

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO  
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

TRATAMENTO DE EFLUENTES DE  
INDUSTRIALIZAÇÃO DE SALAMES PELOS  
MÉTODOS BIOLÓGICO E FÍSICO-QUÍMICO

Acadêmica: Jordana Friderichs Flores

Passo Fundo  
2021

Jordana Friderichs Flores

TRATAMENTO DE EFLUENTES DE  
INDUSTRIALIZAÇÃO DE SALAMES PELOS  
MÉTODOS BIOLÓGICO E FÍSICO-QUÍMICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Hemkemeier.

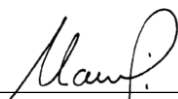
Passo Fundo  
2021

JORDANA FRIDERICHS FLORES

TRATAMENTO DE EFLUENTES DE  
INDUSTRIALIZAÇÃO DE SALAMES PELOS  
MÉTODOS BIOLÓGICO E FÍSICO-QUÍMICO

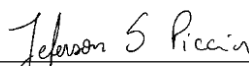
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Ambiental.

**BANCA EXAMINADORA**



---

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Hemkemeier  
Universidade de Passo Fundo



---

Prof. Dr. Jeferson Stefanello Piccin  
Universidade de Passo Fundo



---

Prof. Ms. Edesnei Barbosa Brião  
Universidade de Passo Fundo

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, por me dar saúde e forças para superar todas as dificuldades e situações.

Aos meus pais Inês e Lúcio, pelo amor incondicional, por todo o apoio nos momentos difíceis, por me incentivarem quando estava desanimada e por me proporcionarem tranquilidade e conforto. Agradeço também aos demais familiares que sempre me motivaram.

Aos meus amigos que fiz durante a faculdade, estágios e trabalho que sempre estiveram comigo em todas as situações. Obrigada por cada momento que vivenciamos juntos, lembranças, risadas e grandes histórias.

Agradeço por todos os meus professores que tive durante o curso, por todo o ensinamento e aprendizado. Em especial ao meu Orientador Marcelo Hemkemeier, por toda orientação, correção prestada e conhecimento transmitido.

FLORES, Jordana Friderichs. Tratamento de efluentes de industrialização de salames pelos métodos biológico e físico-químico. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental). Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2021.

## RESUMO

O efluente gerado nas indústrias geralmente possui origem mista (industrial e sanitária) acarretando em dificuldades no tratamento, principalmente na redução de parâmetros como coliformes termotolerantes, nitrogênio total e fósforo total. Este trabalho apresenta a comparação entre o tratamento biológico já existente na indústria e o método físico-químico. Para realizar o estudo, foi caracterizado o efluente bruto e posteriormente foi realizado testes com os coagulantes Policloreto de alumínio (PAC) e Cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) em diferentes concentrações. Para a realização do experimento foi utilizado o ensaio de Jar Test o qual foi obtido o sobrenadante para avaliar qual coagulante e dosagem apresentou melhor eficiência. Foram analisados os principais parâmetros exigidos pelos órgãos ambientais para ambos os tratamentos que são: DQO, DBO, fósforo total, nitrogênio amoniacal e kjeldahl, óleos e graxas minerais e vegetais/animais, sólidos sedimentáveis e suspensos, surfactantes, coliformes termotolerantes e pH. O custo operacional mensal também foi levantado em ambos os tratamentos, a fim de auxiliar na escolha dos métodos estudados. O efluente tratado pelo método biológico através de lodos ativados, apresentou alta eficiência na remoção de parâmetros como DQO, DBO, nitrogênio amoniacal, coliformes termotolerantes e fósforo total. O tratamento físico-químico com a utilização de PAC e cloreto férrico, apresentou boa remoção de fósforo e coliformes termotolerantes, os demais resultados ficaram em desacordo quando comparados com a CONSEMA 355/2017.

**Palavras-chaves:** Biológico, Coagulação, Flocculação

FLORES, Jordana Friderichs. Treatment of salami industrialization effluents by biological and physical-chemical methods. Completion of course work (Environmental Engineering) – University of Passo Fundo, Passo Fundo. 2021.

### **ABSTRACT**

The effluent generated in the industries usually has a mixed origin (industrial and sanitary) causing difficulties in the treatment, mainly in the reduction of parameters such as thermotolerant coliforms, total nitrogen and total phosphorus. This work presents the comparison between the biological treatment already existing in the industry and the physicochemical method. To carry out the study, the raw effluent was characterized and later tests were carried out with the coagulants Polyaluminium chloride (PAC) and Ferric chloride ( $\text{FeCl}_3$ ) at different concentrations. To carry out the experiment, the Jar Test was performed, which obtained the supernatant to assess which coagulant and dosage showed the best efficiency. The main parameters required by environmental agencies for both treatments were analyzed. COD, BOD, total phosphorus, ammonia nitrogen and kjeldahl, mineral and vegetable/animal oils and greases, sedimentable and suspended solids, surfactants, thermotolerant coliforms and pH. The monthly operating cost was also raised in both treatments, in order to help in the optimal choice of the studied methods. The effluent treated by the biological method through activated sludge presented all results in accordance with CONSEMA 355/2017, as well as obtained the lowest monthly operating cost.

**Keywords:** Biological, Coagulation, Flocculation

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Legislações que regem o lançamento de efluentes.....	13
Tabela 2: Ensaio de Coagulantes com diferentes concentrações.....	25
Tabela 3: Parâmetros analisados .....	26
Tabela 4: Análises físico-químicas do efluente bruto .....	27
Tabela 5: Relação das concentrações de produtos dosados com os resultados obtidos .....	29
Tabela 6: Resultados dos parâmetros analisados .....	31
Tabela 7: Custo operacional mensal.....	34

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Dupla camada elétrica.....	16
Figura 2: Mecanismo de neutralização de cargas.....	17
Figura 3: Mecanismos de varredura e formação de pontes.....	17
Figura 4: Ação do coagulante com o material suspenso.....	18
Figura 5: Processo de coagulação com PAC e floculação com polímero aniônico.....	19
Figura 6: Formação de pontes entre polímero e coloide.....	21
Figura 7: Fluxograma da pesquisa.....	22
Figura 8: Fluxograma da geração de efluentes.....	23
Figura 9: Efluente após tratamento com PAC (Am 5 PAC) e cloreto férrico (Am2 CF).....	30



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	12
2.1 Agroindústrias de industrializados de carne suína.....	12
2.2 Legislação Ambiental pertinente à geração de efluentes.....	12
2.3 Tratamento biológico.....	13
2.4 Tratamento físico-químico .....	14
2.4.1 Físico.....	14
2.4.2 Químico.....	15
2.4.3 Coagulação e Floculação .....	15
2.4.4 Policloreto de alumínio .....	19
2.4.5 Cloreto férrico.....	19
2.4.6 Polímeros .....	20
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	22
3.1 Definição da área de estudo.....	22
3.2 Coleta e caracterização do efluente bruto.....	23
3.3 Testes com coagulantes .....	24
3.4 Análises Laboratoriais .....	25
3.5 Custos Operacionais .....	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	27
4.2 Efluente bruto .....	27
4.2 Testes com coagulantes .....	29
4.3 Comparação entre os tratamentos.....	30
4.4 Viabilidade econômica de operação .....	33
5. CONCLUSÃO .....	36
REFERÊNCIAS .....	37

## 1. INTRODUÇÃO

A industrialização de salames tem ganhado destaque no mercado nacional e internacional com as crescentes exportações que aquecem a economia interna. Para atender altos padrões na qualidade do produto final acabado, muita tecnologia está sendo empregada no processo. Estas por sua vez, buscam produzir mais com alta eficiência energética, aliando tecnologias para reduzir o consumo de água, energia, emissões atmosféricas e lançamento de efluentes.

O lançamento de efluentes em corpos hídricos provenientes da industrialização de salames tem alta relevância na qualidade das águas para o desenvolvimento da biota aquática. Desta forma, o tratamento de efluentes deve ser empregado da melhor maneira possível para que não comprometa a qualidade dos rios receptores.

A maioria dos efluentes gerados em indústrias possuem origem mista: industrial e sanitária, acarretando em dificuldades no tratamento, principalmente na redução de parâmetros como: fósforo total, nitrogênio total e coliformes termotolerantes. Assim o tratamento desses efluentes na fonte geradora necessitam de um processo mais eficiente, que minimize os impactos ambientais.

Para melhor eficiência na remoção de material suspenso, pode-se utilizar processos de coagulação e floculação (flocodecantação) através de substâncias químicas. Esta técnica diminui a concentração de nutrientes (matéria orgânica, fósforo e nitrogênio) da fração líquida, além de ampliar a praticidade do tratamento da fração sólida, com a formação de flocos (SÁNCHEZ-MARTIN et al., 2010). Os coagulantes podem ser de origem química ou vegetal, são constituídos de grandes cadeias moleculares, possuem sítios com cargas negativas ou positivas.

O tratamento biológico de efluentes industriais e sanitários têm como objetivo remover a matéria orgânica dissolvida e em suspensão, através da transformação desta em sólidos sedimentáveis (flocos biológicos) ou gases. Os microrganismos presentes no meio degradam as substâncias orgânicas utilizando-as como fonte de carbono.

O tratamento ideal em acordo com as características do efluente é de grande valia, pois ocorre um aumento na eficiência do processo. Partindo do pressuposto que qualquer meio produtivo pode ser melhorado, é possível verificar a eficiência do tratamento de efluentes a partir dos métodos biológico (lodos ativados), o qual atualmente está em funcionamento na indústria em estudo e físico-químico, proposto através de flocodecantação.

