

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PEQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

BRUNA PINHO DOS SANTOS

DIAGNÓSTICO OPERACIONAL DE LAGOA FACULTATIVA

Porto Alegre, 25 novembro de 2021.

BRUNA PINHO DOS SANTOS

DIAGNÓSTICO OPERACIONAL DE LAGOA FACULTATIVA

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas e à Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Salatiel Wohlmuth da Silva

Coorientador: Dr. Louidi Lauer Albornoz

Porto Alegre, 25 novembro de 2021.

CIP - Catalogação na Publicação

Santos, Bruna Pinho dos
Diagnóstico Operacional de Lagoa Facultativa /
Bruna Pinho dos Santos. -- 2021.
65 f.
Orientador: Salatziel Wohlmuth da Silva.

Coorientador: Louidi Lauer Albornoz.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Pesquisas Hidráulicas, Curso de Engenharia
Ambiental, Porto Alegre, BR-RS, 2021.

1. Lagoa Facultativa. 2. Efluente Sanitário. 3.
Padrões de Lançamento. I. Silva, Salatziel Wohlmuth da,
orient. II. Albornoz, Louidi Lauer, coorient. III.
Titulo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família, por terem me apoiado e me proporcionado um ensino de excelência, desde os primeiros anos de vida. Ao meu pai por ter batalhado para nos dar uma vida confortável e uma educação de qualidade, abdicando de muitas coisas para que pudessemos ser quem quiséssemos. A minha mãe, por ter escolhido estar em casa ao lado das filhas, priorizando nossa criação, mesmo que isso resultasse em deixar de ter uma carreira e independência financeira. A minha irmã por ter sido a primeira pessoa com quem me senti confortável pra ser quem eu sou e me acolheu sem esboçar nenhuma dúvida. Também, por aceitarem quem eu fui e sou, sempre colocando o amor em primeiro lugar, mesmo nos momentos difíceis.

Agradeço a minha namorada, por escolher dividir a vida comigo e por estar ao meu lado neste último ano, segurando a minha mão e nunca me deixando parar de acreditar no meu potencial e em tudo que posso conquistar.

Agradeço ao restante da minha família que me acompanhou ao longo de todos esses anos, sempre valorizando e comemorando minhas conquistas.

Agradeço aos amigos que levei para a faculdade e que fiz ao longo da graduação. Com eles vivi os melhores anos da minha vida e levarei comigo as melhores lembranças que pude construir ao lado das pessoas maravilhosas. Sem eles, com certeza, tudo teria sido mais difícil e menos divertido.

Agradeço a todos os professores que tive na UFRGS que enriqueceram minha trajetória acadêmica e contribuíram para ser a profissional que sou hoje.

Agradeço a meu orientador e coorientador, pela orientação, disponibilidade e apoio, como também, pelo empenho dedicado à elaboração deste trabalho.

*Vou mostrando como sou
E vou sendo como posso
Jogando meu corpo no mundo
Andando por todos os cantos
E pela lei natural dos encontros
Eu deixo e recebo um tanto
E passo aos olhos nus
Ou vestidos de lunetas
Passado, presente
Participo sendo o mistério do planeta*

Novos Baianos

RESUMO

A fim de evitar possíveis danos ambientais proporcionados pelo descarte inadequado de efluentes sanitários, os órgãos legisladores responsáveis criaram leis e decretos que dispõem sobre os padrões de lançamento, onde são determinados valores de concentração máximos para os parâmetros físico-químicos e biológicos destes efluentes, quando há o lançamento de efluentes em corpos hídricos. Uma siderúrgica localizada no estado do Rio Grande do Sul trata seus efluentes sanitários em uma lagoa facultativa antes de despejá-lo no Rio do Sinos. Desta forma, objetivou-se realizar um diagnóstico operacional avaliando a eficiência da lagoa facultativa da Usina por meio da análise estatística dos parâmetros demanda bioquímica de oxigênio ($DBO_{5,20}$), demanda química de oxigênio (DQO), pH, temperatura, teor de sólidos, coliformes termotolerantes e a caracterização da biota da lagoa. Também, verificar se estes parâmetros se encontram dentro dos padrões estabelecidos pela licença de operação expedida pelo órgão ambiental vigente no Estado. De acordo com as análises das médias das estações do ano para cada parâmetro, observou-se que houve grande variabilidade dos dados de entrada e saída da lagoa para $DBO_{5,20}$, DQO, coliformes termotolerantes e teor de sólidos, ao contrário do pH e da temperatura que mostraram homogeneidade entre os dados. A lagoa apresentou eficiência de remoção satisfatória para os parâmetros $DBO_{5,20}$, DQO e teor de sólidos, uma vez que todos obtiveram valores dentro dos limites estabelecidos na Licença de Operação. Já para pH e coliformes termotolerantes foram registrados valores acima do permitido, demonstrando a necessidade de tratamentos posteriores. Na análise da concentração de microalgas observou-se que há predominância da classe *Chlorophyceae* em todos os pontos coletados.

Palavras-chave: Lagoa Facultativa, Efluente Sanitário, Padrões de Lançamento.

ABSTRACT

To avoid possible environmental damage caused by the inadequate disposal of sanitary effluents, the responsible legislators created laws and decrees that dispose of the launching standards, where maximum admissible concentration values are determined for the physical-chemical and biological parameters of these effluents when there is the release of effluents into water bodies. A steel mill located in the state of Rio Grande do Sul treats its sanitary effluents in an optional lake before discharging it into Rio do Sinos. Thus, the objective was to carry out an operational diagnosis evaluating the efficiency of the plant's facultative lagoon through the statistical analysis of the parameters biochemical oxygen demand (BOD_{5,20}), chemical oxygen demand (COD), pH, temperature, solids content, thermotolerant coliforms and the characterization of the lagoon biota. Also, check if these parameters are within the standards established by the operating license issued by the environmental agency in force in the State. According to the analyzes of the averages of the seasons of the year for each parameter, it was observed that there was great variability in the input and output data from the lake for BOD_{5,20}, COD, thermotolerant coliforms and solids content, under the pH and temperature contract, that showed homogeneity between the data. The lagoon presented satisfactory removal efficiency for the parameters BOD_{5,20}, COD and solids content, since they all obtained values within the limits established in the Operating License. As for pH and thermotolerant coliforms, values above the permitted level were recorded, demonstrating the need for further treatments. In the analysis of the concentration of microalgae, it was observed that the Chlorophyceae class is predominant in all collected points.

Keywords: Facultative Lagoon, Sanitary Effluents, Launching Standards.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Composição típica das frações, em %, dos sólidos presentes nos esgotos sanitários...	23
Figura 2 - Fases do tratamento preliminar com os objetivos de cada processo.	25
Figura 3 - Esquema de tanque séptico de câmara única.....	27
Figura 4 - Representação esquemática de filtro anaeróbio.	27
Figura 5 - Zonas de uma Lagoa Facultativa.	30
Figura 6 - Fluxograma do Efluente Sanitário.....	34
Figura 7 – Corte Longitudinal da Lagoa Facultativa.	35
Figura 8 - Esquema da lagoa facultativa com os pontos de amostragem.....	38
Figura 9 - Variação da DBO _{5,20} de entrada e saída da Lagoa Facultativa em 2020.	41
Figura 10 - Variação da DQO de entrada e saída da Lagoa Facultativa em 2020.....	43
Figura 11 - Variação do pH de entrada e saída da Lagoa Facultativa em 2020.	45
Figura 12 - Variação da Temperatura de entrada e saída da Lagoa Facultativa em 2020.	47
Figura 13 - Variação dos Coliformes Termotolerantes de entrada e saída da Lagoa Facultativa em 2020.....	49
Figura 14 - Variação dos Sólidos Suspensos Totais de entrada e saída da Lagoa Facultativa em 2020.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros e padrões de emissão.....	36
Tabela 2 - Identificação dos pontos de amostragem de algas.	37
Tabela 3 - Análise de Variância e Teste Tukey da DBO _{5,20}	40
Tabela 4 - Análise de Variância e Teste Tukey da DQO.....	42
Tabela 5 - Análise de Variância e Teste Tukey do pH.	44
Tabela 6 - Análise de Variância e Teste Tukey da Temperatura.....	46
Tabela 7 - Análise de Variância e Teste Tukey de coliformes termotolerantes.	48
Tabela 8 - Análise de Variância e Teste Tukey dos Sólidos Suspensos Totais.	50
Tabela 9 - Identificação da Microfauna da Lagoa Facultativa.	52

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANOVA	Análise de Variância
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente do Estado
CV	Coeficiente de Variação
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DMS	Diferena Mínima Significativa
DQO	Demanda Química de Oxigênio
FC	Fator Crítico
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
GL	Graus de Liberdade
LI	Licena de Instalação
LO	Licena de Operação
LP	Licena Prévia
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
OD	Oxigênio Dissolvido
ONU	Organização Das Nações Unidas
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNSB	Política Nacional de Saneamento Básico
PR	Potência Estatística
SNIS	Sistema Nacional de Informações em Saneamento
SISAUTO	Sistema de Automonitoramento de Atividades Poluidoras Industriais
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
SST	Sólidos Suspensos Totais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS.....	14
2.1	OBJETIVO PRINCIPAL	14
2.2	OBJETIVOS SECUNDÁRIOS	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1	EFLUENTES SANITÁRIOS	15
3.2	SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO.....	16
3.3	LEGISLAÇÃO AMBIENTAL	17
3.4	LICENCIAMENTO AMBIENTAL	19
3.5	PARÂMETROS MONITORADOS	20
3.6	TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO	24
3.6.1	Tratamento Preliminar	24
3.6.2	Tratamento Primário	26
3.6.3	Tratamento Secundário	28
3.6.3.1	<i>Lagoas Anaeróbias</i>	<i>29</i>
3.6.3.2	<i>Lagoas Facultativas.....</i>	<i>29</i>
3.6.3.3	<i>Lagoas de Maturação</i>	<i>32</i>
3.7	INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS METEOROLÓGICOS.....	32
3.7.1	Precipitação Pluviométrica	32
3.7.2	Temperatura.....	33
3.7.3	Radiação Solar.....	33
4	MATERIAIS E MÉTODOS	34
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA LAGOA FACULTATIVA.....	34
4.2	LICENÇA DE OPERAÇÃO	35
4.3	COLETA DE DADOS	36
4.3.1	Coleta dos parâmetros da lagoa.....	36
4.3.2	Coleta das amostras para caracterização da biota da lagoa	37
4.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1	CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE SANITÁRIO	40

5.1.1	Demanda Bioquímica de Oxigênio.....	40
5.1.2	Demanda Química de Oxigênio	42
5.1.3	pH.....	43
5.1.4	Temperatura.....	45
5.1.5	Coliformes Termotolerantes	47
5.1.6	Teor de Sólidos	50
5.2	CARACTERIZAÇÃO DA BIOTA DA LAGOA	51
6	CONCLUSÃO	54
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1 INTRODUÇÃO

O saneamento básico é um dos principais instrumentos para o desenvolvimento econômico, social, sustentável e para a garantia da qualidade e perpetuação dos ecossistemas. De acordo com os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Organização Das Nações Unidas (ONU), os países e organizações devem “garantir disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos”. Desta forma, o saneamento é de vital importância para a saúde pública, uma vez que a propagação de doenças possui uma relação direta com a qualidade da água disponível para populações que vivem em condições onde o mesmo é inadequado ou ineficaz. Diante disso, foram elaboradas políticas federais e municipais visando a regulamentação do despejo de efluentes e esgotamentos sanitários a fim de reduzir a propagação de doenças por consumo de água não potável ou com presença de agentes contaminantes em corpos hídricos próximos às populações.

O relevante interesse público na universalização da coleta e tratamento de esgoto sanitário no Estado do Rio Grande do Sul, causados pelos impactos positivos sobre a saúde pública e meio ambiente quando os esgotamentos e efluentes são tratados, influenciou o Conselho Estadual do Meio Ambiente do Estado (CONSEMA), por meio da Resolução CONSEMA nº 355/2017, a estabelecer os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lançam seus efluentes em águas superficiais. Além disso, a Resolução CONSEMA N.º 01/1998 especificou novas condições e exigências para o Sistema de Automonitoramento de Atividades Poluidoras Industriais (SISAUTO) localizadas no Estado, bem como as frequências de medições, coletas, análises e monitoramento dos efluentes líquidos industriais. Estas resoluções são base para o fornecimento e manutenção das Licenças de Operação, concedidas pelos órgãos ambientais, que permitem que as indústrias e empreendimentos possam iniciar as suas atividades.

As lagoas facultativas são sistemas de tratamento largamente utilizados graças a seu baixo custo de implementação, operação, manutenção e por removerem elevadas quantidades de matéria orgânica e microrganismos patogênicos. Esse sistema de tratamento se utiliza de meios biológicos, através da relação entre biomassa bacteriana e algal, para a retirada ou diminuição destas concentrações, possibilitando uma alternativa viável para tratamento de efluentes sanitários. Através de uma zona mais superficial aeróbica e outra mais profunda anaeróbica, os microrganismos existentes realizam o tratamento oxidando a matéria orgânica presente em toda

a extensão longitudinal da lagoa. Além disso, estas lagoas têm como característica principal a presença da camada facultativa entre estas duas zonas, na qual predominam bactérias facultativas que se desenvolvem na presença e na ausência de oxigênio dissolvido e que por isso dão nome a lagoa.

A sua operacionalização, quando modelada da forma correta, revela altos percentuais na eficiência, principalmente na remoção de parâmetros como $DBO_{5,20}$ e de Coliformes Termotolerantes. Além disso, reduz a propagação de maus odores, o que justifica a sua grande aceitabilidade onde são implantadas. Em alguns casos, há também a possibilidade de reúso dos efluentes tratados. Desta forma, este trabalho visa definir um diagnóstico operacional para uma lagoa facultativa, pois apesar de muito utilizada para tratamento de esgotamentos sanitários, as lagoas com seu meio microbiológico em desequilíbrio acabam por apresentar uma eficiência de remoção abaixo do necessário e não cumprem os limites aceitáveis estabelecidos nas legislações para os padrões de emissão de efluentes.

Como forma de estudar a estabilização de parâmetros físico-químicos e microbiológicos, utilizou-se como ferramenta de análise o tratamento dos dados por meio de estatística descritiva, do cálculo da Análise de Variância (ANOVA) e também do Teste de Tukey a 5%, a fim de diagnosticar a eficiência operacional da lagoa facultativa de uma indústria siderúrgica localizada na região metropolitana do Rio Grande do Sul.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

O objetivo principal do trabalho é a avaliação e o diagnóstico do desempenho operacional de uma lagoa facultativa com enfoque na remoção dos parâmetros estabelecidos na legislação ambiental do Rio Grande do Sul: demanda química de oxigênio (DQO), teor de sólidos, demanda bioquímica de oxigênio ($DBO_{5,20}$), coliformes termotolerantes, temperatura e pH.

