



centro universitário  
**unifacvest**

CENTRO UNIVERSITÁRIO FACVEST - UNIFACVEST

SHEILI CHAVES GOSSLER

**AVALIAÇÃO DE METAZOÁRIOS E PROTOZOÁRIOS  
COMO BIOINDICADORES DE EFICIÊNCIA EM LODOS  
ATIVADOS DE UMA INDÚSTRIA DE TERMOPROCESSADO  
DE PROTEÍNA ANIMAL A BASE DE FRANGO**

Lages - SC  
2019

SHEILI CHAVES GOSSLER

**AVALIAÇÃO DE METAZOÁRIOS E PROTOZOÁRIOS  
COMO BIOINDICADORES DE EFICIÊNCIA EM LODOS  
ATIVADOS DE UMA INDÚSTRIA DE TERMOPROCESSADO  
DE PROTEÍNA ANIMAL A BASE DE FRANGO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao curso de Graduação em  
Engenharia Química do Centro  
Universitário Facvest - Unifacvest,  
como requisito parcial para obtenção  
do título de Bacharelado em  
Engenharia Química.

Orientador: Msc Aldori Batista dos Anjos  
Coorientador: Alexandre Ribeiro Filho

**Supervisor:** Msc Rodrigo Vieira

Lages - SC  
2019

SHEILI CHAVES GOSSLER

**AVALIAÇÃO DE METAZOÁRIOS E PROTOZOÁRIOS  
COMO BIOINDICADORES DE EFICIÊNCIA EM LODOS  
ATIVADOS DE UMA INDÚSTRIA DE TERMOPROCESSADO  
DE PROTEÍNA ANIMAL A BASE DE FRANGO**

Este trabalho de conclusão de curso foi julgado adequado como requisito parcial para obtenção do título de Engenharia Química e aprovado em sua forma final pelo Supervisor pedagógico do Curso de Engenharia Química, do Centro Universitário Facvest – Unifacvest.

Lages, 27 de novembro de 2019

---

Msc. Aldori Batista dos Anjos  
Centro Universitário Facvest - Unifacvest

---

Dr. Alexandre Ribeiro Filho  
Centro Universitário Facvest - Unifacvest

*“Algo só é impossível até que alguém  
duvide e resolva provar o contrário...”*

(Albert Einstein; 1879-1955)

## AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho primeiramente a **Deus**, por ser essencial em minha vida, autor do meu destino e meu guia.

A minha **família** pelo amparo e amor incondicional, todo esforço é por eles, que são meus exemplos, me criaram da melhor forma possível e me ensinaram seus valores ao longo da vida, obrigado.

A orientadora **Tamara Zanette** e ao orientador **Rodrigo Vieira** pelo acompanhamento no desenvolvimento do trabalho, sanando as inúmeras dúvidas através dos seus conhecimentos que foram de grande importância.

Ao coorientador **Alexandre Antunes Ribeiro Filho** pela inestimável colaboração e ajuda através da sua exemplar formação acadêmica, a qual admiro e me espelho como futura profissional.

Ao **Centro Universitário Unifacvest** e ao Curso de **Engenharia Química** que oportunizaram a realização deste trabalho.

À Empresa **Vosso do Brasil Alimentos Congelados Ltda filial em Lages SC** pelas contribuições e pelas informações repassadas que oportunizaram aplicar os conhecimentos adquiridos relacionados ao tratamento de efluentes da empresa.

## RESUMO

Correlacionar parâmetros físico-químicos com a presença de bioindicadores identificados a partir da morfologia microscópica de lodos ativados torna-se um precioso aliado na prevenção de problemas operacionais, além de ter relação com a eficiência no tratamento de efluentes. Com base nisso, o objetivo deste trabalho é a caracterização da comunidade microbiana de lodos ativados dos tanques de aeração da estação de tratamento de efluentes (ETE) da empresa Vosso do Brasil em Lages - SC e correlacioná-la com parâmetros físico-químicos (DBO, DQO, temperatura, SSE, SV, ST, pH, amônia, nitrato, idade do lodo, temperatura e F/M) do processo. Obteve-se com o tratamento estatístico dos dados, a partir de análises de correlação multivariada (PCA) e Correlação de Spearman, correlações significativas entre a qualidade do efluente tratado final, os parâmetros físico-químicos e a comunidade do lodo. Os microrganismos dos grupos amebas, ciliados fixos pedunculados, ciliados móveis e rotíferos apresentaram correlação significativa com parâmetros de remoção como DQO, DBO e amônia, podendo ser considerados como bioindicadores de ótima eficiência do sistema e boa depuração de um tratamento de efluente em tanque de aeração. Enquanto que, microrganismos do grupo dos flagelados e alta densidade de bactérias filamentosas apresentaram correlações com parâmetros relacionados à ineficiência de tratamento como nitrato, níveis baixos de OD e más condições de depuração e remoção. Desta forma, a caracterização da microbiota é uma alternativa viável, corroborada a partir dos resultados estatísticos, como bioindicador do tratamento de estações de tratamento de efluentes.

**Palavras-chave:** Tratamento de Efluentes, parâmetros físico-químicos, bioindicadores;

## **ABSTRACT**

Correlating physicochemical parameters with the presence of bioindicators identified from the microscopic morphology of activated sludge becomes a valuable ally in the prevention of operational problems, besides being related to the effluent treatment efficiency. Based on this, the aim of this work is the characterization of the activated sludge microbial community from the aeration tanks of the Vosso do Brasil wastewater treatment plant in Lages - SC and to correlate it with physicochemical parameters (BOD, COD, temperature, SSE, SV, ST, pH, ammonia, nitrate, sludge age, temperature and F/M) of the process. The statistical treatment of the data, through multivariate correlation analysis (PCA) and Spearman correlation, obtained significant correlations between the quality of the final treated effluent, the physicochemical parameters and the sludge community. The microorganisms of the amoeba groups, pedunculated fixed ciliates, mobile ciliates and rotifers showed significant correlation with removal parameters such as COD, BOD and ammonia, and can be considered as bioindicators of optimal system efficiency and good purification of an aeration tank effluent treatment. While microorganisms of the flagellate group and high filamentous bacteria density correlated with parameters related to treatment inefficiency such as nitrate, low levels of OD and poor clearance and removal conditions. Thus, the characterization of the microbiota is a viable alternative, corroborated by the statistical results, as a bioindicator of the treatment of effluent treatment plants.

**Keywords:** Effluent treatment, physical-chemical indicators, bioindicators;

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1-</b> Sistema de tratamento de efluentes .....	19
<b>Figura 2-</b> Curva de crescimento microbiano .....	21
<b>Figura 3-</b> Tratamento biológico sistema aeróbio .....	22
<b>Figura 4-</b> Tratamento biológico anaeróbio.....	24
<b>Figura 5-</b> Peneira rotativa.....	32
<b>Figura 6-</b> Tanque de equalização.....	33
<b>Figura 7-</b> Flotador .....	33
<b>Figura 8-</b> Tanque de cloreto férrico e polímero aniônico, respectivamente .....	34
<b>Figura 9-</b> Tanque de aeração 1 .....	35
<b>Figura 10-</b> Tanque de aeração 2 .....	35
<b>Figura 11-</b> Decantador .....	37
<b>Figura 12-</b> Área de compostagem e distribuidor de lodo.....	38
<b>Figura 13-</b> Prensa parafuso.....	39
<b>Figura 14-</b> Fluxograma das etapas de tratamento dos efluentes.....	40
<b>Figura 15-</b> Lagoa de aeração 2 .....	41
<b>Figura 16-</b> Pipeta de transferência da amostra .....	42
<b>Figura 17-</b> Microscópio óptico .....	43
<b>Figura 18-</b> Laboratório físico químico da ETE Vosso Lages-SC.....	44
<b>Figura 19-</b> Fluxograma da metodologia aplicada.....	48
<b>Figura 20-</b> Porcentagem dos grupos de microrganismos encontrados .....	50
<b>Figura 21-</b> Desenvolvimento dos grupos de microrganismos .....	50
<b>Figura 22-</b> Experimento comparativo antes e após a parada da empresa .....	51
<b>Figura 23-</b> Grupo dos microrganismos amebas. (a) e (b) <i>Arcella</i> sp.; (c) e (d) <i>Euglypha</i> sp. ....	52
<b>Figura 24-</b> Grupo dos microrganismos ciliados fixos pedunculados. (a) <i>Vorticella octava</i> ;(b) <i>Vorticella microstoma</i> ; (c) e (d) <i>Opercularia</i> sp. ....	53
<b>Figura 25-</b> Grupo dos microrganismos ciliados móveis. (a) <i>Paramecium</i> sp. e.....	53
<b>Figura 26-</b> Grupo dos microrganismos metazoários rotíferos. (a) <i>Philodina</i> ; (b) <i>Rotaria</i> ; (c) <i>Monogononta</i> e (d) captura de todas as espécies juntas;.....	54
<b>Figura 27-</b> Grupo dos microrganismos metazoários anelídeos espécie <i>Aelosoma</i> ; .....	54
<b>Figura 28-</b> Grupo dos microrganismos ciliados carnívoros. (a) e (b) <i>Tokophrya</i> ou <i>Suctorina</i> ; .....	55
<b>Figura 29-</b> Grupo dos microrganismos flagelados espécie <i>Monas</i> sp .....	55
<b>Figura 30-</b> Grupo dos microrganismos bactérias filamentosas e morfologia dos flocos. (a) floco denso e bem formado poucas filamentosas; (b) floco aberto com filamentosas saindo do floco; (c) floco intumescido e (d) bactérias filamentosas abundantes;.....	56
<b>Figura 31-</b> Análise de componentes principais dos parâmetros físico químicos versus microrganismos.....	62

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1-</b> Contagem de protozoários por lâmina.....	43
<b>Tabela 2-</b> Análises realizadas na Estação de tratamento.....	45
<b>Tabela 3-</b> Tratamento estatístico dos dados.....	46
<b>Tabela 4-</b> Grupos e respectivas espécies de microrganismos encontrados .....	49
<b>Tabela 5-</b> Análise de correlação parâmetros vs microrganismos .....	57

## LISTA DE EQUAÇÕES

<b>Equação 1-</b> Reação processo biológico aeróbio.....	22
<b>Equação 2-</b> Etapa 1 reação de nitrificação.....	36
<b>Equação 3-</b> Etapa 2 reação de nitrificação.....	36
<b>Equação 4-</b> Reação de desnitrificação.....	36
<b>Equação 5-</b> Equação da correlação de Spearman.....	46

## LISTA DE SIGLAS

ABS	Alquil – Benzeno – Sulfonado
AMB	Amebas
CETESB	Companhia Ambiental do estado de São Paulo
CC	Ciliados carnívoros
CF	Ciliados fixos pedunculados
CM	Ciliados móveis
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
FGL	Flagelados
F/M	Foods to microorganisms
LAS	Alquil – Sulfonado - Linear
MET	Metazoários
OD	Oxigênio Dissolvido
PCA	Análise de componentes principais
PC1	Primeiro componente principal
PC2	Segundo componente principal
pH	Potencial Hidrogeniônico
SC	Santa Catarina
SST	Sólidos Suspensos totais
SSV	Sólidos Suspensos voláteis
SSE	Sólidos sedimentáveis

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	13
1.1 OBJETIVO GERAL .....	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
2. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO .....	16
2.1 EFLUENTES .....	16
2.1.1 Efluentes industriais .....	16
2.2 TRATAMENTO DE EFLUENTES .....	18
2.2.1 Tratamento biológico de efluentes .....	19
2.2.2 Tratamento de efluentes industriais .....	24
2.3 MICROBIOTA NO TRATAMENTO BIOLÓGICO .....	25
2.3.1 Bactérias .....	25
2.3.2 Protozoários .....	25
2.3.3 Metazoários .....	27
2.4 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS .....	28
2.4.1 Cor .....	28
2.4.2 Série de Sólidos .....	28
2.4.3 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) .....	28
2.4.4 Demanda química de oxigênio (DQO) .....	29
2.4.5 Nitrogênio .....	29
2.4.6 Potencial hidrogeniônico (pH) .....	29
2.4.7 Oxigênio dissolvido (OD) .....	30
2.5 BIOINDICADORES DO PROCESSO .....	30
2.6 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES .....	31
2.6.1 Pré tratamento/peneiras rotativas .....	31

2.6.2 Tratamento primário.....	32
2.6.3 Tratamento secundário .....	34
2.7 PARÂMETROS PARA LANÇAMENTO DE EFLUENTES .....	37
2.8 COMPOSTAGEM.....	38
2.9 PRENSA .....	39
3. METODOLOGIA .....	40
3.1 ÁREA DE ESTUDO .....	40
3.1.1 Lagoas de aeração .....	41
3.2 ANÁLISE DA MICROBIOTA.....	42
3.2.1 Amostragem.....	42
3.2.2 Avaliação biológica.....	43
3.3 ANÁLISE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS .....	44
3.4 ANÁLISE DE DADOS .....	46
3.4.1 Método de correlação de Spearman .....	46
3.4.2 Análise de componentes principais (PCA).....	47
3.4.3 Software Minitab 19.....	47
3.4.5 Software Sigma Plot.....	47
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	49
4.1 IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA MICROBIOTA .....	49
4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA CORRELAÇÃO DE SPEARMAN .....	56
4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA).....	62
5. CONCLUSÕES .....	64
7. REFERÊNCIAS.....	65

## 1. INTRODUÇÃO

A água em uma indústria, segundo Cavalcanti (2012), é utilizada para várias funções desde a incorporação ao produto; lavagens de máquinas, tubulações e pisos; águas de sistemas de resfriamento e geradores de vapor; até águas utilizadas diretamente nas etapas do processo industrial, conseqüentemente gerando efluentes que, ao serem despejados, podem causar a poluição de rios e corpos hídricos. A remoção dos contaminantes presentes em efluentes industriais é de suma importância e de responsabilidade das próprias indústrias geradoras e o devido tratamento se dá através de métodos físicos, químicos e biológicos aliados entre si (ANDRADE,2018).

O tratamento físico aliado ao químico, através da utilização de agentes químicos (floculantes e coagulantes) no processo de tratamento de efluentes industriais, se baseia na retirada de determinados poluentes que estão no fluxo principal de despejos, facilitando assim o processo realizado por processos biológicos (CAVALCANTI,2012). De acordo com Andreoli (2000) os tratamentos biológicos, que podem ser aplicados às mais diversas origens de efluentes, permitem tratar uma grande quantidade destes a partir da transformação de compostos considerados tóxicos em  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  (ou  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ ), tendo como vantagem realizar o tratamento com custos baixos. O tratamento biológico passou a ser bastante utilizado no tratamento de efluentes devido ao desenvolvimento da microbiologia relacionado aos processos aeróbios, que representam uma grande eficiência no sistema de lodos ativados, assim como nos anaeróbios (FERNANDO E FEDORAK,2005).

O lodo ativado apresenta uma grande variedade de microrganismos, entre eles, de acordo com Vazollér (1991), os protozoários e micrometazoários, que desempenham papéis fundamentais no tratamento, tanto na degradação da matéria orgânica, quanto na sua influência com relação a capacidade de atuarem como indicadores biológicos do processo nas influências relacionadas aos parâmetros físico-químicos.

Uma forma de evitar possíveis problemas operacionais em um sistema de tratamento de efluentes é a microscopia de lodos ativados, pois essa previne com que alguns possíveis problemas possam mudar o equilíbrio do tratamento (SAAR,2015). A análise por microscópio se baseia, segundo Andreoli (2000) na observação e identificação dos principais grupos de protozoários e metazoários, concentração das bactérias filamentosas, além das características do floco formado. De acordo Moreira (2018), apesar de serem fáceis de visualizar se

comparados às bactérias, a identificação de protozoários e metazoários é minuciosa e estudos relacionados a imagens desses microrganismos ainda são escassos.

Desta forma, a alternativa mais adequada é o tratamento desses efluentes antes de serem lançados, cuja eficiência pode ser avaliada aliando a identificação, e a presença de bioindicadores a partir da microscopia (CETESB, 2005).

Com base nisso, este estudo buscou estabelecer bioindicadores para medir a eficiência no tratamento de efluentes do reator biológico utilizado na ETE da empresa Vosso do Brasil Alimentos Congelados Ltda. Esse método representa um eficiente meio de monitorar a diversidade do sistema biológico aliado ao tratamento do efluente, além de fornecer imagens que auxiliam na identificação de protozoários e metazoários para trabalhos futuros.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a presença de espécies de metazoários e protozoários como bioindicadores da eficiência de tratamento de efluentes industriais num sistema de lodo ativado da estação de tratamento de efluentes de uma empresa de termoprocessado de proteína animal a base de frango.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar a correlação entre os parâmetros convencionais de mensuração do processo de depuração de efluente doméstico de reator biológico (pH, temperatura, DQO, DBO, amônia, nitrato, F/M, sólidos totais e voláteis e idade do lodo) com a presença de espécies de metazoários e protozoários.
- Construir bioindicadores de eficiência de tratamento de efluente em reator biológico a partir da correlação entre os parâmetros convencionais e a presença de espécies de metazoários e protozoários.
- Padronizar o método de avaliação da eficiência do tratamento de efluente em reator biológico a partir dos bioindicadores construídos utilizando análises estatísticas multivariadas e de correlação, através dos softwares Minitab 19 e Sigma Plot 12.0, a fim de padronizar o método utilizado no controle de tratamento de efluentes da estação da empresa Vosso do Brasil Alimentos Congelados Ltda de Lages SC.
- Apresentar imagens dos protozoários e metazoários encontrados e identificados através das análises a fim de auxiliar trabalhos futuros relacionados ao tema.