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo avaliar qual o melhor tratamento para o efluente em estudo. Os objetivos específicos são:

- a) Caracterizar o efluente bruto;
- b) Testar coagulantes em diferentes concentrações;
- c) Realizar análises dos parâmetros: DQO, DBO, fósforo total, nitrogênio amoniacal e kjeldahl, óleos e graxas minerais e vegetais/animais, sólidos sedimentáveis e suspensos, surfactantes, coliformes termotolerantes e pH para o tratamento biológico e físico-químico;
- d) Realizar a viabilidade econômica operacional de cada tratamento;
- e) Eleger o melhor tratamento, levando em consideração os parâmetros analisados e a viabilidade econômica de operação.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Agroindústrias de industrializados de carne suína**

Embora a industrialização de carnes ter destaque mundial no ramo de alimentos, por possuir relevância social e econômica agregando valor no produto final acabado, apresenta significativos impactos ambientais, devido a geração de poluentes provenientes da atividade e também pela necessidade de recursos naturais que demanda (SCHENINI e ROSA, 2014).

Os efluentes da industrialização podem ser classificados como agentes de poluição dos corpos hídricos, em ameaça à saúde pública, desta forma deve receber o tratamento adequado para não tornar as águas receptoras impróprias a vida aquática e a qualquer tipo de abastecimento, agrícola, comercial, industrial ou recreativo (FEISTEL, 2013).

O sistema produtivo do processamento de carnes é um sistema complexo que necessita da eficiência máxima em todas as suas fases. Dessa forma, pode-se presumir que as indústrias desse ramo tenham dificuldade para controlar e minimizar os impactos ambientais, (DJEKIC et al., 2015).

### **2.2 Legislação Ambiental pertinente à geração de efluentes**

Os estabelecimentos definidos como potenciais poluidores estão sempre sujeitos a fiscalização de órgãos públicos para que se mantenha o equilíbrio e a qualidade ambiental. A Tabela 1 se refere às leis que regem a geração e lançamento de efluentes em corpos hídricos.

Tabela 1: Legislações que regem o lançamento de efluentes

<b>Legislação</b>	<b>Abordagem</b>
Resolução CONAMA nº 357/2005	Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
Resolução CONAMA nº 430/2011	Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA
CONSEMA 355/2017	Dispõe sobre critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul

Fonte: Autoria Própria

### 2.3 Tratamento biológico

O tratamento biológico se baseia na biodegradação de substâncias orgânicas por meio da atividade de vários microrganismos. Os tratamentos biológicos de esgotos e efluentes industriais tem como objetivo remover a matéria orgânica dissolvida e em suspensão, através da transformação desta em sólidos sedimentáveis (flocos biológicos) ou gases (SEIXAS, 2006). Os microrganismos utilizam a matéria orgânica presente no efluente como fonte de carbono e a transformam em substâncias químicas simples, como: sais minerais, gás carbônico e outros. Porém, nem toda matéria orgânica é transformada, sendo que as substâncias químicas mais resistentes são denominadas persistentes/recalcitrantes/refratárias.

Os flocos biológicos formam um sistema, constituído por bactérias, fungos, protozoários, e micrometazoários. O floco é dividido em 2 níveis, macroestrutura e microestrutura. A macroestrutura gera firmeza ao floco, formada principalmente por bactérias filamentosas. A microestrutura é formada por bactérias, protozoários, fungos estes responsáveis por dar equilíbrio ao floco. Estudos revelam que os protozoários tem grande importância no meio, sendo responsáveis pela diminuição da turbidez, reduzindo os flocos que ficam dispersos no sistema. Este tipo de tratamento é amplamente dividido em tratamento aeróbio e anaeróbio (BARCELLO; CARVALHO, 2012).

No tratamento biológico aeróbio, os microrganismos (bactérias aeróbias e facultativas), mediante processos oxidativos, degradam as substâncias orgânicas, que são assimiladas como fonte de energia, sendo que nesse processo ocorre a utilização de O<sub>2</sub> para que ocorra a biodegradação. Dentre os processos aeróbios o processo de lodo ativado é o mais aplicado e também o de maior eficiência, o termo lodo ativado designa a massa microbiana floculante que se forma quando o efluente biodegradável é submetido a aeração (BARCELLO; CARVALHO, 2012).

Nos processos anaeróbios, um consórcio microbiano (bactérias e *archaeas*) realizam a transformação dos poluentes, pelas vias hidrolítica e fermentativa, em compostos de um a dois átomos de carbono (CO<sub>2</sub>, metano, acetato, formiato), além de hidrogênio. O processo gera um gás, que no caso de efluentes com alta DBO, contem alto teor de metano e CO<sub>2</sub>. A produção de novas células neste processo é muito menor do que no processo aeróbio, (CAMMAROTA, 2011).

Os processos biológicos de tratamento reproduzem em escala de tempo e área os fenômenos de autodepuração que ocorrem na natureza. Os produtos formados devem ser mais estáveis, tendo os esgotos ou efluentes industriais tratados um aspecto mais claro devido à remoção da matéria orgânica em suspensão (coloidal ou sedimentável) e dissolvida, bem como pela redução da presença de microrganismos (JORDÃO; PESSÔA, 2014). O grau de tratamento requerido é função da legislação ambiental, ou seja, das características ou pelo uso preponderante atribuído ao corpo receptor.

Os microrganismos, segundo Von Sperling (2005), são essenciais para os processos de transformação da matéria e das reações de conversão da matéria orgânica e inorgânica. Os organismos que podem causar doenças são predominantemente de origem humana associado com o nível de saneamento básico e a condição de saúde das pessoas (JORDÃO; PESSÔA, 2014).

## **2.4 Tratamento físico-químico**

### **2.4.1 Físico**

O tratamento físico é a primeira parte do tratamento, na recepção do efluente e consiste em processos de gradeamento, peneiramento, desarenação e equalização do efluente, (FARRUGIA, 2013).

O gradeamento e peneiramento tem por objetivo evitar a passagem de materiais

grosseiros para o tratamento.

A desarenação são caixas para a retenção de areia, seu uso protege as bombas contra abrasão, evita entupimento e obstáculos em dutos e válvulas (JORDÃO; PESSÔA, 2014).

Já a equalização homogeniza o efluente com características físico-químicas (variações de pH ou concentração de matéria orgânica – DQO) e vazões muito variáveis a fim de evitar choques de carga no tratamento.

O uso de um tanque de equalização pode melhorar a eficiência de uma planta já existente e até aumentar a sua capacidade útil. Em plantas novas, o uso da equalização pode reduzir o tamanho e o custo de uma unidade de tratamento. Os sistemas de equalização podem ser localizados à montante: da descarga do despejo no corpo receptor; do sistema de coleta dos esgotos e do tratamento químico ou biológico, (CAMMAROTA, 2011).

#### 2.4.2 Químico

O tratamento químico é composto por coagulação e floculação, esse processo visa remover material coloidal e partículas muito finas que sedimentam muito lentamente, (METCALF & EDDY, 2003). Os coloides possuem propriedades elétricas que criam uma força de repulsão que impede a aglomeração e sedimentação das partículas. Assim, as partículas permanecem muito pequenas e não sedimentam facilmente, não podendo ser removidas por processos físicos convencionais, (FARRUGIA, 2013).

Coagulação como o processo de desestabilização de coloides e Floculação como o processo de agregação e neutralização de coloides, geralmente estes processos ocorrem simultaneamente chamando-se assim o processo de Coagulação/Floculação, (BARRADAS, 2004). A desestabilização de coloides pode ser conseguida por diversos meios: calor, agitação, adição de agentes coagulantes químicos, processos biológicos, passagem de corrente elétrica (eletrocoagulação), (CAMMAROTA, 2011).

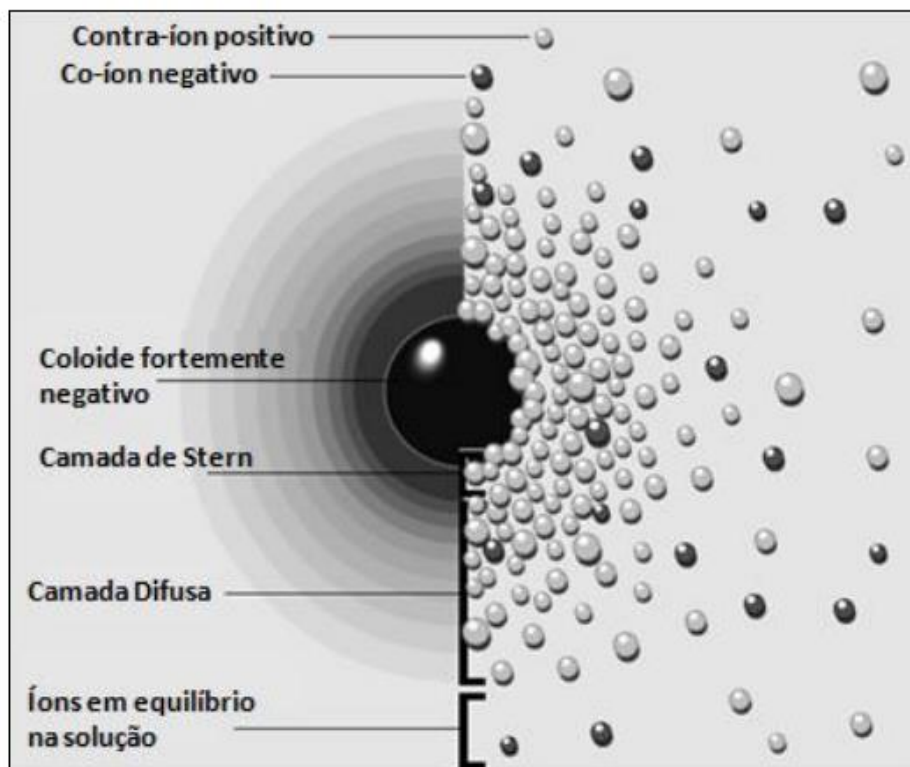
#### 2.4.3 Coagulação e Floculação

O método de coagulação consiste na mistura de coagulantes (inorgânico ou orgânico) com o efluente que produz em solução, íons positivos por hidrólise e polimerização em meio alcalino, a reação produzida nesta mistura é rápida. Os íons desestabilizam as cargas negativas dos coloides e dos sólidos em suspensão, permitindo a aglomeração das partículas e consequente formação dos flocos que sedimentam com maior velocidade (BARRADAS, 2004).