2.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

Para atingir o objetivo principal, foram definidos os seguintes objetivos secundários:

- Correlacionar qualitativamente os parâmetros analisados com dados meteorológicos e propor soluções para que os parâmetros que estejam acima dos limites estabelecidos atendam a legislação vigente;
- Caracterizar e identificar os principais grupos de microalgas presentes em cinco pontos da lagoa facultativa.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 EFLUENTES SANITÁRIOS

Os esgotos ou efluentes sanitários são definidos pela NBR 9648:1986 como a junção da parcela de três tipos de esgotos diferentes: os domésticos, industriais, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária (ABNT, 1986). Pela definição estabelecida na Norma, o esgoto doméstico é o “*despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas*”, o esgoto industrial é o “*despejo líquido resultante dos processos industriais, respeitados os padrões de lançamento estabelecidos*”, já a água e infiltração é “*toda água, proveniente do subsolo, indesejável ao sistema separador e que penetra nas canalizações*”; por fim, a contribuição pluvial parasitária é constituída da “*parcela de deflúvio superficial inevitavelmente absorvida pela rede coletora de esgoto sanitário*” (ABNT, 1986). Para a Lei n.º 11.445/07, considera-se esgotamento sanitário o conjunto de “*atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários*” (BRASIL, 2007).

A Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) (2004) classifica as principais características dos esgotos sanitários em matéria sólida, temperatura, odores, cor e turbidez e variação da vazão. De modo geral, é determinado que os esgotos sanitários tem 0,1% de sólidos e 99,9% de água. Este percentual de sólidos que constituem os efluentes sanitários é um dos influenciadores para problemas de poluição dos corpos hídricos, acarretando na necessidade de tratamento destes efluentes antes do seu descarte. A temperatura dos efluentes sanitários é pouco superior a temperatura das águas de abastecimento, uma vez que a velocidade da decomposição do esgoto é harmônica ao aumento da temperatura; os odores são gerados pelos gases que são liberados durante o processo de decomposição, desta forma, o cheiro de esgoto fresco é mais suave do que o de esgoto séptico; para a cor e turbidez, a tonalidade acinzentada acompanhada de uma turbidez é específica do esgoto recente, e a cor preta é referência do esgoto velho; finalmente, a variação de vazão se modifica de acordo com os hábitos da população que contribui para o efluente sanitário, uma vez que a vazão doméstica do esgoto é calculada em função do consumo médio diário de água consumida.

Ainda de acordo com FUNASA (2004), as características químicas mais significantes do esgoto são as matérias orgânicas e inorgânicas com combinações de carbono, hidrogênio,

oxigênio e nitrogênio. Os grupos de substâncias orgânicas são constituídos por compostos de proteínas, carboidratos, gorduras, óleos, uréia, sulfatos, fenóis dentre outros. Para as matérias inorgânicas, ocorre a presença, principalmente, de substâncias minerais dissolvidas e areia. Além disso, são comumente encontrados microorganismos nas águas residuais como as bactérias, os fungos, os protozoários, os vírus e as algas.

3.2 SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Segundo Dias e Rosso (2012), a definição do sistema de esgotamento sanitário é o conjunto “*integrado dos componentes responsáveis pela coleta, transporte, tratamento e disposição final dos esgotos sanitários*”. Para TSUTIYA e SOBRINHO (2011), os sistemas de esgotamentos sanitários podem ser classificados em:

- Unitário ou combinado: quando efluentes sanitários domésticos, industriais, águas de infiltração e águas pluviais são transportados pelo mesmo sistema. Este tipo de sistema tem a limitação de não ser dimensionado para suportar vazões excessivas, quando por exemplo há períodos de maior pluviosidade (VON SPERLING, 2005).
- Separador parcial: há mistura das águas das chuvas que escoam por prédios ou construções e percolam juntamente com as águas residuárias e águas de infiltração do subsolo para um único sistema de coleta e transporte (TSUTIYA e SOBRINHO, 2011).
- Separador absoluto: é o conjunto de condutos, instalações e equipamentos destinados a coletar, transportar, condicionar e encaminhar, somente o esgoto sanitário, a uma disposição final conveniente, de modo contínuo e higienicamente seguro (ABNT, 1986). Como há o transporte separado do esgoto sanitário e das águas pluviais, que são transportadas por um sistema de drenagem pluvial, se evita a mistura de águas residuárias com as pluviais, de forma que este sistema é visto como o mais eficaz no ponto de vista técnico e econômico.

De forma geral, tanto os sistemas de esgotamento sanitário quanto os processos de tratamento dos efluentes sanitários são construídos e utilizados para a remoção de substâncias indesejáveis ou para transformar essas substâncias em outras, de forma que elas passem a ser aceitas pela legislação (NUVOLARI, 2011) a fim de deter contaminações aos corpos hídricos,

mananciais e para evitar a poluição e depreciação da natureza.

3.3 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

A legislação ambiental brasileira é composta por um conjunto de leis, decretos, resoluções e atos normativos que definem as regras relacionadas ao meio ambiente, e tem como objetivo principal a conservação ambiental, devendo ser observadas por cidadãos, empresas, órgãos privados e públicos. Além disso, são estabelecidas na legislação ambiental as punições e infrações caso haja descumprimento de algum dispositivo da lei.

Com a criação do Código de Águas (Decreto nº 24.643) em 1934, o Brasil sinalizou a importância do desenvolvimento sustentável, na busca pela preservação dos recursos naturais. Entretanto, ainda havia uma lacuna de cunho institucional e legal no país em relação às demais gestões ambientais. As leis voltadas para a conservação ambiental começaram a partir de 1981, com a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei 6.938/81). Após a criação da lei, foram instituídos o Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA) e o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), órgãos que estabelecem as diretrizes e normas aplicáveis à execução da política ambiental brasileira.

Duas décadas depois é implementada a Lei nº 11.445/2007, que trata da Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB) com diretrizes nacionais para os serviços de esgoto, de água, de coleta de lixo e limpeza pública abrangendo o abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos. Além disso, estabelece os princípios fundamentais para a prestação de serviços públicos de saneamento, sua titularidade, planejamento e regulação (Brasil, 2007). O Decreto nº 7.217/2010 regulamenta a Política Nacional de Saneamento Básico e estabelece o Sistema Nacional de Informações em Saneamento (SNIS) (Brasil, 2010).

Ao longo dos anos, novas leis foram promulgadas e modificadas, vindo a formar um sistema que busca contemplar todos os âmbitos ligados a proteção ambiental. A legislação ambiental brasileira, para atingir seus objetivos de preservação, criou direitos e deveres para o cidadão, instrumentos de conservação do meio ambiente, normas de uso dos diversos ecossistemas, normas para disciplinar atividades relacionadas à ecologia, diversos tipos de unidades de conservação e padrões para o lançamento de efluentes nos corpos hídricos.

A Política Nacional de Recursos Hídricos (art. 3º da Lei 9433/1997) tem em seus instrumentos os Planos de Recursos Hídricos, o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água, a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos, a cobrança pelo uso de recursos hídricos, a compensação a municípios e o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (Brasil, 1997). Os corpos d'água brasileiros são classificados pelas legislações federais e estaduais em função dos seus usos. Os padrões de qualidade a serem cumpridos são estabelecidos nestas classificações e visam “assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas” e “diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes” (Art. 9º da Lei 9.433/1997).

A classificação dos corpos hídricos de água doce é definida na Resolução CONAMA nº 357/2005 e determina cinco classes, estabelecendo as diretrizes ambientais para o seu enquadramento, as condições e padrões de qualidade, bem como os padrões de lançamento de efluentes. As classes são definidas como:

- *I - classe especial: águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção, à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas e à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral (Brasil, 2005).*
- *II - classe 1: águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000, à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película, e à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas (Brasil, 2005).*
- *III - classe 2: águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000, à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto, e à aqüicultura e à atividade de pesca (Brasil, 2005).*
- *IV - classe 3: águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano*

após tratamento convencional ou avançado, à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras, à pesca amadora, à recreação de contato secundário e à dessedentação de animais (Brasil, 2005).

- *V - classe 4: águas que podem ser destinadas à navegação e à harmonia paisagística (Brasil, 2005).*

A classificação se dá com base em estudos de capacidade de autodepuração de um corpo hídrico. Segundo Rodrigues (2005), a autodepuração é o fenômeno de decomposição natural de matéria orgânica presente em um corpo d'água. Nessa situação, a água tende a retornar gradualmente a suas características anteriores com relação às concentrações de matéria orgânica e oxigênio dissolvido. Para se determinar a classe da água é necessária a definição da vazão crítica e também dos parâmetros de qualidade do corpo receptor, que dependem de séries históricas e do levantamento das outorgas existentes ao longo do trecho analisado. Para cada classe, são estabelecidas as características e concentrações limites de poluentes e parâmetros a serem monitorados, as quais retratam as condições de qualidade das águas para cada uso específico (BRASIL, 2005).

3.4 LICENCIAMENTO AMBIENTAL

O Licenciamento Ambiental é definido na Resolução CONAMA nº 237/97 como o procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais consideradas efetivas ou potencialmente poluidoras, ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicadas ao caso. De acordo com a CETESB (2007), enquanto instrumento preventivo, o licenciamento é essencial para garantir a qualidade ambiental que abrange a saúde pública, o desenvolvimento econômico e a preservação da biodiversidade. A obtenção das licenças ambientais, aliada ao cumprimento das exigências técnicas, constitui a base para a conformidade ambiental, estando a empresa apta ao mercado competitivo.

As etapas legais do licenciamento ambiental estão descritas na no Artigo 8º da Resolução CONAMA nº 237/97:

- Licença Prévia (LP) - *concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação* (Brasil, 1997).
- Licença de Instalação (LI) - *autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes, da qual constituem motivo determinante* (Brasil, 1997).
- Licença de Operação (LO) - *autoriza a operação da atividade ou empreendimento após a verificação do efetivo cumprimento do que consta* (Brasil, 1997).

De modo geral, a LP e a LI são concedidas inicialmente com a formulação de exigências técnicas. A LO só será concedida depois do cumprimento das exigências técnicas previstas nas LP e de LI. É na LO que são expressadas as exigências de automonitoramento dos efluentes sanitários gerados pelos empreendimentos que deverão ser coletados, analisados e reportados aos órgãos estaduais responsáveis.

3.5 PARÂMETROS MONITORADOS

O CONAMA, por meio da Resolução nº 430/2011, “*dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores*”. Isto é, determina valores limites de concentração de parâmetros orgânicos e inorgânicos que devem ser monitorados e atendidos por qualquer fonte poluidora que lance seus efluentes diretamente em corpos receptores (OLIVEIRA, 2006).

Segundo OLIVEIRA (2006), os órgãos ambientais estaduais usualmente baseiam-se nos padrões da Resolução CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011), mantendo-os, complementando-os ou eventualmente aplicando padrões mais restritivos. O Estado do Rio Grande do Sul firmou padrões mais limitantes e possui a regulamentação para lançamento de efluentes em corpos hídricos por meio da Resolução CONSEMA nº 355/2017, que “*dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul*”. Esta resolução impõe os critérios utilizados

nas LO concedida aos empreendimentos localizados no Estado e estabelece que os efluentes sanitários podem ser lançados em corpos hídricos apenas se os parâmetros obedecerem às condições e limites especificados. Os principais parâmetros monitorados são:

- Coliformes Termotolerantes, que são caracterizados como subgrupos das bactérias do grupo coliforme que fermentam lactose a $44,5^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ em 24 horas e possui a *Escherichia coli* como o principal bioindicador de origem fecal presente na água (BARBOSA, 2009). Os microrganismos do grupo coliforme são formados por diversos gêneros e, sendo considerados patogênicos desde o século XIX, contribuem para elevados índices de mortalidade (VASCONCELOS, 2006).

Segundo a FUNASA (2014), quanto maior for a população de coliformes em uma determinada amostra, maiores são as chances de ocorrer a contaminação ao ser humano por organismos patogênicos. A presença dos coliformes são de grande relevância para detectar a contaminação durante o processo de fabricação ou no pós-processamento (DANTAS, 2012).

- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que representa de forma indireta a quantidade de matéria orgânica biodegradável que foi consumida pelos microrganismos aeróbios presentes no sistema aquático e constitui um importante parâmetro na caracterização de seu grau de poluição (BAIRD, 2002). Porém, trata-se de uma medida imprecisa, pois não considera a atividade de microrganismos anaeróbios. No tratamento de efluentes, a DBO é um parâmetro importante para o controle da eficiência das estações, tanto de tratamento por processos biológicos aeróbios e anaeróbios, quanto de processos físico-químicos (BRAGA, 2012).

Este parâmetro é utilizado para indicar o grau de poluição de efluentes sanitários, uma vez que, quanto maior o grau de DBO, maior a concentração de poluentes biodegradáveis (NUVOLARI, 2003). A DBO é o índice de concentração de matéria orgânica por unidade de volume de água residuária e tem sua medição padronizada que adota tempo de 5 dias e uma temperatura padrão de 20°C (JORDÃO e PESSÔA, 2005). A $\text{DBO}_{5,20}$ não representa a demanda total de oxigênio, uma vez que esta demanda total ocorre em um período maior de tempo (SILVA, 2004).

- Demanda Química de Oxigênio (DQO), que quantifica o oxigênio necessário para

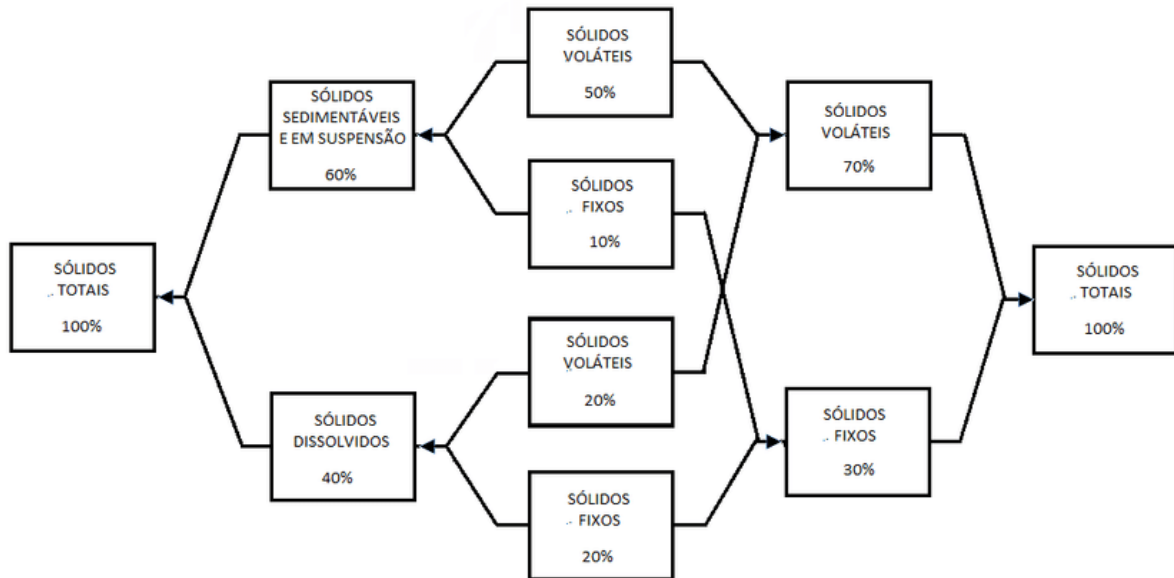
realizar a oxidação química da matéria orgânica presente nas águas residuárias (BENVENUTI, 2013). A análise dos valores de DQO em efluentes e em águas de superficiais é uma das mais expressivas análises para determinação do seu grau de poluição (BRAGA, 2012).

