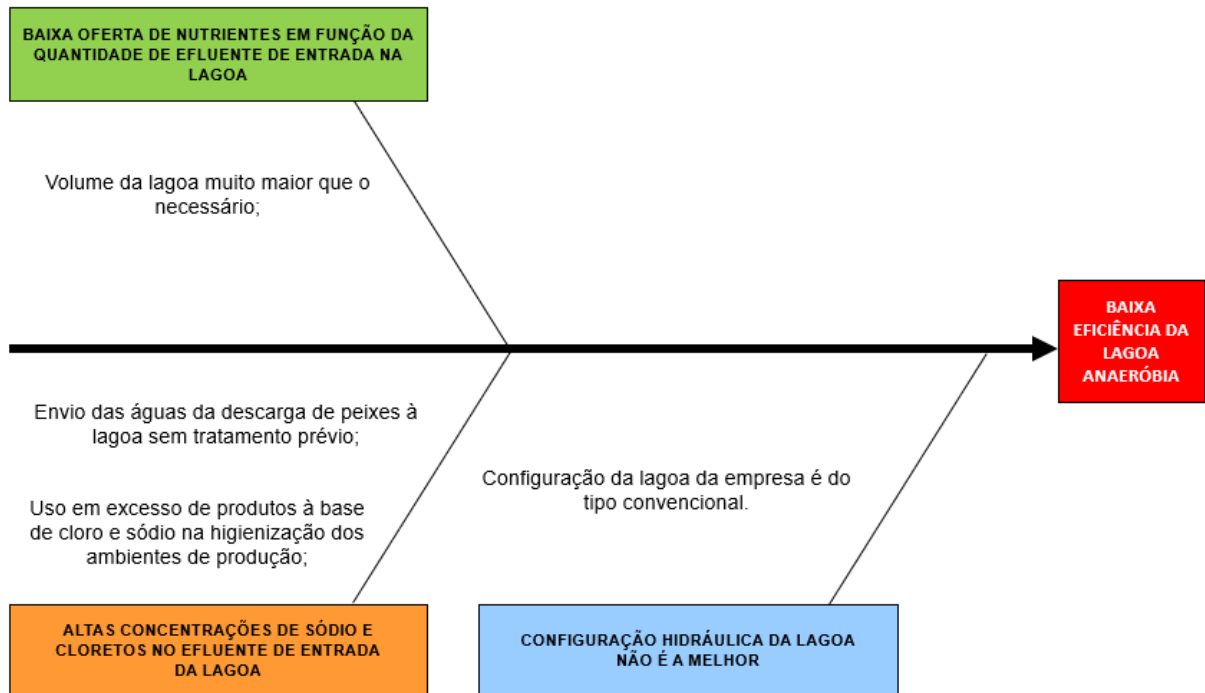
Outro ponto levantado é o de que o índice alarmante de sódio no afluente da lagoa seja reflexo da alta concentração de sódio na água de descarga dos peixes. Como mencionado neste estudo, a água do transporte e descarregamento dos peixes é oriunda de salmoura, sendo direcionada à cisterna-pulmão, seguindo para a peneira estática e, finalmente, adentrando a lagoa anaeróbia. Devido a isso, uma alternativa plausível seria enviar a água da descarga dos peixes para o tanque de equalização, misturando-a com o efluente bruto do processo, dissolvendo o sódio e submetendo-a às demais etapas do tratamento do efluente, antes de adentrar a lagoa anaeróbia, diminuindo os impactos negativos na mesma. Para isso, poderia ser feito, na medida do possível, um mapeamento dos horários de descarregamento de peixes – tendo em vista que não há um horário fixo em que os fornecedores trazem os animais – alinhando o setor da depuração com o da ETE, minimizando os impactos negativos do sódio na eficiência do tratamento biológico.

Diante do exposto, elencou-se alguns pontos do processo industrial que, acredita-se, podem influenciar negativamente na eficiência da lagoa anaeróbia. Tais pontos são:

- volume elevado da lagoa, muito maior que o necessário, fazendo com que a oferta de nutrientes seja baixa em função da quantidade de efluente que adentra o sistema;
- envio das águas provenientes da descarga – com concentrações elevadas de sódio – dos peixes à lagoa sem tratamento físico-químico prévio;
- utilização em excesso de produtos à base de cloro e sódio na higienização dos setores produtivos, os quais podem estar contribuindo para a inibição da atividade das bactérias depuradoras, diminuindo a eficiência da etapa de tratamento anaeróbio;
- a configuração da lagoa empregada no tratamento anaeróbio da empresa é do tipo convencional, não sendo a mais adequada em termos de promover a maior eficiência. Diante disso, a proposta deste trabalho consiste em transformá-la em uma lagoa de alta taxa.