Para que a coagulação ocorra se faz necessário a desestabilização dos sólidos suspensos em meio líquido por meio de mecanismos de agregação ou adsorção, anulando as forças de repulsão ou atuando sobre a molécula hidrofílica presente nas partículas (CLAAS e MAIA, 2003). Existem formas diferentes de ocorrer a coagulação, são elas: compressão da dupla camada elétrica, neutralização de cargas, varredura ou aprisionamento e formação de pontes.

A compressão da dupla camada elétrica é representada pelo processo de coagulação, na qual há a adição de uma grande quantidade de íons de carga contrária, promovendo a redução da camada difusa causando a desestabilização da dispersão coloidal (RAVINA, 1993). Conforme a figura 1 que evidencia a camada compacta e difusa.

Figura 1: Dupla camada elétrica

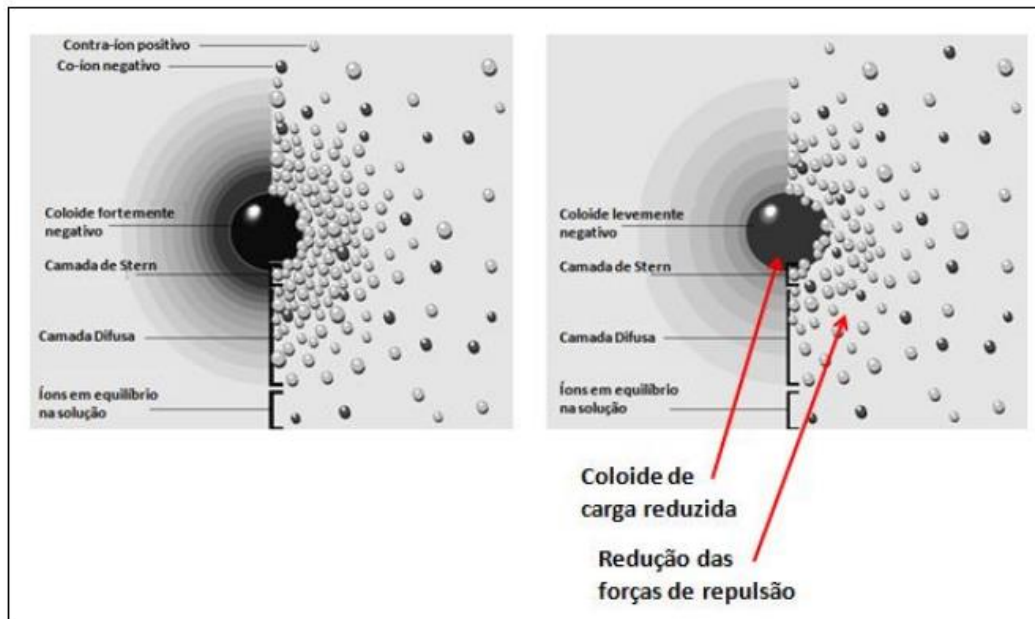


Fonte: RAVINA (1993) *apud* NUNES (2016)

Na neutralização de cargas, Figura 2, ocorre a redução da carga do colóide, perto de zero, através do mecanismo de adsorção com um eletrólito carregado sobre a superfície do colóide, reduzindo as forças de repulsão, permitindo a aglomeração de partículas e formação de flocos (RAVINA, 1993).



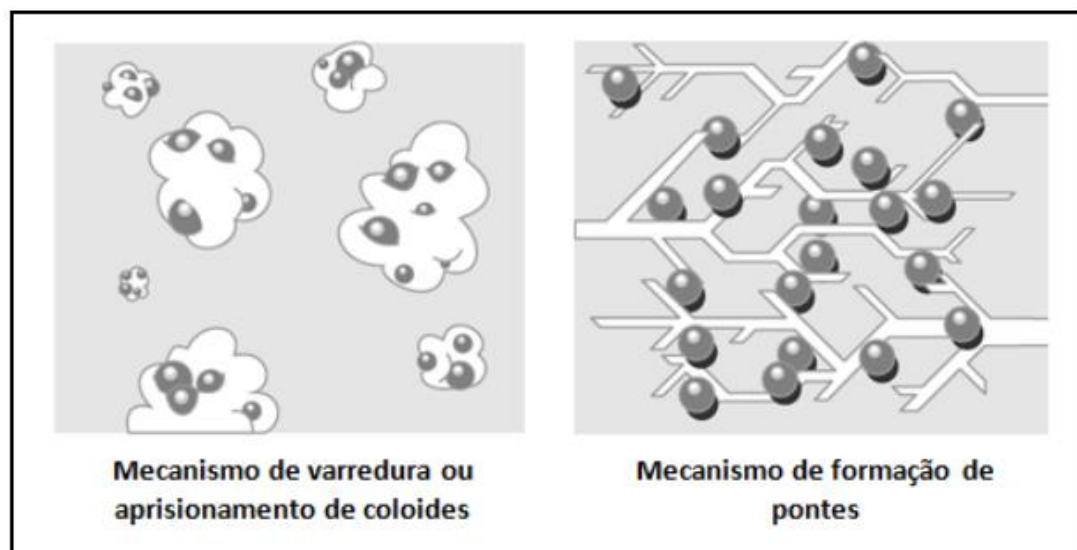
Figura 2: Mecanismo de neutralização de cargas



Fonte: RAVINA (1993) *apud* NUNES (2016)

No mecanismo de varredura ou aprisionamento, Figura 3, o excesso da dosagem de coagulantes resulta na formação de precipitados de hidróxido, que aprisionam os colóides, que são dispersados ou varridos do meio. A formação de pontes ocorre por meio de agentes floculantes de alto peso molecular, que se adsorvem aos colóides, formando uma película que os mantém unidos (RAVINA, 1993).

Figura 3: Mecanismos de varredura e formação de pontes



Fonte: RAVINA (1993) *apud* NUNES (2016)

A coagulação se inicia com a mistura do coagulante com a água, em uma agitação rápida e, em seguida, a agitação lenta do material coagulado para a formação dos flocos, como mostra a Figura 4. A mistura rápida e a floculação são processos de transporte de fluidos, associados a precipitação e união de partículas primárias, estas são denominadas assim por possuir tamanho entre  $0,5\ \mu\text{m}$  e  $5\ \mu\text{m}$ . Na floculação as partículas primárias se unem através de colisões, formando flocos maiores na faixa de  $100\ \mu\text{m}$  a  $5000\ \mu\text{m}$ . A diferença entre as duas consiste no tempo e intensidade de mistura, definida pelo gradiente de velocidade.

Figura 4: Ação do coagulante com o material suspenso



Fonte: Naturaltec (2021)

Os principais coagulantes inorgânicos são os sais de alumínio e de ferro, são utilizados no tratamento de águas residuárias. Esses cátions hidrolisáveis estão disponíveis em sais de sulfato ou de cloreto como produtos comerciais na forma líquida ou sólida. Os coagulantes, normalmente utilizados nos processos de coagulação, são compostos por cátions polivalentes ( $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , entre outros) que neutralizam as cargas elétricas das partículas suspensas (CAVALCANTI, 2009), é o tratamento mais indicado para remover cor e turbidez de efluente.

A floculação é o complemento da coagulação, que gera densidade as partículas coloidais neutralizadas, tornando-as maiores, com maior velocidade de decantação. É realizada através da adição de moléculas de cadeia longa, polímeros que produzem a união das partículas por adsorção e formação de pontes (CLAAS e MAIA, 2003).

No tratamento químico ocorrem diversas reações, sendo essencial para se ter bons resultados estabelecer um pH ótimo de coagulação e floculação, sendo muito importante conhecer as características do coagulante. Segundo Lopes (2014), quanto maior o gradiente de velocidade, maior a chance de contato entre as partículas se agregarem, no entanto, não se deve acentuar a velocidade, em excesso gera a ruptura dos flocos dificultando o processo de floculação.