## **2. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO**

### **2.1 EFLUENTES**

Quanto a sua classificação Moura (2008) explica que as águas residuárias podem ser de três tipos:

- origem doméstica (as águas que provêm das cozinhas, das atividades de lavanderia e higiene);
- industriais (as águas que provêm das limpezas e locais de manutenção, que contêm óleos, detergentes e produtos químicos ou água utilizada no processo de produção da indústria);
- efluentes gerados pelas atividades hospitalares, que podem conter produtos químicos e radioativos, líquidos biológicos, excreções contagiosas de resíduos de medicamentos eliminados.

Segundo Cavalcanti (2012), quaisquer dos tipos de efluentes gerados são prejudiciais ao meio ambiente, sendo necessário o controle dessa geração, porém, se a mesma não pode ser evitada é preciso proporcionar um tratamento adequado. Com base nos malefícios dos efluentes, eles apresentam grandes quantidades de matéria orgânica e outros elementos que fazem parte da sua composição e, devido a isso, o despejo se torna prejudicial, sendo essencial a busca por alternativas para o reaproveitamento desses recursos (SOUZA, BASTOS E GOMES, 2015).

#### **2.1.1 Efluentes industriais**

Os despejos industriais podem ser também chamados de águas residuárias ou efluentes industriais. Eles provêm principalmente do processo, operações ou atividades desenvolvidas na empresa, possuem grandes variedades, seja pela sua composição, tipo de indústria ou matéria-prima (CAVALCANTI,2012). Segundo Sautchuk et al. (2009), esses efluentes não podem ser reaproveitados na empresa pelo fato das suas características, sendo assim necessário o tratamento dos mesmos de acordo com padrões sanitários, ambientais e legais para o lançamento.

### 2.1.1.1 Principais constituintes no efluente industrial

De um modo geral os efluentes relacionados às águas residuárias de uma indústria podem ser descritos da seguinte forma, relacionados de acordo com a sua influência no tratamento (CAVALCANTI,2012):

- Substâncias orgânicas biodegradáveis que causam perda de oxigênio em cursos d'água— são compostas principalmente de proteínas, carboidratos e gorduras biodegradáveis. São medidas normalmente através das análises de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio);
- Materiais flutuantes e oleosos que afetam o processo de aeração natural de corpos d'água, no processo de dissolução de oxigênio;
- Sólidos em suspensão, cuja sedimentação poderá causar formação de lodo em rios prejudicando a vida aquática devido a fenômenos de decomposição anaeróbia- podem ocasionar a formação de gás sulfídrico liberando odores;
- Produtos orgânicos tóxicos caracterizados como poluentes prioritários;
- Nitrogênio e fósforo, quando o corpo receptor for, principalmente, lagos, represas e áreas de lazer;
- Materiais voláteis que causam problemas de poluição do ar;
- Substâncias dissolvidas que podem dificultar o reuso indireto;

As proteínas presentes em efluentes industriais, de acordo com Jordão & Pessoa (2011) são o principal constituinte de organismos animais, por exemplo, proteína animal a base de frango. Essas proteínas podem produzir elementos químicos que são produtoras de nitrogênio e contém carbono, hidrogênio, oxigênio, além de fósforo, enxofre e ferro (SERENOTTI,2009).

Pode-se referir a gordura também, segundo Sasaki (2008) como óleos e graxas, substâncias que são frequentemente encontradas em alguns tipos de efluentes industriais. Essas gorduras encontradas dificultam o tratamento e não são desejáveis, e, isso se deve de acordo com Serenotti (2009), porque elas se aderem às paredes, formam “escumas”, o que poderá vir a entupir os filtros e interferindo na vida biológica. Por isso, é importante um tratamento preliminar na gordura, antes que o efluente seja encaminhado para o tratamento.

Segundo Jordão & Pessoa (2011) os detergentes, ou também chamados de surfactantes, encontrados em efluentes industriais derivados principalmente da limpeza e higienização da empresa são constituídos por moléculas orgânicas que possuem a propriedade de formar espuma na estação de tratamento, dificultando o tratamento. O tipo mais comum é chamado de

ABS (Alquil – Benzeno – Sulfonado) que dificulta o tratamento e está sendo substituído pelo LAS (Alquil – Sulfonato - Linear) que é biodegradável (SERENOTTI,2009).

#### 2.1.1.2 Características biológicas

O efluente industrial apresenta em sua composição diversas características de acordo com o meio, uma delas é a presença de espécies de microrganismos que auxiliam no tratamento, sendo os principais grupos aqueles utilizados nos processos biológicos do tratamento (RODRIGUES,2004). Os principais organismos encontrados nos despejos industriais, segundo Andreoli (2000) são: as bactérias, os fungos, os protozoários, os vírus, as algas e alguns grupos de plantas e animais.

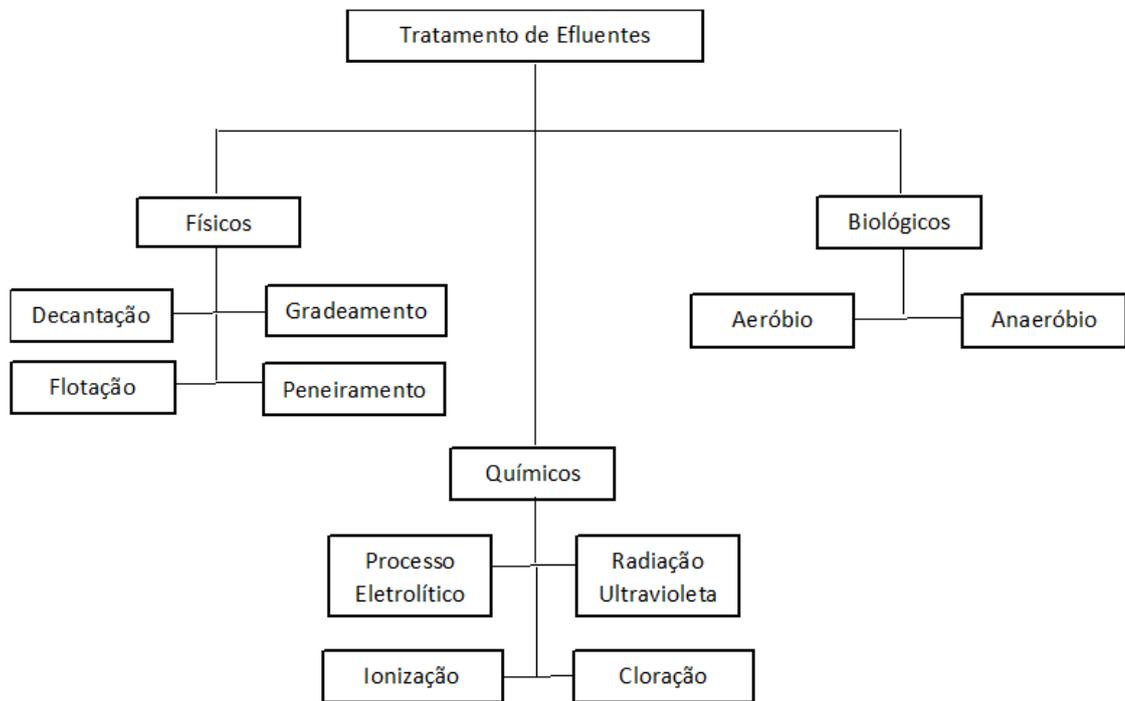
A respeito da presença desses microrganismos, de acordo com Cetesb (2005) podem ser encontrados com maior frequência nos efluentes as bactérias, que constituem o grupo de microrganismos mais importantes, sendo responsáveis pela decomposição da matéria orgânica, tanto na natureza como nas estações de tratamento biológico.

## 2.2 TRATAMENTO DE EFLUENTES

O conhecimento das quantidades geradas e as principais características físicas e químicas dos resíduos industriais é fundamental para a concepção e o dimensionamento dos sistemas de tratamento para disposição na natureza e, ou reaproveitamento desses resíduos (MATOS, 2005).

A água é o recurso mais afetado com relação à geração de efluentes e ao inadequado tratamento. A alternativa, de acordo com Von Sperling (2014) é preservar os ambientes aquáticos, que podem ser eventualmente prejudicados pelo despejo *in natura* de efluentes, através do tratamento adequado.

Atualmente com o surgimento de problemas relacionados à escassez e poluição de água nos grandes centros urbanos, há um grande interesse por parte de vários setores econômicos, industriais, ambientais e políticos pelo tratamento adequado da água (SAUTCHUK,2009). Abaixo a Figura 1 representa os tipos de tratamentos de efluentes:

**Figura 1-** Sistema de tratamento de efluentes

**Fonte:** Adaptado de Marcondes, 2012.

### 2.2.1 Tratamento biológico de efluentes

Uma das alternativas para o tratamento de efluentes, e que demonstra ser eficaz segundo Cordi et al. (2008), é o tratamento biológico, realizado pelos microrganismos presentes no próprio efluente. Esse tipo de tratamento apresenta inúmeras vantagens, pois, de acordo com Freire (2000), ele permite tratar grandes volumes de efluente, apresentam menor custo de funcionamento e são simples de operar, sendo que para efluentes mais complexos, o processo biológico usado é o tratamento por lodos ativados, que possui eficiência elevada.

O mecanismo de biodegradação também conhecido como autodepuração da matéria orgânica, ocorre naturalmente nos rios e o tratamento biológico simula esse mecanismo nas estações de tratamento de efluentes (CORDI et al, 2008). Quanto ao processo, Von Sperling (2014) explica que em condições aeróbias, o mecanismo envolvido na degradação processada por bactérias é a respiração celular que promove a oxidação de compostos orgânicos com quebra de moléculas complexas, transformando-as em moléculas mais simples.

Segundo Granato (2003) no processo de biodegradação estão presentes vários elementos essenciais para o funcionamento, entre eles o oxigênio e as bactérias, cuja função

desse dois fatores está relacionado à degradação o oxigênio é o principal receptor de elétrons e que durante o metabolismo respiratório ocorre a liberação de energia e essa energia é armazenada pelas células sob a forma de ATP e usada posteriormente também nas reações celulares (crescimento e manutenção das células bacterianas) (VON SPERLING,2014).

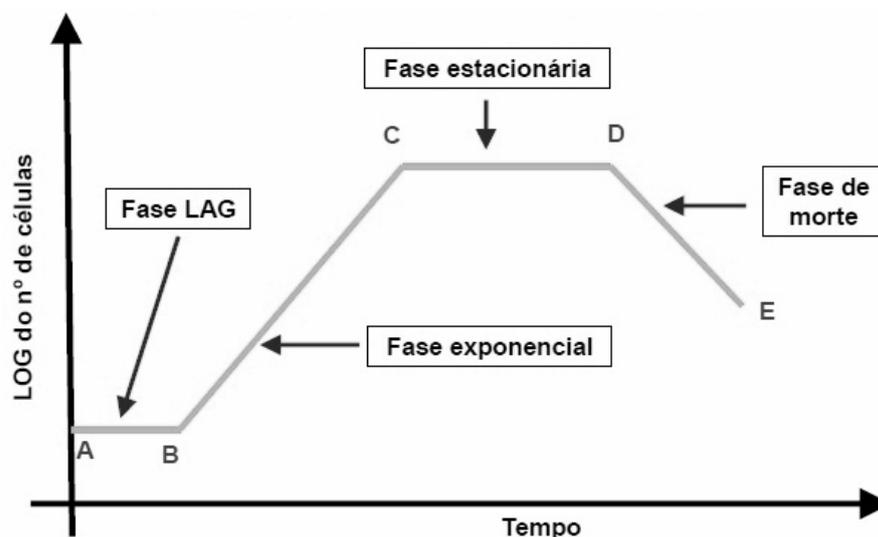
#### 2.2.1.1 Fases de crescimento dos microrganismos

O desenvolvimento e crescimento dos microrganismos no tratamento de efluentes, segundo Moreira (2018) é essencial para que a matéria orgânica presente no lodo seja consumida. Desse modo, o desenvolvimento dos microrganismos presentes no tratamento ocorre através de fases de crescimento (CAMMAROTA, 2011).

A fase inicial, segundo Andreoli (2000), é chamada de fase lag ou de adaptação, pois os microrganismos presentes estão se adaptando ao meio e o crescimento microbiano é nulo. A fase em que os microrganismos começam a se desenvolver é chamada de fase exponencial ou log considerada a principal, cujo substrato, ou seja, a matéria orgânica começa a ser consumida pelas microrganismos, conseqüentemente permitindo o aumento da biodiversidade microbiana no lodo, possibilitando até que toda a matéria orgânica disponibilizada seja consumida (CAMMAROTA, 2011; OLIVEIRA, 2014).

A fase de desaceleração é considerada a etapa em que os nutrientes já estão se esgotando e a taxa de crescimento microbiano começa a reduzir. A próxima fase que ocorre é a estacionária em que o crescimento é nulo, ou seja, o número de microrganismos que crescem é praticamente o mesmo que morrem (ANDREOLI, 2000; OLIVEIRA, 2014).

A última fase considerada de morte ou declínio, segundo Cammarota (2011) é a fase onde a taxa de crescimento é menor que a taxa de morte, essa fase em questão também é conhecida como fase de respiração endógena, na qual há o esgotamento do substrato e matéria orgânica presente, fazendo com que os microrganismos passem a sintetizar seu próprio material celular para sobrevivência, porém sem reposição. Nessa fase ocorre por fim a lise celular, em que os poucos microrganismos presentes passam a utilizar os nutrientes das células mortas até o esgotamento final (OLIVEIRA, 2014). A Figura 2 abaixo apresenta o gráfico com a curva de crescimento:

**Figura 2-** Curva de crescimento microbiano

Fonte: Oliveira, 2014.

#### 2.2.1.2 Relação F/M (*foods/ microorganism*)

A relação alimentos/microrganismos se refere a quantidade de alimento, substrato ou carga orgânica alimentada no tanque de aeração disponível por unidade de massa dos microrganismos, ou seja, representa a carga disponível (FOELKEL,2014). Essa estabelece a relação direta com a eficiência do sistema, pois quanto menor a disponibilidade de DBO fornecida às bactérias (baixa relação F/M) a busca pelo alimento é maior e a remoção de DBO se torna mais eficiente, do mesmo modo quanto maior a disponibilidade de DBO fornecida às bactérias (alta relação F/M), menor será a remoção de DBO. Portanto, a relação entre F/M em sistemas de lodos ativados com aeração prolongada deve variar entre 0,05 a 0,15 Kg DBO5/Kg SSV dia (AMORIM, VARGAS e JESUS, 2014; FOELKEL, 2014).

#### 2.2.1.3 Processo Biológico Aeróbio

O tratamento biológico de efluentes segundo Bento (2005) pode se realizar por duas formas, tanto aeróbio como anaeróbio, tendo como característica em comum a presença de espécies de microrganismos. O tratamento aeróbio é realizado essencialmente por microrganismos através de processos oxidativos, esses processos degradam as substâncias orgânicas, que são assimiladas como se fossem alimentos e fonte de energia, sendo que nesse processo ocorre a utilização de oxigênio para que ocorra a biodegradação (CARVALHO,2012).

Essa matéria orgânica complexa que é transformada em substâncias simples, como sais minerais, gás carbônico e outros, caracterizando, assim, o fenômeno da autodepuração (SANT'ANNA, 2013).

Dentre os processos aeróbios o processo de lodo ativado, segundo Jordão & Pessoa (2011) é o mais aplicado e também o de maior eficiência. Definido de acordo com Barcellos e Carvalho (2012) como semelhante a uma massa de microrganismos floculantes, essa massa se forma quando esgotos e outros tipos de efluentes são submetidos ao processo de aeração. Abaixo na equação 1 está representada a reação que ocorre no processo biológico aeróbio:



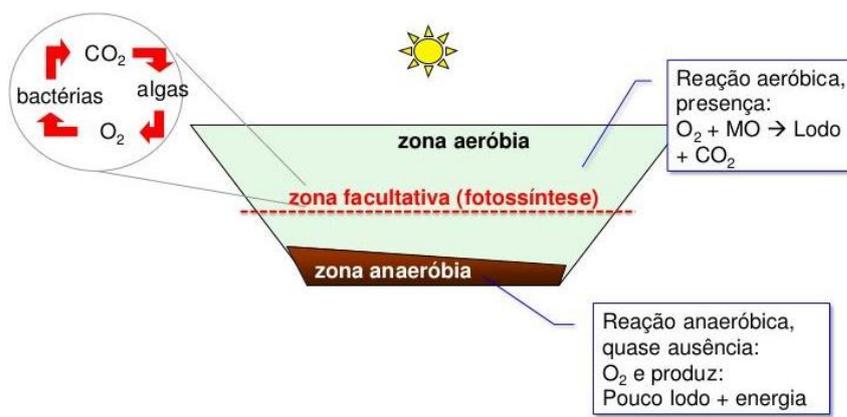
**MO:** Matéria Orgânica (substrato)

**Microrganismos:** Bactérias, fungos e protozoários

**Lodo:** Material celular

Além disso, de acordo com Barcellos e Carvalho (2012) o tratamento aeróbio ocorre de forma natural, reproduzindo a biodegradação que ocorre nos rios através do tratamento dos despejos lançados. Abaixo a Figura 3 representa o tratamento:

**Figura 3-** Tratamento biológico sistema aeróbio



**Fonte:** Carvalho, 2012.

#### 2.2.1.2.1 Lodo ativado

Segundo Carvalho (2012) no tratamento aeróbio um dos processos mais importantes e mais eficientes realizado é o lodo ativado também chamado de filtro biológico. Lodo ativado é o floco produzido por bactérias ou outros organismos na presença de oxigênio dissolvido com retorno de outros flocos já formados (JORDÃO & PESSOA,2011).