A Figura 2 apresenta o Diagrama de Ishikawa com as hipóteses propostas acerca da problemática da baixa eficiência da lagoa anaeróbia do abatedouro de peixes.

**Figura 2 – Diagrama de Ishikawa para a baixa eficiência da lagoa anaeróbia.**



Fonte: Autoria própria (2023).

### 4.3 Proposta de melhoria para aumento da eficiência da lagoa anaeróbia do abatedouro de peixes

Visando uma proposta para aumentar a eficiência da lagoa anaeróbia, foram analisadas algumas alternativas que pudessem solucionar os pontos negativos destacados no tópico anterior. Tais possibilidades estão descritas na sequência.

Sobre o primeiro ponto negativo elencado, ressalta-se que a consultoria ambiental do abatedouro já tentou diminuir o volume da lagoa anaeróbia, retirando uma quantidade considerável de lâmina d'água, equivalente a, aproximadamente, 0,7 m. Contudo, não foi obtido o resultado esperado quanto à ativação da mesma.

A opção de encaminhar o efluente da descarga dos peixes para o tratamento físico-químico e só depois para a lagoa anaeróbia elevaria significativamente os custos da ETE, uma vez que exigiria mais produtos químicos, como o coagulante PAC e os polímeros aniônico e catiônico, além da dificuldade com os horários, tendo em vista que o descarregamento dos animais ocorre várias vezes na semana e, em alguns casos, também fora do horário de expediente, inviabilizando a implementação dessa proposta.

Referente à utilização exagerada dos produtos de limpeza a base de cloro, a medida cabível consiste em orientar os responsáveis pela higienização a evitarem desperdícios e, talvez, estipular uma quantidade padrão de produtos a serem utilizados. No entanto, entende-se que, por ser uma opção que necessita de atitudes individuais, a obtenção do resultado esperado dependeria do bom engajamento dos profissionais da limpeza. Além disso, não é possível quantificar acertadamente em que período do expediente ou em qual setor está havendo utilização acima do necessário.

Assim, considerando todos esses fatores e a partir da análise dos parâmetros de controle da lagoa, bem como de indicadores relevantes para a caracterização do efluente tratado nessa etapa, tornou-se possível propor uma alternativa que objetiva o aumento da eficiência da lagoa anaeróbica, levando em consideração a agitação do sistema e a configuração da lagoa.

Segundo Gueri *et al.* (2017), promover a agitação da biomassa em reatores anaeróbios acelera a conversão biológica, uma vez que contribui para aumento da cinética da velocidade da digestão, além de homogeneizar o substrato, facilitando a interação do mesmo com os microrganismos do sistema. O autor destaca, também, que essa agitação pode ser realizada de formas distintas, como por dispositivos mecânicos ou recirculação do conteúdo do reator.

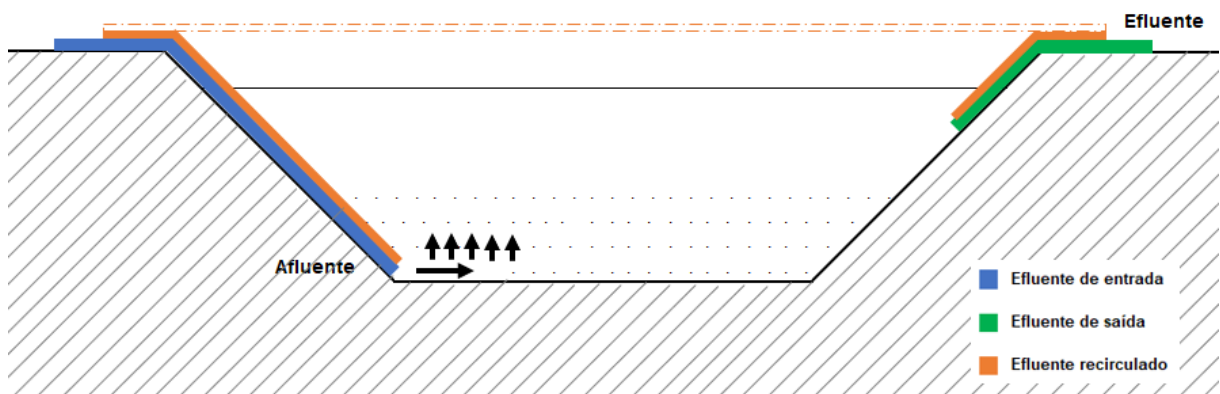
Pereira-Ramirez *et al.* (2004) enfatizam que a recirculação do efluente em sistemas anaeróbios objetiva a alteração do regime hidráulico, contribuindo para o crescimento dos microrganismos, além de reduzir caminhos preferenciais e variação de carga orgânica, bem como aumentar a alcalinidade do efluente. Entretanto, os autores alertam sobre o risco de alterar a forma com que ocorre a difusão do substrato, quando implementado a agitação excessiva do conteúdo.