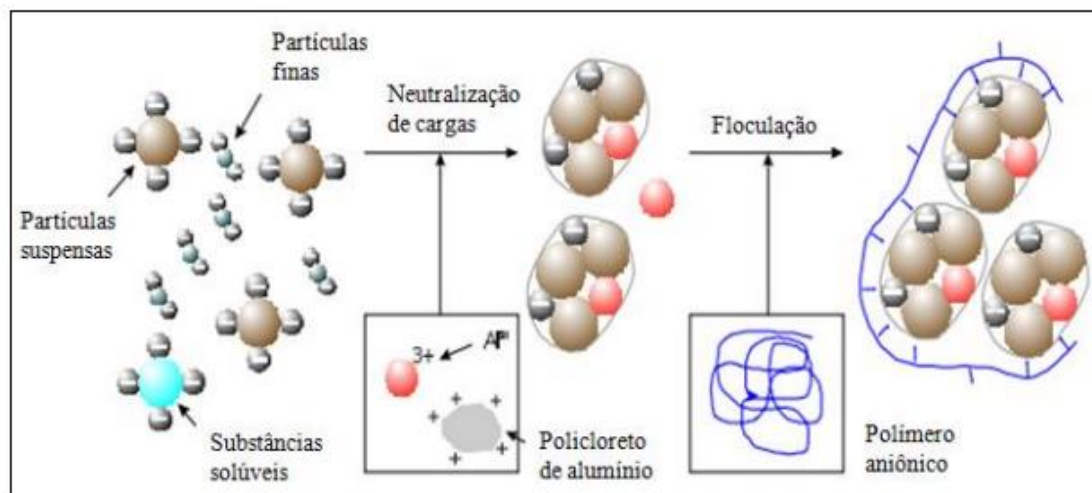
#### 2.4.4 Policloreto de alumínio

O policloreto de alumínio – PAC ( $Al_nOH_m Cl_{3n-m}$ ), é um coagulante de íons de alumínio, de cadeia longa com alto peso molecular. O seu uso promove pouca variação do pH do efluente comparando com outros coagulantes. Sendo utilizado no tratamento de águas e efluentes desde os anos de 1980.

O PAC apresenta alta coagulação, com a formação rápida de flocos, este coagulante apresenta certas vantagens, tais como: alta eficiência com menor dosagem, atuação em uma ampla faixa de pH, tem pouca sensibilidade a temperatura e também menor concentração final de íons metálicos (SUDOH et al.,2015).

No processo de coagulação o PAC reage fortemente com as substâncias coloidais dispersas no meio, promovendo a formação de flocos de forma rápida, conforme Figura 5, com diâmetros maiores e de formato uniforme (CONSTANTINO & YAMAMURA, 2009).

Figura 5: Processo de coagulação com PAC e floculação com polímero aniônico



Fonte: CACHEIRA (2012)

#### 2.4.5 Cloreto férrico

O cloreto férrico ( $FeCl_3$ ) é amplamente utilizado no tratamento de efluentes. Esse coagulante possui efeitos corrosivos, por isso se deve ter certos cuidados com seu manuseio e estocagem (FRANCO 2009). Devido à baixa solubilidade dos hidróxidos férricos formados, eles podem agir sobre ampla faixa de pH. Na coagulação, a formação de flocos é mais rápida, devido ao alto peso molecular desse elemento, os flocos são mais densos, e o tempo de sedimentação é reduzido significativamente.

Para Pavanelli (2001) a utilização do cloreto férrico diminui a turbidez e a DBO, reduz fosfatos e uma parte de metais pesados (mercúrio, chumbo), também é eliminado quando a coagulação é realizada na faixa de pH com a melhor eficiência do coagulante.

A coagulação do cloreto férrico se dá por meio dos mecanismos de varredura, dessa forma não existe relação estequiométrica entre a área superficial da partícula e a dosagem de coagulante (LIBÂNIO e MARTINS, 2010).

Quando o coagulante é adicionado ao efluente ocorre a hidrólise do cloreto férrico, assim os complexos de ferro passam a ter cargas positivas. Os sólidos suspensos na água se unem às partículas de ferro resultando na coagulação e neutralização dos sedimentos que possuem cargas negativas (FRANCO, 2013).

#### 2.4.6 Polímeros

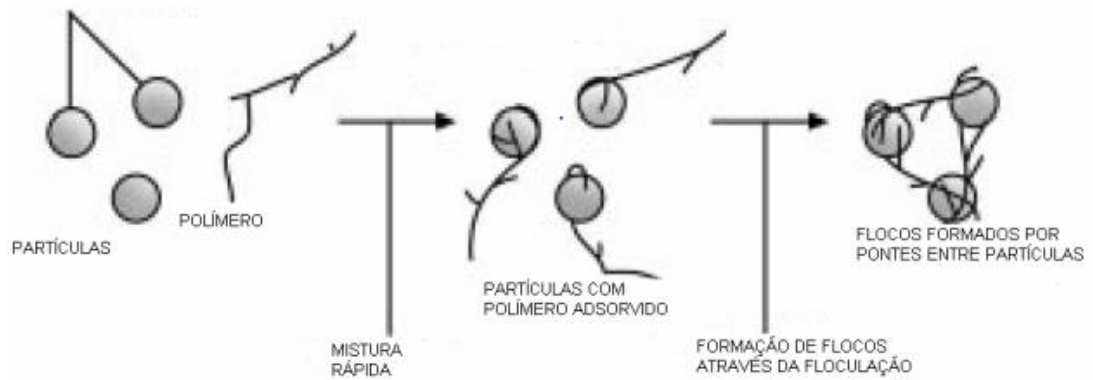
Os polímeros (polieletrólitos) ou floculantes, são cadeias de origem sintética ou natural, compostos pela junção de centenas de monômeros (moléculas pequenas). Estes podem ser catiônicos, aniônicos ou não-iônicos. Sua função é agregar os coágulos formados no processo de coagulação em flocos maiores, auxiliando em uma sedimentação mais rápida.

Os polímeros catiônicos (carga positiva), agem na neutralização de cargas ou adsorção formando pontes. Eles revestem as partículas através da mudança de carga. Segundo Gregory (1993) a sua ação pode ser explicada por possuir alta adsorção às partículas negativas, e consequente redução da dupla camada, facilitando a agregação. Os polímeros catiônicos são mais eficientes, pois apresentam alta densidade em sua carga, devido à sua superfície plana que adsorve em superfície a carga oposta. Os não-iônicos, são os que não possuem carga, utilizados como auxiliares de floculação.

Já os polímeros aniônicos (carga negativa), são efetivos em uma larga escala de pH, neutralizando as cargas positivas presentes na superfície das partículas em meio aquoso. Por possuir efeitos de adsorção e formação de pontes intermoleculares entre as partículas em suspensão, é possível formar flocos maiores. São comercializados na forma sólida, necessitam de agitação intensa para sua diluição, a qual é recomendada de 1% (DOS SANTOS, 2011).

As partículas de polímero e a superfície dos colóides sofrem atração, sendo esta uma propriedade química. Os polímeros orgânicos, são insolúveis em água, devido às suas longas cadeias de característica hidrofóbica, elas se ligam em partículas sólidas. O processo de adsorção ocorre na interação das partículas de polímeros e colóides, conforme mostra a Figura 6.

Figura 6: Formação de pontes entre polímero e coloide



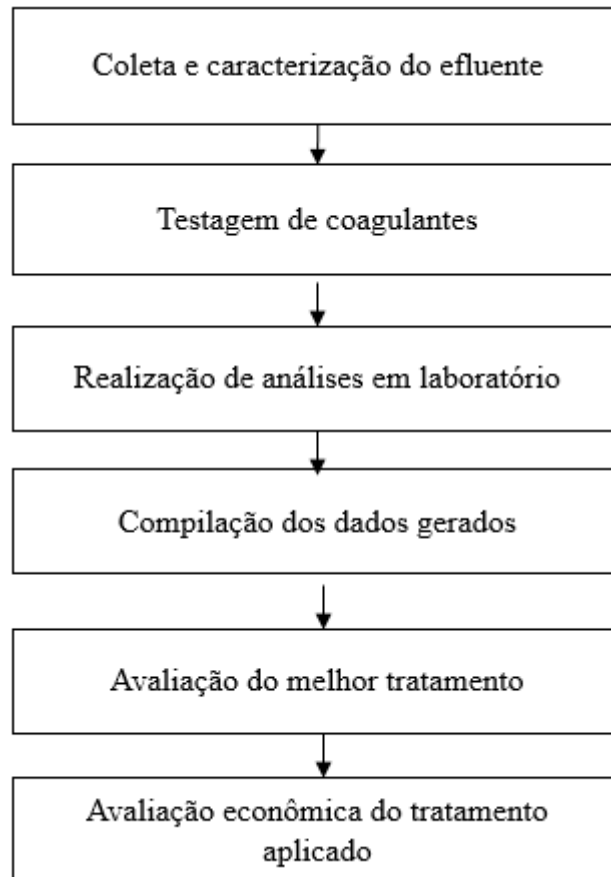
Fonte: Metcalf Eddy (1991) *apud* Machado (2007).

As partes das cadeias de polímero que ficam estendidas podem interagir com outras cadeias ou outras partículas. Se a partícula que se uniu a está cadeia for de carga oposta ocorrerá uma neutralização, isso levará a ter partículas neutralizadas no sistema ocorrendo união através da formação das pontes de hidrogênio ou forças de Van der Waals (AMIRTHA RAJAH & O'MÉLIA, 1990). Essa interação resulta em flocos maiores e por ação da gravidade leva a uma sedimentação mais rápida. Quando a energia de adsorção exceder a energia de repulsão, a adsorção nesse caso será predominante.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir são descritos os procedimentos técnicos e a metodologia empregada para obtenção dos resultados do presente trabalho. A figura 7 apresenta a metodologia aplicada neste trabalho.