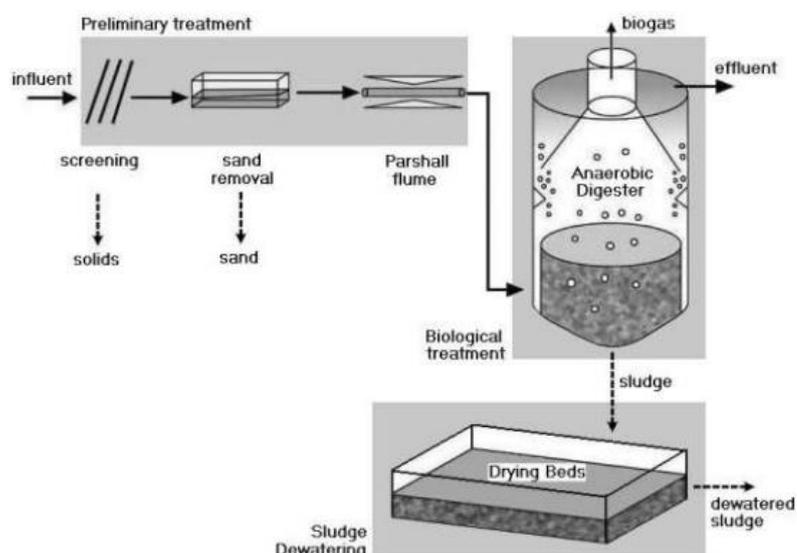
O processo de lodo ativado se realiza nos reatores biológicos através, segundo Barcellos e Carvalho (2012) da matéria orgânica sendo consumida pelos microrganismos que, segundo Bento (2005) consiste em uma associação de micro-organismos composta por bactérias, protozoários, fungos e micrometazoários que oxidam os compostos orgânicos e inorgânicos presentes nos efluentes. Sendo necessária a disponibilidade de oxigênio para sobrevivência dos microrganismos para a realização nesse tanque da etapa de depuração biológica onde o efluente será tratado e possa ocorrer a oxidação dos compostos orgânicos e inorgânicos presentes nos efluentes (BARCELLOS E CARVALHO, 2012).

A eficiência do tratamento por lodo ativado segundo Saar (2015) depende das bactérias e protozoários, porém a quantidade e diversidade dos mesmos vai depender do ambiente em que se desenvolvem, dos parâmetros físico-químicos, do nível de toxicidade do efluente e também das condições operacionais do sistema. Os grupos de protozoários e metazoários observados em lodos ativados de acordo com Bento (2005), são as amebas e suas tecamebas, flagelados, ciliados livres-natantes, ciliados pedunculados, ciliados livre-natantes predadores de flocos, rotíferos, nematoides e anelídeos.

#### 2.2.1.4 Processo Biológico Anaeróbio

No processo de tratamento anaeróbio também são empregados microrganismos que degradam a matéria orgânica presente no efluente através de reações bioquímicas como a hidrólise ou quebra das moléculas de proteínas, lipídios e carboidratos e a formação dos produtos finais (gás metano e dióxido de carbono) (FERNANDES,2012). Deixando na solução aquosa segundo Bento (2005), subprodutos como amônia, sulfetos e fosfatos, porém a diferença é a ausência de oxigênio. Abaixo a Figura 4 representa o processo de tratamento biológico anaeróbio de efluentes:

**Figura 4-** Tratamento biológico anaeróbio



**Fonte:** SAAE, 2006.

### 2.2.2 Tratamento de efluentes industriais

As indústrias são responsáveis pelo descarte de águas residuárias utilizadas no processo, essas possuem características que podem ocasionar efeitos prejudiciais se lançados sem o tratamento de efluentes adequado de acordo com normas e legislações específicas (CAVALCANTI, 2012).

Segundo Moreira (2018), a remoção dos contaminantes presentes em efluentes industriais pode ser realizada através de métodos físicos, químicos e biológicos, dependendo do tipo de efluente tratado. Os processos físicos são caracterizados pelo predomínio de forças físicas e incluem gradeamento, peneiramento, filtração, sedimentação e flotação. Já nos processos químicos é realizada a introdução de produtos químicos ou pela ocorrência de outras reações químicas, esses processos são aliados ao tratamento biológico (SAUTCHUK et al., 2009).

Os efluentes industriais segundo Saar (2015) contêm quantidades consideráveis de proteína, no qual o tratamento consiste na remoção de nitrogênio utilizando o processo de desnitrificação para esse fim. O tratamento dos efluentes industriais se torna necessário, pois segundo Cavalcanti (2012) muitos dos poluentes orgânicos e inorgânicos lançados podem

causar danos ao sistema público, através da indevida remoção ou a não conformidade com os padrões legais lançados diretamente nos rios.

## 2.3 MICROBIOTA NO TRATAMENTO BIOLÓGICO

### 2.3.1 Bactérias

Dos organismos encontrados em sistemas biológicos aerados, de acordo com Von Sperling (2014), as bactérias são os principais agentes de remoção da poluição dissolvida nos efluentes líquidos. Segundo Saar (2015), as bactérias adsorvem os sólidos suspensos e dissolvidos no efluente e degradam essas substâncias em fragmentos que possam ser assimilados pelas células. As bactérias são diferenciadas em 3 tipos, de acordo com Saar (2015):

- Bactérias em suspensão (bactérias livres): são responsáveis pela turbidez no efluente, provocam elevada demanda de oxigênio o que pode prejudicar o processo de depuração dos efluentes.
- Bactérias formadoras de flocos: agregam-se em grupo formando flocos biológicos pesados e bem formados, que sedimentam com rapidez e são removidos no decantador.
- Bactérias filamentosas: são responsáveis pela má formação do floco biológico, quando em quantidades excessivas. Porém, são essenciais para a formação de um floco estrutural firme e estável. O crescimento excessivo compromete o processo no decantador, levando ao arraste de biomassa.

### 2.3.2 Protozoários

Dentre os organismos que compõem o sistema biológico, além de bactérias e fungos, tem-se o grupo dos protozoários, que são normalmente constituídos por células eucariontes, unicelulares e em sua maior parte são aeróbicos e heterotróficos, existindo alguns anaeróbios. (SANT'ANNA, 2013).

A função mais importante deles no sistema de lodos ativados de acordo com Saar (2015) é a clarificação do sobrenadante ou efluente, pois se alimentam principalmente das bactérias livres e de fragmentos de flocos. Quanto ao tamanho, são maiores que as bactérias e se alimentam delas como fonte de energia, sua presença indica purificação boa de efluentes em processos biológicos (SANT'ANNA,2013). A seguir está a classificação dos protozoários.

### 2.3.2.1 Protozoários Ciliados (*Ciliophora*)

São segundo Saar (2015) organismos unicelulares que se movimentam ao redor do floco em busca de alimento através dos cílios que apresentam e que cobrem o seu corpo. Seu grupo pode ser dividido de acordo com (JIANG,2005) em:

- Ciliados livres: seu excesso no efluente tratado pode indicar uma carga alta e oxigenação abaixo da média;
- Ciliados reptantes: seu excesso no efluente tratado pode indicar uma carga orgânica normal e oxigenação acima da média;
- Ciliados fixos: seu excesso no efluente tratado pode indicar uma carga orgânica normal até baixa, e uma oxigenação média;
- Ciliados carnívoros: seu excesso no efluente tratado pode indicar uma carga orgânica normal até baixa e oxigenação acima da média.

### 2.3.2.2 Protozoários Flagelados (*Masthigophora*)

Os flagelados também são considerados organismos unicelulares com tamanho inferior, porém ainda maiores que as bactérias (SAAR,2015). De acordo com Valer (2000) a sua locomoção se dá através dos flagelos que possuem e segundo Rodrigues (2004) a nutrição desse tipo de protozoário é realizada através das células mortas ou algum material dissolvido e particulado.

### 2.3.2.3 Protozoários Ameboides (*Sarcodina*)

Amebas segundo Saar (2015) possuem a aparência de uma massa gelatinosa que se movimentam através de pseudo pés, além de algumas espécies desenvolveram uma casca de proteção sendo denominadas tecamebas. O nome se deve a capacidade de mudar de forma e a sua nutrição se dá por material particular (VALER,2000).

O importante segundo Rodrigues (2004) é que a presença de amebas em um lodo ativado indica que o mesmo é um lodo de idade alta e que o processo está avançado. Quanto a classificação desses microrganismos, as amebas podem ser assim subdivididas (SAAR,2015):

- Amebas não-encapsuladas: indicam lodo sub oxigenado e possível choque de carga orgânica;
- Amebas encapsuladas: indicam lodo super oxidado e o funcionamento de sistemas de nitrificação.

### 2.3.3 Metazoários

Este grupo engloba de acordo com Saar (2015) todos os organismos multicelulares, porém com crescimento mais lento e são encontrados em sistemas de lodos de idade elevada. Além dos Rotíferos, de acordo com Valer (2000) podem ser encontradas outros metazoários no sistema de tratamento biológico outras formas de vida que não tem relação com o tratamento biológico. Representantes deste grupo são os rotíferos, nematoides, aelosoma, tardigrades e até algumas espécies de microcrustáceos.

Assim como os protozoários, os metazoários também são microrganismos presentes na microbiota dos efluentes e desempenham importante papel no tratamento biológico (RODRIGUES,2004). De acordo com Rosa e Bazzanella (2013) esses microrganismos são multicelulares, em sua estrutura são mais complexos e sofrem mais com os impactos ambientais. Classificados da seguinte forma:

#### 2.3.3.1 Rotíferos

Os rotíferos de acordo com Saar (2015) são os metazoários mais encontrados em sistema de lodos ativados e muito importantes no processo, sua presença contribui com a limpeza do sistema pelo fato de serem capazes de ingerir bactérias dispersas mortas, flagelados e fragmentos de focos. A presença desses microrganismos indica um lodo um lodo nitrificado, estabilizado e saudável (VALER,2000).

Segundo as características desse tipo de metazoário, de acordo com Rodrigues (2004) o mesmo possui a presença de um “pé” que possui “dedos” que servem para ancoragem e movimento, sua “cabeça” possui cílios (utilizados para captura de alimento). As espécies mais encontradas são a *Philodina sp* e a *Rotaria sp*. Possuem sensibilidade e indicam a presença de substâncias tóxicas, as variações de carga e indicam um processo avançado de depuração biológica (SAAR,2015).

## 2.4 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

A respeito do tratamento de efluentes, assim como a identificação dos diferentes grupos de microrganismos que compõe o tratamento biológico é importante considerar as influências dos parâmetros convencionais medidos no tratamento de efluentes na presença dessas espécies de microrganismos (SAKER, 2007).

Os principais parâmetros relacionados à qualidade da água de acordo com Cordi et al (2008), são parâmetros físico-químicos tais como: cor, turbidez, condutividade, série de sólidos, DBO (demanda bioquímica de oxigênio), DQO (demanda química de oxigênio), surfactantes, nitrogênio (nitrato, nitrito e amônia) e pH.

### 2.4.1 Cor

A cor é um parâmetro principalmente físico muito visível e perceptível. Segundo a Cetesb (2012) ela pode ser medida de acordo com o grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessar a amostra de água que se deseja analisar, consequência de algumas substâncias que mudam essa característica física como os sólidos que possam estar dissolvidos na amostra de água em estado coloidal orgânico (ácidos húmico e fúlvico).

### 2.4.2 Série de Sólidos

Série de sólidos presentes na água podem ser considerados, de acordo com Cetesb (2012) resíduos, esse parâmetro também tem relação com os tratamentos aeróbios e anaeróbios pois a concentração desses sólidos, principalmente nos lodos ativados dos reatores, pode indicar a presença de microrganismos que realizam a degradação da matéria orgânica. Os sólidos podem ser classificados de acordo com seu tamanho (em suspensão e dissolvidos), características químicas (voláteis e fixos) e sedimentabilidade (em suspensão sedimentáveis e não sedimentáveis) (MOREIRA,2018).

### 2.4.3 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

A  $DBO_{5,20}$  é a quantidade de oxigênio necessário, utilizado pelos microrganismos, para oxidar a matéria orgânica através da decomposição aeróbia após 5 dias de incubação a 20 C (BENTO,2005). De acordo com Moreira (2018) é um parâmetro importante também para medir o teor de carbono orgânico biodegradável e de nitrogênio oxidável presente nos efluentes,

assim como compostos químicos que estão sob a forma reduzida (sais ferroso, sulfetos e sulfitos).

#### **2.4.4 Demanda química de oxigênio (DQO)**

Esse parâmetro também representa grande influência no tratamento, a DQO é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar o conteúdo orgânico total de um despejo (não apenas a parcela biodegradável ou parcialmente biodegradável) (VON SPERLING,2014). De acordo com Cetesb (2012) a DQO realiza a oxidação utilizando a quantidade de oxigênio através de um agente químico. De acordo com as duas demandas são importantes no processo pois através delas é possível identificar a degradação da matéria orgânica dos despejos pelos microrganismos. Contudo a DQO apresenta valores de referências maiores que  $DBO_{5,20}$  e pode ser utilizada tanto para esgotos sanitários quanto efluentes industriais (MOREIRA,2018)

#### **2.4.5 Nitrogênio**

O nitrogênio é um constituinte essencial da proteína em todos os organismos vivos, na matéria orgânica o nitrogênio sofre decomposição desde proteínas complexas a aminoácidos, amônia, nitratos e nitritos (CAVALCANTI, 2012). Segundo Moreira (2018) o ciclo do nitrogênio depende da ação bacteriana no tratamento biológico para decomposição da matéria orgânica para assim remover concentrações de nitrogênio total (nitratos, nitritos e amônia) do efluente industrial. A avaliação da remoção do nitrogênio do efluente é muito importante para determinar as concentrações do mesmo no despejo final.

#### **2.4.6 Potencial hidrogeniônico (pH)**

O pH é um parâmetro frequentemente analisado nas estações de tratamento de efluentes domésticos pelo fato de, segundo Cetesb (2012) ter influências nos equilíbrios químicos que ocorrem na água e as concentrações de pH influenciam na presença de elementos químicos tóxicos (metais pesados), tendo de acordo com a legislação concentrações estabelecidas para a proteção da vida aquática mantendo um faixa de pH entre 6 e 9.

#### 2.4.7 Oxigênio dissolvido (OD)

O oxigênio dissolvido se refere a concentração de oxigênio ( $O_2$ ) presente na água, é um agente oxidante muito importante para a sobrevivência dos seres vivos aquáticos além dos microrganismos presentes no tratamento biológico de efluentes (VON SPERLING, 2014).

Para que o tratamento do efluente seja considerado adequado, a medida desses parâmetros é importante para avaliar se é aceitável o despejo da água no rio. Para um tratamento de efluente adequado, segundo Oliveira, Araújo e Fernandes (2009) é exigido um rigoroso controle no processo de depuração e a eficiência do processo pode ser medida pela redução de DQO (demanda química de oxigênio), DBO (demanda bioquímica de oxigênio) e toxicidade.

A presença de microrganismos aliado aos parâmetros físico-químicos demonstram como o tratamento irá se processar, com base na influência dessas variáveis e dos parâmetros físico-químicos nos fenômenos biológicos, conseqüentemente no tratamento (BENTO,2005).

#### 2.5 BIOINDICADORES DO PROCESSO

A presença de microrganismos no efluente além de beneficiar e auxiliar no tratamento, tem outra função muito importante, a de bioindicador do processo (OLIVEIRA, ARAÚJO E FERNANDES, 2009). Através de fatores, de acordo com Sant'Anna (2013) como a presença de certas espécies de microrganismos e a existência de maiores quantidades de alguns, se tornam indicadores de como o processo biológico do lodo ativado está se processando, aliado também aos parâmetros físico-químicos.

Por definição são considerados bioindicadores espécies que são sensíveis a diversos fatores e que funcionam como um indicador das condições de operação de um ecossistema fornecendo assim relações de como está a qualidade ambiental desse local (PAPADIMITRIOU,2013). Entre as espécies consideradas bioindicadores, segundo Oliveira, Araújo e Fernandes (2009) estão os protozoários que possuem grande importância nos ambientes aquáticos devido à participação essencial desses microrganismos nos processos de decomposição e alimentação de bactérias.