Diante disso, para contornar este problema, sugere-se, inicialmente, uma medida referente à entrada da lagoa. Orienta-se que sejam utilizadas tubulações de maior comprimento para descarga do efluente na entrada, a fim de que as águas residuárias advindas do tratamento físico-químico adentrem o sistema nas camadas mais profundas, transformando a mesma em uma lagoa de alta taxa, com fluxo ascendente, de forma que os microrganismos tenham maior contato com os nutrientes, melhorando a interação da biota com a massa líquida do sistema.

Associado a isso, propõe-se um sistema de recirculação de parte do efluente de saída da lagoa anaeróbica, direcionando-o de volta para a entrada, também na

camada mais profunda da lagoa, permitindo que parte do efluente seja tratado novamente, além de contribuir para a agitação do sistema, proporcionando maior interação entre os elementos ali presentes, refletindo positivamente na degradação anaeróbica da carga poluente do efluente. A figura 3 apresenta a esquematização da proposta de melhoria sugerida.

**Figura 3 – Esquematização da proposta de melhoria na lagoa anaeróbia.**



**Fonte: Autoria própria (2023).**

Para a alteração da configuração da lagoa, torna-se necessário o investimento em duas tubulações – pois a vazão se divide em duas correntes antes de adentrar o sistema anaeróbio – semelhantes ao da Figura 4, de comprimento maior, a fim de que o lançamento do efluente aconteça no fundo da lagoa. Além disso, como as tubulações ficam visíveis em cima do gramado, torna-se ainda mais viável a troca.

**Figura 4 – Tubulação utilizada para lançamento de efluente na lagoa.**



**Fonte: Comercial Pinheiro (s. d.).**

Já para a implementação do sistema de recirculação do conteúdo de saída da lagoa não é uma proposta que demandaria elevado investimento da empresa, uma vez que seriam necessários, basicamente, três elementos principais: (a) uma bomba,

(b) uma válvula de retenção e (c) uma mangueira corrugada, conforme apresentados na Figura 5.

**Figura 5 – Elementos necessários para recirculação do efluente de saída da lagoa anaeróbia.**



**Fonte: Adaptado de Eletrotrafo; Shoptime e Rubberfast (s. d.).**

A vantagem na implementação dessa medida advém da possibilidade de utilização de elementos existentes na empresa, os quais já foram usados em outras intervenções na ETE, evitando custos com aquisição de novos materiais. Dessa forma, pode-se conseguir resultados satisfatórios para a eficiência do tratamento anaeróbico, melhorando, ainda mais, os parâmetros do efluente de lançamento, dispondo de ferramentas simples que se encontram guardadas no depósito da empresa.



## 5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados apresentados, pôde-se concluir que os objetivos desse trabalho foram alcançados, uma vez que foi possível propor um sistema de recirculação do efluente de saída da lagoa anaeróbia do abatedouro de peixes, bem como sugerir a alteração da configuração de entrada na mesma, promovendo maior interação entre as bactérias responsáveis pela depuração e o substrato, a partir da avaliação de parâmetros importantes de controle para o funcionamento eficiente do sistema de tratamento anaeróbico.

As análises físico-químicas, bem como dos critérios de controle da lagoa se mostraram de grande importância, pois permitiram identificar hipóteses consistentes sobre os pontos de prejuízo no sistema, como os índices de sódio e cloretos totais, assim como destacar os fatores que estão operando com sucesso. Dessa forma, pôde-se abordar uma visão ampla do processo.