Figura 7: Fluxograma da pesquisa



Fonte: Autoria Própria

#### 3.1 Definição da área de estudo

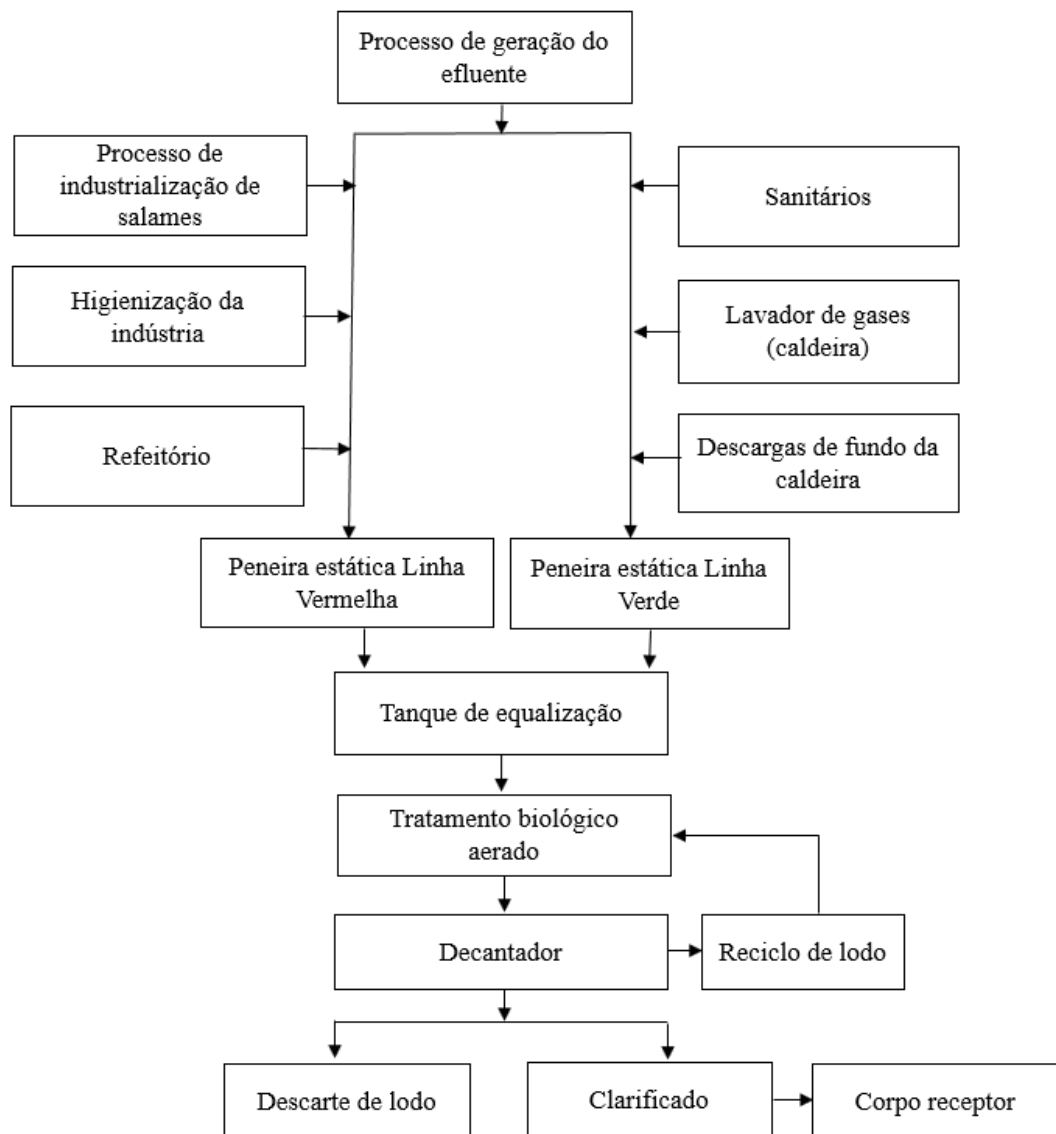
O estudo foi desenvolvido em uma agroindústria que atua no setor de industrialização e distribuição de salames. Na unidade estabelecida no Estado do Rio Grande do Sul, são produzidas 300 ton/mês de salames gerando em média 170 m<sup>3</sup>/d de efluente. O efluente bruto não apresenta alteração significativa na vazão e na carga orgânica.

O efluente líquido gerado é proveniente da industrialização de salames, higienização dos equipamentos, refeitório, sanitários, lavador de gases e descarga de fundo da caldeira. Segregado em duas linhas de tratamento, linha verde e linha vermelha, onde o efluente que

compõe a linha verde é de origem exclusiva do lavador de gases, descarga de fundo da caldeira e sanitários a linha vermelha é composta pelo restante do efluente da indústria.

Ambas as linhas, são encaminhadas separadamente para o tratamento preliminar primário, composto por peneiras estáticas, na sequência se unem seguindo para um equalizador para homogeneização do efluente. O tratamento posterior é o biológico aerado, seguido por decantação e descarga em corpo hídrico receptor, conforme a figura 8.

Figura 8: Fluxograma da geração de efluentes



Fonte: Autoria Própria

### 3.2 Coleta e caracterização do efluente bruto

Para a caracterização do efluente bruto, foram realizadas 3 coletas divididas entre os meses de março e abril de 2021 na fase de equalização onde ocorre a homogeneização das linhas

verde e vermelha seguindo a NBR 9.898 de 1987 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), sendo enviado para laboratório externo, que realizou as análises dos parâmetros estabelecidos para esta pesquisa, os quais estão descritos na Tabela 3.

### **3.3 Testes com coagulantes**

No mês de abril, foram coletados 25 L de efluente bruto no tanque de equalização, posteriormente foi realizado testes de bancada com auxílio de Jar-Test marca Ethik Technology, modelo 217-2 para avaliar a eficiência dos coagulantes escolhidos e a melhor dosagem de cada um sendo estes 2 coagulantes inorgânicos, policloreto de alumínio – PAC e cloreto férrico (CF), ambos disponibilizados pela indústria em estudo.

No primeiro ensaio foi utilizado cloreto férrico concentrado 30%, polímero aniônico diluído na proporção de 1g para 1 litro de água potável o qual foi homogeneizado até obter a viscosidade ideal. Utilizou-se também cal virgem para correção de pH.

Foram dispostos 6 béqueres de 1 L no Jar-Test, posteriormente foi dosado diferentes concentrações de cal virgem, cloreto férrico e polímero, conforme a Tabela 2.

O segundo ensaio foi realizado com PAC fornecido na concentração de 10%, o mesmo foi diluído na proporção de 50 ml de PAC para 1 litro de água. Foram usados 6 béqueres de 1 L, cal e polímero, conforme Tabela 2.

A velocidade de mistura rápida (VMR) e lenta (VML) empregadas foram 120 rpm e 30 rpm, respectivamente. Os tempos de mistura rápida (TMR) e lenta (TML) foram 1,4 min e 1 min. O tempo de decantação para todas as amostras foi 15 min.



Tabela 2: Ensaio de Coagulantes com diferentes concentrações

<b>Amostras</b>	<b>Cal Virgem (g)</b>	<b>CF (mg/l)</b>	<b>PAC (mg/l)</b>	<b>Polímero Aniônico (mg/l)</b>
Am 1 CF	2	1.500	-	-
Am 2 CF	1	1.000	-	1.000
Am 3 CF	2	1.000	-	1.500
Am 4 CF	2	1.500	-	500
Am 5 CF	2	1.000	-	1.000
Am 6 CF	1	500	-	500
Am 1 PAC	0,23	-	11.000	2.000
Am 2 PAC	0,27	-	13.000	3.000
Am 3 PAC	0,2	-	15.000	3.000
Am 4 PAC	0,25	-	16.000	3.000
Am 5 PAC	0,2	-	15.000	2.500
Am 6 PAC	0,15	-	10.000	2.000

\*pH efluente bruto: 6,82.

Fonte: Aatoria Própria

### 3.4 Análises Laboratoriais

No mês de maio de 2021 foi realizado ensaios em duplicata de flocculação com a utilização de PAC e Cloreto Férrico, estes foram realizados com base nos testes realizados anteriormente, onde foi repetido o melhor teste (dosagens de produtos) para cada coagulante, o sobrenadante foi coletado e enviado para análise em laboratório externo.

Os parâmetros analisados estão listados na Tabela 3, os quais foram feitos seguindo os protocolos e métodos descritos no American Public Health Association – APHA, 2017.

Tabela 3: Parâmetros analisados

<b>Parâmetros</b>	<b>Unidades</b>	<b>Método</b>	<b>Protocolo (APHA, 2017)</b>
DQO	mg/L	Espectrofotometria	POP- QO007
DBO	mg/L	Deteção Eletrolítica	5210B
Fósforo Total	mg/L	ICP-OES	3030B
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	Titulometria	4500 NH3 B E C
Óleos e Graxas Minerais	mg/L	Espectrofotometria	POP- QO006
Óleos e Graxas veg/ani	mg/L	Espectrofotometria	POP-QO006
Sólidos Sedimentáveis	mg/L	Exame visual	2540 F
Sólidos Suspensos Totais	ml/l	Gravimetria	2540 D
Nitrogênio T. Kjeldahl	mg/L	Titulometria	4500- NORG
Surfactantes	mg/L	Espectrofotometria	POP-QO001
Coliformes	NMP/100	Técnica de cultivo	9223
Termotolerantes	ml	NMP	
pH	-	Potenciometria	4500-H+B

Fonte: Autoria Própria

Estes parâmetros foram estabelecidos para esta pesquisa, por apresentarem uma alta representatividade do tratamento, sendo análises que complementam uma a outra, além se serem as mais requeridas pelos órgãos e legislações ambientais para efluentes.