A análise da DQO é útil para detectar a presença de substâncias resistentes à degradação biológica (BRAGA, 2012). O aumento da concentração da relação DQO/DBO num corpo d'água pode estar relacionado a despejos de um efluente com origem industrial. Assim, pode-se considerar que a DQO é a demanda total de O_2 , devido à substâncias recalcitrantes (não biodegradáveis) somada à demanda de O_2 devido à substâncias biodegradáveis (ROCHA, 2009).

De acordo com Von Sperling (2005), através da relação DQO/DBO é possível indicar a biodegradabilidade do efluente sanitário e também que seja possível estipular o melhor método de tratamento a ser empregado. Quando esta relação for baixa (variando entre 1,5 e 2,5), a fração biodegradável é alta e indica o tratamento biológico, na faixa entre 2,5 e 3,5 indica que o esgoto não possui alta biodegradabilidade e deve ser realizados estudos de tratabilidade com o objetivo de avaliar a viabilidade do tratamento biológico. Já nos casos em que esta relação for elevada (entre 3,5 e 5,0) a fração inerte é alta, indicando a utilização de tratamento físico-químico.

- Teor de Sólidos, que é a característica física dos efluentes de maior importância, uma vez que, com exceção dos gases, todos os demais poluentes contribuem para a carga de sólidos na água (VON SPERLING, 2005). Na Figura 1, pode-se observar a composição típica de sólidos em esgotos domésticos, segundo Jordão e Pessôa (2005).

Figura 1 - Composição típica das frações, em %, dos sólidos presentes nos esgotos sanitários.



Fonte: Jordão e Pessoa (2005).

Os sólidos totais podem ser expressos pela soma das parcelas de sólidos em suspensão e sedimentáveis e os sólidos dissolvidos. A porção dos sólidos suspensos que é a fica retida em um filtro propiciando a retenção de partículas de diâmetro maior ou igual a 1,2 μm . Já os sólidos sedimentáveis são os que sedimentam sob a ação da gravidade durante um período de uma hora, a partir de um litro de amostra mantida em repouso em um cone Imhoff. Por fim, os sólidos dissolvidos são as substâncias que não são retidas na filtração e permaneceram após total secagem de determinado volume de amostra (SABESP, 1999).

- Temperatura, que influencia diretamente na taxa e na velocidade de degradação dos efluentes sanitários. Segundo Jordão e Pessoa (2005), a faixa ideal para a atividade biológica é compreendida entre 20 e 35°C, enquanto que à temperaturas abaixo de 15°C praticamente não há atividade bacterianas formadoras de metano, o que acaba inibindo a digestão anaeróbia.

A temperatura também colabora para o predomínio de espécies de algas sobre outras. As algas podem desenvolver-se bem em uma faixa de temperatura que varia de 5 a 35°C,

pois abaixo e acima dessas temperaturas pode ocorrer a inibição da fotossíntese (RIBEIRO, 2007).

- Potencial Hidrogeniônico (pH), que representa o grau de concentração de íons hidrogênio (H^+) de uma solução. A concentração desse íon na água líquida a $25^{\circ}C$ é $10^{-7} \text{ molL}^{-1}$. Pelo fato de os íons hidrogênio serem neutralizados pelos íons hidroxila nessa concentração, o meio neutro apresenta pH igual a 7, o ácido, pH entre 0 e 7 e o básico, pH entre 7 e 14 (Crepaldi, 2010).

O pH é um parâmetro importante no tratamento do esgoto, pois valores mais próximos da neutralidade geram um ambiente mais propício à biota microbiana, responsável pelo tratamento biológico, possibilitando a formação de ecossistema mais heterogêneo e com maior estabilidade no tratamento (CETESB, S/D). Os valores de pH não tem implicação em termos de saúde pública a menos que os mesmos sejam extremamente baixos ou elevados a ponto de causar irritação na pele ou nos olhos (SCHLEMPER, 2014).

3.6 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

Métodos químicos, biológicos e físicos são comumente utilizados para a remoção de contaminantes encontrados nos efluentes sanitários. Visando alcançar diferentes níveis de remoção das substâncias, ou de se transformar essas substâncias em outras de forma que elas se enquadrem nas legislações vigentes, são desenvolvidos e aplicados diferentes processos e tecnologias de tratamento. A extração dos poluentes no tratamento dos efluentes está classificada em etapas, chamadas de tratamentos preliminar, primário, secundário e terciário (VON SPERLING, 1996).

3.6.1 Tratamento Preliminar

O tratamento preliminar ocorre através de processos físicos, que tem como objetivo a redução e remoção de sólidos grosseiros em suspensão tais como areia, papéis, gorduras, papéis, plásticos, cabelos, e outros resíduos. Nessa etapa, podem ser empregados o desarenador, o gradeamento, o peneiramento, a neutralização e a equalização (CAMMAROTA, 2011). Além das unidades de remoção dos sólidos grosseiros, geralmente também há a presença de um medidor

de vazão na entrada do sistema, comumente sendo utilizada a calha Parshall.

Figura 2 - Fases do tratamento preliminar com os objetivos de cada processo.



Fonte: JORDÃO e VOLSCHAN JR. (2009).

O sistema de grades e peneiras é feito por barras com diferentes espaçamentos entre si, possibilitando a remoção de sólidos grosseiros de dimensões diferentes. Segundo a NBR 12.209/2011, dependendo do espaçamento entre as barras, elas podem ser classificadas em grossas (40 e 100 mm), médias (20 a 40 mm), finas (10 a 20 mm) e ultrafinas ou peneiras (0,25 a 10 mm) (BRASIL, 2011).

O desarenador tem por finalidade eliminar ou abrandar os efeitos adversos ao funcionamento das partes componentes das instalações a jusante e o impacto nos corpos receptores como o assoreamento (VON SPERLING, 2005). Seu processo consiste em eliminar fisicamente o material inorgânico que sedimenta no canal composto basicamente por areia, cascalho, escória e silte.

A calha Parshall é um medidor de vazão composto por uma seção convergente na entrada, uma seção de estrangulamento e uma seção divergente na saída. A vazão é obtida mediante a leitura da lâmina d'água no início da seção convergente, onde há um ressalto hidráulico devido ao estrangulamento do fluxo que atravessa a calha. É comumente utilizado um medidor ultrassônico de vazão que trabalha em conjunto com a calha Parshall para o registro dos valores de vazão.

A combinação entre grade fina de barras, desarenador tipo canal e calha Parshall constitui-se no arranjo mais usualmente utilizado para o tratamento preliminar dos esgotos sanitários em estações de tratamento de pequeno e médio porte (JORDÃO E VOLSCHAN JR., 2009).

3.6.2 Tratamento Primário

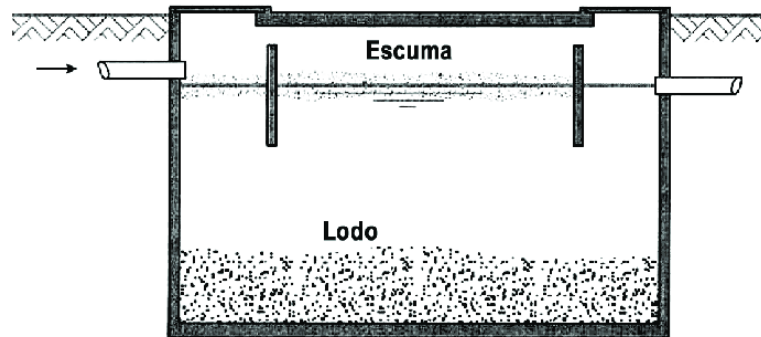
O tratamento primário, por meio de mecanismos físicos, tem como objetivo à remoção dos sólidos em suspensão sedimentáveis e a remoção de sólidos flutuantes. Ocorre também uma redução da DBO, já que sólidos suspensos orgânicos presentes no efluente são removidos por sedimentação (VON SPERLING, 1996), havendo uma eficiência de remoção de matéria orgânica na faixa de 25 a 35% e de sólidos suspensos de 60 a 70% (VON SPERLING, 2005). O tratamento também pode ser feito por meio de mecanismos biológicos, através da digestão anaeróbia. Neste caso, a eficiência é situada entre 40% e 70% na remoção de DQO ou DBO, e 50% a 80% na remoção de SST (ANDRADE NETO, 1999a).

As principais tecnologias empregadas são os decantadores, onde há fluxo lento dos efluentes, possibilitando a sedimentação dos sólidos em suspensão que possuem densidade maior que do efluente sanitário (NUCASE, 2008). Ocorre também a remoção de óleos e graxas, que submergem para a superfície por possuírem densidade menor que do efluente. É feito então a retirada desses materiais sobrenadantes.

Outra tecnologia utilizada no tratamento primário são os reatores biológicos anaeróbios. Compostos principalmente pela combinação de um tanque séptico e filtro anaeróbio, esses reatores tem como objetivo reter os despejos domésticos e/ou industriais por um período determinado, permitir a sedimentação dos sólidos, decomposição da parte orgânica e retenção do material graxo (ÁVILA, 2005).

- Segundo Ávila (2005), os tanques sépticos são unidades de tratamento de esgoto responsáveis pela remoção da matéria orgânica particulada ou dissolvida, em ambientes sem a presença de oxigênio livre. A digestão anaeróbia que ocorre é um processo biológico, no qual diferentes tipos de microorganismos promovem a transformação de carboidratos, proteínas e lipídios em uma biomassa anaeróbia com a formação de biogás.

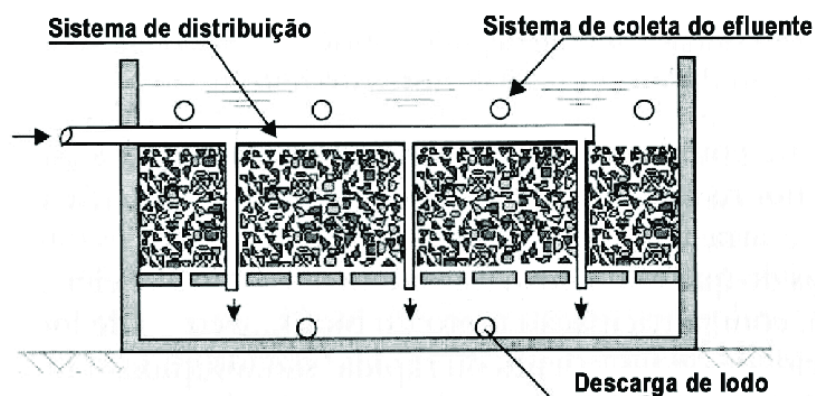
Figura 3 - Esquema de tanque séptico de câmara única.



Fonte: PHILLIPPI (2006).

- Os filtros anaeróbios consistem basicamente em tanques contendo leito de pedras ou outro material inerte que serve de suporte para aderência e desenvolvimento de microrganismos (ÁVILA, 2005). Os filtros são preenchidos por um material inerte que forma películas ou um biofilme na sua superfície, propiciando alta retenção de biomassa no reator. Segundo a autora, a ação metabólica dos microrganismos do biofilme do lodo retido nos interstícios sobre a matéria dissolvida gera a conversão dos compostos orgânicos solúveis em produtos intermediários e finais, especificamente metano e gás carbônico.

Figura 4 - Representação esquemática de filtro anaeróbio.



Fonte: PHILLIPPI (2006).

Os reatores anaeróbios são considerados sistemas do tratamento primário por apresentarem baixa eficiência, porém são uma solução para o tratamento de efluentes sanitários em locais onde há geração de baixas vazões ou em áreas desprovidas de sistema público de esgoto sanitário. A eficiência de remoção da DBO não ultrapassa 70%, necessitando assim um tratamento posterior secundário.

3.6.3 Tratamento Secundário

O tratamento secundário é o conjunto de operações e processos que visam a remoção da matéria orgânica e ocorre com uma eficiência de remoção de sólidos suspensos totais e DBO de cerca 80% e 90%, respectivamente (BRASIL, 2011). Segundo Von Sperling (1996), neste tratamento são reproduzidos os processos naturais de estabilização da matéria orgânica para remoção biológica de poluentes, o que consiste na transformação da matéria orgânica mais complexa em compostos mais simples através da ação de microrganismos presentes no lodo, utilizando esta matéria como fonte de energia para o seu crescimento e subsistência de suas necessidades energéticas. Dentre a grande variedade de microrganismos citam-se as bactérias, os protozoários e os fungos. A base de todo o processo biológico é o contato efetivo entre os microrganismos e o material orgânico presente nos efluentes sanitários, de tal forma que esse possa ser utilizado como alimento pelos microrganismos.

A decomposição biológica é favorecida quando os parâmetros ambientais como temperatura, pH e tempo de detenção são mantidos em faixas ideais para o metabolismo dos microrganismos. Em condições aeróbias o oxigênio deve estar presente em quantidade suficiente para as atividades microbióticas (VON SPERLING, 2005). Ainda segundo o autor, a matéria orgânica quando em contato com os microrganismos gera uma conversão da matéria em gás carbônico, água e mais material celular, que é responsável pelo crescimento e reprodução dos microrganismos. Além disso, quando em condições anaeróbias há a produção de gás metano.

Uma das tecnologias mais utilizadas no tratamento secundário de efluentes sanitários em regiões quentes do Brasil está concentrada na implementação de lagoas de estabilização. Este tratamento é constituído exclusivamente de processos naturais e é classificada pelo processo de estabilização da matéria orgânica em: anaeróbias, facultativas ou maturação/polimento (VON SPERLING, 1996). As lagoas anaeróbias e facultativas são utilizadas para remoção da matéria

orgânica carbonácea, enquanto as lagoas de maturação se propõem em reduzir o número de organismos patogênicos. Esses processos naturais, sob condições parcialmente controladas, são os responsáveis pela transformação de compostos orgânicos putrescíveis em compostos minerais ou orgânicos mais estáveis (CETESB, 1989).

3.6.3.1 Lagoas Anaeróbias

As lagoas anaeróbias funcionam segundo o processo de estabilização que ocorre sem o consumo de oxigênio dissolvido. O consumo da matéria se dá pela digestão ácida e fermentação metânica que ocorrem no processo. Segundo Jordão e Pessoa (2005), estas lagoas funcionam com um princípio parecido a um digestor anaeróbio ou uma fossa séptica.

Com a entrada do efluente sanitário na lagoa, há a sedimentação de sólidos no fundo que são digeridos por bactérias anaeróbias. A redução da DBO depende da formação de ácidos produzidos pela ação de microorganismos acidogênicos, que em seguida são convertidos em metano, gás carbônico e água pelos microorganismos metanogênicos (VON SPERLING, 2002). Estas lagoas tendem a ter uma profundidade maior do que as demais, pois deve-se garantir a anaerobiose, reduzindo a possibilidade da penetração e transporte do oxigênio para as camadas.