Além disso, as análises dos parâmetros físicos, químicos e biológicos do efluente de lançamento da empresa e dos pontos à montante e à jusante da descarga permitiram inferir que, de fato, as águas residuárias lançadas no arroio Pedregulho estão em conformidade com as normas estabelecidas para o lançamento em corpos hídricos, conforme dispostas na Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005) e na Resolução CEMA 070/09 (PARANÁ, 2009), sem trazer danos ao meio ambiente. Ainda, foi possível identificar a discrepância no valor de DQO à montante do lançamento, bem como melhorias na água do corpo receptor.

Por fim, foi possível ratificar, com base na literatura, a importância da agitação do sistema para o bom desempenho da degradação da matéria orgânica em condições de anaerobiose, permitindo a sugestão de um sistema que pode ser implementado com dispositivos já existentes na empresa, não exigindo gastos para aquisição de equipamentos. Dessa forma, torna-se ainda mais viável a implementação da proposta de melhoria quanto à eficiência do tratamento realizado na lagoa anaeróbia.

## REFERÊNCIAS

ACQUAPHI. Sólidos suspensos e sedimentos. **Site da AcquaPhi**. Disponível em: <https://acquaphi.com/pt-br/benefits/schwebende-feststoffe-und-sedimente/>. Acesso em 03 nov. 2023.

AMARAL, A. C.; STEINMETZ, R. L. R.; KUNZ, A. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. 1ª ed. Condórdia, SC: SBERA e Embrapa Suínos e Aves, 2019.

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DO PARANÁ. **Paraná é o maior produtor de pescados do Brasil**. 2023. Disponível em: <https://www.assembleia.pr.leg.br/comunicacao/noticias/parana-e-o-maior-produtor-de-pescados-no-brasil#:~:text=O%20estado%20campe%C3%A3o%20no%20ranking,mais%20cultiva do%20na%20piscicultura%20brasileira>. Acesso em: 01 nov. 2023.

BARBOSA, S. M. S. **Estudo da remoção de nitrogênio em uma lagoa de polimento tratando esgoto doméstico em escala real**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

BIASSI, B. F. **Tratamento de efluente de matadouro e frigorífico de suíno em reator batelada de eletrofloculação**. Trabalho de Conclusão de Curso em Tecnologia em Gestão Ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2014.

BRASIL, **Resolução CONAMA nº357**, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Publicado no D.O.U.

BOHRZ, G. I. **Geração de metano em lagoa anaeróbia: um estudo de caso em abatedouro de bovinos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

CAMPOS, E. G. P. **Tratamento de efluente do processamento de peixe utilizando coagulação/sedimentação e flotação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade

Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2020.

CAVALEIRO, A. J., ALVES, M. M. Digestão anaeróbia, **Rev. Ciência Elem.**, v.8, n.1, p. 9, 2020.

CEIVAP. Cadastro de usuários e outorga. **Site da Ceivap**. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/instrumentos-de-gestao/usuarios-e-outorga#:~:text=A%20outorga%20%C3%A9%20o%20ato,condi%C3%A7%C3%B5es%20expressas%20no%20respectivo%20ato>. Acesso em 10 nov. 2023.

CETESB. Mortandade de Peixes: pH. **Site da CETESB**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/ph/#:~:text=Com%20a%20diminui%C3%A7%C3%A3o%20do%20pH,extremamente%20baixo%20t%C3%AAm%20morte%20imediate>. Acesso em 01 nov. 2023.

COMERCIAL PINHEIRO. Tubo PVC esgoto 150 mm Nordeste. **Site da Comercial Pinheiro**. Disponível em: [https://comercialpinheiro.com.br/produto/1515/TUBO\\_PVC\\_ESGOTO\\_150MM\\_NORDESTE](https://comercialpinheiro.com.br/produto/1515/TUBO_PVC_ESGOTO_150MM_NORDESTE). Acesso em: 24 nov. 2023.

DEORSOLA, A. B. **Influência dos cátions (sódio, potássio, cálcio e magnésio) no tratamento biológico de efluentes**. Dissertação (Doutorado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

DIAS, D. L. Demanda bioquímica de oxigênio. **Site Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/demanda-bioquimica-oxigenio.htm>. Acesso em: 06 nov. 2023.