### 3.5 Custos Operacionais

Nesta etapa foram levantados todos os custos operacionais dos 3 tratamentos, (Flocculação com PAC e cloreto férrico e lodos ativados), levando em consideração 1 mês normal de operação, os custos foram baseados no salário do operador, energia, produtos químicos, descarte de lodo e análises laboratoriais. O valor atribuído ao tratamento sempre deve ser levantado antes de sua escolha, associando os resultados obtidos no tratamento com o seu custo mensal.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo será abordado todos os resultados gerados nesta pesquisa, através das análises realizadas para o efluente bruto e também após o tratamento através dos métodos biológico e físico-químico.

### 4.2 Efluente bruto

A caracterização do efluente bruto apresentada na Tabela 4, se faz necessária para poder validar o tratamento mais eficiente de efluentes.

Tabela 4: Análises físico-químicas do efluente bruto

<b>Parâmetros</b>	<b>Efluente bruto (mg/L)</b>
DQO	687,93 ± 151,06
DBO	326,33 ± 38,08
Fósforo Total	7,35 ± 3,28
Nitrogênio Amoniacal	12,73 ± 1,73
Óleos e Graxas Minerais	45,73 ± 53,47
Óleos e Graxas veg/ani	21,09 ± 10,66
Sólidos Sedimentáveis	13,33 ± 21,36
Sólidos Suspensos Totais	321,63 ± 276,47
Nitrogênio T. Kjeldahl	46,06 ± 9,03
Surfactantes	13,70 ± 5,64
Coliformes Termotolerantes	2.246.666 ± 3.337.818 NMP/100ml
pH	7,91 ± 0,87

Fonte: Autoria Própria

A relação DQO/DBO é muito importante para expressar a biodegradabilidade do efluente, além disso, indica a quantidade de matéria orgânica presente, ou seja, a quantidade de alimento que os microrganismos vão ter disponível no sistema. Esses parâmetros interferem diretamente na escolha do tratamento que deve ser utilizado (BRAILE, 1993). Segundo Von Sperling (2005), esgotos domésticos tem faixa típica de concentração de DQO de 400 a 800 mg/L. O valor do efluente bruto em estudo está entre esta faixa, possuindo então características de efluente doméstico.

A relação DQO/DBO do efluente bruto é de 2,10 caracterizando alta degradabilidade. De acordo com von Sperling (2005), valores de relação DQO/DBO,  $<2,5$  indicam que a fração biodegradável é elevada. Já a relação DBO (C):N:P (100:5:1) é fundamental que ocorra um balanço entre carga orgânica e nutrientes. Eles interferem diretamente na função dos nutrientes no metabolismo, na estrutura do tecido celular e na reprodução dos microrganismos. A relação do efluente bruto em estudo é de 100:16,33:3,26, indicando que o sistema possui valores elevados de Nitrogênio e Fósforo em relação a carga orgânica.

O nitrogênio e fósforo provém do efluente sanitário e dos produtos utilizados na higienização da indústria, como também os surfactantes (detergentes). Estes por sua vez, são ricos em compostos fosfóricos, gerando um aumento deste composto no efluente bruto (PACHECO,2006). Os surfactantes quando não tratados acarretam em problemas no corpo hídrico como eutrofização por excesso de nutrientes, (BERNARD, 2007).

Os sólidos suspensos totais podem estar relacionados com a matéria orgânica presente no efluente (Piveli, 2013). Para Von Serling (2005), a concentração de sólidos suspensos em efluentes domésticos varia na faixa de 200 a 450 mg/L, o efluente em estudo apresentou média de 321,63 mg/L. Quando elevados causam turbidez no efluente como também, geram problemas estéticos e prejudicam a entrada de luz, dificultando a atividade de fotossíntese. Já os sólidos sedimentáveis são indicativos de contaminação, quando em excesso em corpos hídricos podem gerar assoreamento.

Já os coliformes termotolerantes são de origem de um subgrupo das bactérias do grupo coliforme que fermentam a lactose a  $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$  em 24 horas, sendo sua representante a *Escherichia coli*, de origem exclusivamente fecal (CONSEMA, 2017). Analisando a média do efluente bruto para coliformes termotolerantes, pode-se notar que a mesma é bem elevada, levando em consideração que não existe abate de animais na unidade, sua totalidade provém de origem sanitária.

O pH do efluente bruto se mostrou em boas condições para posterior tratamento, sendo um pH básico. Já os óleos e graxas, em seu processo de decomposição, reduzem o oxigênio dissolvido elevando a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e a demanda química de oxigênio (DQO), (METCALF & EDDY. Inc., 1991). No efluente em estudo este parâmetro está relacionado a resíduos industriais provenientes da manutenção da fábrica, cozinha e também do processo industrial.

## 4.2 Testes com coagulantes

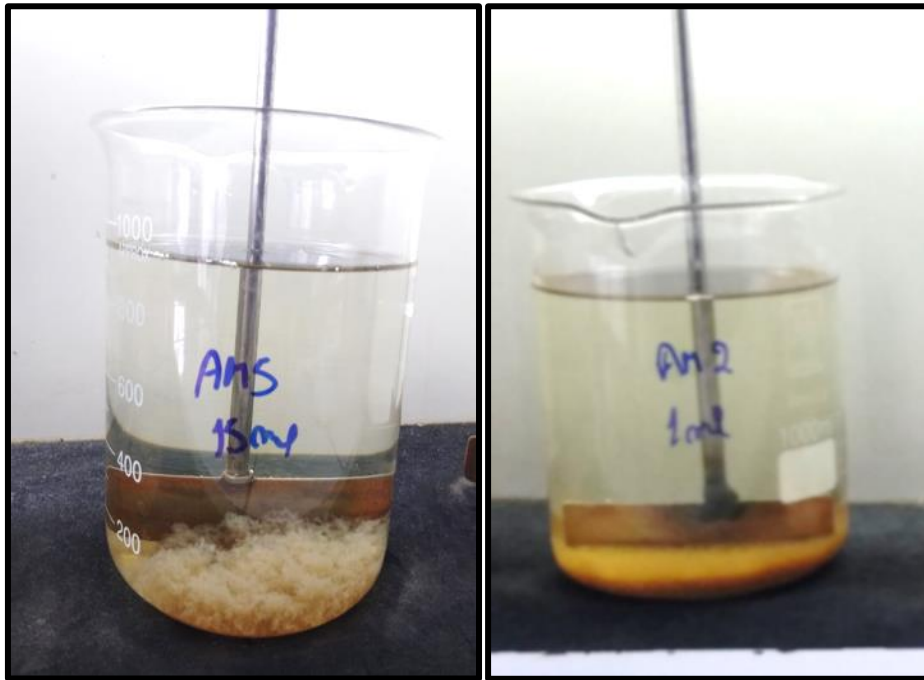
A Tabela 5, apresenta os resultados obtidos com o teste de coagulantes Policloreto de Alumínio – PAC e Cloreto Férrico. Nesta etapa se evidenciou que para o PAC a melhor amostra foi a Am 5 PAC, com pH neutro de 7,11 sem apresentar turbidez e cor, com flocos bem definidos e de rápida sedimentação. Já para o teste com Cloreto férrico a amostra Am 2 CF, apresentou pH final de 6,64 com baixa turbidez 2,75 NTU e cor de 10 UC, sendo a melhor análise para este coagulante, conforme Imagem 9.

Tabela 5: Relação das concentrações de produtos dosados com os resultados obtidos

Amostras	Cal Virgem (g)	CF (mg/l)	PAC (mg/l)	Polímero Aniônico (mg/l)	pH Final	Turbidez (NTU)	Cor (UC)
Am 1 CF	2	1.500	-	-	9,15	6	62
Am 2 CF	1	1.000	-	1.000	6,64	2,75	10
Am 3 CF	2	1.000	-	1.500	10,53	7,4	60
Am 4 CF	2	1.500	-	500	7,83	11,12	36
Am 5 CF	2	1.000	-	1.000	10,69	29	89
Am 6 CF	1	500	-	500	7,19	9,89	144
Am 1 PAC	0,23	-	11.000	2.000	8,77	5,26	63
Am 2 PAC	0,27	-	13.000	3.000	7,28	4,1	37
Am 3 PAC	0,2	-	15.000	3.000	6,83	2,72	24
Am 4 PAC	0,25	-	16.000	3.000	7,02	0,9	26
Am 5 PAC	0,2	-	15.000	2.500	7,11	0	0
Am 6 PAC	0,15	-	10.000	2.000	6,8	65	97

Fonte: Autoria Própria

Figura 9: Efluente após tratamento com PAC (Am 5 PAC) e cloreto férrico (Am2 CF)



Fonte: Autoria Própria

### 4.3 Comparação entre os tratamentos

Com as amostras que apresentaram melhor desempenho no teste de coagulantes (Am 5 PAC e AM 2 CF), foram repetidos os ensaios em duplicata, sendo o sobrenadante coletado e analisado por laboratório externo, os parâmetros analisados foram listados anteriormente na Tabela 3. Em conjunto com estas análises, foram realizadas coletas da saída final do atual tratamento de efluentes da indústria, pelo método biológico, sendo averiguado os mesmos parâmetros. A Tabela 6 a seguir aborda os resultados obtidos.