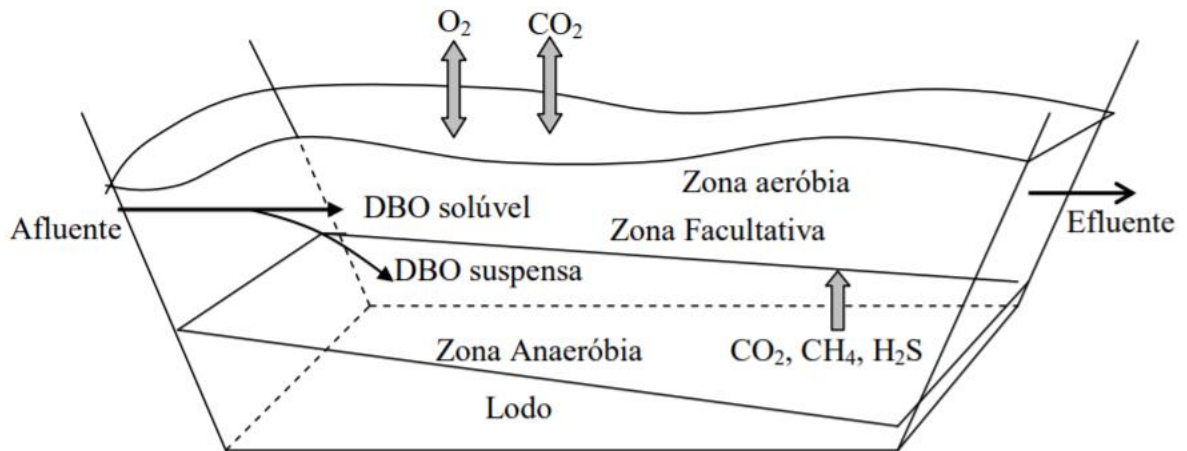
O tempo de retenção em lagoas anaeróbias, na faixa de 2 a 5 dias, correspondente a uma eficiência de remoção de 50 a 70% da DBO do efluente sanitário bruto com tempos de permanência de 1 a 5 dias na lagoa (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994). Com estes valores apresentando baixas eficiências, esta opção de tratamento tende a depender de um pós-tratamento para complementar a redução da matéria orgânica (CAMPOS, 1999).

3.6.3.2 Lagoas Facultativas

Dentre os sistemas de lagoas de estabilização, o processo de lagoas facultativas é o mais simples, dependendo unicamente de fenômenos puramente naturais (VON SPERLING, 2005). O efluente sanitário entra continuamente em uma extremidade da lagoa e sai continuamente na extremidade oposta, permitindo que ele percorra toda a extensão longitudinal e oxide a matéria orgânica presente (RIOS, 2007). Ao longo deste percurso, com elevado tempo de detenção hidráulico, o processo de estabilização da matéria orgânica ocorre em três zonas distintas: nas

zonas aeróbia, facultativa e anaeróbia.

Figura 5 - Zonas de uma Lagoa Facultativa.



Fonte: Von Sperling (2002).

- Na zona aeróbia, a camada mais próxima à superfície, onde os mecanismos de estabilização da matéria orgânica são a oxidação aeróbia e a redução fotossintética, o oxigênio dissolvido é utilizado para a oxidação da matéria orgânica. Este oxigênio é produzido através do processo de fotossíntese por algas que recolhem o CO_2 do meio, produzindo O_2 livre (SILVA, 2010). Essa região superficial pode, em dias quentes, exceder o nível de saturação de oxigênio dissolvido por receber muita radiação solar, acelerando o processo de fotossíntese (STEINMANN, 2003).
- Na camada inferior da lagoa, chamada de anaeróbia, ocorrem os fenômenos típicos de fermentação anaeróbia. Nessas camadas mais profundas, o processo de decomposição do substrato acontece de forma semelhante ao das lagoas anaeróbias, onde a DBO sedimentável é então estabilizada por bactérias anaeróbias que, na ausência de oxigênio dissolvido, utilizam o dióxido de carbono e nitratos como aceptores de elétrons, produzindo gás sulfídrico e metano como subprodutos da decomposição (SANTOS, 2007).
- A camada facultativa fica entre as zonas aeróbias e anaeróbias, e tem predominância de

bactérias que sobrevivem e se proliferam tanto na presença como na ausência de oxigênio dissolvido. Nesta zona, ocorre a diminuição da fotossíntese pelo aumento da profundidade da lagoa onde há diminuição da penetração da luz. À medida que as algas localizadas na zona aeróbia vão produzindo oxigênio, as bactérias heterotróficas aeróbias o utilizam como receptor de elétrons para a degradação do substrato orgânico transformando-os em dióxido de carbono e água (ALMEIDA, 2017). Também há a presença de bactérias facultativas que, na ausência de oxigênio dissolvido na água, utilizam-se de outros compostos como nitratos, sulfatos e gás carbônico como receptor de elétrons.

Outro fator importante para a eficiência da lagoa facultativa é a bióta existente. As microalgas são o grupo mais diversificado de microorganismos nas lagoas facultativas e geralmente estão presentes nas seguintes divisões: *Cyanobacteria* (algas verde azuladas e atualmente denominadas cianobactérias), *Euglenophyta* (flagelados pigmentados), *Chlorophyta* (algas verdes) e *Bacillariophyta* (diatomáceas) (JENSEN, 2014). A diversidade das microalgas em ambientes hipereutróficos de diferentes regiões está diretamente ligada às características das águas residuárias de cada local, como também às condições climáticas, com ênfase na insolação, intensidade luminosa e horas de luz, além da temperatura ambiente, que muda com a latitude e altitude (ZANOTELLI, 2002).

De acordo com Jordão e Pessôa (2005), as algas verdes, que dão à lagoa uma cor esverdeada indicam geralmente boas condições, e são tipicamente os gêneros *Chlamydomonas*, *Euglenas*, *Chlorellas*. *Chlamydomonas* e *Euglenas* são normalmente os primeiros a aparecerem na lagoa e tendem a ser dominantes nos períodos de frio, uma vez que *Euglenas* tem grande capacidade de adaptação a diferentes condições climáticas. Ainda segundo os autores, a condição de pH baixo favorece o desenvolvimento de azuis-verdes, sendo elas *Oscillatoria*, *Phordimum*, *Anacystis*, *Anabaena*. A floração de certas espécies formam natas que se decompõem facilmente provocando a exalação de odores incômodos, reduzindo a penetração de luz solar e diminuindo, conseqüentemente, a produção de oxigênio dissolvido.

3.6.3.3 Lagoas de Maturação

As lagoas de maturação são usadas ao final de um sistema clássico de lagoas de estabilização ou ao final de qualquer sistema de tratamento de esgotos com o objetivo principal de remover organismos patogênicos (JORDÃO e PESSÔA, 2005), principalmente ovos de helmintos e *Escherichia coli*. Nestas lagoas, predominam condições ambientais hostis para as bactérias patogênicas como radiação ultravioleta, elevado pH, elevado OD, temperaturas mais baixas que o corpo humano, falta de nutrientes e predação por outros organismos (WHO, 1987).

À medida que as algas vão fazendo uso da energia solar para a produção de O₂, elas recolhem CO₂ da massa líquida aumentando as taxas de pH (ALMEIDA, 2017). Com o acréscimo do pH ocorre rapidamente a morte de tais bactérias, sendo a sua completa inativação em valores de pH acima de 9,4 (MARA, 2003).

Ao final do tratamento secundário, o efluente tratado apresenta nível de poluição por matéria orgânica bastante reduzido, o que proporciona, na maioria dos casos, que estes possam ser lançados em um corpo hídrico receptor (NEVES, 1974).

3.7 INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS METEOROLÓGICOS

Os parâmetros ambientais e meteorológicos tem uma influência direta no desempenho e na eficiência das lagoas facultativas. Pode-se afirmar que a temperatura é um dos fatores mais importantes, limitando a utilização de determinados tipos de lagoas para regiões de climas diferentes, como é o caso das lagoas facultativas que não são recomendadas em locais onde há baixas temperaturas ao longo do ano. De acordo com Jordão e Pessôa (2005), os principais fatores incontroláveis, ou seja, que não se pode exercer qualquer ação visando modificá-los, como por exemplo, fatores meteorológicos, hidrológicos e de intensidade luminosa, são a precipitação pluviométrica, temperatura e radiação solar.

3.7.1 Precipitação Pluviométrica

A incidência de chuvas pode influenciar na eficiência da lagoa de acordo com a sua duração e intensidade. Com maiores volumes pode ocorrer uma diluição desfavorável aos processos e ocasiona a diminuição da concentração de sólidos e da matéria orgânica, podendo

modificar o equilíbrio biológico ou hidráulico do sistema. Segundo D'Alessandro (2015), as taxas de remoção de DBO e SST diminuem em períodos de chuva. Consequentemente, em períodos secos há maior remoção dos parâmetros, pelo efluente estar mais concentrado.

3.7.2 Temperatura

A temperatura tem influência direta sobre processos bioquímicos como a velocidade da fotossíntese, a velocidade do metabolismo dos organismos e a decomposição pelo metabolismo bacteriano (JORDÃO e PESSÔA, 2005). Segundo os autores, as faixas de temperatura recomendadas para o bom desenvolvimento dos microrganismos segundo as diferentes camadas da lagoa são: na camada anaeróbia o limite inferior é 15°C, isto é, a temperaturas abaixo deste valor as bactérias anaeróbias têm pouca atividade; nas zonas aeróbias e facultativas a faixa aplicável é de 5°C a 35°C. A atividade das bactérias aeróbias e das algas é diminuída abaixo do valor inferior.

3.7.3 Radiação Solar

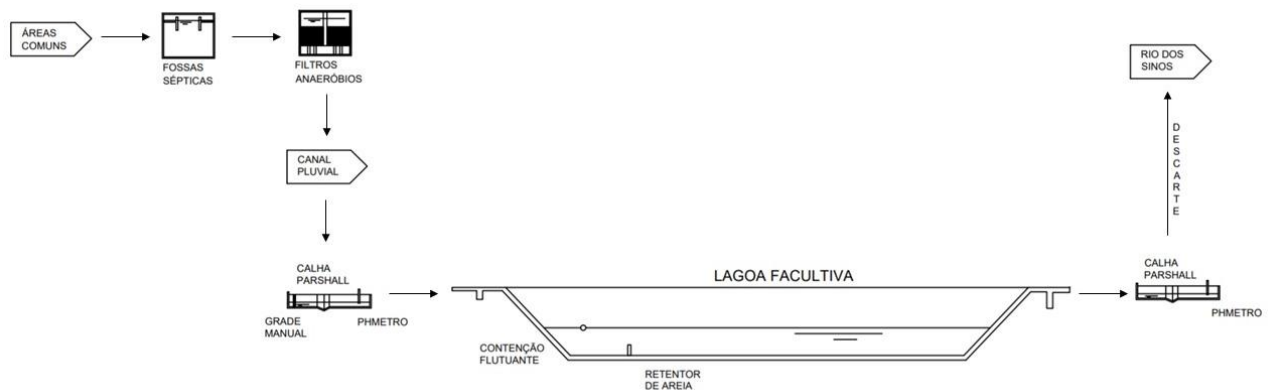
O sol é a força motriz no processo de purificação de sistemas de lagoas, como é em qualquer corpo de água natural (GU e STEFAN, 1995). A inativação por luz solar é um dos principais fatores abióticos que afetam a persistência e a sobrevivência de microrganismos em ambientes aquáticos (BAE e WUERTZ, 2009). A fotossíntese das algas também depende de insolação, assim como a inativação de organismos indicadores fecais como *E.coli*.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA LAGOA FACULTATIVA

A lagoa facultativa está localizada em uma empresa siderúrgica que capta água e lança seus efluentes no rio dos Sinos. Os efluentes sanitários começam a ser gerados na formação de efluentes domésticos que passam por um tratamento primário através de um sistema de fossas e filtros anaeróbios nos locais de origem. Após o tratamento, este efluente é lançado na rede de drenagem pluvial e transcorre diretamente para a lagoa. Desta forma, este efluente é caracterizado pela combinação dos efluentes gerados nos banheiros das áreas administrativas e industriais da Usina com uma parcela referente aos escoamentos das águas da chuva e infiltrações referentes a umectação das vias.

Figura 6 - Fluxograma do Efluente Sanitário.

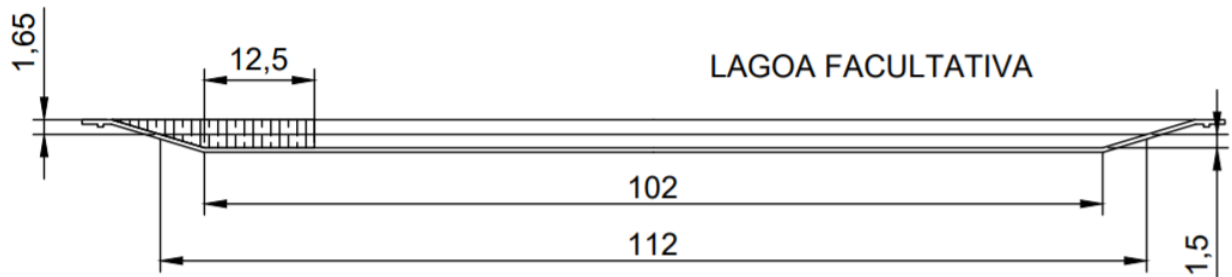


Fonte: Da autora (2021).

O sistema da lagoa é composto por uma grade manual responsável por remover sólidos grosseiros, uma calha Parshall em conjunto com um medidor ultrassônico de vazão, um phmetro, uma barreira de contenção flutuante para reter e acumular sólidos na entrada e um retentor de areia formado por placas de concreto, localizado nos primeiros 12,5 metros no interior da lagoa. Na saída da lagoa há uma caixa de saída, seguida da tubulação de concreto que leva até uma caixa de passagem e de mistura, uma calha Parshall com medidor ultrassônico e um phmetro. Após, o efluente é descartado no rio. A lagoa possui uma profundidade de 1,50 metros (considerando lodo

e lâmina líquida), área de 3920 m², volume de 4855 m³ e borda livre de 1,65 metros, aproximadamente. O tempo de residência do efluente no sistema, segundo o projeto, é em torno de 20 dias com vazões médias anuais do afluente e do efluente de 1374 m³dia⁻¹ e 1380 m³dia⁻¹, respectivamente.

Figura 7 - Corte Longitudinal da Lagoa Facultativa.



Fonte: Da autora (2021).

4.2 LICENÇA DE OPERAÇÃO

A indústria siderúrgica tem uma licença ambiental vigente, concedida pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler (FEPAM), do estado do Rio Grande do Sul. A licença de operação foi emitida em Junho de 2020 e está vigente até o início do ano de 2022. Nela, se caracteriza as condições e restrições atribuídas ao empreendimento, dentre estas as condicionantes que devem ser cumpridas quanto a preservação e conservação ambiental, abastecimento de água, emissões atmosféricas, resíduos sólidos, águas subterrâneas e os padrões de emissão dos efluentes líquidos sanitários.