Como o lodo apresenta uma diversidade de microbiota, cada microrganismo desempenha um papel fundamental no tratamento. Os protozoários e micrometazoários podem ser considerados segundo Von Sperling (2014) bioindicadores pelo fato de serem susceptíveis às variações que ocorrem no tratamento, como por exemplo, a natureza do despejo, pH, concentração de oxigênio dissolvido, temperatura, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) etc.

A identificação de bactérias é um processo em geral mais lento e difícil em relação a de protozoários, o que dificulta sua utilização como indicadoras (JIANG, 2005).

Para manter a qualidade do processo de lodos ativados é essencial a presença de protozoários e metazoários, pelo fato desses microrganismos se alimentarem de bactérias auxiliando na turbidez adequada do efluente decantado (SAAR, 2015). Portanto, comunidades de protozoários podem fornecer informações valiosas na saúde de um processo. Com base nisso, esses microrganismos apresentam característica como, segundo Jiang (2005):

- a. Protozoários são organismos facilmente comparáveis, largamente distribuídos fazendo-os mais aplicáveis a estudos e;
- b. Protozoários são conhecidos por possuir gerações curtas – com altas taxas de reprodução e metabolismo - reagindo rapidamente às mudanças ambientais no ambiente em que se encontram.

A presença de microfauna é um indício importante de funcionamento do processo, segundo Sant’Anna (2013) sendo fácil de identificar podendo ser utilizada como indicador biológico. Sendo assim, os protozoários e metazoários são os melhores indicadores da qualidade do processo.

## 2.6 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

A implantação de uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) tem por objetivo a remoção dos principais poluentes presentes nas águas residuárias, para que esta possa retornar para o meio receptor e corpos hídricos sem alteração da qualidade (LAZZARI,2006).

### 2.6.1 Pré tratamento/peneiras rotativas

O pré-tratamento é a primeira etapa do tratamento dos efluentes, onde segundo Andrade (2018) inicialmente é adicionado ao efluente cal para corrigir o ph e assim ser encaminhado para peneiras rotativas de aço inox que tem a função de retirar todo o resíduo grosseiro de frango que possa entrar no sistema, assim como outros resíduos como plástico que eventualmente podem chegar com o efluente bruto. As peneiras, de acordo com Chaves (2015) possuem aberturas adequadas de 2 mm a fim de evitar que os sólidos com diâmetro maiores possam ir para o processo e influenciar no posterior tratamento. Os resíduos maiores retirados pelas peneiras e são armazenados em galões e encaminhados para o aterro sanitário (RODRIGUES,2017). A Figura 5 abaixo representa o modelo de peneiras rotativas utilizadas:

**Figura 5-** Peneira rotativa



**Fonte:** Andrade, 2018.

## 2.6.2 Tratamento primário

O tratamento primário, segundo Rodrigues (2017) envolve o tanque de equalização e o flotador onde ocorre a coagulação e floculação, tendo como objetivo remover os sólidos em suspensão sedimentáveis, sólidos suspensos, partículas coloidais, óleos e graxas.

### 2.6.2.1 Tanque de equalização

A equalização de despejos industriais é uma etapa necessária que ocorre antes dos processos de depuração, garantindo as fases posteriores do tratamento (CAVALCANTI,2012). Segundo Andrade (2018) no tanque de equalização é onde ocorre o armazenamento e mistura das diferentes cargas orgânicas provenientes do processo de fabricação, fazendo com que o efluente a ser tratado seja homogêneo e o fluxo de carga orgânica seja constante, representando o início do tratamento físico-químico. A Figura 6 abaixo representa o tanque equalizador:

**Figura 6-** Tanque de equalização



**Fonte:** Rodrigues, 2018.

#### 2.6.2.2 Flotador

A flotação é um processo físico destinado à remoção de sólidos em suspensão, para a clarificação de efluentes, remoção de fósforo e consequente adensamento de lodos, tendo como vantagem a necessidade reduzida de área (CHAVES,2015). O princípio de funcionamento do flotador por ar dissolvido segundo Cavalcanti (2012) se baseia pela introdução de ar na forma de microbolhas a uma pressão, no momento em que a mistura líquida saturada de ar é despressurizada são liberadas minúsculas bolhas de ar e neste momento os flóculos em suspensão ou glóbulos de óleos são flutuados por essas bolhas de ar até a superfície do tanque (flotador). O lodo formado é retirado/raspado por pás mecânicas e o líquido é clarificado e removido passando para as outras etapas do tratamento (RODRIGUES,2017). A Figura 7 abaixo representa o flotador:

**Figura 7-** Flotador



**Fonte:** Andrade, 2018.

A fim de facilitar o tratamento realizado no flotador são adicionados coagulantes e floculantes. A coagulação é utilizada para neutralizar cargas de materiais suspensos ou em formas coloidais que não decantam ou que levam muito tempo para decantar (ANDRADE,2018). Um exemplo de coagulante segundo Rodrigues (2017) é o cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) adicionado na tubulação de entrada do efluente no flotador e o controle do pH é realizado através de análises laboratoriais. O floculante utilizado é um polímero aniônico, a fim de realizar o choque entre as partículas formadas durante a etapa de coagulação com o objetivo de formar flocos ainda maiores, com maior volume e densidade, o que aumenta, conseqüentemente, a eficiência do processo de separação (CHAVES,2015). Os tanques de armazenamento do coagulante e do floculante estão demonstrados na Figura 8 abaixo:

**Figura 8-** Tanque de cloreto férrico e polímero aniônico, respectivamente



**Fonte:** Rodrigues, 2018.

### 2.6.3 Tratamento secundário

Segundo Cavalcanti (2012) nesta etapa há o processo de remoção de matéria orgânica biodegradável dissolvida ou coloidal, através das lagoas de aeração da estação, além da remoção da matéria orgânica há também a remoção de alguns nutrientes como nitrogênio total (amônia, nitrito e nitrato) e de uma pequena quantidade de fósforo pelos processos de nitrificação e desnitrificação.

### 2.6.3.1 Lagoas de aeração por lodo ativado

Nesta etapa do tratamento os microrganismos são fatores essenciais para o processo. Sendo assim, segundo Andrade (2018) é essencial o fornecimento de oxigênio para que os microrganismos possam degradar a matéria orgânica transformando-a em gás carbônico, água e flocos biológicos formados por microrganismos característicos do processo. As Figuras 9 e 10 abaixo representam os tanques de aeração:

**Figura 9-** Tanque de aeração 1



**Fonte:** Rodrigues, 2018.

**Figura 10-** Tanque de aeração 2



**Fonte:** Rodrigues, 2018.



**Figura 11-** Decantador



**Fonte:** Andrade, 2018.

O efluente final tratado, de acordo com Andrade (2018) pode ser despejado em cursos de águas naturais, depende de sua classificação, que é dada pela Resolução CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente número 357/05 complementada pela resolução 430/2011 que abordam a classificação dos corpos d'água e estabelece as condições e padrões de lançamento.

## 2.7 PARÂMETROS PARA LANÇAMENTO DE EFLUENTES

Segundo a resolução CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente número 357/05 complementada pela resolução 430/2011 - Das Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes Art. 16. I - Condições de lançamento de efluentes:

- a) pH entre 5 a 9;
- b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;
- c) materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;
- d) regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;
- e) óleos e graxas, óleos minerais: até 20 mg/L; óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L;

f) ausência de materiais flutuantes; e

g) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C): remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração.

## 2.8 COMPOSTAGEM

O lodo é o principal resíduo sólido gerado durante o processo da ETE, originado do flotador com características orgânicas e inorgânicas sendo denominado lodo não estabilizado, assim como o lodo gerado dos reatores aeróbicos, denominado lodo estabilizado (RODRIGUES,2017). De acordo com Chaves (2015) a compostagem é o processo de decomposição e estabilização biológica dos substratos orgânicos através do desenvolvimento de temperaturas termofílicas que resultam da produção biológica de calor. Essa é uma técnica, segundo Andrade (2018) que se mostra viável, de baixo custo e sanitariamente eficiente para o tratamento de resíduos e reciclagem dos nutrientes contidos. A Figura 12 abaixo representa a compostagem do lodo gerado na estação:

**Figura 12-** Área de compostagem e distribuidor de lodo



**Fonte:** Andrade, 2018.

## 2.9 PRENSA

O objetivo da desidratação de lodos, de acordo com Andrade (2018) é a diminuição do seu volume e umidade com auxílio de um polímero, tendo benefícios no processo de compostagem e também diminuição de custos de transporte e disposição final quando enviado para o aterro sanitário ou para a compostagem. A Figura 13 abaixo representa o modelo de prensa parafuso Ishigaki:

**Figura 13-** Prensa parafuso



**Fonte:** Andrade, 2018.

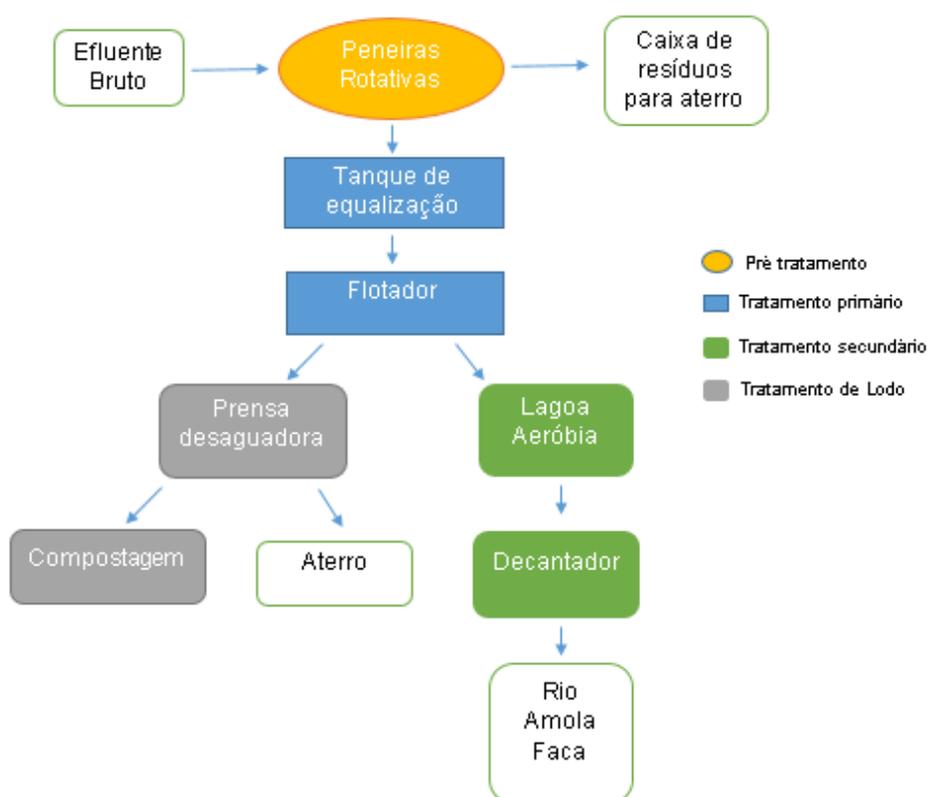
### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

A Vosso do Brasil segundo Andrade (2018), é uma empresa alemã localizada em Münster Alemanha, possui uma unidade no Brasil instalada no ano de 2003 na cidade de Lages SC e atua no mercado de carnes termoprocessadas altamente refinadas, especialmente com peito de frango. Quanto a sua área instalada, de acordo com Rodrigues (2017) a empresa possui 16.440 metros quadrados de área construída e possui 500 funcionários, distribuídos entre os três turnos e as quatro linhas de produção com produção mensal de 1400 toneladas.

As águas residuárias da empresa provém da lavagem e higienização de máquinas, tubulações e pisos, águas utilizadas nos sistemas de resfriamento; descongelamento e diretamente nas etapas do processo industrial ou incorporadas aos produtos (ANDRADE, 2018). Abaixo o fluxograma da Figura 14 representa os processos realizados e as etapas seguidas para o tratamento dos efluentes da empresa:

**Figura 14-** Fluxograma das etapas de tratamento dos efluentes



**Fonte:** Andrade, 2018.

O despejo final de acordo com Rodrigues (2017) é destinado para o Rio chamado Amola Faca, considerado um rio de vazão baixa, e o controle dos parâmetros de lançamentos do efluente é realizado através de análises periódicas no local do despejo no rio.

### 3.1.1 Lagoas de aeração

A metodologia desenvolvida foi aplicada na lagoa de aeração 2 de lodo ativado da estação de tratamento de efluentes industriais da empresa Vosso do Brasil, devido às melhores condições de operação da lagoa, levando em consideração os dois sopradores e a lagoa possuir dimensões maiores se comparada a lagoa 1. Ilustrado na Figura 15 abaixo:

**Figura 15-** Lagoa de aeração 2



A aeração nas lagoas da ETE da Vosso, segundo Andrade (2018) permanece ativado 24 horas por dia para obter uma aeração necessária, com base no sistema aeróbico realizado pelas bactérias, fungos e microrganismos. Os dois tanques devido ao tratamento possuem aeração prolongada permitindo o tratamento aeróbio dos microrganismos presentes, para isso é recomendada a disponibilidade de concentração de oxigênio de 1 a 3 mgO<sub>2</sub>/L.

A lagoa de aeração 2 da estação tem capacidade para 940 m<sup>3</sup> e tempo de detenção hidráulica de 85 horas, normalmente é trabalhado com uma idade de lodo entre 18 até 30 dias (CHAVES,2015). Além do reciclo do lodo realizado durante todo o procedimento objetivando que o lodo retorne ao tratamento e a atuação das bactérias seja mais eficiente no tratamento.

## 3.2 ANÁLISE DA MICROBIOTA

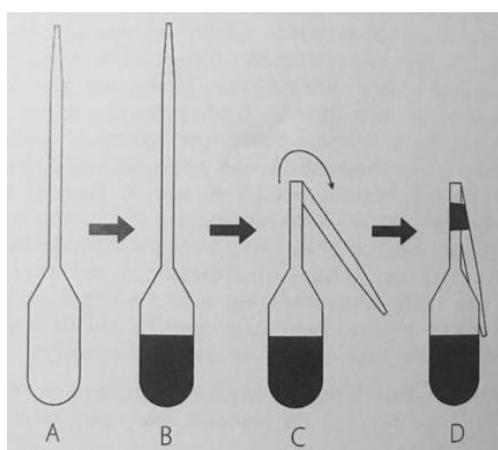
As análises realizadas foram baseadas na lagoa de aeração 2 da estação de tratamento de efluentes industriais da empresa Vosso do Brasil de Lages-SC, avaliando os parâmetros físico-químicos e a presença de microrganismos.

### 3.2.1 Amostragem

A amostragem foi adaptada do método descrito no livro Microbiologia de lodos ativados do autor Dr. Jorge Henri Saar (2015) realizada através da coleta da amostra em pipetas de transferência, que possuem a característica de serem leves e servir imediatamente como pipetador da amostra no preparo da lâmina de microscopia. Após a amostragem de menos de 1 ml de volume em cada um dos 5 pontos da lagoa 2 foi necessário deixar um amplo espaço de ar na pipeta, posteriormente dobrando o canal de sucção com fechamento e vedação, a fim de manter o oxigênio suficiente para os organismos até o momento da avaliação microscópica, sendo que a análise foi realizada logo após a coleta.

A periodicidade das análises foi diária resultando em 5 vezes por semana e o período de amostragem e das análises dos parâmetros físico-químicos compreende os meses de agosto a novembro de 2019. A Figura 16 abaixo representa o método de coleta da amostra realizada.

**Figura 16-** Pipeta de transferência da amostra



**Fonte:** Saar, 2015.

### 3.2.2 Avaliação biológica

A análise qualitativa dos protozoários e metazoários foi realizada microscopicamente com Microscópio Óptico modelo Bresser LCD micro e os organismos identificados de acordo com a espécie e gênero, podendo ser observados com aumento de 100, 400 e 1000 vezes. O microscópio utilizado é apresentado na Figura 17 abaixo.

**Figura 17-** Microscópio óptico



A Tabela 1 abaixo apresenta um sistema para a contagem de protozoários utilizando o microscópio óptico. Inicialmente deve ser observado com um aumento de 100x (vezes) o aspecto geral da amostra e a seguir, com aumento de 400x (vezes) os detalhes, como a identificação dos organismos:

**Tabela 1-** Contagem de protozoários por lâmina

CLASSIFICAÇÃO	ÍNDICE	FREQUÊNCIA DE OBSERVAÇÃO
Ausente	0	não observados
Raro	1	1-15 organismos por lâmina
Frequente	2	16-30 organismos por lâmina
Abundante	3	acima de 30 organismos por lâmina

**Fonte:** Adaptado de Oliveira, 2009.

As espécies foram identificadas através de análise microscópica com o auxílio de catálogos com imagens reais das espécies de protozoários e metazoários.