ELETROTRAFO. Motobomba trifásica 5 CV FMG 3 estágios – FAMAC. **Site da Eletrotrafo**. Disponível em: <https://www.eletrotrafo.com.br/motobomba-trif-5-cv-fmg-3-estagios/p>. Acesso em: 08 nov. 2023.

GUERI, M. D.; DE SOUZA, S. N. M.; KUCZMAN, O. Parâmetros operacionais do processo de digestão anaeróbia de resíduos alimentares: uma revisão. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 3, n. 1, p. 17-25, 2017.

IERVOLINO, L. F. Lagoas de estabilização. **Blog da Tratamento de Água**, 2019.

Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/lagoas-estabilizacao/>. Acesso em 03 nov. 2023.

JARDIM, W. F.; CANELA, M. C. **Fundamentos da Oxidação Química no Tratamento de Efluentes e Remediação de Solos**. Caderno Temático, v. 1. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004. Disponível em: <https://lqa.igq.unicamp.br/cadernos/caderno1.pdf>. Acessado em: 08 nov. 2023.

MARCONDES, J. G. Tratamento de efluentes. **Fema-Fundação Educacional do Município de Assis-Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis-Campos José Santilli Sobrinho**". Assis-SP, p. 49, 2012.

MENDES, A. F. **Aplicação de metodologias analíticas de caracterização de água de rio**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Industrial Química. Escola de Engenharia de Lorena – Universidade de São Paulo. Lorena, 2012.

MENDONÇA, V. S. **Aplicabilidade de testes de toxicidade aguda com *Daphnia magna* e *Vibrio fischeri*, no monitoramento da qualidade das águas de bacias hidrográficas: o caso do rio Ipojuca em Pernambuco**. Dissertação (Mestrado em Gestão e Política Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Gestão e Política Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.

MONTEGGIA, L. O.; ALÉM SOBRINHO, P. Lagoas anaeróbias. *In*: Campos, R. J. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada de lodo**. Rio de Janeiro: Projeto PROSAB, 1999. cap. 4, p. 108-110.

MORUZZI, R. B., REALI, M. A. P. **Estudo hidrodinâmico quali-quantitativo de uma unidade de flotação por ar dissolvido (FAD)**. Revista DAE, vol. 62, no 194, 2014, p. 52–69. DOI.org (Crossref), doi:10.4322/dae.2014.004.

MULTIAGUAS. Tratamento de efluentes para frigoríficos e abatedouros. **Site da Multiaguas**. Disponível em: <https://multiagua.com.br/solucoes-industriais/tratamento-de-efluentes/tratamento-de-efluentes-para-frigorificos-e-abatedouros/>. Acesso em: 01 nov. 2023.

PACHECO, J. C. C.; ORLANDO-JÚNIOR, W. A.; PACHECO, F. C.; PACHECO, A. F. C.; CORREA, K. P.; PAIVA, P. H. C. Desenvolvimento de um sistema de monitoramento automatizado de baixo custo para sistema biológico de tratamento de efluentes por lagoa anaeróbia. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v.

8, n. 8, p. 14818-01e, 2022.

PARANÁ, **Resolução CEMA nº070/09**, de 01 de outubro de 2009. Anexo 7: Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes Líquidos Industriais. Publicado no D.O.E.

PEREIRA, E. L.; CAMPOS, C. M. M.; MOTERANI, F. Efeitos do pH, acidez e alcalinidade na microbiota de um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) tratando efluentes de suinocultura. **Ambi-Água**, Taubaté, v. 4, n.3, p. 157-168, 2009.

PEREIRA, I. I. **Investigação de ações em sustentabilidade em universidades públicas federais nos eixos água, energia e resíduos**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2022.

PEREIRA-RAMIREZ, O.; QUADRO, M. S.; ANTUNES, R. M.; KOETZ, P. R. Influência da recirculação e da alcalinidade no desempenho de um reator UASB no tratamento de efluente de suinocultura. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 10, n. 1, 2004.

PROMATEC AMBIENTAL. DBO DQO. **Blog da Promatec Ambiental**, 2020. Disponível em: <https://www.promatecambiental.com.br/dbo-dqo/>. Acesso em 03 nov. 2023.

PROMATEC AMBIENTAL. Série de sólidos. **Blog da Promatec Ambiental**, 2023. Disponível em: <https://www.promatecambiental.com.br/serie-de-solidos-2/>. Acesso em: 08 nov. 2023.