Tabela 1 - Parâmetros e padrões de emissão.

Parâmetro	Padrão de emissão	Unidade
DBO _{5,20}	<= 60	mgO ₂ /L
DQO	<= 180	mgO ₂ /L
Sólidos Sedimentáveis	<= 1,0	mL/L
Sólidos Suspensos Totais	<= 60	mg/L
pH	Entre 6 e 9	-
Temperatura	< 40	°C
Coliformes Termotolerantes	<=100000	NMP/100 mL

Fonte: Licença de Operação concedida (2021).

Para fins de automonitoramento, os parâmetros listados na Tabela 1 são analisados e reportados por meio da Planilha de Acompanhamento de Efluentes Líquidos do Sistema de Automonitoramento de Efluentes Líquidos das Atividades Poluidoras Localizadas no RS (SISAUTO) do órgão legislador. De acordo com a licença, todos os padrões de emissão devem ser atendidos, independente do acompanhamento ser feito no SISAUTO. Ou seja, mesmo que os dados sejam reportados a FEPAM, os mesmos ainda precisam estar de acordo com os valores pré estabelecidos na LO. Se os valores estiverem acima do permitido, é necessário reportar ao órgão uma carta com a justificativa e plano de ação.

4.3 COLETA DE DADOS

4.3.1 Coleta dos parâmetros da lagoa

Os dados coletados para os parâmetros relacionados aos efluentes sanitários foram realizados mediante laudos das análises de monitoramento periódicos do efluente de entrada e saída da lagoa facultativa. Foram realizadas coletas para análises físico-químicas dos parâmetros: DQO, teor de sólidos (sólidos suspensos e sedimentáveis), DBO_{5,20}, coliformes termotolerantes, temperatura e pH, referentes ao monitoramento semanal do efluente que entra na lagoa e que é despejado no rio dos Sinos, no período de janeiro a dezembro de 2020, totalizando 52 coletas. As coletas de DQO, DBO_{5,20}, teor de sólidos e coliformes termotolerantes foram realizadas por um laboratório especializado que cumpre com as normas de coleta e preservação de amostras da NBR 9.898/87 - Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores

(ABNT, 1987).

Já para a coleta de dados de pH e temperatura, utiliza-se um pHmetro e uma sonda com sensor de temperatura instalados na entrada e na saída do sistema da lagoa que é de responsabilidade dos próprios operadores da estação de tratamento de efluentes da Usina.

4.3.2 Coleta das amostras para caracterização da biota da lagoa

A determinação da biota existente na lagoa foi feita a partir de um plano de amostragem simples e não composto, onde foi definido cinco pontos para coletas especificadas na entrada, meio e final da lagoa facultativa a uma profundidade de 0,8 metros da superfície. Após a coleta, foi feita a caracterização e identificação dos principais grupos de microalgas presentes na água residual, baseado na avaliação quantitativa e qualitativa, ao utilizar um microscópio óptico e seguindo o procedimento baseado no manual da CETESB L5.303 – Fitoplâncton de água doce: Métodos qualitativo e quantitativo (CETESB, 2012), a fim de se avaliar os diferentes gêneros de algas encontrados nas amostras. A Tabela 2 apresenta os pontos da lagoa onde as amostragens foram feitas.

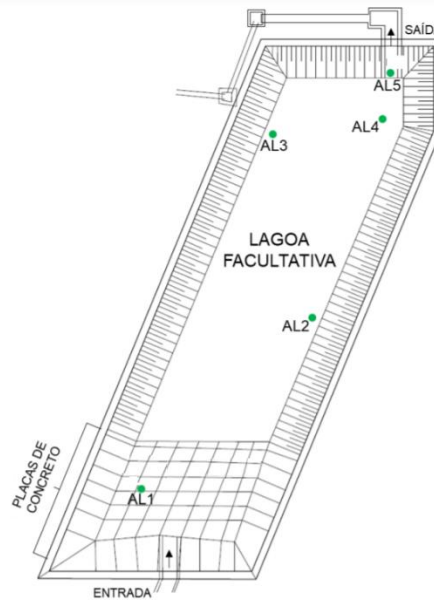
Tabela 2 - Identificação dos pontos de amostragem de algas.

Código	Ponto de Amostragem Simples
AL1	Entrada da lagoa
AL2	Primeira parte da lagoa
AL3	Segunda parte da lagoa, lado esquerdo
AL4	Segunda parte da lagoa, lado direito
AL5	Saída da lagoa

Fonte: Da autora (2021).

A Figura 8 apresenta a localização dos pontos de amostragem dentro da lagoa facultativa.

Figura 8 – Esquema da lagoa facultativa com os pontos de amostragem.



Fonte: Da autora (2021).

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Os resultados foram avaliados através de estatística descritiva dos parâmetros utilizando a Análise de Variância (ANOVA), que compara vários grupos de interesse e avalia se há diferenças consideráveis entre os grupos investigados. Após, foi utilizado o teste Tukey a 5% para identificar quais médias são iguais ou diferentes. Através do teste é possível analisar se há diferença significativa entre as médias. Foi utilizado o software SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2011) para realização das análises.

Para a análise estatística foi realizada a comparação dos dados coletados no ano de 2020, divididos entre as estações outono, inverno, primavera e verão, além de coletas semanais na entrada e na saída da lagoa facultativa. O coeficiente de variação (CV) foi classificado de acordo com os percentuais: baixo, inferior a 10%; médio, entre 10 e 20%; alto, entre 20 e 30%; e muito alto, superior a 30% (PIMENTEL GOMES, 1985), onde a classificação do CV é inversamente proporcional à classificação da precisão do experimento. Dessa forma, um baixo CV representa alta precisão, enquanto um CV alto representa baixa precisão.

O cálculo da eficiência foi baseado na equação estabelecida por Von Sperling (2005), que considera a média aritmética de todos os valores encontrados referentes aos parâmetros $DBO_{5,20}$,

DQO, sólidos suspensos, pH, temperatura e coliformes termotolerantes. Ao realizar a análise da eficiência de remoção dos parâmetros indicados, se comparou as médias dos parâmetros citados acima e os valores máximos previstos pela LO vigente a fim de identificar quais parâmetros estão fora dos limites estabelecidos pela legislação.

$$\eta (\%) = \frac{S_o - S_e}{S_o} \times 100$$

Onde:

η = eficiência do sistema (%).

S_o = concentração efluente sanitário na entrada da lagoa (mg L^{-1}).

S_e = concentração efluente sanitário na saída da lagoa (mg L^{-1}).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE SANITÁRIO

5.1.1 Demanda Bioquímica de Oxigênio

Os resultados obtidos por meio do monitoramento da entrada e da saída da lagoa facultativa, indicam que o sistema opera com média geral de 10,30 mg de DBO_{5,20} por litro de efluente na entrada e 9,90 mg de DBO_{5,20} por litro de efluente na saída. Observa-se que as médias, tanto da entrada quanto da saída, estão bem abaixo do limite estabelecido pela LO concedida a Usina, que é de 60 mg L⁻¹. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos pelo teste de ANOVA e de Tukey para a DBO_{5,20}.

Tabela 3 - Análise de Variância e Teste Tukey da DBO_{5,20}.

Análise de Variância (ANOVA)		
	DBO _{5,20} entrada (mg L ⁻¹)	DBO saídas _{5,20} (mg L ⁻¹)
Média geral	10,30	9,90
Desvio padrão	5,97	8,66
GL	3	3
CV (%)	57,96	87,5
Fc	1,23	3,31
Pr > FC	0,3082	0,0277*
Teste de Tukey a 5%		
Outono	10,49 a	7,90 ab
Verão	12,37 a	8,89 ab
Inverno	7,89 a	5,84 b
Primavera	10,44 a	15,97 a

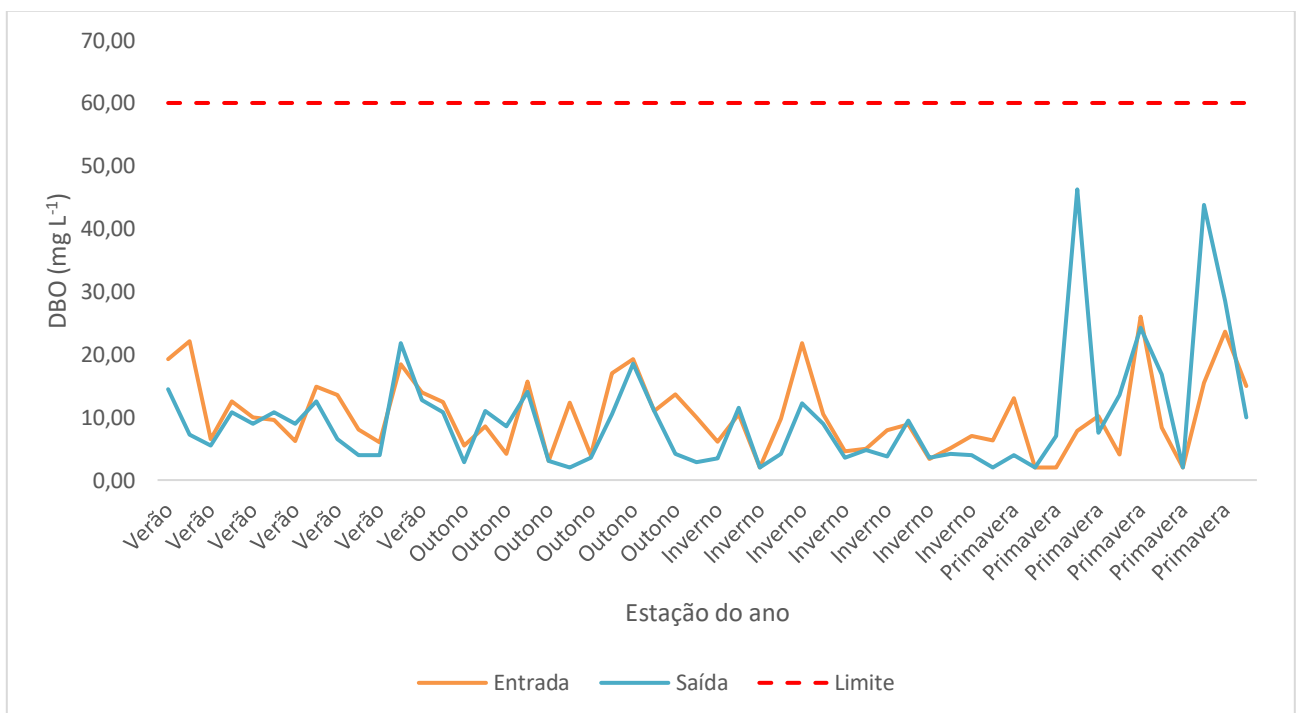
Nível de significância a 5%*. Média com letras iguais indicam que não há diferença entre as mesmas no nível de significância de 5%.

Fonte: Da autora (2021).

Ao aplicar o teste de Tukey é possível observar que para o efluente sanitário que entra na lagoa não há diferenças estatísticas significativas entre as médias das estações. Já para o efluente da saída da lagoa, é observado que no outono e no verão as médias também são consideradas estatisticamente iguais, porém diferem do inverno e da primavera, uma vez que, apresentaram significativa diferença se comparadas entre si.

Ao comparar os valores encontrados para CV de entrada e da saída, constatou-se que ambos apresentam valores maiores do que 30%, resultando em índices muito altos para os coeficientes de variação, pois há alta dispersão de dados coletados ao longo das quatro estações do ano. Isto se deu, principalmente, pelos valores coletados no período da primavera, conforme pode ser visto na Figura 9, onde houve picos de $DBO_{5,20}$ na média de 40 a 50 $mg L^{-1}$ na saída da lagoa. Esta variação pode ser explicada pela influência da sazonalidade, pois em períodos chuvosos a tendência é que haja diluição do efluente e, conseqüentemente, ocorrerá diminuição na eficiência da $DBO_{5,20}$. Já em períodos secos, ocorre maior consumo da matéria orgânica devido a maior concentração do efluente (D'ALESSANDRO, 2015). Embora estes valores tenham sido observados, quando se calcula a eficiência de remoção da $DBO_{5,20}$ do sistema a diferença entre a entrada e a saída continua a diminuir, fazendo com que os valores reportados e despejados no rio dos Sinos estejam muito abaixo do estabelecido pela legislação ambiental estadual.

Figura 9 - Variação da $DBO_{5,20}$ de entrada e saída da Lagoa Facultativa em 2020.



Fonte: Da autora (2021).

5.1.2 Demanda Química de Oxigênio

A DQO apresentou médias gerais na entrada da lagoa facultativa de 46,03 mg L⁻¹ e na saída de 25,54 mg L⁻¹. O alto valor do coeficiente de variação, bem como dos desvios padrão encontrados, de 24,52 e 12,55 respectivamente, comprovam que houve uma alta heterogeneidade nos dados coletados. Ao aplicar o teste de Tukey, conforme apresentado na Tabela 4, é possível observar que para o efluente sanitário que sai da lagoa não há diferenças estatísticas significativas entre as médias das estações. Já para o efluente de entrada da lagoa, no outono e verão as médias também são consideradas estatisticamente iguais, porém diferem do inverno e primavera que apresentaram significativa diferença se comparadas entre si. No inverno tivemos os menores valores para a média, enquanto que na primavera o valor de 60,45 mg L⁻¹ destoou dos demais, a qual pode ser atribuída à precipitações pluviométricas elevadas, baixas temperaturas e baixa insolação na lagoa (SCARATTI, 2014) que interferem na fotossíntese, no desempenho das atividades dos microorganismos e diluição do efluente.

Tabela 4 - Análise de Variância e Teste Tukey da DQO.