### 3.3 ANÁLISE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Para monitorar o sistema de lodos ativados e identificar as possíveis alterações ocorridas no desempenho desses reatores biológicos aerados foram utilizados os parâmetros físico-químicos, como por exemplo, pH, temperatura, medida de oxigênio dissolvido (OD), sólidos suspensos totais (SST), voláteis (SSV) e SSE (sedimentáveis), nitrogênio amoniacal (nitrito, nitrato e amônia), DBO e DQO, sendo que cada uma das análises foi realizada de acordo com as especificações.

Os dados das análises dos parâmetros físico-químicos utilizados no trabalho foram obtidos das análises realizadas no laboratório da Estação de Tratamento de Efluentes industriais da empresa Vosso do Brasil - Lages SC, onde as mesmas foram acompanhadas e observadas seguindo de acordo com as especificações e os métodos utilizados na estação. Na estação de tratamento de efluentes da empresa são realizadas análises diárias, semanais, quinzenais e mensais a fim de garantir o controle relacionado aos parâmetros desde a entrada até o despejo final. Abaixo a Figura 18 representa a bancada de análises.

**Figura 18-** Laboratório físico químico da ETE Vosso Lages-SC



A Tabela 2 abaixo apresenta as análises realizadas na estação, a periodicidade das mesmas e o equipamento utilizado para cada análise:

**Tabela 2-** Análises realizadas na Estação de tratamento

<b>Parâmetro</b>	<b>Periodicidade</b>	<b>Origem</b>	<b>Equipamento</b>
pH	Diária	Efluente bruto, equalizador, flotador, lagoa 01, lagoa 02, decantador	pHmetro
Temperatura	Diária	Efluente bruto, equalizador, flotador, lagoa 01, lagoa 02, decantador	pHmetro
Sólidos sedimentáveis (SSE)	Diária	Efluente bruto, equalizador, flotador, lagoa 01, lagoa 02, decantador	Cone Imhoff
Nitrato	Diária	Lagoa 01 e Lagoa 02	Espectrofotômetro
OD (oxigênio dissolvido)	Diária	Lagoa 01 e Lagoa 02	Sonda
Sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis	Semanal	Lagoa 01, lagoa 02 e descarte de lodo	Balança analítica, estufa, mufla e dessecador
Nitrogênio Amoniacal	Semanal	Flotador e decantador	Espectrofotômetro
DQO	Semanal	Equalizador, flotador e decantador	Espectrofotômetro
DBO	Semanal	Equalizador, flotador e decantador	Kit DBO
Nitrato	Semanal	Decantador	Espectrofotômetro
Umidade do lodo	Semanal	Flotador , Prensa e compostagem	Medidor de umidade MP 23
Microscopia	5 x por semana	Lagoa 01 e Lagoa 02	Microscópio óptico
Nitrogênio amoniacal	Quinzenal	Equalizador	Espectrofotômetro

**Fonte:** Adaptado de Andrade, 2018.

### 3.4 ANÁLISE DE DADOS

Os dados obtidos estão apresentados a partir de gráficos e tabelas com o auxílio do Programa Microsoft Excel, as correlações entre as variáveis biológicas (grupos) e variáveis físico-químicas do efluente industrial foram submetidos à análise de correlação de Spearman pelo software SigmaPlot 12.0 e a análise de componentes principais com o auxílio do software estatístico Minitab 19 ambas com significância de 5%.

#### 3.4.1 Método de correlação de Spearman

Segundo Bauer (2007) a correlação de Spearman é uma estatística baseada em postos e foi introduzida por Spearman em 1904 e trabalha com variáveis X e Y. Esta correlação assume apenas valores entre -1 e 1. Para definir o coeficiente de correlação r e aplicar a correlação, a fórmula estatística utilizada para a correlação de Spearman é descrita pela Equação 5 abaixo:

$$r = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n^3 - n} \quad (5)$$

A correlação é utilizada de acordo com Motulsky (2003), quando se deseja quantificar uma correlação entre as variáveis. Os dados inseridos e os resultados obtidos através do programa seguem uma lógica de classificação de acordo com a Tabela 3 abaixo, valores de correlação (Spearman) significativos (p-valor<0,005):

**Tabela 3-** Tratamento estatístico dos dados

Valor de r	Interpretação
Zero	Não há correlação
Correlação positiva 1.0	Variáveis tendem a aumentar ou diminuir juntas
Correlação negativa -1.0	Uma variável aumenta à medida que a outra diminui

**Fonte:** Adaptado de Motulsky, 2003.

### **3.4.2 Análise de componentes principais (PCA)**

A análise de componentes principais segundo Varella (2008) é uma técnica da estatística multivariada que consiste em transformar um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de variáveis de mesma dimensão denominadas de componentes principais. O objetivo principal da análise de componentes principais é o de explicar a estrutura da variância e covariância de um vetor aleatório. Essas combinações lineares são chamadas de componentes principais e são não correlacionadas entre si (HONGYU,2016).

A análise multivariada de uma forma bem geral, de acordo com Vicini (2005), refere-se aos métodos estatísticos que analisam simultaneamente múltiplas medidas ou objeto sob investigação.

### **3.4.3 Software Minitab 19**

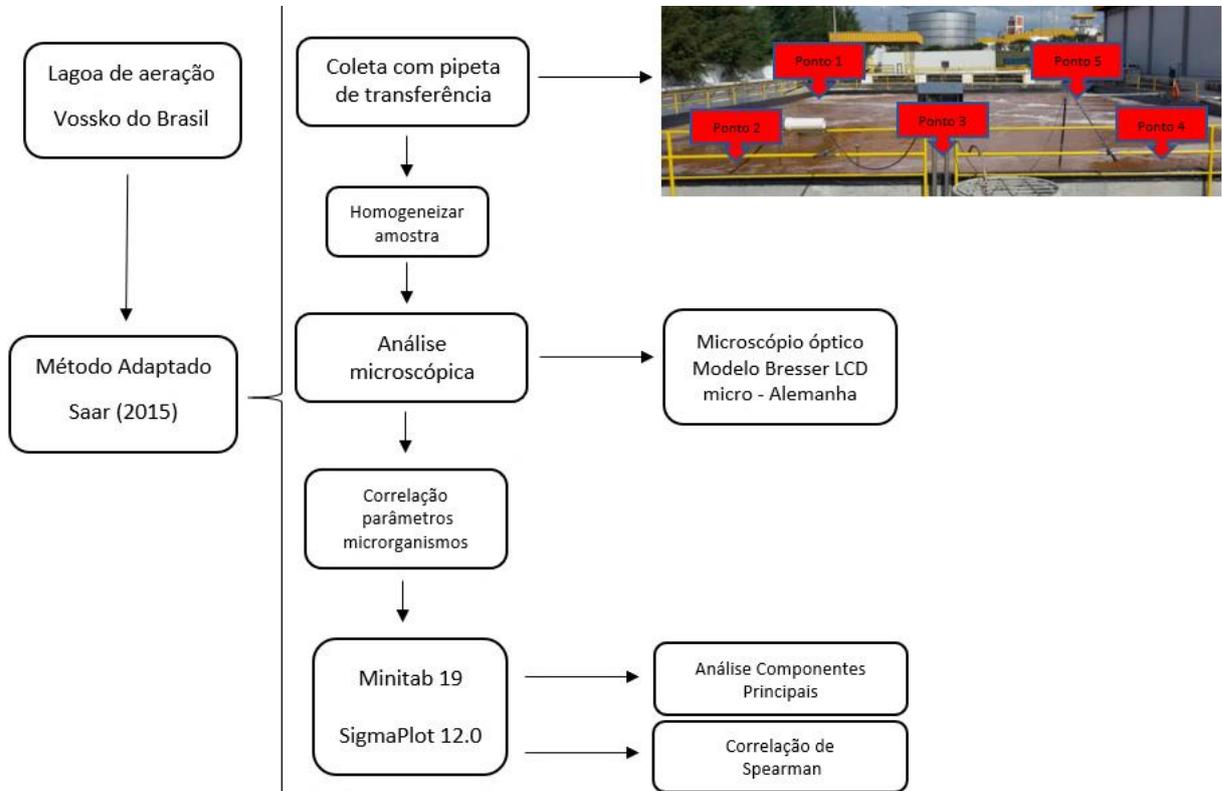
O Minitab é um poderoso sistema computacional que fornece uma gama de opções para análise estatística de dados. Caracteriza-se pela simplicidade de uso e pela exatidão com que as técnicas estatísticas foram implementadas (SANTOS,2008). Segundo Varella (2008) os gráficos internos permitem visualizar os dados tendo a característica de gerar resultados e exibí-los graficamente através de histogramas, gráficos de dispersão etc.

### **3.4.5 Software Sigma Plot**

O programa SigmaPlot oferece métodos estatísticos fáceis de usar em modelos de gráficos e utilidades com novos recursos, além tornar os dados mais precisos e rápidos para os usuários sem o conhecimento extensivo em estatística (SYSTAT,2006).

A Figura 19 abaixo demonstra o fluxograma com a metodologia aplicada no estudo.

**Figura 19-** Fluxograma da metodologia aplicada



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA MICROBIOTA

A análise e interpretação dos dados obtidos através de gráficos e tabelas, além da validação dos dados aplicados às análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do Programa Microsoft Excel, a correlação de Spearman pelo software Sigmaplot 12.0 e a análise de componentes principais pelo Minitab 19.0, respectivamente. Durante o período de 12 semanas de desenvolvimento da pesquisa e caracterização microbiológica, os grupos encontrados foram amebas (AMB), ciliados fixos pedunculados (CFP), metazoários (MET), ciliados móveis (CM), flagelados (FGL) e ciliados carnívoros (CC) representando uma boa diversidade de microrganismos no sistema. A Tabela 4 abaixo demonstra os grupos e seus respectivo gêneros/espécies encontrados.

**Tabela 4-** Grupos e respectivas espécies de microrganismos encontrados

Abreviatura	Grupos	Gênero/Espécies
AMB	Amebas	<i>Arcella sp.</i> <i>Euglypha sp.</i>
CF	Ciliados fixos pedunculados	<i>Vorticella aquadulcis</i> <i>Vorticella microstoma</i> <i>Opercularia sp.</i>
MET	Metazoários	<i>Rotífero Philodina</i> <i>Rotífero Rotaria</i> <i>Rotífero Monogononta</i> <i>Anelídeo Aelosoma</i>
CM	Ciliados móveis	<i>Paramecium sp.</i> <i>Glaucoma scintillans</i>
FGL	Flagelados	<i>Monas sp.</i>
CC	Ciliados carnívoros	<i>Tokophrya</i>

Em relação à frequência e à proporção de microrganismos encontrados, as amebas e ciliados fixos foram os grupos que concentraram a maior proporção, representando, respectivamente, 41,60 % e 39,90% do total de microrganismos, seguido de metazoários com

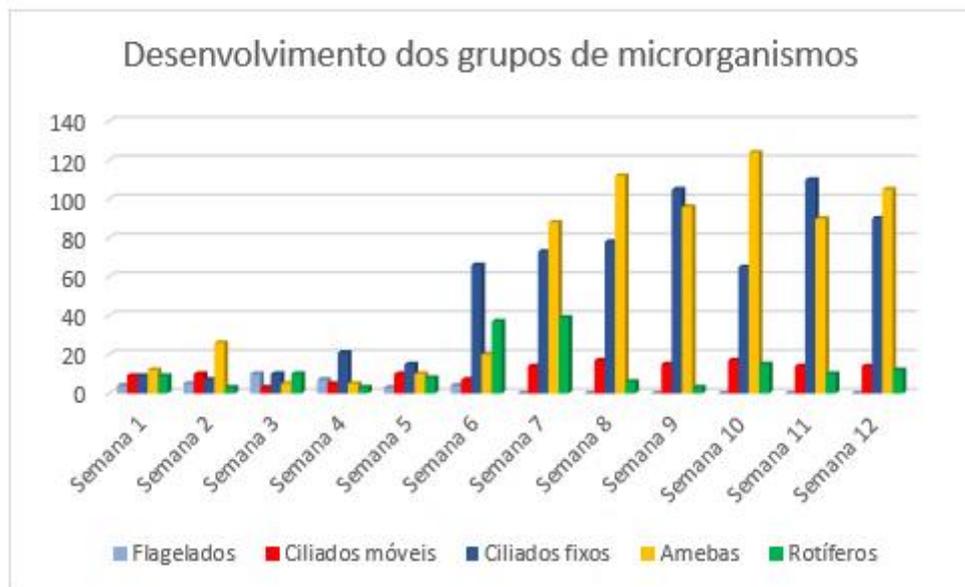
uma proporção mais baixa de 9,30%, ciliados móveis e flagelados menos representativos, a presença dos ciliados carnívoros da espécie tokophrya foram em análises pontuais não sendo significativo no total. A Figura 20 abaixo demonstra essa relação com base nos grupos mais frequentes identificados durante a pesquisa.

**Figura 20-** Porcentagem dos grupos de microrganismos encontrados



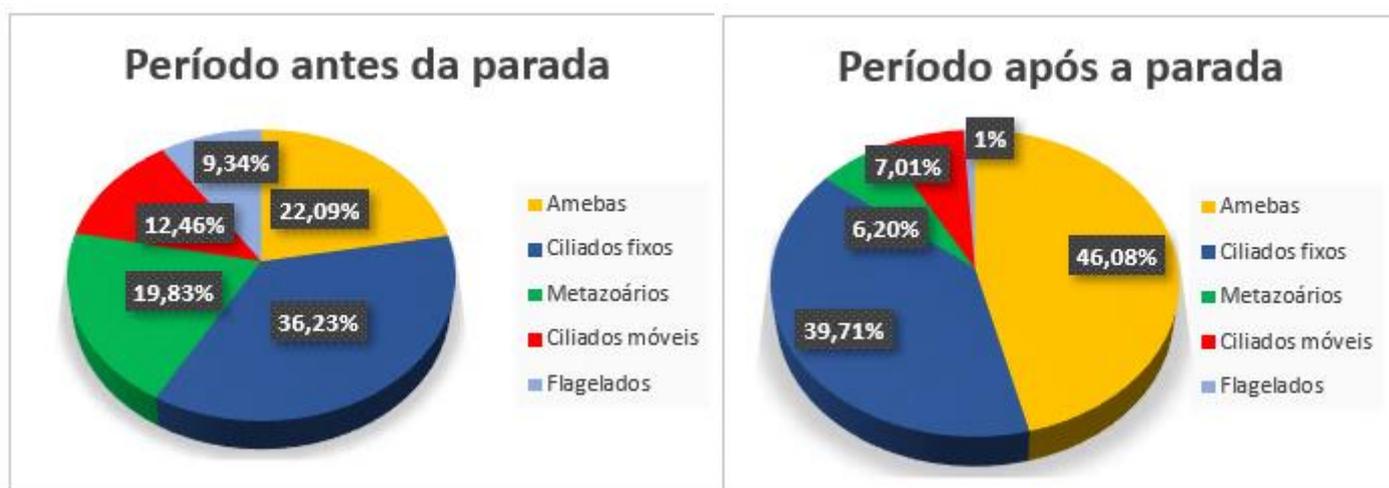
A diversidade da microbiota do sistema de lodo ativado da estação apresentou espécies de microrganismos características de acordo com mudanças e eficiência no sistema. A Figura 21 abaixo representa o desenvolvimento dos microrganismos ao longo das semanas de análises:

**Figura 21-** Desenvolvimento dos grupos de microrganismos



O desenvolvimento mais representativo dos microrganismos iniciou a partir da semana 6 de análise, influência de algumas variáveis como o período de estabilidade do sistema no mês de agosto e no mês de setembro ser realizada uma parada da empresa para manutenção, influenciando nas condições de operação. Após o fim da parada e início da operação, o sistema levou um período para adaptação novamente das condições necessárias para o crescimento dos microrganismos, permitindo o desenvolvimento principalmente de amebas e ciliados fixos nas semanas seguintes de análise o que indica uma boa depuração e eficiência do sistema considerando o tempo de detenção do lodo, a disponibilidade de matéria orgânica, além do período entre as fases de adaptação, exponencial, desaceleração e morte realizada pelos microrganismos. A Figura 22 abaixo representa o experimento presente no período de análises com a frequência de microrganismos antes da parada e após a parada.