PROMATEC AMBIENTAL. Sólidos sedimentáveis. **Blog da Promatec Ambiental**, 2021. Disponível em: <https://www.promatecambiental.com.br/qual-a-importancia-da-analise-de-solidos-sedimentaveis/>. Acesso em 04 nov. 2023.

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**, v. 17, p. 425-433, 2013.

RIBEIRO, M. P.; BOTARI, A. Eficiência da remoção de DQO, surfactantes e de óleos e graxas totais na estação de tratamento de esgoto vila city na cidade de Paranaíba-Paraná. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 5, n. 1, p. 3874-3884, 2022.

RUBBERFAST. Mangueira vácuo ar pesado azul. **Site da Rubberfast**. Disponível em: [https://www.rubberfast.com.br/produto/2\\_mangueiras/mangueira-vacu-ar-pesado-azul.html](https://www.rubberfast.com.br/produto/2_mangueiras/mangueira-vacu-ar-pesado-azul.html). Acesso em: 08 nov. 2023.

SIEGLE, T. **Otimização de custos operacionais de uma estação de tratamento de efluentes industriais de uma indústria de peças automotivas**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

SILVA, V. G. **Monitoramento de parâmetros físicos, químicos e biológicos em um reator anaeróbio híbrido (RAH) em escala piloto, tratando água residuária do café produzido por via úmida**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

SHOPTIME. Válvula de retenção soldável 50 mm – Tigre. **Site da Shoptime**. Disponível em: <https://www.shoptime.com.br/produto/5251834481/valvula-de-retencao-soldavel-50mm-tigre>. Acesso em: 08 nov. 2023.

SILVEIRA, G. E. **Sistemas de tratamento de efluentes industriais**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

SOARES, C. M. T.; FEIDEN, A.; TAVARES, S. G. Fatores que influenciam o processo de digestão anaeróbia na produção de biogás. **Nativa**, v. 5, p. 522-528, 2017.

SONE, A. P.; MOREJON, C. F. M. Caracterização e potencial de geração de efluentes de frigoríficos de peixe. *In*: FÓRUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS. 10., 2019. João Pessoa. **Anais eletrônicos**. ISSN: 2527-1725. Disponível em: <https://www.institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs>. Acesso em: 01 nov. 2023.

TECNAL. DQO vs DBO. **Blog da Tecnal**. Disponível em: [https://tecnal.com.br/pt-BR/blog/214\\_dqo\\_vs\\_dbo](https://tecnal.com.br/pt-BR/blog/214_dqo_vs_dbo). Acesso em: 08 nov. 2023.

TERA AMBIENTAL. A diferença entre o tratamento biológico e o físico-químico. **Blog da Tera Ambiental**, 2013. Disponível em: <https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/bid/339074/a-diferenca-entre-o-tratamento-biologico-e-fisico-quimico>. Acesso em: 08 nov. 2023.

TERA AMBIENTAL. Efluentes industriais: entenda o impacto do descarte sem o

tratamento correto. **Blog da Tera Ambiental**, 2019. Disponível em: <https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/efluentes-industriais-o-impacto-do-descarte-sem-tratamento-correto>. Acesso em 01 nov. 2023.

TERAAMBIENTAL. Os desafios em manter uma Estação de Tratamento de Efluentes Onsite. **Blog da Tera Ambiental**, 2018. Disponível em: <https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/os-desafios-em-manter-uma-estacao-de-tratamento-de-efluentes-onsite>. Acesso em 03 nov. 2023.

TERRANÁLISES. Por que realizar a análise de pH em águas e efluentes?. **Site da Terranálises**, 2021. Disponível em: <https://terranalises.com.br/novidade-detahes/30/por-que-realizar-a-analise-de-ph-em-aguas-e-efluentes?>. Acesso em: 01 nov. 2023.

TESTEZLAF, R. Filtros de areia aplicados à irrigação localizada: teoria e prática. **Engenharia Agrícola**, v. 28, p. 604-613, 2008.

VILVERT, A. J. **Monitoramento do tratamento biológico e estimativa do potencial de produção de biogás em abatedouro de bovinos e suínos**. Dissertação (Mestrado em Tecnologias de Bioprodutos Agroindustriais) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologias de Bioprodutos Agroindustriais. Universidade Federal do Paraná, Palotina, 2017.