Tabela 6: Resultados dos parâmetros analisados

Parâmetros	Efluente Bruto (mg/L)	Biológico (mg/L)	PAC (mg/L)	Cloreto férrico (mg/L)	Consema 355/2017 (mg/L)
DQO	687,93 ± 151,06	32,03 ± 6,0 <sup>a</sup>	377,15 ± 3,36 <sup>b</sup>	323,25 ± 57,91 <sup>b</sup>	300
DBO	326,33 ± 38,08	6,5 ± 3,54 <sup>a</sup>	230,63 ± 16,79 <sup>b</sup>	249,75 ± 48,44 <sup>b</sup>	100
Fósforo Total	7,35 ± 3,28	1,59 ± 0,41 <sup>a</sup>	0,23 ± 0,02 <sup>b</sup>	0,18 ± 0,01 <sup>b</sup>	4
Nitrogênio Amoniacal	12,73 ± 1,73	5,0 ± 0 <sup>a</sup>	19,37 ± 1,61 <sup>b</sup>	10,34 ± 0,21 <sup>c</sup>	20
Óleos e Graxas Minerais	45,73 ± 53,47	10 ± 0 <sup>a</sup>	10 ± 0 <sup>a</sup>	10 ± 0 <sup>a</sup>	10
Óleos e Graxas veg/ani	21,09 ± 10,66	10 ± 0 <sup>a</sup>	10 ± 0 <sup>a</sup>	10 ± 0 <sup>a</sup>	30
Sólidos Sedimentáveis	13,33 ± 21,36	0,10 ± 0 <sup>a</sup>	0,10 ± 0 <sup>a</sup>	0,75 ± 0,21 <sup>b</sup>	1
Sólidos Suspensos Totais	321,63 ± 276,47	41,67 ± 11,15 <sup>a</sup>	26 ± 0 <sup>a</sup>	33,50 ± 0,71 <sup>a</sup>	100
Nitrogênio T. Kjeldahl	46,06 ± 9,03	5,0 ± 0 <sup>a</sup>	29,94 ± 0,28 <sup>b</sup>	18,98 ± 0,99 <sup>c</sup>	20
Surfactantes	13,70 ± 5,64	0,59 ± 0,02 <sup>a</sup>	2,18 ± 0,28 <sup>b</sup>	0,70 ± 0,55 <sup>a</sup>	2
Coliformes Termotolerantes	2.246.666 ± 3.337.818 NMP/100ml	7.066,67 ± 5.029,25 <sup>a</sup>	550 ± 70,71 <sup>a</sup>	1100,00 ± 1.414,21 <sup>a</sup>	10 <sup>6</sup>
pH	7,91 ± 0,87	7,53 ± 0,03 <sup>a</sup>	7,34 ± 0,02 <sup>b</sup>	6,99 ± 0,05 <sup>c</sup>	entre 6,0 e 9,0

- Letras diferentes entre as linhas indicam diferença significativa entre os tratamentos,

\*\*\* padrões para lançamento em águas superficiais conforme a Resolução CONSEMA n.º 355 de 2017.

Fonte: Autoria Própria

Com análise dos parâmetros, se observa que existem significativas diferenças entre os 3 tratamentos apresentados. Destes, o único que apresentou todos os resultados dentro dos padrões estabelecidos pela CONSEMA n.º 355/2017 foi o tratamento biológico.

Pelo efluente bruto apresentar alta biodegradabilidade, os parâmetros DQO e DBO no efluente tratado pelo método biológico apresentou valores baixos em relação a CONSEMA 355/2017. Já com relação ao tratamento por coagulação os valores ficaram acima do permitido. Segundo Jordão e Pessoa (2014), isso se justifica pelo fato que este tratamento é indicado quando o fator de biodegradabilidade do efluente bruto for  $>3,5$  considerado elevado, ou seja, a fração inerte não biodegradável é elevada, e deve ser considerado o tratamento químico.

O fósforo total obteve os menores resultados pelo tratamento com coagulantes, através de precipitação química. Isso se deve ao fato de os sais de alumínio e de ferro precipitarem o fósforo solúvel, formando compostos fosfóricos insolúveis os quais ficam agregados aos flocos do lodo, (CHAO, 2006). O sistema biológico, por sua vez através de um consórcio de microrganismos que degradam os compostos em regiões anaeróbias e aeróbia-anóxica, acumulam o fósforo em suas células microbianas, ficando acumulado na biomassa, sendo necessário efetuar corretamente o descarte de lodo, (NAVAL, 2005).

O nitrogênio amoniacal e nitrogênio total kjeldahl apresentaram os menores valores no tratamento biológico, sendo estes menores que os limites da CONSEMA 355/2017. Isso se deve aos processos de nitrificação e desnitrificação, a nitrificação é um processo biológico que converte amônia em nitrito e posteriormente em nitrato, nesta fase deve-se ter boa quantidade de oxigênio dissolvido para que as bactérias nitrificantes se desenvolvam. Já na desnitrificação ocorre a diminuição de oxigênio, podendo até mesmo zerar, nessa fase os nitratos são utilizados pelos microrganismos heterotróficos como aceptores de elétrons através da respiração, transformando o nitrogênio na forma gasosa  $N_2$ , assim o nitrogênio passa da fase líquida para a gasosa sendo liberado na atmosfera (CHERNICHARO, 2001). Para o tratamento químico os valores ficaram elevados e acima do permitido pela CONSEMA 355/2017, pode-se dizer que o nitrogênio neste tratamento, estava em sua maior parcela contido na parte solúvel, não sendo removido totalmente ou parcialmente na formação dos flocos.

Os sólidos suspensos totais, não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos, estando todos em acordo com a legislação. Já os sólidos sedimentáveis apresentaram bons resultados em cada um dos tratamentos, apresentando alta eficiência. Estes quando não controlados atuam de maneira indireta, interferindo na vida aquática impedindo a



penetração de luz e também diminuindo a concentração de oxigênio dissolvido no meio.

A análise de coliformes termotolerantes apresentou bons resultados para ambos os tratamentos. De acordo com Von Sperling (2005), espera-se eficiência de remoção de 90% de microrganismos em processos de lodos ativados. Neste estudo ao relacionar o efluente tratado pelo método biológico com o efluente bruto a eficiência foi de 98% na remoção de coliformes termotolerantes. Já no tratamento químico, pode-se presumir que a alta remoção de coliformes termotolerantes está relacionada ao processo de coagulação e floculação, estando os microrganismos agregados a matéria orgânica, posteriormente ficando acumulados no lodo.

O pH apresentou bons resultados para ambos os tratamentos, sendo um pH pós tratamento básico. Os resultados de óleos e graxas vegetais e animais como também minerais apresentaram valores baixos e de acordo com a CONSEMA 355/2017, sendo ambos os tratamentos eficientes para estes parâmetros.

Os surfactantes (substâncias tensoativas que reagem ao azul de metileno), são de origem exclusiva dos produtos utilizados na higienização da indústria, apresentando valor em desacordo com a CONSEMA 355/2017 no tratamento com PAC, sendo eficiente no tratamento com o cloreto férrico e no sistema biológico também.

Ao analisar todos os parâmetros tratados pelos 3 métodos diferentes, percebe-se que o sistema biológico por lodos ativados já em uso na empresa, apresentou alta eficiência nos resultados obtidos quando comparado aos demais.

#### **4.4 Viabilidade econômica de operação**

Para verificar a viabilidade econômica de operação, foram levantados os custos mensais para cada um dos tratamentos em estudo, os quais estão dispostos na Tabela 7 a seguir.

Tabela 7: Custo operacional mensal

<b>Viabilidade Econômica de Operação (mês)</b>		
<b>Tratamento</b>	<b>Descrição</b>	<b>Valor (R\$) Mensal</b>
<b>Biológico</b>	Descarte de lodo	7.000
	Aeração	3.885
	Energia (bombas)	540,00
	Análises laboratoriais	12.000
	1 operador (comercial)	2.100
	Total R\$ 25.525,00	
<b>Cloreto férrico</b>	Cloreto férrico	5.000
	Polímero	450,00
	Cal	450,00
	Energia (bombas)	1.280
	Descarte de lodo	7.000
	Análises laboratoriais	12.000
	2 operadores	4.200
Total R\$ 30.380,00		
<b>PAC</b>	PAC	2.000
	Descarte de lodo	7.000
	Energia (bombas)	980,00
	Análises laboratoriais	12.000
	Polímero	900,00
	2 operadores	4.200
	Total R\$ 27.080,00	

Fonte: Autoria Própria

O tratamento biológico, por apresentar menor demanda operacional em relação aos demais tratamentos, necessita apenas de 1 operador diário em turno comercial. Os demais tratamentos por funcionarem em batelada, necessitam de 2 operadores em turnos distintos.

Com relação aos coagulantes, o cloreto férrico apresentou maior custo mensal, por ser dosado em maior quantidade em relação ao PAC. Neste tratamento também é necessário a adição de cal para elevar o pH de coagulação. O polímero foi utilizado em maior quantidade no tratamento com PAC, auxiliando na formação de flocos grandes e definidos.