**Figura 22-** Experimento comparativo antes e após a parada da empresa



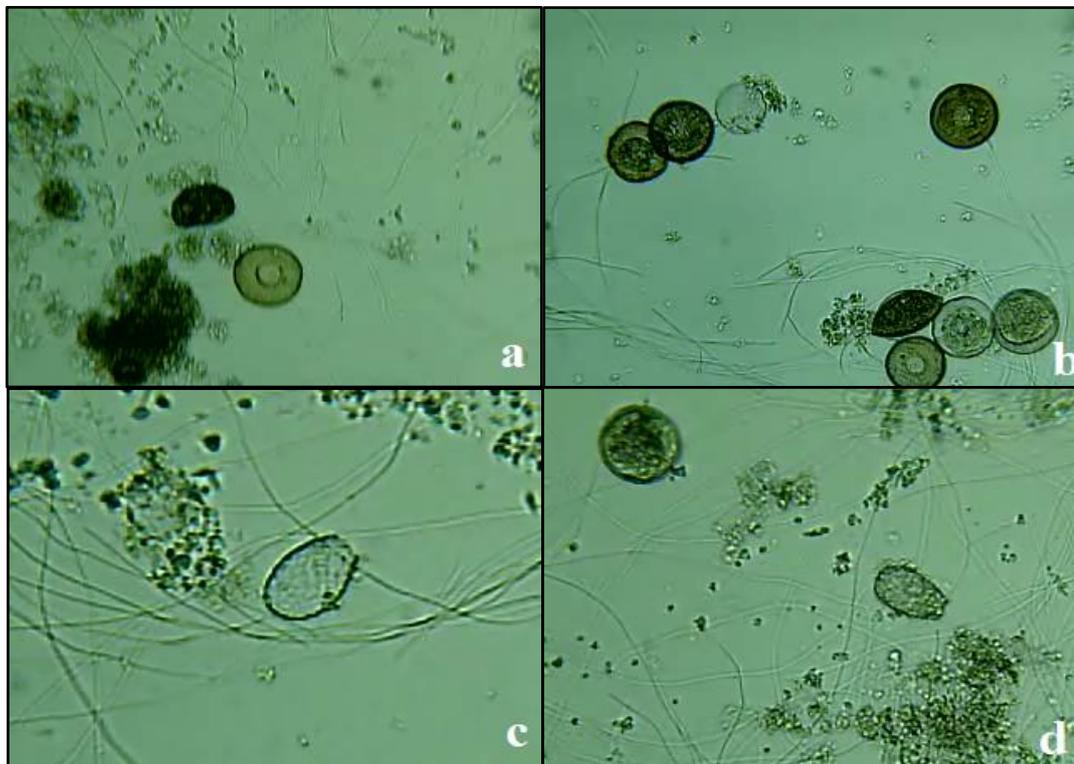
Os dois gráficos acima representam a frequência dos microrganismos em dois períodos durante as análises. O gráfico à esquerda está relacionado a fase do sistema antes da parada da empresa em que o sistema se encontrava estabilizado com uma distribuição dos tipos de microrganismos presentes, com ênfase nos ciliados fixos grupo predominante. O sistema se encontrava em condições de alimentação permanentes, enquanto que o OD se apresentou mais eficiente resultando na presença mais significativa dos metazoários, porém a presença de flagelados era maior representando um fator de ineficiência no sistema.

O gráfico direito representa o período após a parada e início da fábrica, demonstrando a predominância de amebas, devido às condições de alimentação e de fluxo do tratamento, assim como menor concentração de metazoários devido ao OD e a relação F/M, onde a disponibilidade de alimento se tornou maior que a quantidade de microrganismos. Satisfatório também na questão dos flagelados que diminuíram, indicando melhor eficiência do sistema através da relação com a predominância de amebas e melhores resultados dos parâmetros relacionados à remoção de matéria orgânica.

A identificação dos microrganismos durante a pesquisa representou uma deficiência em relação às referências que pudessem auxiliar na caracterização dos mesmos, porém com as imagens coletadas durante a análise é possível identificar cada espécie de microrganismos encontrados durante o estudo.

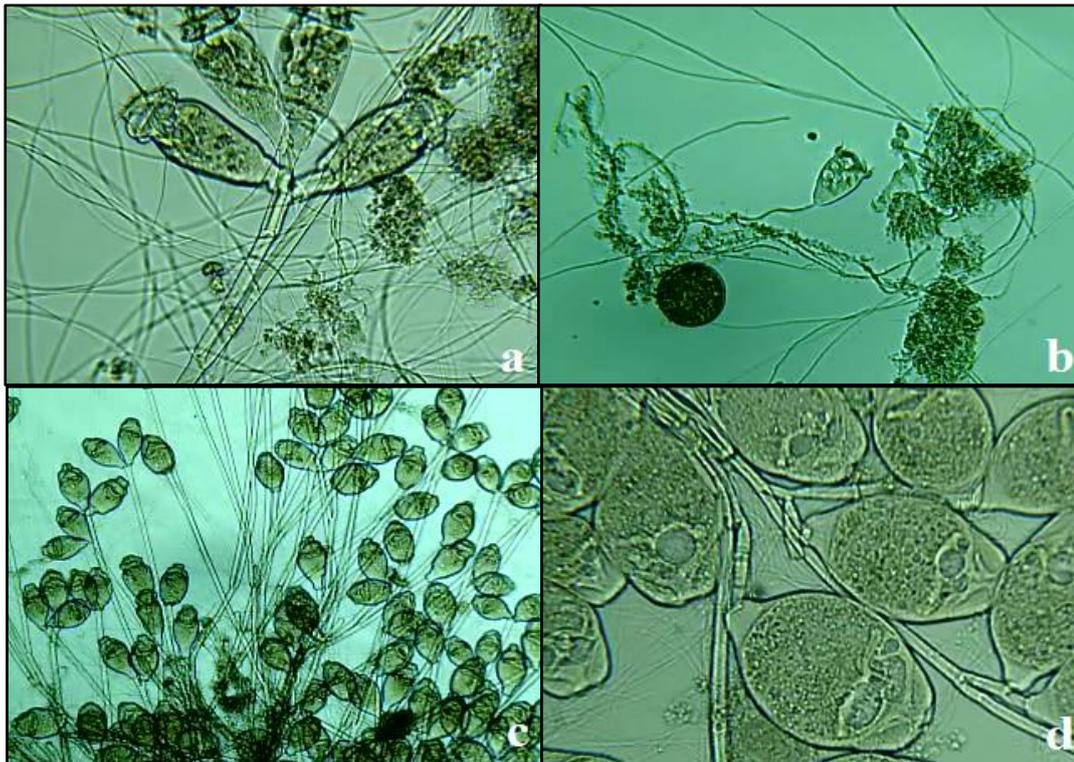
As amebas foram os grupos predominantes e os gêneros representantes desse grupo foram *Arcella* sp. e *Euglypha* sp. demonstradas na Figura 23 abaixo.

**Figura 23-** Grupo dos microrganismos amebas. (a) e (b) *Arcella* sp.; (c) e (d) *Euglypha* sp.



O segundo grupo predominante nas análises foram os ciliados fixos pedunculados dos gêneros/espécies *Vorticella octava*, *Vorticella microstoma* e *Opercularia* sp. representadas na Figura 24 abaixo.

**Figura 24-** Grupo dos microrganismos ciliados fixos pedunculados. (a) *Vorticella octava*; (b) *Vorticella microstoma*; (c) e (d) *Opercularia* sp.



O grupo dos ciliados móveis encontrados representam os gêneros/espécies *Paramecium* sp. e *Glaucoma scintillans* apresentadas na Figura 25 abaixo capturadas durante o estudo.

**Figura 25-** Grupo dos microrganismos ciliados móveis. (a) *Paramecium* sp. e (b) *Glaucoma scintillans*.



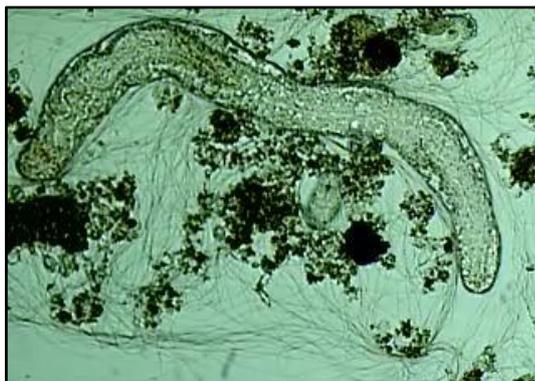
No grupo dos metazoários rotíferos os gêneros/espécies encontradas foram Philodina, Rotaria e Monogononta representadas na Figura 26 abaixo.

**Figura 26-** Grupo dos microrganismos metazoários rotíferos. (a) Philodina; (b) Rotaria; (c) Monogononta e (d) captura de todas as espécies juntas;



Apenas na primeira semana de análises foi identificado um metazoário anelídeo da espécie *Aelosoma* que segundo Class (2007) indica excesso de oxigênio dissolvido no sistema, condição que não foi permanente durante o período de análises. A Figura 27 abaixo representa a espécie encontrada:

**Figura 27-** Grupo dos microrganismos metazoários anelídeos espécie *Aelosoma*;



Entre o grupo dos ciliados carnívoros a espécie encontrada apenas duas vezes foi a tokophrya denominada também como suctoria, segundo Bento (2005) sua presença em sistemas de lodos ativados indica estabilidade e elevado OD, devido ao fato de serem muito sensíveis a mudanças de operação. A Figura 28 abaixo representa esse microrganismo.

**Figura 28-** Grupo dos microrganismos ciliados carnívoros. (a) e (b) Tokophrya ou Suctoria;



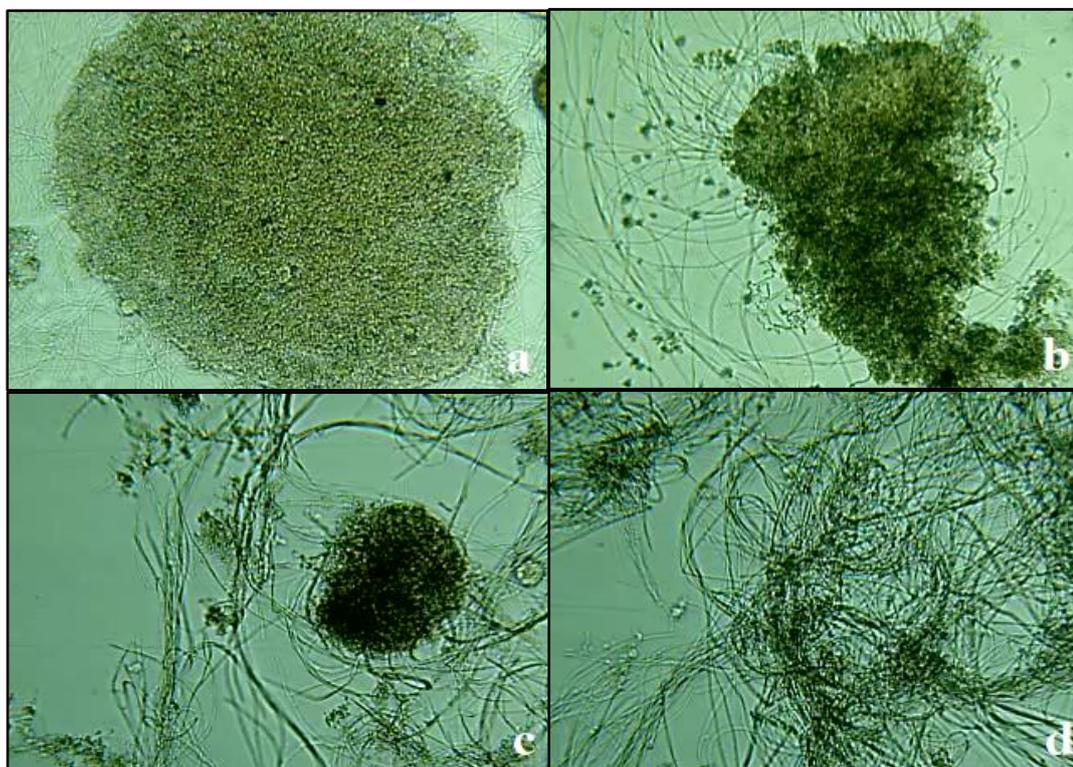
O grupo dos flagelados foi representado pela espécie *Monas* sp demonstrada na Figura 29 abaixo.

**Figura 29-** Grupo dos microrganismos flagelados espécie *Monas* sp



No período de caracterização, foram observados também a morfologia dos flocos e a presença de bactérias filamentosas, importantes para determinar a eficiência do sistema além de possuírem relação com as condições de operação. A Figura 30 abaixo apresenta as bactérias filamentosas e os tipos de flocos encontrados durante o período de análise na estação:

**Figura 30-** Grupo dos microrganismos bactérias filamentosas e morfologia dos flocos. (a) floco denso e bem formado poucas filamentosas; (b) floco aberto com filamentosas saindo do floco; (c) floco intumescido e (d) bactérias filamentosas abundantes;



As figuras referentes aos flocos representam dois tipos característicos, segundo Pujol e Canler (2002) a Figura 30 (c) representa o floco intumescimento ou “bulking” sendo um problema complexo quando os organismos filamentosos (d) dominam a competição entre espécies o que prejudica a sedimentabilidade dos flocos e atinge de 20 a 40% das estações de tratamento. Por outro lado, existe o floco “pinpoint” quando não há quantidade suficiente de bactérias filamentosas e forma-se uma microestrutura que resulta em flocos de dimensões muito pequenas, os quais ficam dispersos na fase líquida, dificultando a sedimentação.

#### 4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA CORRELAÇÃO DE SPEARMAN

Para avaliar estatisticamente as correlações significativas entre os parâmetros físico-químicos pH, temperatura, medida de oxigênio dissolvido (OD), sólidos suspensos totais (SST), voláteis (SSV) e SSE (sedimentáveis), nitrogênio amoniacal, DBO, DQO, idade do lodo e F/M e os microrganismos identificados, foi realizada a análise de correlação de Spearman pelo

Software SigmaPlot. A Tabela 5 abaixo mostra os valores de correlação Spearman significativos ( $p$ -valor $<0,05$ ) para os parâmetros e dados obtidos:

**Tabela 5-** Análise de correlação parâmetros vs microrganismos

<b>Microrganismos</b>	<b>Parâmetros físico químicos</b>	<b><math>r^2</math></b>	<b>P</b>
AMB	nitrito	-0,988	1E-06
	idade lodo	0,986	2E-07
	amônia	-0,986	2E-07
	DBO	-0,658	0,0186
CF	idade lodo	0,793	1E-05
	DQO	-0,988	2E-06
	DBO	0,459	0,023
	amônia	0,695	0,0154
MET	OD	0,984	2E-07
	idade lodo	0,879	1E-06
	filamentosas	-0,567	0,0512
CM	DBO	-0,876	1E-06
	idade lodo	0,933	4E-06
FGL	idade lodo	-0,882	3E-06
	DQO	0,831	2E-07
	DBO	0,831	3E-06
	amônia	0,888	2E-07
ST	SSE	0,901	1E-06
SV	F/M	-0,993	1E-06

A partir da análise de correlação de Spearman aplicada aos parâmetros físico químicos e os microrganismos foi possível verificar correlações significativas entre as variáveis. As amebas do gênero *Arcella* sp. foram predominantes nas análises seguidas do gênero *Euglypha* sp, e de acordo com o método de Spearman, demonstraram uma correlação negativa (-0,986) e forte com a remoção de amônia no sistema e com nitrito (-0,988), ou seja, quanto maior a concentração de amebas menor será a quantidade de amônia e nitrito no sistema. Logo uma remoção mais eficiente desses parâmetros, resultado semelhante observado por Madoni (2011) quanto a presença das tecamebas dos gêneros *Arcella* e *Euglypha* indicam remoção de nitrogênio no reator nas idades do lodo em que a taxa de remoção de nitrogênio amoniacal apresentou seus valores máximos, comprovado também por Santos (2010) que relacionou a presença de *Arcella* com a nitrificação e uma aeração prolongada.

As amebas foram o grupo predominante nas análises, porém a remoção de amônia resultou em 68% de eficiência, influência da presença do segundo grupo predominante nas análises, os ciliados fixos, que obtiveram uma correlação positiva (0,695) com a amônia, ou seja, quanto mais ciliados fixos maiores será a quantidade de amônia. Este resultado está em conformidade com estudos segundo Sezerino, Bento e Philippi (2005), no qual a nitrificação apresenta relação com a densidade de CPF no reator, ou seja, quanto maior a densidade desses organismos, menor a taxa de nitrificação (maiores concentrações de N-NH<sub>4</sub> no efluente). Tais resultados foram comprovados pela presença das espécies de ciliados fixos *Vorticella microstoma*, *Vorticella octava* e o gênero *Opercularia sp* que, segundo Madoni (2011), são predominantes quando não existem condições para que a nitrificação aconteça prejudicando uma maior eficiência de remoção de amônia.

O resultado da correlação positiva (0,986) entre as amebas e a idade do lodo indica que quanto maior a idade do lodo maior a concentração de amebas o que está em conformidade com Medeiros (2013), que se refere que a presença de amebas costuma ser muito abundante em sistemas com longo tempo de detenção, ou seja idade do lodo elevada, o que permite uma completa nitrificação da matéria orgânica.

As análises de DBO dos pontos coletados variaram em alguns períodos, considerando a saída do flotador e a saída final do decantador atingiram uma média de 1615 mg/L resultando assim em uma eficiência de remoção do sistema de DBO em 89% estando de acordo com os parâmetros recomendados pela Resolução CONAMA 430/2011 para lançamento de efluentes, considerando que a remoção de DBO<sub>5</sub> deve ser superior a 60%. Já o parâmetro da DQO, considerando a saída do flotador e a saída final do decantador obteve média de 1447 mg/L resultando em uma remoção de 93%.