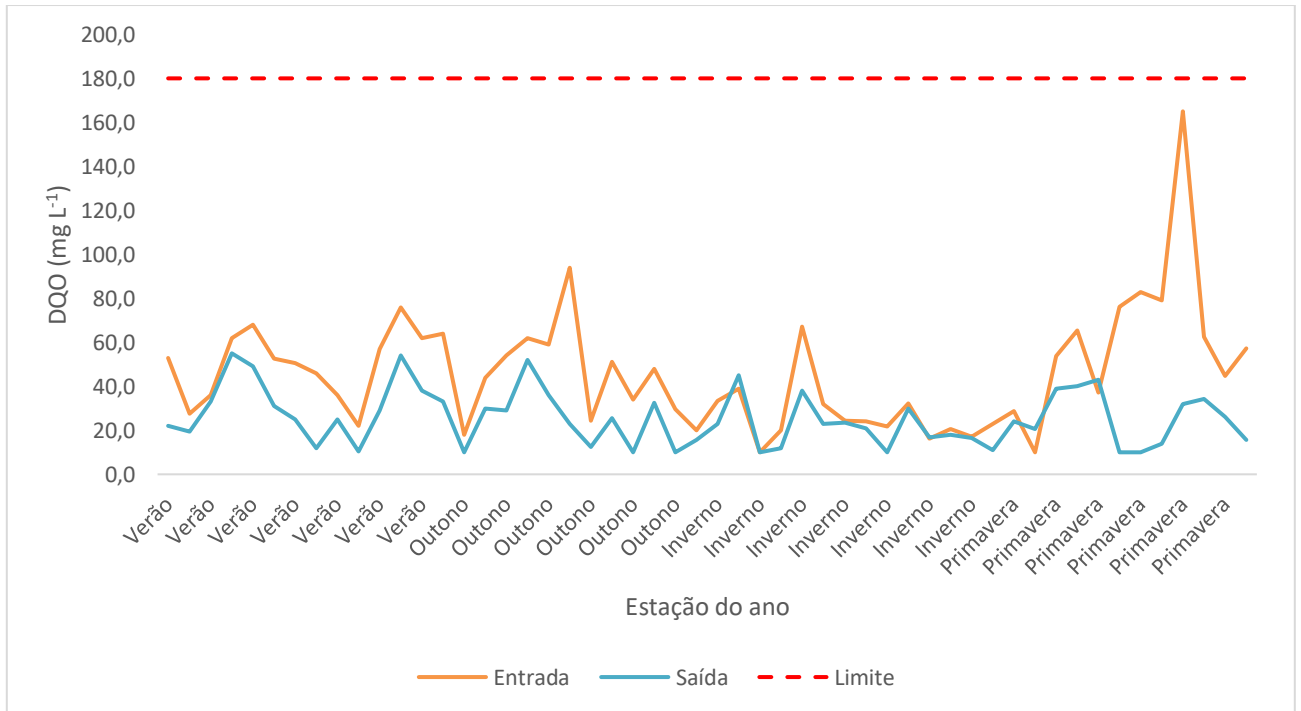
Análise de Variância (ANOVA)		
	DQO entrada (mg/L)	DQO saída (mg/L)
Média geral	46,03	25,54
Desvio padrão	24,52	12,55
GL	3	3
CV (%)	53,26	49,13
Fc	4,08	1,21
Pr > FC	0,0116*	0,3175
Teste de Tukey a 5%		
Outono	46,31 ab	24,53 a
Verão	49,82 ab	31,00 a
Inverno	27,49 b	22,06 a
Primavera	60,45 a	24,55 a

Nível de significância a 5%*. Média com letras iguais indicam que não há diferença entre as mesmas no nível de significância de 5%.

Fonte: Da autora (2021).

De acordo com a Figura 10, os valores de DQO permaneceram dentro do limite estabelecido pela licença de operação, embora os valores encontrados apresentem alta variabilidade, tendo uma eficiência de remoção de aproximadamente 45%.

Figura 10 - Variação da DQO de entrada e saída da Lagoa Facultativa em 2020.



Fonte: Da autora (2021).

5.1.3 pH

Segundo os valores calculados para $Pr > FC$ na entrada e na saída da lagoa, apresentados na Tabela 5, os mesmos apresentam valores muito abaixo de 0,05 e foram considerados estatisticamente significantes, comprovando que há diferença estatística entre os dados coletados para o pH. Além disso, os coeficientes de variação de 4,89 e 7,74 indicam que houve baixa variabilidade, o que expressa uma homogeneidade dos valores encontrados.

Tabela 5 - Análise de Variância e Teste Tukey do pH.

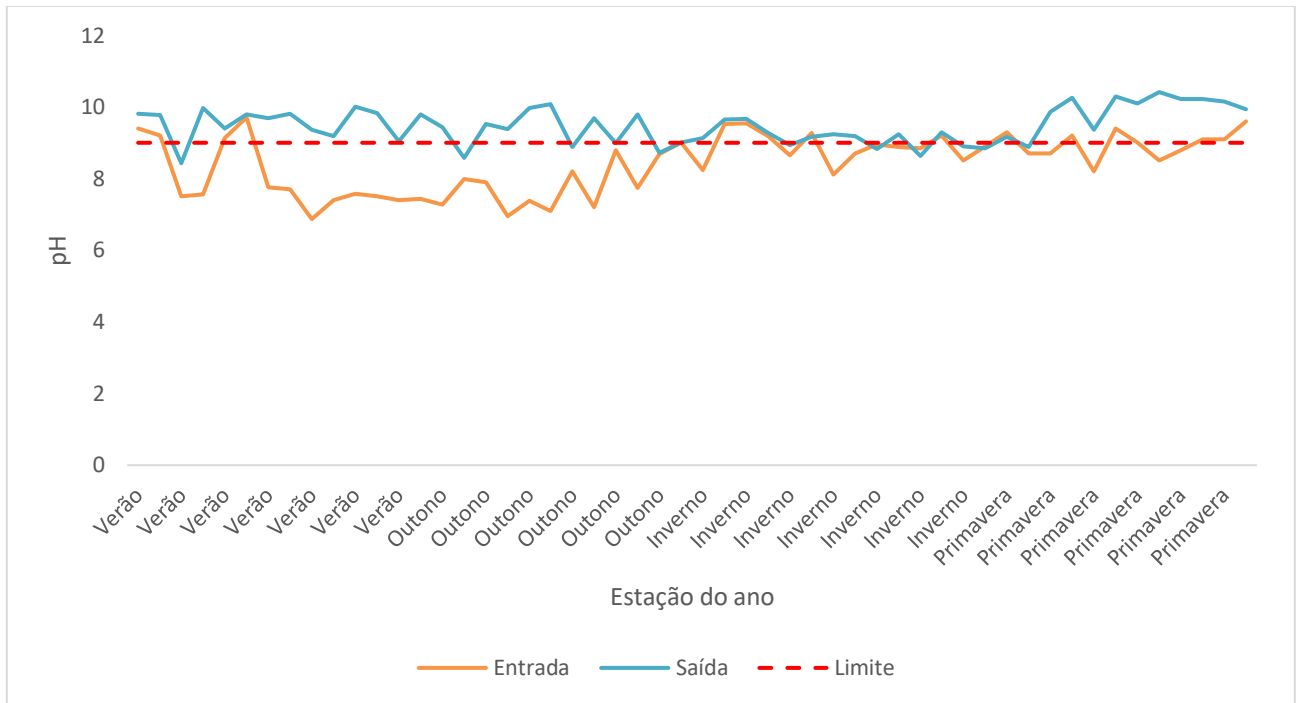
Análise de Variância (ANOVA)		
	pH entrada	pH saída
Média geral	8,43	9,47
Desvio padrão	0,65	0,46
GL	3	3
CV (%)	7,74	4,89
Fc	10,32	4,82
Pr > FC	0,0000*	0,0052*
Teste de Tukey a 5%		
Outono	7,81 b	9,37 ab
Verão	8,05 b	9,54 ab
Inverno	8,89 a	9,15 b
Primavera	8,96 a	9,82 a

Nível de significância a 5%*. Média com letras iguais indicam que não há diferença entre as mesmas no nível de significância de 5%.

Fonte: Da autora (2021).

Ao analisar as médias gerais de entrada e saída do efluente, fica evidente que os valores de 8,43 e 9,47 apresentam uma característica muito alcalina, o que pode ser explicado por um alto consumo de CO₂ pelas algas (BRANCO, 1978). Embora os valores encontrados sejam constantes durante o ano, como pode ser observado na Figura 11, sinalizando um possível desequilíbrio da biota existente na lagoa, a radiação solar também influencia diretamente para que os valores de pH apresentem taxas mais altas, principalmente entre as 12 e 16 horas (MENDONÇA, 1990). Isso se dá pelo aumento da atividade enzimática em períodos onde há mais incidência do sol na lagoa, e por isso a fotossíntese intensa causa um aumento no pH até valores de 10,5.

Figura 11 - Variação do pH de entrada e saída da Lagoa Facultativa em 2020.



Fonte: Da autora (2021).

Em discordância com a LO expedida pela FEPAM, os valores de pH encontrados ao longo do ano não estão dentro dos limites estabelecidos de lançamento. Tendo em vista que alterações nos valores de pH também podem aumentar o efeito de substâncias químicas que são tóxicas para os organismos aquáticos, tais como os metais pesados, a adoção de medidas de correção são necessárias para o descarte do efluente no corpo receptor. Esta correção pode ser feita através do uso de ácidos minerais como ácido clorídrico ou gás carbônico, que apresenta como vantagem seu baixo custo, podendo inclusive ser produzido na própria unidade industrial, além de eliminar o manuseio de ácidos minerais que são corrosivos.

5.1.4 Temperatura

A temperatura, conforme a Tabela 6, apresentou médias gerais de entrada e de saída relativamente próximas. O valor de $Pr > FC$ de aproximadamente zero demonstra que há diferença estatística entre os dados coletados para a temperatura. Isto é comprovado ao aplicar o teste de Tukey, onde na entrada da lagoa apenas primavera e outono não apresentam diferenças estatísticas

significativas entre as médias das estações. Na saída da lagoa, o outono não apresentou diferença significativa com o verão e primavera, diferindo apenas do inverno.

Segundo o Atlas Socioeconômico do Estado, as temperaturas no Rio Grande do Sul apresentam grande variação sazonal, com verões quentes e invernos bastante rigorosos, com a ocorrência de geadas e precipitação eventual de neve. As temperaturas médias variam entre 15°C e 18°C, com mínimas de até -10°C e máximas de 40°C. Essas temperaturas sazonais influenciam, pois é possível observar que a temperatura do efluente sanitário tende a se igualar à temperatura do ar, mas a variação da temperatura do efluente é sempre diferente da variação da temperatura do ar. Isto ocorre porque o calor específico da água é superior ao calor específico do ar, sendo assim, quando comparada ao ar, a água requer um maior ganho de energia para aumentar sua temperatura (KLUSENER, 2006).

Tabela 6 - Análise de Variância e Teste Tukey da Temperatura.

Análise de Variância (ANOVA)		
	T entrada (°C)	T saída (°C)
Média geral	22,00	23,49
Desvio padrão	3,48	3,07
GL	3	3
CV (%)	15,64	13,08
Fc	23,26	25,59
Pr > FC	0,0000*	0,0000*
Teste de Tukey a 5%		
Outono	21,00 b	22,00 bc
Verão	28,31 a	29,27 a
Inverno	17,09 c	19,01 c
Primavera	22,55 b	23,68 b

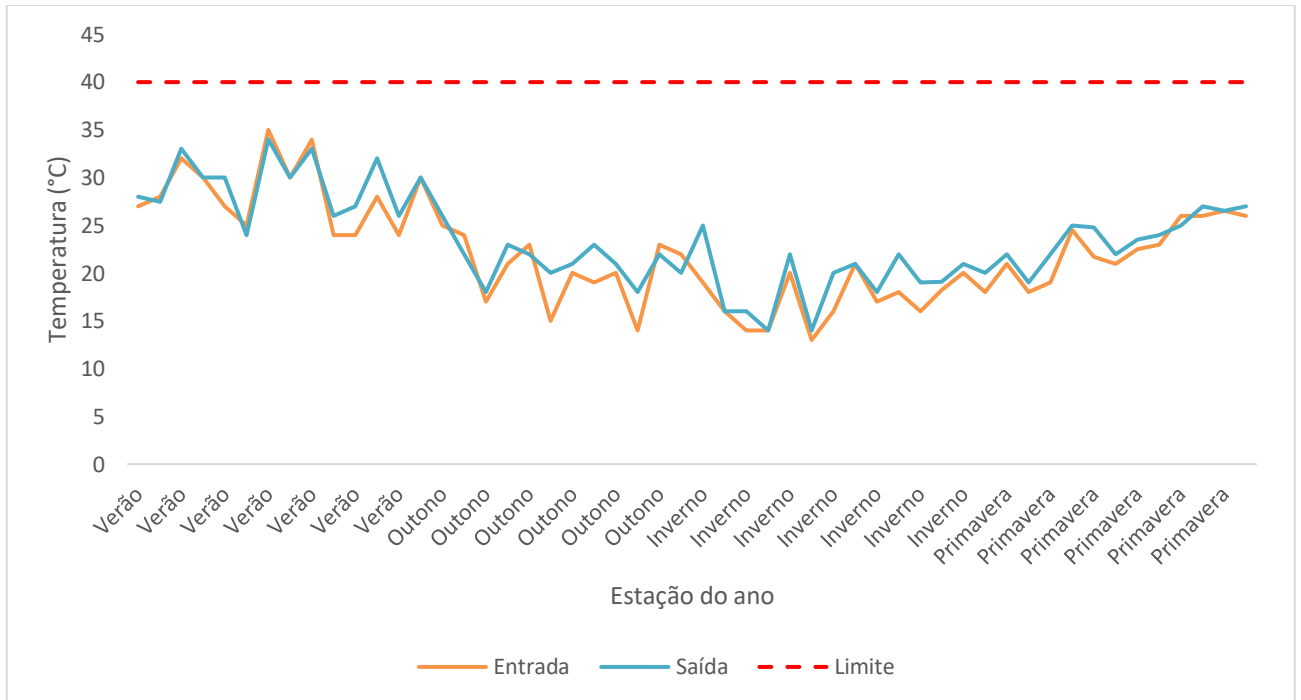
Nível de significância a 5%*. Média com letras iguais indicam que não há diferença entre as mesmas no nível de significância de 5%.

Fonte: Da autora (2021).

A temperatura de saída da lagoa apresentou um valor médio de 23,49°C enquanto a entrada foi de 22°C. Esse aumento pode ser explicado pela maior exposição à radiação solar que ocorre na lagoa e acaba por influenciar na atividade microbológica que ocorre no seu interior e

que aumenta sua temperatura. Apesar disso, a temperatura do período estudado apresenta conformidade com o padrão de lançamento definido na legislação que deve ser inferior a 40°C, como é observado na Figura 12.

Figura 12 - Variação da Temperatura de entrada e saída da Lagoa Facultativa em 2020.



Fonte: Da autora (2021).

5.1.5 Coliformes Termotolerantes

As médias gerais de entrada e saída para os valores de coliformes termotolerantes na lagoa facultativa apresentaram valores de 18067,73 NMP/100 mL e 8589,04 NMP/100 mL, respectivamente. Os altos valores para o desvio padrão e CV revelam que houve grande variação nos resultados das coletas realizadas, e entretanto, essa variação já era esperada uma vez que a faixa de aceitação para o valor limite determinado na licença de operação é de 0 a 100000 NMP/100mL. Segundo o teste de Tukey aplicado na Tabela 7, não há diferenças significativas entre todas as médias das estações, tanto na entrada quanto na saída da lagoa.

Tabela 7 - Análise de Variância e Teste Tukey de Coliformes Termotolerantes.