No tratamento biológico, o sistema de aeração que garante a oxigenação do sistema, funciona em ciclos sendo um custo mensal específico deste tratamento, já o valor gasto com energia para bombas de recalque é menor, sendo grande parte escoado por gravidade. O custo com energia nos dois tratamentos químicos é mais elevado, por ter mais bombas e também os

agitadores que realizam o processo de coagulação/floculação.

Os valores de análises laboratoriais e de destinação de lodo são os mesmos para ambos os tratamentos, as análises são realizadas diariamente por laboratório externo para monitoramento e acompanhamento do sistema de efluentes, já o lodo é descartado o excedente para não sobrecarregar o sistema e não perder sua eficiência.

## 5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos durante a pesquisa, pode-se fazer as seguintes considerações:

- O efluente bruto gerado pela indústria em estudo, apresentou valores na faixa de um efluente doméstico e, não com propriedades de um efluente industrial em si, com exceção para o parâmetro de coliformes termotolerantes característico de efluente sanitário.
- O tratamento realizado com PAC obteve bons resultados na remoção de fósforo e coliformes termotolerantes, não sendo eficiente nos demais parâmetros, os quais ficaram em desacordo quando comparados com a CONSEMA 355. Relacionando-o os resultados obtidos com os custos operacionais, o mesmo não se mostra viável, em virtude dos resultados obtidos não atenderem o padrão.
- Ao analisar os resultados obtidos com o Cloreto férrico, se nota que o mesmo foi efetivo na remoção de fósforo e coliformes termotolerantes, nos demais parâmetros não obteve êxito, além de apresentar um custo mensal operacional elevado quando comparado aos demais.
- O tratamento biológico apresentou bons resultados, todos em acordo com a CONSEMA 355, além de ser um tratamento mais econômico, necessitando apenas de 1 operador diário.

Com base nas considerações apresentadas, pode-se concluir que o melhor tratamento para o efluente em estudo é o biológico através de lodos ativados, apresentando um satisfatório custo benefício, com parâmetros em acordo com a legislação.

## REFERÊNCIAS

AMIRTHARAJAH, A.; O'MÉLIA, C.R. **Coagulation processes: desestabilization, mixing and flocculation**. Water quality and treatment. Toronto. Ed. McGrawHill: Canadá, 1990.

APHA. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater, 23rd Ed.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, DC.

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

BARCELLOS, Camila Hunbner, CARVALHO, Antonio R. P. **Tratamento biológico de Efluentes**. Disponível [http://www.kurita.com.br/adm/download/Tratamento\\_Biologico\\_de\\_Efluentes.pdf](http://www.kurita.com.br/adm/download/Tratamento_Biologico_de_Efluentes.pdf). Acesso em: 03/03/2021.

BARRADAS, J. L. D. Tanino - **Uma solução ecológicamente correta: Agente floculante biodegradável de origem vegetal no tratamento de água**. Novo Hamburgo: EDITORA, 2004.

BRAILE, P.M. **Manual de tratamento de águas residuais industriais**. São Paulo: CETESB, 1993. p. 2-10, 139-174.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional**. Disponível em: [www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459](http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459). Acesso em: 03/03/2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em 03/03/2021.

CACHEIRA, C. S. et al. **Processo de coagulação-floculação. Porto**, 2012. 20 p. Projeto FEUP: o despertar das engenharias (Mestrado Integrado de Engenharia do Ambiente). Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto, 2012.

CAMMAROTA, M. C. **Tratamento de Efluentes Líquidos** – 2011. Disponível em: <<http://www.eq.ufrj.br/docentes/magalicammarota/2013/eqb485.pdf>>, Acesso em: 05/03/2021.

CAVALCANTI, J.E.W; **Manual de Tratamento de Efluentes Industriais**. Brasil, 2009.

CHAO, I.R.S.; **Remoção de Fósforo de Efluentes de Estações de Tratamento Biológico de Esgotos Utilizando Lodo de Estação de Tratamento de Água**. Tese de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

CHERNICHARO, C. A. de L. et al. **Pós-tratamento de efluentes de reator anaeróbios**. Projeto PROSAB. Belo Horizonte: Segrac Editora e Gráfica, 2001.

CLAAS, I.C.; MAIA, R.A.M. **Tecnologias e Gestão Ambiental - Efluentes Líquidos**. Brasília, 2003. 1ed.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – CONSEMA. Resolução nº 355, de 13 de julho de 2017. **Dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul**. 7 p. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201707/19110149-355-2017-criterios-e-padroes-de-emissao-de-efluentes-liquidos.pdf>.. Acesso em: 03/03/2021.

CONSTANTINO, A. F.; YAMAMURA, V. D. **Redução do gasto operacional em estação de tratamento de água utilizando o PAC**. Maringá, 2009. 10 p. Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, 2009

DJEKIC, I.; RADOVIC, C.; LUKIC, M.; STANISIC, N.; LILIC, S. **Environmental life-Dyes and Pigments**. v.73, p. 59-64, 2007.

DOS SANTOS, G.R. Estudo da clarificação de água de abastecimento público e otimização da estação de tratamento de água. Dissertação (mestrado). Universidade federal do rio de janeiro. Rio

de janeiro, 2011.

FARRUGIA, Beatriz. **Conheça como funciona uma estação de tratamento de efluentes**. 2013. Revista Tae. Disponível em: <<http://www.revistatae.com.br/5801-noticias>>. Acesso em: 07/03/2021.

FEISTEL, J. C., **Tratamento e Destinação de Resíduos e Efluentes de Matadouros e Abatedouros. Seminários Aplicados**. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2011 ecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2013.

FRANCO, E. F. **Avaliação da Influência dos Coagulantes de Alumínio e Cloreto Férrico na Remoção de Turbidez e Cor da Água Brita e Sua Relação com Sólidos na Geração de Lodo em Estações de Tratamento de Água**. 2009. 187f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto - SP. 2013.

GREGORY, J (1993). **The Role of Colloid Interaction in solid-Liqued Separation**. Wat. Sci. & Tech., v.27, n.10, pp. 1-17.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSÔA, Constantino Arruda. **Tratamento de esgotos domésticos**. 7. ed. Rio de Janeiro; 2014.

LEME, Francilio P. **Teoria e Técnicas de Tratamento de água**. Rio de Janeiro: ABES, LIBÂNIO, MARCELO. Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água. 3. ed. Campinas: Editora Átomo, 2010.

LOPES, B. **Eficiência de coagulantes na remoção de diferentes concentrações de ferro e manganês para ETA Terras Baixas**. Trabalho de Conclusão de Curso Universidade Federal de Pelotas, 2014.

MACHADO, Fernando Ruas. **Remoção de Fósforo na Unidade de Flotação de Tratamento de Esgoto**. 2007. 79 f. Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/15273/1/fernando.pdf>. Acesso em 05/05/2021.

METCALF & EDDY, Inc. Constituents in wastewater. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4. ed., rev. G. Tchobanoglous, F. L. Burton, H. D. Stensel. New York: McGraw-Hill, p. 29-151, 2003.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal, reuse**. 3.ed. New York: Mc Graw Hill, 1991. 1334p.

NATURALTEC (São Paulo). Reatores Físico-Químicos (Coagulação). 2021. Disponível em: <https://www.naturaltec.com.br/coagulacao/>. Acesso em: 07/05/2021.

NAVAL, L. P.; COUTO, T. C. **Estudo da remoção de fósforo em efluentes provenientes de sistemas anaeróbios para tratamento de águas residuárias utilizando cal**. 23. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais. 2005.

NUNES, Eva Caroline de Souza. **TRATAMENTO DE EFLUENTE OLEOSO DE UNIDADES MARÍTIMAS DE PERFURAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO**. 2016. 67 f. Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

PACHECO, José Wagner. **Guia técnico ambiental de frigoríficos - industrialização de carnes (bovina e suína)**. São Paulo: CETESB, 2006. 85p. (1 CD): il.; 30 cm. (Série P + L).

PAVANELLI. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. Tese de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos – SP (2001).

PIVELI, R. P. Curso de qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos, **Aula 5 - características físicas das águas: cor, turbidez, sólidos, temperatura, sabor e odor**. Universidade de São Paulo, 2013.

RAVINA, L. **Everything you want to know about Coagulation & Flocculation**. Zeta-Meter, Inc. 4 ed. Stanunton, Virginia. 1993. 27 p.

SÁNCHEZ-MARTIN, J.; Beltrán-Heredia, J.; Solera-Hernández, C. **Surface water and wastewater treatment using a new tannin-based coagulant**. Pilot plant trials. Journal of



Environmental Management, v.91, n.10, p.2051-2058, 2010.

SCHENINI, P. C.; ROSA, A.L.M.; RIBEIRO, M.M.A. **O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo como Atrativo ao Investimento Ambiental: Estudo de Caso em um Frigorífico de Bovinos**. In: SEGeT – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 3, 2014, Florianópolis. Anais... Florianópolis, 2014.

SEIXAS, A. C. M., **Produção e utilização de protease de Bacillus subtilis em tratamento de efluentes líquidos** – 2006, disponível em: <  
<http://cutter.unicamp.br/document/?code=vtls000376227>> Acesso em 03/03/2021.

SUDOH, R. et al. **Removal of dissolved humic acid from water by coagulation method using polyaluminum chloride (PAC) with calcium carbonate as neutralizer and coagulant aid**. Journal of Environmental Chemical Engineering. n. 3. 2015. p. 770-774.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.