Os níveis satisfatórios de remoção de DQO do sistema estão diretamente relacionados à significativa concentração de ciliados fixos pedunculados. Essa relação entre a remoção desse parâmetro e esse grupo de microrganismos é comprovada através da análise estatística com correlação negativa (-0,998), indicando que quanto maior a concentração de ciliados fixos menor será a quantidade de DQO, conseqüentemente melhor remoção. Esses resultados estão em conformidade com os obtidos por Bento (2005) quando os ciliados foram associados à elevada remoção de DQO, assim como para Ferreira, Cunha e Roque (2008), pois a maior frequência desses grupos costuma indicar uma menor carga de DQO, conseqüentemente, uma melhor qualidade do efluente.

Em relação a porcentagem inferior na remoção de DBO apresentando uma correlação positiva fraca (0,459) indicando que quanto maior o número de ciliados fixos maior será a concentração de DBO, está relacionado a presença dos ciliados fixos da espécie *Vorticella microstoma* e o gênero *Opercularia* sp que impediram uma remoção mais eficiente deste parâmetro. Isso se explica pois, segundo Ferreira, Cunha e Roque (2008), a presença de *Vorticella microstoma* e o gênero *Opercularia* sp. estão relacionadas com o baixo teor de oxigênio dissolvido no tanque de aeração e elevados valores de DBO<sub>5</sub> no efluente final.

Apesar de algumas espécies de ciliados fixos estarem relacionados com a remoção de DBO como a presença de ciliados fixos *Vorticella octava*, identificada nas análises e relacionada com os valores baixos de DBO, ou seja, a variável espécie de ciliados fixos varia em relação ao parâmetro DBO. A remoção de DBO ainda foi considerada alta, além da presença de *Vorticella octava*, pois o grupo predominante nas análises foram as amebas e segundo Sezerino, Bento e Philippi (2005) a ocorrência de *Arcella* sp, *Euglypha* sp indicam boas remoções de DBO<sub>5</sub> do sistema representando um correlação negativa (-0,658), ou seja, mais amebas menos DBO e remoção eficiente.

A relação entre ciliados fixos e idade do lodo apresentou uma correlação positiva (0,793) indicando que a medida que o lodo permanece por mais tempo no sistema a sua idade é mais elevada sendo proporcional ao desenvolvimento de ciliados fixos, o que está de acordo com Rosa & Bazzanella (2013) os ciliados fixos são encontrados em lodos ativados de idade avançada e de boa qualidade.

A análise de correlação de Spearman positiva em relação aos microrganismos rotíferos para os parâmetros oxigênio dissolvido (0,984) e idade do lodo (0,879) indica que quanto melhores forem as condições de oxigênio dissolvido e idade do lodo no sistema resultará no desenvolvimento maior destas espécies. De acordo com Claas (2007), sua presença é indicadora de boa eficiência do sistema, já que está associada a idade de lodo elevada e condições favoráveis de oxigenação, além da presença das tecamebas e dos rotíferos indicarem alto tempo de detenção celular no lodo.

A presença desse grupo de protozoários não foi frequente nas análises devido às condições necessárias para o seu desenvolvimento, sendo que o oxigênio dissolvido no sistema durante alguns períodos de análise apresentou concentrações baixas influenciando no crescimento dos rotíferos que são sensíveis e os primeiros indicadores a sofrer com as condições do sistema. A presença do gênero de rotíferos *Monogononta* sp., por exemplo, segundo

Hoffmann (2004) está relacionada com um sistema com boa aeração, possível nitrificação, de razoável a boa qualidade de efluente final e idade de lodo elevada.

Os ciliados móveis das espécies encontrados obtiveram correlação positiva (0,933) com a idade do lodo que, de acordo Soares et al (2014) a presença de organismos como tecamebas, rotíferos, ciliados fixos e ciliados móveis, permite caracterizar o processo com uma elevada idade do lodo e boa qualidade na depuração, ou seja, a presença destes grupos resulta na eficiência do sistema de tratamento. Além dos ciliados móveis terem relação com a eficiência da remoção de DBO, pois apresentaram uma correlação negativa (-0,876) na análise estatística, ou seja, quanto maior a concentração de ciliados móveis menor será a DBO, sendo assim melhor remoção estando em conformidade com estudos descritos por Junior (2018) os ciliados móveis e as tecamebas apresentaram uma forte relação com a DBO<sub>5</sub>, sendo estes dois grupos bons bioindicadores, a quantidade deles diminuía à medida que o processo produziu efluente de com qualidades abaixo do esperado.

O grupo dos flagelados foi o que apresentou menor número de espécies encontradas durante as análises, apesar da carga orgânica do sistema ser uma condição favorável para o seu desenvolvimento. A presença dos flagelados foi afetada pela idade de depuração do lodo comprovado pela correlação negativa (-0,882) com a idade do lodo, pois quanto maior a idade do lodo menor será a presença dos flagelados e o sistema durante quase todo o período de análises caracterizou-se com uma idade de lodo avançada. De acordo com Saar (2015) sua presença em meio aquático está relacionada à riqueza de matéria orgânica, sendo característicos de sistemas em início de operação, quando a oferta de alimento ainda é muito grande, estando presentes, portanto, em lodo jovem com idade baixa.

A relação entre os flagelados e a remoção dos parâmetros DBO (0,831), DBO (0,831) e amônia (0,888) apresentou uma correlação positiva indicando que a presença desse grupo e os parâmetros são proporcionais, ou seja, a medida que aumentam os flagelados aumenta a concentração desses parâmetros diminuindo a eficiência de remoção, estando em conformidade com Santos (2014) predominância de flagelados apresentam deficiência de aeração, má depuração e sobrecarga orgânica. Em relação aos pequenos flagelados, Junior (2018) sugere que a presença destes pode representar perda na eficiência do processo de lodo Ativado e de remoção.

Uma correlação positiva (0,901) resultante na análise foi entre os sólidos totais com os sólidos sedimentáveis isso porque segundo Bento (2005), a concentração de sólidos no efluente

apresenta relação diretamente proporcional com a densidade total da microfauna, ou seja, quanto maior a concentração de sólidos, maior densidade de organismos nos reatores.

Os sólidos voláteis representam a quantidade de matéria orgânica/microrganismos no sistema apresentando correlação negativa (-0,993) com F/M e no sistema estudado a relação entre alimentos e microrganismos obteve média 0,33 um pouco acima do valor encontrado na literatura entre 0,15 a 0,30, indicando que a quantidade de alimento era maior que a disponibilidade de microrganismos no sistema.

As bactérias filamentosas também foram um dos grupos de microrganismos analisados na correlação, devido ao seu aparecimento abundante no período de análises. As filamentosas resultaram em uma correlação negativa (-0,567) em relação ao OD e aos rotíferos isso porque em alguns períodos de análises a disponibilidade de oxigênio foi baixa, diminuindo a concentração de rotíferos proporcionais ao OD e aumentando as bactérias filamentosas, estando em conformidade segundo Ferreira, Cunha e Roque (2008), os principais motivos para o aparecimento das bactérias filamentosas em sistema de lodo ativado são: pouco nutriente e baixa concentração de oxigênio dissolvido.

Com relação a outros parâmetros físico químicos como pH e temperatura, ambos apresentaram condições ideais e necessárias para a operação do sistema com média de 7,3 e 25 respectivamente durante as análises estando de acordo com Bento, (2005) sendo considerada a faixa ideal de pH, entre 6 a 9, e Medeiros (2013) que se refere a faixa de pH tolerável para os microrganismos do lodo ativado segundo a literatura situar-se entre 7 e 8, devido a isso esses parâmetros não apresentaram correlações significativas na análise estatística.

Considerando as condições de operação do sistema e os níveis de remoção de DQO 93%, DBO 89% e amônia 68% bem como as condições favoráveis de pH e temperatura, o sistema de lodos ativados apresentou uma eficiência boa de operação resultado da presença dos microrganismos analisados com predominância de amebas e ciliados fixos pedunculados indicadores de boa depuração e eficiência do sistema, influenciada apenas por fatores como concentrações baixas de OD em alguns períodos favorecendo o desenvolvimento em excesso de bactérias filamentosas e a relação F/M acima do esperado indicando uma proporção com maior disponibilidade de alimento para uma menor concentração de microrganismos.

Um fator relevante sobre o tratamento de efluentes da empresa é a programação manual realizada, a fim de oferecer ao sistema condições anóxicas para que as bactérias responsáveis possam atuar através das reações de nitrificação e desnitrificação com o objetivo de remover a amônia. Essas condições interferem em alguns fatores no processo, principalmente em relação

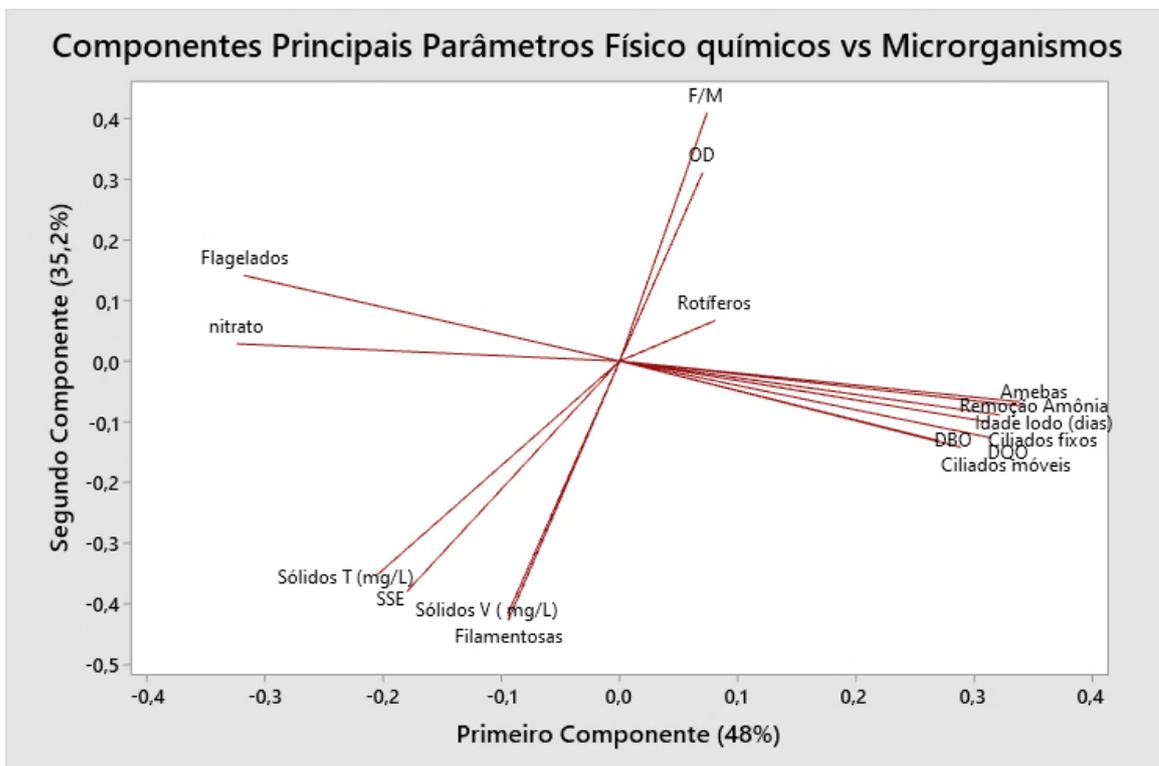
ao OD já que são desligados os compressores, por esse motivo o parâmetro de oxigênio baixo influencia no processo principalmente no desenvolvimento de rotíferos e filamentosas sendo que o sistema de OD não possui capacidade de recuperação rápida devido às condições de operação.

#### 4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA)

Os dados obtidos da caracterização da microbiota e os parâmetros físico químicos foram submetidos à análise de componentes principais (PCA). A matriz total dos dados é constituída pela representação no espaço nas dimensões: 5 variáveis de microrganismos e 11 variáveis de parâmetros físico químicos. A variância total representando a variabilidade dos dados foi de 83,2 % das variáveis originais, com o componente principal PC1 responsável por 48% da variância e o componente principal PC2 responsável por 35,2% dessa variância.

Na Figura 31 abaixo estão dispostos os resultados da caracterização dos parâmetros físico-químicos vs microrganismos, PC1 vs. PC2, caracterizando 83,2% da variância:

**Figura 31-** Análise de componentes principais dos parâmetros físico químicos versus microrganismos



A partir da análise de PCA aplicada, a relação das variáveis remoção de amônia, DQO, DBO e idade do lodo representando a carga orgânica e termos de nitrogênio, ficaram agrupadas no mesmo hemisfério que os microrganismos amebas, ciliados fixos e ciliados móveis representando uma forte relação e a influência desses parâmetros com a presença desses grupos de microrganismos, analisada também pela correlação de Spearman. Quanto aos microrganismos flagelados agrupados no mesmo hemisfério que o nitrato, possui relação com indicativos de ineficiência do sistema, comprovado pela relação entre elas, além dos flagelados estarem em um quadrante contrário aos parâmetros de remoção, pois é um indicativo de má depuração do sistema comprovado também pela análise de correlação de Spearman aplicada anteriormente.

A série de sólidos formada por ST, SV e SSE ficaram agrupadas no mesmo hemisfério juntamente com os microrganismos bactérias filamentosas caracterizando a relação entre as variáveis, que segundo Motta et al. (2002) uma porcentagem de SSV mais alta, pode também ser um indicador de flocos maiores e/ou de uma concentração mais importante de filamentosas. A posição inversa desses parâmetros em relação ao F/M e ao OD indica a relação que possuem quanto a concentração de microfauna no sistema e ao OD que influencia no desenvolvimento de bactéria filamentosas.

Quanto ao hemisfério superior direito agrupado pela relação F/M, OD e rotíferos analisa a influência da concentração de microrganismos correlacionado com o oxigênio dissolvido disponível para a atividade, influenciando também a concentração de microrganismos rotíferos sensíveis às condições do sistema e que representam uma menor influência em relação aos outros parâmetros de operação devido à sua frequência durante as análises e relação com os componentes principais.

Um fato relevante que pode ser extraído da análise são os parâmetros considerados importantes para determinar a eficiência do sistema como remoção de amônia, DQO e DBO estarem no mesmo hemisfério que os microrganismos amebas, ciliados fixos e móveis indicativos de eficiência de depuração desses parâmetros, enquanto microrganismos como flagelados, bactérias filamentosas e nitrato considerados indicativos de má eficiência estarem agrupados em hemisférios distantes e diferentes.

## 5. CONCLUSÕES

A avaliação dos metazoários e protozoários por meio de microscopia traz informações importantes relacionadas ao comportamento do processo de tratamento biológico. Após as semanas de análise e acompanhamento do sistema de lodo ativado, utilizado para tratar o efluente oriundo da empresa de termoprocessado a base de proteína animal, constatou-se que a variedade e frequência dos microrganismos observados durante o monitoramento biológico foram condizentes com as operações do sistema de lodo ativado.

A identificação do grupo de microrganismos dominantes, presentes na microbiota do lodo correlacionados com os parâmetros físico-químicos através de análises estatísticas, permitiu avaliar o funcionamento do processo de lodo ativado no tratamento de efluente industrial e sua caracterização se torna um indicador importante no controle operacional do processo. A partir da correlação aplicada e os resultados de remoção dos parâmetros de eficiência do sistema aliados aos microrganismos, observa-se que a presença da microbiota do lodo ativado representa papel fundamental no controle operacional.

Portanto, é importante estar ciente de que os processos podem mudar e se renovar em relação aos seres vivos e que são sensíveis a vários fatores do ambiente. Dessa forma proporcionar um ambiente favorável aos microrganismos de lodos ativados é um meio de obter uma resposta positiva do sistema biológico, resultando em eficiência no tratamento do efluente. A identificação das espécies presentes mostrou-se eficiente, fornecendo informações sobre problemas e eficiências na ETE.

## 6. REFERÊNCIAS

AMORIM, Lara Letícia Galdino; VARGAS, Kátia Pontes; JESUS, Eleonora Henriques Amorim de. **Análise de eficiência do sistema de lodo ativado no tratamento de efluentes de um curtume na cidade de Uberlândia - MG.** 2014. 15 f. Tese (Doutorado) - Curso de Gestão Ambiental, Uniebe- Universidade de Uberaba, Minas Gerais, 2014. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2014/III-078.pdf>. Acesso em: 15 maio 2019.

ANDRADE, Paula Andressa Wunderlich de. **Sustentabilidade industrial e tratamento de efluentes em uma indústria alimentícia em Lages – Santa Catarina.** Lages Santa Catarina: Universidade do Estado de Santa Catarina – Udesc, 2018.

ANDREOLI, C.V.; BONNET, B.R.P. **Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto.** 1st, Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR, 2000. p. 86. Disponível em: <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/dexSearch=ID> . Acesso em: 25 abril 2019.

BARCELLOS, Camila Hunbner, CARVALHO, Antonio R. P. **Tratamento biológico de Efluentes,** 2012. Disponível em: <http://conic-semesp.org.br/anais/files/2014/trabalho-1000018345.pdf>. Acesso em: 14 julho 2019.

BAUER, Lidiane. **Estimação do coeficiente de correlação de Spearman ponderado.** Porto Alegre: Dissertação de Mestrado- Ufrgs, 2007. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/11499>. Acesso em: 25 setembro 2019.