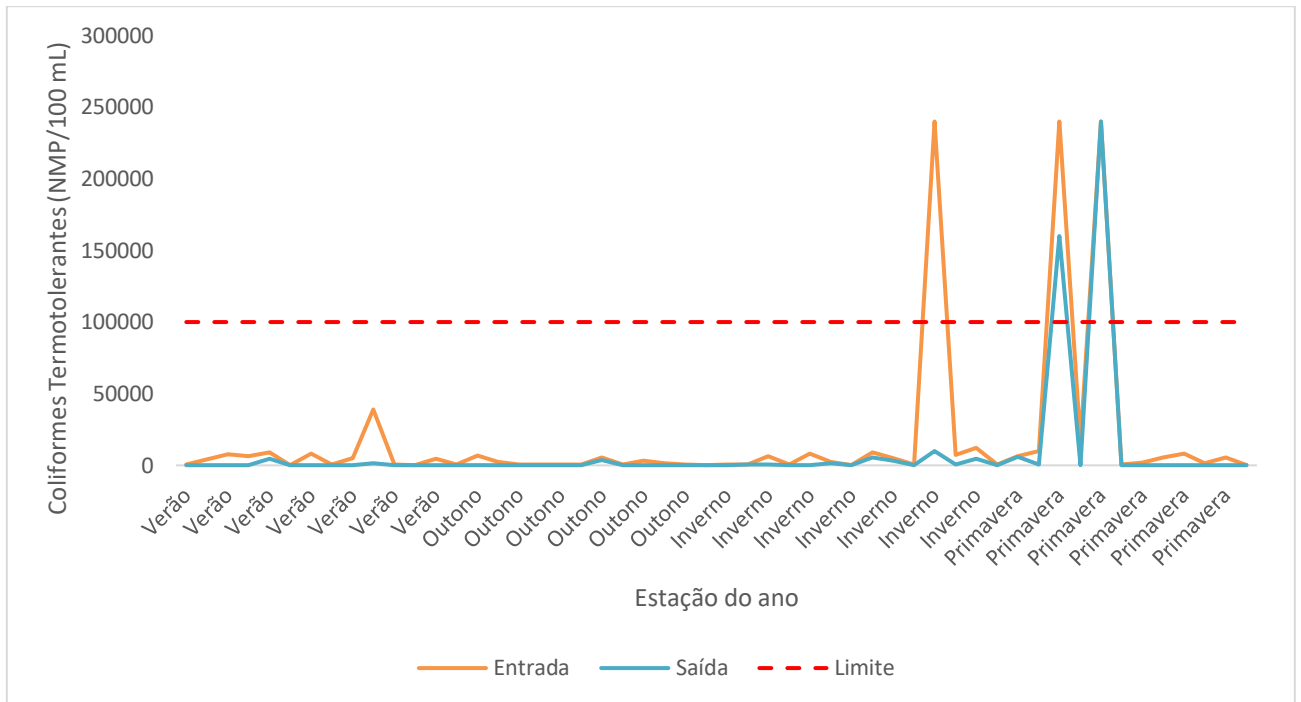
Análise de Variância (ANOVA)		
	Coliformes entrada (NMP/100mL)	Coliformes saída (NMP/100mL)
Média geral	18067,73	8589,04
Desvio padrão	55219,15	38356,08
GL	3	3
CV (%)	305,64	446,57
Fc	1,35	2,04
Pr > FC	0,2693	0,1214
Teste de Tukey a 5%		
Outono	1853,85 a	376,92 a
Verão	6664,61 a	538,46 a
Inverno	22500,00 a	2116,92 a
Primavera	41248,46 a	31323,85 a

Nível de significância a 5%*. Média com letras iguais indicam que não há diferença entre as mesmas no nível de significância de 5%.

Fonte: Da autora (2021).

Embora as médias gerais tenham ficado abaixo do limite estabelecido na legislação para o descarte, foi observado na Figura 13 que na primavera houveram duas ocorrências pontuais em que o efluente sanitário de saída apresentou valores acima de 100000 NMP/100 mL. Nas duas ocasiões, o valor medido na entrada da lagoa era maior do que o máximo detectado pelo ensaio no laboratório, ou seja, pela não determinação exata do valor encontrado não foi possível determinar uma eficiência de redução de coliformes termotolerantes precisa para estes dois períodos. A eficiência global do sistema foi de 52% para remoção da coliformes, mas este valor poderia ser ainda maior, tendo em vista que ao longo do ano os valores de saída foram muito abaixo dos de entrada. Entretanto, houve grande influência dos dois picos observados na primavera.

Figura 13 - Variação dos Coliformes Termotolerantes de entrada e saída da Lagoa Facultativa em 2020.



Fonte: Da autora (2021).

Sabe-se que as bactérias de coliformes termotolerantes são patogênicas, porém sua presença em grandes números indicam a possibilidade da existência de microorganismos patogênicos que são responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, como por exemplo, a desintéria bacilar, a febre tifóide e a cólera (AMARAL, 2003). Desta forma, faz-se necessário que hajam medidas de tratamento para a redução destes valores quando os mesmos não estão nos limites aceitáveis. Uma das possibilidades de tratamento é utilizando o método de desinfecção do efluente sanitário com a dosagem de um clorador, pois essa aplicação pode melhorar a qualidade microbiológica do efluente, além de ter viabilidade do ponto de vista operacional, tendo como vantagem a praticidade, a eficiência, a flexibilidade e a dispensa de energia elétrica (CAMPOS, 2014).

5.1.6 Teor de Sólidos

Na análise preliminar de teor de sólidos foram considerados os sólidos suspensos totais e sólidos sedimentáveis. Entretanto, após a análise dos dados de sólidos sedimentáveis, se observou que todas as coletas apresentaram resultados abaixo do mínimo detectado pelo ensaio do laboratório, tanto na entrada quanto na saída da lagoa. Desta forma, se aplicou as análises estatísticas apenas para os sólidos suspensos totais.

De acordo com a Tabela 8, a média geral de SST na entrada da lagoa foi de 34,28 mg/L e para a saída da lagoa de 28,15 mg/L. Embora as médias tenham apresentado valores baixos, o CV e desvio padrão apresentaram valores altos, o que indica que houve baixa homogeneidade nos dados e grande variabilidade nos resultados das amostras coletadas. Na entrada da lagoa, as médias nas estações foram estatisticamente semelhantes entre si, enquanto na saída a semelhança se deu entre as médias do outono e inverno e do verão e primavera.

Tabela 8 - Análise de Variância e Teste Tukey dos Sólidos Suspensos Totais.

Análise de Variância (ANOVA)		
	SST entrada (mg/L)	SST saída (mg/L)
Média geral	34,29	28,15
Desvio padrão	13,92	11,71
GL	3	3
CV (%)	40,6	41,61
Fc	2,26	3,70
Pr > FC	0,0937	0,0178*
Teste de Tukey a 5%		
Outono	33,61 a	26,92 b
Verão	36,92 a	33,69 a
Inverno	26,54 a	19,84 b
Primavera	40,08 a	32,15 a

Nível de significância a 5%*. Média com letras iguais indicam que não há diferença entre as mesmas no nível de significância de 5%.

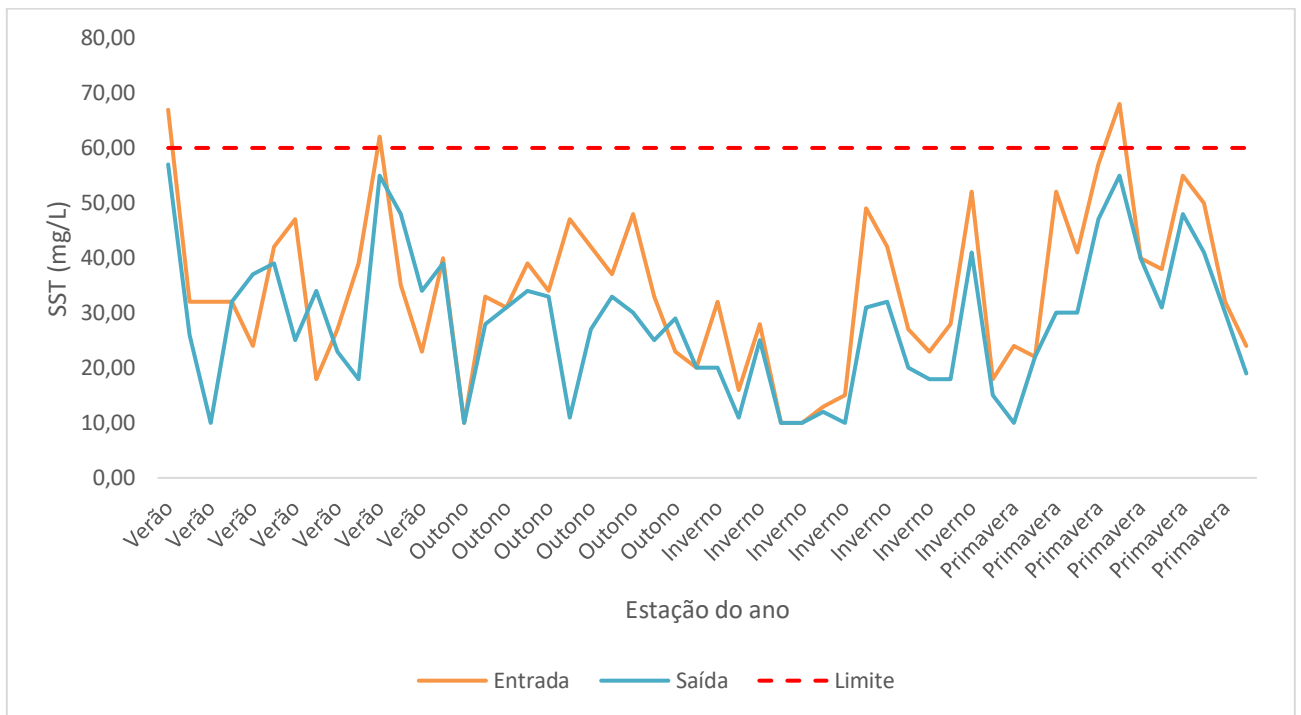
Fonte: Da autora (2021).

A concentração dos sólidos suspensos totais foi maior durante o verão e a primavera, conforme visto na Figura 14, pois nessas estações temos o aumento da temperatura, da radiação

solar e diminuição do volume de chuvas, o que acaba diminuindo a diluição e favorecendo o crescimento algal na lagoa. Segundo Von Sperling (1996), os sólidos suspensos totais de lagoas facultativas, são compostos por 60 a 90% de algas.

De forma geral, os valores encontrados para o ano inteiro estão dentro do especificado na LO na saída da lagoa facultativa. Embora a eficiência de remoção tenha sido de aproximadamente 18%, em lagoas facultativas a remoção de sólidos suspensos é considerada apenas razoável, principalmente em estações quentes onde a remoção é pouco significativa.

Figura 14 - Variação dos Sólidos Suspensos Totais de entrada e saída da Lagoa Facultativa em 2020.



Fonte: Da autora (2021).

5.2 CARACTERIZAÇÃO DA BIOTA DA LAGOA

A análise realizada, conforme visto na Tabela 9, revelou uma elevada concentração de microalgas dos gêneros *Scenedesmus sp*, *Ankistrodesmus sp*, *Navicula sp*, *Oocystis sp* e *Cosmarium sp* em todas as amostras analisadas. Estes gêneros encontrados destacam-se por serem em sua maioria, de superfície, muito comuns em lagoas facultativas, podendo contribuir para a

turbidez da água, bem como podendo causar obstrução de filtros e/ou provocar odor característico na água.

Tabela 9 - Identificação da Microfauna da Lagoa Facultativa.

Amostra	Classificação	Espécie	Nº Indivíduos/mL	
AL1	<i>Chlorophyceae</i>	<i>Scenedesmus sp</i>	$5,6 \times 10^5$	
		<i>Oocystis sp</i>	$1,2 \times 10^6$	
		<i>Monoraphidium sp</i>	$< 1,0 \times 10^4$	
		<i>Ankistrodesmus sp</i>	$5,3 \times 10^4$	
		<i>Desmodesmus sp</i>	$< 1,0 \times 10^4$	
	<i>Naviculaceae</i>	<i>Navicula sp</i>	$1,6 \times 10^5$	
	<i>Cyanophyceae</i>	<i>Microcystis sp</i>	$< 1,0 \times 10^4$	
AL2	<i>Desmidiaceae</i>	<i>Cosmarium sp</i>	$1,47 \times 10^5$	
		<i>Chlorophyceae</i>	<i>Scenedesmus sp</i>	$3,9 \times 10^5$
		<i>Oocystis sp</i>	$1,2 \times 10^6$	
		<i>Ankistrodesmus sp</i>	$4,0 \times 10^4$	
		<i>Naviculaceae</i>	<i>Navicula sp</i>	$9,3 \times 10^4$
AL3	<i>Desmidiaceae</i>	<i>Cosmarium sp</i>	$4,5 \times 10^5$	
		<i>Chlorophyceae</i>	<i>Scenedesmus sp</i>	$5,1 \times 10^5$
		<i>Oocystis sp</i>	$1,6 \times 10^6$	
		<i>Ankistrodesmus sp</i>	$4,0 \times 10^4$	
		<i>Cyanophyceae</i>	<i>Anabaena sp</i>	$< 1,0 \times 10^4$
			<i>Microcrocis sp</i>	$< 1,0 \times 10^4$
		<i>Naviculaceae</i>	<i>Navicula sp</i>	$1,1 \times 10^5$
AL4	<i>Desmidiaceae</i>	<i>Cosmarium sp</i>	$1,3 \times 10^5$	
		<i>Chlorophyceae</i>	<i>Scenedesmus sp</i>	$4,0 \times 10^5$
		<i>Oocystis sp</i>	$1,4 \times 10^6$	
		<i>Ankistrodesmus sp</i>	$1,3 \times 10^4$	
		<i>Naviculaceae</i>	<i>Navicula sp</i>	$2,0 \times 10^5$
AL5	<i>Desmidiaceae</i>	<i>Cosmarium sp</i>	$2,0 \times 10^5$	
		<i>Chlorophyceae</i>	<i>Scenedesmus sp</i>	$4,1 \times 10^5$
		<i>Oocystis sp</i>	$5,8 \times 10^5$	
			<i>Clorella sp</i>	$< 1,0 \times 10^4$
		<i>Ankistrodesmus sp</i>	$2,6 \times 10^4$	
	<i>Naviculaceae</i>	<i>Navicula sp</i>	$1,3 \times 10^5$	
	<i>Desmidiaceae</i>	<i>Cosmarium sp</i>	$3,9 \times 10^5$	

Fonte: Da autora (2021).

As *Chlorophyceae* apresentaram maior densidade dentre os grupos de algas determinadas. Segundo Reynolds (1984), estas são algas muito bem adaptadas a ambientes com baixa turbulência, pH de neutro a alcalino, elevadas temperaturas e disponibilidade de nutrientes, embora muitas de suas espécies sejam capazes de fixar o nitrogênio atmosférico e transformá-lo nas formas assimiláveis (amônia e nitrato), além de terem a capacidade de armazenar fósforo sob a forma de polifosfatos. As *Chlorophyceae* desenvolveram diversas vantagens competitivas sobre outros organismos fotossintéticos (DELAZARI-BARROSO, 2000), o que justifica a densidade maior em relação aos outros tóxons identificados.

De acordo com Jordão e Pessoa (2005), a população microbiana é muito maior próximo à entrada da lagoa, diminuindo em relação a saída, mas inversamente o número de espécies aumenta com o grau de tratamento. Neste caso, o ponto que teve maior diversidade e maior número absoluto de algas nas amostras foi identificado em L1, ou seja, na entrada da lagoa. Porém, observou-se que o ponto L5, localizado na saída da lagoa, foi o que apresentou menor número total de microorganismos, podendo configurar um desbalanço na biota da lagoa. Segundo Catunda (2000), a sedimentação de algas, é menos comum na entrada da lagoa porque as condições de turbidez e carga orgânica desfavorecem o seu desenvolvimento. De forma semelhante, a medida que se afasta da entrada da lagoa, a sedimentação de algas tende a aumentar, o que pode caracterizar estes valores absolutos menores, uma vez que a coleta das amostras foi feita a apenas 0,8m da borda da lagoa e a sedimentação se encontra no fundo da mesma.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho, realizado na Lagoa Facultativa de uma Siderúrgica localizada no Estado do Rio Grande do Sul, analisou e caracterizou diferentes aspectos, parâmetros físico-químicos do efluente sanitário gerado a partir dos esgotamentos domésticos e da rede de drenagem pluvial e da biota que vive na lagoa. Através de análise estatística determinou-se as médias das estações do ano e verificou-se as variabilidades dos dados, além da significância entre os valores encontrados para as concentrações da entrada e da saída da lagoa.

Observou-se que os parâmetros $DBO_{5,20}$, DQO, coliformes termotolerantes e teor de sólidos apresentaram alta variabilidade dos dados coletados ao longo do ano, diferente dos valores de pH e temperatura que se mantiveram constantes. Além disso, a lagoa apresentou desempenho satisfatório através dos resultados dos parâmetros analisados para $DBO_{5,20}$, DQO, teor de sólidos e temperatura, uma vez que todos obtiveram valores dentro dos limites estabelecidos pela legislação estadual através da LO concedida pela FEPAM.

Pode-se observar também que para pH e coliformes termotolerantes houveram recorrências quanto aos valores acima do permitido pela LO na saída da lagoa, o que demonstra a necessidade de implementação de um tratamento para que o efluente possa ser descartado no corpo d'água sem risco de contaminação ambiental. Estes tratamentos podem ser feitos através da correção dos níveis de pH com adição de ácidos minerais ou gás carbônico ao efluente, e com a adição do método de desinfecção do efluente sanitário com a dosagem de um clorador para redução dos coliformes termotolerantes.

Através da caracterização da biota da lagoa, pode-se concluir também que a classificação predominante *Chlorophyceae* é encontrado por suas altas capacidades competitivas em relação a outros gêneros, bem como que há um possível desequilíbrio na quantidade de população microbiana que deveria ser encontrada no final da lagoa. Estudos complementares podem avaliar o desenvolvimento da biota ao longo do ano, com coletas na mesma frequência que os parâmetros físico-químicos, a fim de correlacionar as eficiências de remoção com a população microbiológica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A. R. G. **Remoção de matéria orgânica e calibração de um modelo de remoção de amônia em uma série de lagoas de estabilização em escala real**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2017.

AMARAL, L. A. et al. Água de consumo humano como fator de risco à saúde em propriedades rurais. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 37, n. 4, p. 510-514, 2003.

ANDRADE NETO, C. O. de; ALÉM SOBRINHO, P.; SOUZA MELO, H. N. de; AISSE, M. M., 1999a, “Decanto-Digestores”. In: **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbico e disposição controlada no solo**, Programa PROSAB, capítulo 5, Rio de Janeiro, ABES-RJ.

ARAÚJO, R. de. O Esgoto Sanitário. In: NUVOLARI, A. (coord.). **Esgoto Sanitário, Coleta Transporte, Tratamento e Reúso Agrícola**. São Paulo: FATEC-SP CEETEPS, 2003, 520p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 1986. **Norma NBR 9648/1986 – Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário - Procedimento**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, BR, 1986.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 1987. **Norma NBR 9898/1987 Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores - Procedimento**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, BR, 1987.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 1992. **Norma NBR 12209/1992 – Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário - Procedimento**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, BR, 1992.

ATLAS SOCIOECONOMICO DO RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão. **Clima, temperatura e precipitação [S/D]**. Disponível em: <<https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/clima-temperatura-e-precipitacao>>. Acesso em: 21 out.

2021.

ÁVILA, R.; O.; **Avaliação do desempenho de sistemas tanque séptico-filtro anaeróbico com diferentes tipos de meio suporte.** 2005. 166f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

BAE, S.; WUERTZ, S. **Rapid decay of host-specific fecal Bacteroidales cells in seawater as measured by quantitative PCR with propidium monoazide.** *Water Research*, v. 43, n. 19, p. 4850–4859, 2009.

BAIRD, C. **Química ambiental, tradução da 2a ed. Porto Alegre:** Bookman, 2002.

BARBOSA, D. B.; LAGE, M. M.; BADARÓ, A. C. L. Qualidade microbiológica da água dos bebedouros de um Campus universitário de Ipatinga, Minas Gerais. **NUTRIR GERAIS – Revista Digital de Nutrição**, Ipatinga, v. 3, n. 5, p. 505-517, ago./dez. 2009.

BENVENUTI, J. **Estudo de caso de avaliação de eficiência do tratamento biológico de lodos ativados.** 2013. 37 f. Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/85647/000908788.pdf?sequeseq=1>>. Acesso em: 21 out. 2021.

BRAGA, E. A. S.; AQUINO, M. D.; MALVEIRA, J. Q.; CAPELO NETO, J.; DUARTE, C. A. **Avaliação da biodegradabilidade das águas de lavagem provenientes da etapa de purificação do biodiesel produzido com óleo extraído das víceras de tilápia.** REGA. *Revista de Gestão de Águas da América Latina*, v. 9, p. 35-45, 2012.

BRASIL. **Lei n. 6.938 de 31 de agosto de 1981.** Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 02 de set. de 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/16938.htm>. Acesso em: 21 out. 2021.

BRANCO, S. M. **Hidrologia Aplicada à Engenharia Sanitária** – 2ª ed.- São Paulo.CETESB, 1978. 620 p. Pág.156.

BRASIL. **Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010.** Regulamenta a Lei no 11.445, de 5 de janeiro e 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 21 de jun. de 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7217.htm> Acesso em: 21 out. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357, de 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 Outras Providências. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 21 de out. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 430, de 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, no Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 21 out. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 274, de 29 de novembro de 2000.** Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=272>. Acesso em: 21 de out. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997.** Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. Disponível em:

<http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=237> Acesso em: 21 de out. 2021.

CAMMAROTA, M. C.; **EQB-485 Engenharia do Meio Ambiente**. Notas de aula – Tratamento de efluentes líquidos. Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2011.

CAMPOS, J. A. **Desinfecção de efluente de lagoa facultativa com ácido Tricloroisocianúrico: avaliação da inativação de coliformes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas – Campinas. 2014.

CAMPOS, José Roberto (coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processos anaeróbios e disposição controlada no solo**. São Carlos: [s.n.], 1999. 348 p.

CATUNDA, P.F.C., MAYER, M.G.R., MOREIRA, E.A.M. e VAN HAANDEL, A. **Acumulação de lodo em lagoas de polimento tratando esgoto digerido**. In: C.A.L. Chernicharo (coord.), Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios, Coletânea de Trabalhos Técnicos, vol. 1, pp. 67-74. Projeto PROSAB, FINEP. Belo Horizonte, 2000.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Licenciamento Ambiental e as Micro e Pequenas Empresas** – Volume I. São Paulo. Federação das Indústrias do Estado de São Paulo – FIESP. 2007.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Demanda bioquímica de oxigênio**. [S/D]. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguasinteriores/variaveis/aguas/variaveis_quimicas/demanda_bioquimica_de_oxigenio.pdf>. Acesso em: 21 out. 2021.

CREPALDI R.M.C.; MONTEIRO C.; PETERLINI M.A.S.; PEDREIRA M.L.G.; Potencial hidrogeniônico de antimicrobianos, segundo os fatores ambientais temperatura e luminosidade. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, 2010;

D’ALESSANDRO, E. B.; SAAVEDRA, N. K.; SANTIAGO, M. F.; D’ALESSANDRO, N. C. O. **Influência da sazonalidade em lagoas de estabilização**. Ingeniería del agua, v. 19, n. 4, p. 193, 2015.

da SILVA, F. J. A. **Índice de concordância e risco fuzzy na avaliação do desempenho de sistemas de lagoas de estabilização**. Tese de Doutorado, Depto. de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2010. 161 p.

DANTAS, R. L.; ROCHA, A. P. T.; ARAÚJO, A. D. S.; RODRIGUES, M. S. A.; MARANHÃO, T. K. Qualidade Microbiológica de Polpa de Frutas Comercializadas na Cidade de Campina Grande, PB. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 14, n. 12, p. 125-130, 2012.

DELAZARI-BARROSO, A. **Comunidade fitoplanctônica do reservatório Duas Bocas (Reserva Biológica de Duas Bocas) – ES: variação vertical e temporal em duas épocas distintas**. 2000. 201f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2000.

DIAS, A.P.; ROSSO, T.C.D.A.; **Série Temática: Recursos Hídricos e Saneamento: os sistemas de saneamento na cidade do Rio de Janeiro – Parte I**. Rio de Janeiro: COAMB, FEN, UERJ 2012.
dos SANTOS, A. B. **Avaliação técnica de sistemas de tratamento de esgotos**. Fortaleza: E. Banco do Nordeste do Brasil, 2007. 206 p

FUNASA – FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAs**. Ministério da Saúde. Brasília, 2014.

FUNASA – FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de Saneamento**. Ministério da Saúde. Brasília, 2004.

GU, R.; STEFAN, H. G. **Stratification dynamics in wastewater stabilization ponds**. Water

Research, v. 29, n. 8, p. 1909–1923, 1995.

Habitacionais. 1ª ed. Brasília: CAIXA, 2009, 132p.

JENSEN, V. K. **Biomassa algal gerada em uma lagoa de estabilização facultativa: separação em malha geotêxtil e produção de biogás.** 2014. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, 2014.

JORDÃO, E. P. e PESSÔA, C.A. **Tratamento de Esgotos Domésticos,** 4ª Edição. Rio de Janeiro: SEGRAC, 2005.

JORDÃO, E.P.; VOLSCHAN JR., I. **Tratamento de Esgotos Sanitários em Empreendimento Habitacionais.** 1. ed. Brasília: CAIXA, 2009, 132p.

KLUSENER, J.J. **Influência da temperatura sobre o processo de decomposição dos esgotos domésticos em lagoas facultativas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Área de Concentração de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2006.

MARA, D. D. **Domestic wastewater treatment in developing countries.** London: E. Earthscan, 2003. 310 p

MENDONÇA, S. R.. **Lagoas de estabilização e aeradas mecanicamente: novos conceitos.** João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 1990. 388 p.

NEVES, E. T. **Curso de hidráulica.** Porto Alegre: Editora Globo, 574 p. 1974.

NUCASE. Núcleo Sudeste de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental. **Processos de tratamento de esgotos : guia do profissional em treinamento: nível 1 /** Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). – Brasília : Ministério das Cidades, 2008. 72 p.

NUVOLARI, A. **Esgoto Sanitário – coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. Editora Edgard Blücher, São Paulo, Brasil, 2ª edição, 2011, 565 p.

OLIVEIRA, S. M. A. C. **Análise de desempenho e confiabilidade de estações de tratamento de esgoto**. 2006. 214 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

PHILLIPPI, L. S. ; ROSTON, D. M. ; Zanella, L. ; Gonçalves, R.F. ; NOUR, E.A.A. **Uso racional de água em edificações. Gerenciamento de águas negras e amarelas**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Eng. Sanitária e Ambiental, 2006, v. 1, p. 223-265.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 12. ed. Piracicaba: Livraria Nobel, 1985. 467p.

REYNOLDS, C. S. **The ecology of freshwater phytoplankton**. (Cambridge studies in ecology). Cambridge: Cambridge University Press, 1984.

RIBEIRO, P. C. **Análise de fatores que influenciam a proliferação de cianobactérias e algas em lagoas de estabilização**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2007.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Conselho Estadual de Meio Ambiente. **Resolução CONSEMA nº 355, de 13 de julho de 2017**. Dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <<https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201707/19110149-355-2017-criterios-e-padroes-de-emissao-de-efluentes-liquidos.pdf>>. Acesso em: 21 de out. 2021.

RIOS, E. N. **Caracterização e comportamento de uma série de lagoas de polimento tratando esgotos sanitários**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, 2007.

127 p.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. **Introdução a química ambiental**. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

RODRIGUES, R. B. **Sistema de suporte a decisão proposta para a gestão quali-quantitativa dos processos de outorga e cobrança pelo uso da água**. São Paulo, 2005. 152p. Tese de Doutorado – USP.

SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Norma Técnica Interna SABESP NTS 013**. São Paulo. Junho de 1999. Disponível em: <<http://www2.sabesp.com.br/normas/nts/nts013.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2021.

SCARATTI D.; BOLZON A.L.; UNGERICHT J.C.; SCARATTI G. Influência das condições hidroclimáticas no tratamento de esgoto sanitário por lagoas de estabilização de esgoto. **Evidência**, Joaçaba v. 14 n° 2, p. 139-154, jul./dez. 2014

SCHLEMPER, A.; BLASS, O.A.; BLASS, A.P. **Qualidade da água de poços e nascentes do Alto Vale do Itajaí**. Itajaí, 2014. 18 f. Artigo Científico (Tecnologia em Processos Químicos) – Centro Universitário para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí.

SILVA, G. H. **Sistema de alta eficiência para tratamento de esgoto residencial – estudo de caso na lagoa da conceição**. Monografia. Programa de graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

STEINMANN, C. R.; WEINHARD, S.; MELZER, A; **A combined system of lagoon and constructed wetland for an effective wastewater treatment**. Water Res. 37, 2035-2042, 2003.

TSUTIYA, M. T., & SOBRINHO, P. A. **Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário**. 3ª edição. Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011, 548 p.

UEHARA, V.; VIDAL, W. L. **Operação e manutenção de lagoas anaeróbias e facultativas**. São Paulo: CETESB, 1989. 91 p

VAN HAANDEL, A.C., LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos**. Um manual para países de clima quente, Campina Grande: Epgraf, 1994.

VASCONCELOS, U.; CALAZAND, G. M. T.; ANDRADE, M. A. G. D.; MEDEIROS, L. V. Evidência do antagonismo entre *Pseudomonas aeruginosa* e bactérias indicadoras de contaminação fecal em água. **Revista Higiene Alimentar**, v. 20, n. 140, p. 127- 130, 2006.

VON SPERLING, M. Análise dos Padrões Brasileiros de Qualidade de Corpos d'Água e de Lançamento de Efluentes Líquidos. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 3 n°1 Jan/Mar 1998, p111-132.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 1. 3o ed. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005. 470 p.

VON SPERLING, M. **Lagoas de estabilização**. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 3. 2o ed. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002. 196p.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental: Universidade Federal de Minas Gerais, v. 2, 1996.

WHO. **Wasterwater stabilization ponds: Principles of planning and practice**. Alexandria: World Health Organization, v. 10, 1987. 138 p.

ZANOTELLI C. T.; PERES A. C.; PERDOMO C. C.; RIBEIRO DA COSTA R. H. **Identificação de algas e clorofila a em lagoas facultativas no tratamento de dejetos suínos**. VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002.