BENTO, A. P. **Caracterização da microfauna em ETE do tipo lodos ativados: um instrumento de avaliação e controle do processo.** *Engenharia sanitária ambiental*, v. 10, n. 4, p. 329-338, out./dez. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v10n4/a09v10n4.pdf>. Acesso em: 30 agosto 2019.

CAMMAROTA, Magali Christe. **Tratamento de efluentes líquidos.** 2011. 72 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia do Meio Ambiente, Ufrj, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://www.eq.ufrj.br/docentes/magalicammarota/2013/eqb485.pdf>. Acesso em: 16 junho 2019.

CARVALHO, Nelson. **Tratamentos biológicos.** São Paulo: Engenharia Ambiental, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/licere/article/view/792/593>. Acesso em: 16 junho 2019.

CAVALCANTI, José Eduardo W. de A. **Manual de tratamento de efluentes industriais.** 2. ed. São Paulo: Engenho Editora Técnica Ltda, 2012. Disponível em: <http://www.brasilengenharia.com/portal/eventos/2886-livro-manual-de-tratamento-de-efluentes-industriais?format=pdf>. Acesso em: 25 abril 2019.

CETESB. **Manual técnico da microbiologia para sistemas de lodos ativados.** São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2005. 43 p. Disponível em: <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=120996&indexSearch=ID>. Acesso em: 12 junho 2019.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) **Relação de aspectos físico químicos** -2012. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-cAAndice-D-Significado-Ambiental-e-Sanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-29-04-2014.pdf>. Acesso em: 13 agosto 2019.

CHAVES, Maiara Jocasta. **Indicador de paradas em equipamentos de uma indústria frigorífica**. 2015. 28 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade do Planalto Catarinense, Lages, 2015. Disponível em: <https://revista.uniplac.net/ojs/index.php/engproducao/search/authors/view?firstName=MAIARA&middleName=JOCASTA&lastName=CHAVES&affiliation=&country=>. Acesso em: 23 agosto 2019.

CLAAS, Isabel Cristina. **Lodos ativados: Princípios teóricos fundamentais, operação e controle**. Porto Alegre: Evangraf, 2007. 131p. Disponível em: <http://www.crbiodigital.com.br/03/consultoriaclaasmaia?idNtc=3777323638>. Acesso em: 30 maio 2019.

CORDI, ASSALIN, M. R., DIEZ, M. C., DURAN, N. **Montagem, partida e operação de um sistema de lodo ativados para o tratamento de efluente: Parâmetros físico-químicos e biológicos**. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP , Cidade universitária, Campinas – SP, 2008. Disponível em: <http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/include/getdoc.php?id=258&article=115&mode=pdf>. Acesso em: 13 outubro 2019.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução 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. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=17214>. Acesso em: 25 setembro 2019.

FERNANDO, N.L., FEDORAK, P.M. **Changes at art activated sludge sewage treatment plant alter the numbers of airborne aerobic microorganisms**. Water Research, v. 39, p. 4597- 4608, 2005. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16209882>. Acesso em: 16 junho 2019.

FERNANDES, Carlos. **Digestão Anaeróbia**. UFSM 2012. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&CBAC&url=https%3A%2F%2Fwww.alice.cnptia.embrapa>. Acesso em: 17 junho 2019.

FERREIRA, Aldo P.; CUNHA, Cynara L. N.; ROQUE, Odir C.C. **Avaliação da microfauna no efluente final para monitoramento da qualidade ambiental em estações de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados**. Revista Gaia Scientia, Brasil, v. 2, n. 1, p. 51-59, 2008. Disponível em: <http://www6.ensp.fiocruz.br/repositorio/resource/357475>. Acesso em: 30 agosto 2019.

FOELKEL, Celso. **Processos Aeróbicos por Lodos Ativados para Tratamento de Efluentes**. 2014. 229 f. - Curso de Engenharia Ambiental, Cenibra, São Paulo, 2014. Disponível em: [http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT34\\_Lodos\\_Ativados.pdf](http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT34_Lodos_Ativados.pdf). Acesso em: 13 agosto 2019.

FREIRE, R. S.. **Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas.** Scielo, v. 23, p. 504-511, 2000. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010040422000000400013&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010040422000000400013&script=sci_abstract&tlng=pt). Acesso em: 25 setembro 2019.

GRANATO, Eder Fonzar. **Geração de energia através da biodigestão anaeróbica.** UNESP, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Campus Bauru, SP. 2003. p. 34. Disponível em: [https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90820/granato\\_ef\\_me\\_bauru.pdf;jsessionid=1AA7499FAE21B9BDA55A2555B2E43E67?sequence=1](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90820/granato_ef_me_bauru.pdf;jsessionid=1AA7499FAE21B9BDA55A2555B2E43E67?sequence=1). Acesso em: 14 maio 2019.

HOFFMANN, Heike. **Caracterização do Funcionamento de ETE de Tipo Lodo Ativado Via Imagem Microscópica - Estudo na Região da Grande Florianópolis.** In: 11<sup>o</sup> SILUBESA, 2004, Natal. Scielo, Florianópolis: Abes, 2004. v. 1, p. 1-8. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=000166&pid=S1413415220110004001300011&lng=es](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000166&pid=S1413415220110004001300011&lng=es). Acesso em: 24 setembro 2019.

HONGYU, K., Sandanielo,. **Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação.** E&S - Engineering and Science, (2016), 5:1. Disponível em: <http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/view/3398>. Acesso em: 16 junho 2019.

JIANG, J. G.; **Use of the aquatic protozoa to formulate a community biotic index for na urban water system.** Science of the Total Environment, v. 346, p. 99-111, 2005. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15993686>. Acesso em: 02 outubro 2019.

JORDÃO, E.P. & PESSOA, C.A. **Tratamento de esgotos domésticos.** 6a Ed., Rio de Janeiro: ABES, 2011. Disponível em: [https://www.academia.edu/35702025/Tratamento\\_de\\_esgotos\\_domesticos\\_Eduardo\\_Pacheco\\_Jord%C3%A3o\\_Constantino\\_Arruda\\_Pessoa\\_6a\\_edi%C3%A7%C3%A3o](https://www.academia.edu/35702025/Tratamento_de_esgotos_domesticos_Eduardo_Pacheco_Jord%C3%A3o_Constantino_Arruda_Pessoa_6a_edi%C3%A7%C3%A3o). Acesso em: 13 agosto 2019.

JUNIOR, Luiz Carlos. **Estudo de estações de tratamento de efluentes industriais e domésticas: avaliação físico-química e da microbiota.** 2018. 100 f. Tese - Curso de Engenharia Química, Centro de Tecnologia e Geociências, Recife, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/31863>. Acesso em: 17 junho 2019.

LAZZARI, Alessandro Coelho. **Sistema de informação para auxílio no monitoramento de uma estação de tratamento de efluentes.** 2006. 84 f. Monografia - Curso de Sistema de Informação, Centro Universitário Unifacvest, Lages Santa Catarina, 2006.

MADONI, P. **Protozoa in wastewater treatment processes: A minireview.** Ital. J. Zool., v.78,n.1, p.3-11, 2011. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/11250000903373797>. Acesso em: 13 agosto 2019.

MARCONDES, Josiane Gasparini. **Tratamento de efluentes**. Assis: Fema, 2012. Disponível em: <https://cepein.femanet.com.br/BDigital/arqTccs/0911290473.pdf>. Acesso em: 24 setembro 2019.Z

MATOS, A. T. **Tratamento de resíduos industriais**. Viçosa: FEAM/UFV, 2005. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref). Acesso em 03 de abril 2019.

MEDEIROS, J. D. **Análise da diversidade taxonômica e funcional da atividade microbiana de um ambiente lótico urbano**. 2013. 131f. Dissertação (Ciências Biológicas – Genética e Biotecnologia) – Faculdade de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/d847a8d5d9772b15ce8851cf1>. Acesso em: 30 agosto 2019.

MOREIRA, Andressa ; **Manual de Operação e Manutenção da Estação de Tratamento de Efluentes**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2018. Disponível em : <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/874586>. Acesso em: 17 junho 2019.

MOTULSKY, Harvey. **The Graphpad InStat guide to choosing and interpreting statistical tests**. 2003. 126 f. ANOVA, Graphpad Software, San Diego California Usa, 2003. Disponível em: <https://cdn.graphpad.com/downloads/instat/3/InStat3Mac.pdf>. Acesso em: 20 outubro 2019.

MOURA, L. A. A. **Qualidade e Gestão Ambiental**. 5. ed. São Paulo: Juarez de Oliveira, 2008. Disponível em: <https://www.lexml.gov.br/urn/urn:lex:br:livro:2008;000913295>. Acesso em 27 setembro 2019.

OLIVEIRA, Gisele Santos Silva de; ARAÚJO, Cristiano Venícius de Matos; FERNANDES, José Gilson Santos. **Microbiologia de sistema de lodos ativados e sua relação com o tratamento de efluentes industriais: a experiência da Cetrel**. Rio de Janeiro: Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-sci_abstract&tlng=pt). Acesso em: 27 setembro 2019.

OLIVEIRA, Pedro Henrique da Silva. **Influência da intensidade de aeração na formação do floco de lodo ativado e na eficiência de remoção da matéria orgânica**. 2014. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Ufrn, Natal / Rn, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/15858>. Acesso em: 13 junho 2019.

PAPADIMITRIOU C.A., **Protozoans as indicators of sequential batch processes for phenol treatment; an auto ecological approach**. SAKELLAROPOULOS G.P., 2013. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24070776>. Acesso em: 04 julho 2019.

PUJOL, R.; CANLER, J.P. **Biosortition and dynamics of bacterial populations in activated sludge**. Water Research. v. 26. n. 2. p. 209 – 212. 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/004313549290220X>. Acesso em: 17 junho 2019.

RODRIGUES, Guilherme Neto. **Reaproveitamento de resíduos sólidos de uma indústria alimentícia para a geração de energia limpa**. 2017. 30 f. tcc (graduação) - curso de engenharia elétrica, Universidade do Planalto Catarinense, Lages, 2017. Disponível em:

RODRIGUES, D. P.. **Microbiologia: teoria e prática**. São Paulo: Livraria Varela, 2004.p.151-174. Disponível em:  
[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=000103&pid=&lng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000103&pid=&lng=pt). Acesso em: 22 maio 2019.

RODRIGUES, A. **Tratamento de efluentes: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. São Paulo:Edgard Blücher, 2018, 520p. Disponível em :  
[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=0](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=0). Acesso em: 14 agosto 2019.

ROSA, Sérgio Augusto Silveira; BAZZANELLA, André. **Microbiologia dos Lodos Ativados**. 2013. 16 p. (Graduação em ciências Biológicas) UNIASSELVI, Itapiranga, 2013. Disponível em: <http://www.revistatae.com.br/6649-noticias>. Acesso em: 22 maio 2019.

SAAE. **Sistemas de Tratamento de Esgoto**. Aracruz: Saae, 2006. Disponível em:  
[http://saaeara.com.br/arquivos/outros/Tratamento\\_de\\_Esgoto.pdf](http://saaeara.com.br/arquivos/outros/Tratamento_de_Esgoto.pdf). Acesso em: 17 junho 2019.

SAAR, Jörg Henri. **Microbiologia dos lodos ativados: Teoria e aplicações práticas para quem trabalha com processos de tratamento biológico de efluentes industriais e urbanos**. 1a edição. Porto Alegre: Gênese, 2015. 196 p.

SAKER, João Paulo Pellegrini. **Saneamento Básico e Desenvolvimento**. Dissertação (mestrado em Direito Político e Econômico) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2007. Disponível em: <http://tede.mackenzie.br/jspui/handle/tede/1191>. Acesso em: 10 outubro 2019.

SANT'ANNA, G. L. Jr. **Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações**. Ed. Interciência. 2 ed. Rio de Janeiro/RJ. 418p. 2013. Disponível em:  
[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522011000200002](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522011000200002). Acesso em: 02 outubro 2019.

SANTOS, Luis Francisco. **Microrganismos encontrados no sistema de lodos ativados aplicado ao tratamento do licor negro**. 2014. 50 f. Tese Curso de Química, Usp, Florianópolis, 2014. Disponível em: [microrganismos-encontrados-no-sistema-de-lodos-ativados-aplicado-ao-tratamento-do-licor-negro-17645](http://microrganismos-encontrados-no-sistema-de-lodos-ativados-aplicado-ao-tratamento-do-licor-negro-17645). Acesso em: 15 junho 2019.

SANTOS, Jorge Augusto de Carvalho. **Estudo da influência do cloreto de sódio na remoção de matéria orgânica, na determinação da DQO e na microbiota em um sistema de tratamento aeróbio por lodos ativados**. 2010. 104 f. Tese - Curso de Engenharia, Escola de Engenharia, São Carlos, 2010. Disponível em:  
<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-11112010-093116/pt-br.php>. Acesso em: 15 março 2019.

SANTOS, N.B.V. **Avaliação do processo de nitrificação no cultivo do camarão branco do Pacífico *Litopenaeus vannamei* (Boone 1931) com uso de substrato artificial e inoculo de bactérias em sistema de bioflocos (BFT)**. 2016, p. 61. Dissertação (Programa de Pós-graduação

em Aquicultura), Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande do Sul, 2016. Disponível em: <https://aquicultura.furg.br>  
Dissertacoes/VERS%C3%83O\_FINAL\_NATHALIA\_BRENDA.pdf Acesso em: 22 maio 2019.

SANTOS, Márcio Bambirra. **MINITAB Um Breve Resumo de Aplicações**. 2008. 57 f. Tese (Doutorado) - Curso de Software, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Minas Gerais, 2008. Disponível em:  
<http://www.mbambirra.com.br/wordpress/aulas/MINITAB.doc>. Acesso em: 04 junho 2019.

SASAKI, Mayumi. **Lipídios, carboidratos e proteínas**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2008. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41132/tde-11062008-231448/publico/MayumiSasaki.pdf>. Acesso em: 22 maio 2019.

SAUTCHÚK., C. A. **Formulação de diretrizes para implantação de programas de conservação de água em edificações**. (Mestrado em Engenharia). Universidade de São Paulo. Escola Politécnica, 2009. Disponível em:  
<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-13122004-145038/publico/carlasautchuk.pdf>. Acesso em: 30 agosto 2019.

SERENOTTI, Fernando. **Avaliação da secagem para redução de volume e inativação de microrganismos em lodo de ete**. Campinas, São Paulo: Engenharia Química, 2009. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/267075>. Acesso em: 02 abril 2019.

SEZERINO, Pablo Heleno; BENTO, Alessandra Pellizzaro; PHILIPPI, Luiz Sergio. **Caracterização da microfauna em estação de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados: um instrumento de avaliação e controle do processo**. Artigo Técnico, Florianópolis, v. 10, n. 4, p.329-338, 2005. Disponível em:  
<http://www.scielo.br/scielo.php?script=40400009>. Acesso em: 07 abril 2019.

SOARES, J. F.; ILHA, R.; DE VASCONCELLOS, N. J. S.; SANTIAGO, M. R. **Caracterização do Floco Biológico e da Microfauna em Sistema de Lodos Ativados**. Ciência e Natura, Santa Maria, v. 36, n. 1, p.001-010, 2014. Disponível em:  
<https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/download/12873/pdf>. Acesso em: 26 agosto 2019.

SOUZA, Claudinei Fonseca; BASTOS, Reinaldo Gaspar; GOMES, Marcus Paulo de Moraes. **Eficiência de estação de tratamento de esgoto doméstico visando reuso agrícola**. São Paulo: Universidade Federal de São Carlos, 2015. Disponível em:  
<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci=S1980-7&lng=pt&nrm>. Acesso em: 07 maio 2019.

SYSTAT SOFTWARE Inc. - SSI. **Sigmaplot for Windows, versão 12.0**. 2006. Disponível em: <https://statsoft.com/products/sgmplot/>. Acesso em: 07 maio 2019.

VALER, Rita Maria. **Técnicas básicas de coleta e cultivo de protistas (microalgas e protozoários) de vida livre**. São Leopoldo: UNISINOS, 2000. (Curso de Extensão). Disponível em: <http://www.a.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTY3Nw>. Acesso em: 12 maio 2019.

VARELLA, Carlos Alberto Alves. **Análise de Componentes Principais**. 2008. 12 f. Curso de Agronomia, UFRRJ - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - Rj, 2008. Disponível em:

<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/multivariada%20aplicada/analise%20de%20componentes%20principais.pdf>. Acesso em: 08 outubro 2019.

VAZOLLÈR, R. F.. **Microbiologia de Lodos Ativados - Série Manuais**. CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo: CETESB, 1991. p.23. Disponível em: <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah>. . Acesso em: 03 março 2019.

VICINI, Lorena. **Análise multivariada da teoria à prática**. 2005. 215 f. - CCNE-Estatística, UFSM - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria -RS, 2005. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/adriano/livro/Caderno%20dedatico%20multivariada%20-%20LIVRO%20FINAL%201.pdf>. Acesso em: 07 junho 2019.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Universidade Federal de Minas Gerais, 4a Ed., Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <http://www.smarh.eng.ufmg.br/livros/190M.PDF>. Acesso em: 02 abril 2019.