



**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**  
**ADILSON VIEIRA ALVES**

**ELETROCOAGULAÇÃO-FLOTAÇÃO APLICADA AO TRATAMENTO DE ÁGUAS  
RESIDUAIS DE FRIGORÍFICO DE SUÍNOS**

**TUBARÃO**  
**2017**

**ADILSON VIEIRA ALVES**

**ELETROCOAGULAÇÃO-FLOTAÇÃO APLICADA AO TRATAMENTO DE ÁGUAS  
RESIDUAIS DE FRIGORÍFICO DE SUÍNOS**

Relatório Técnico/Científico apresentado ao  
Curso de Química Industrial da Universidade  
do Sul de Santa Catarina como requisito parcial  
à obtenção do título de Bacharel em Química  
Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Jair Juarez João.

Tubarão

2017

ADILSON VIEIRA ALVES

**ELETROCOAGULAÇÃO-FLOTAÇÃO APLICADA AO TRATAMENTO DE ÁGUAS  
RESIDUAIS DE FRIGORÍFICO DE SUÍNOS**

Relatório Técnico/Científico de Estágio  
Supervisionado julgado adequado à obtenção do título  
de Bacharel em Química Industrial e aprovado em sua  
forma final pelo Curso de Química Industrial da  
Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 29 de junho de 2017



Professor e orientador Jair Juarez João, Dr.  
Universidade do Sul de Santa Catarina



Profª. Maria Ana Pignatel Marcon Martins, Dra.  
Universidade do Sul de Santa Catarina



Profª. Juéilene Feltrin, MSc.  
Universidade do Sul de Santa Catarina

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter alcançado meus objetivos até aqui, a enfrentar e superar as dificuldades no caminho acadêmico.

Aos meus pais Sebastião e Margarida, e irmãos pela força concedida e entendimento nos momentos de dificuldades.

À minha namorada Elaine, pela compreensão, paciência e por todo o apoio prestado nos momentos difíceis desta caminhada.

Aos amigos que adquiri no meio acadêmico, pela companhia, estudos, conversas risos e parcerias nos momentos de dificuldades.

Aos grandes mestres do qual tive o prazer de ser aluno, e aprender muito.

À Unisul e seus funcionários, dando ênfase à Deise por ser sempre atenciosa.

Ao meu professor orientador Jair Juarez João pelo seu apoio e ensinamento.

“Suba o primeiro degrau com fé. Não é necessário que você veja toda a escada. Apenas dê o primeiro passo”. (Marthin Luther King).

## RESUMO

O setor frigorífico é um grande contribuidor para a geração de resíduos no meio ambiente. A readequação e minimização do uso da água no processo é de suma importância para o aumento lucrativo, juntamente com a baixa energia gerada no processo de tratamento. Diariamente, são abatidas centenas de animais e em cada processo uma grande quantidade de água é utilizada. Sem o devido tratamento, esses efluentes geram imensos transtornos ao corpo receptor. Entretanto, o tratamento adequado pode proporcionar à empresa um descarte ou o reuso deste efluente. Métodos convencionais de tratamento para efluentes com grande carga de matéria orgânica apresentam representatividade no sistema industrial, e, com os avanços científicos, novos métodos ganham notoriedade. A eletrocoagulação/flotação aparece como um método a ganhar espaço neste meio. A versatilidade e simplicidade do processo faz com que o tempo de tratamento tende a ser menor. O presente trabalho procurou a validação e eficiência do tratamento proposto ao efluente da linha vermelha de frigorífico. Com a corrente adequada, o método apresentado teve eficiência de 95% na remoção de cor e turbidez e de 82% na remoção de nitrogênio amoniacal, um grande problema em efluentes suínos. Contudo, o processo mostrou rapidez e bons valores para descarte de efluente seguindo as legislações vigentes.

**Palavras-chave: Efluente de frigorífico. Eletrocoagulação/flotação. Validação do processo.**

**LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

Figura 1 Configuração esquemática da dupla camada elétrica.....	20
Figura 2 Reator químico .....	24
Figura 3: Efluente de frigorífico alimentado pela fonte .....	26
Figura 4 Efluente tratado. ....	26
Figura 5: Resultados obtidos para cinética de degradação da cor (média de três experimentos).....	29
Figura 6: Resultados obtidos para cinética de degradação de turbidez (média de três experimentos).....	29
Figura 7 pH do meio.....	30

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 Parâmetros e técnicas utilizadas.....	24
Tabela 2 Otimização e validação do processo.....	27
Tabela 3 Média das correlações por tempo.....	28
Tabela 4 Parâmetros para descarte de efluentes e dados obtidos para o efluente bruto.....	31
Tabela 5 Parâmetros para descarte de efluentes e dados obtidos para o efluente tratado.....	32

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	11
1.1	OBJETIVOS .....	12
1.1.1	Objetivo Geral .....	12
1.1.1.1	Objetivos Específicos .....	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	13
2.1	Frigorífico de suíno.....	13
2.2	Gerenciamento de resíduos.....	14
2.3	TRATAMENTO CONVENCIONAIS DE EFLUENTES LÍQUIDOS INDUSTRIAIS... 15	
2.3.1	Tratamento primário.....	15
2.3.2	Tratamento secundário.....	15
2.3.3	Tratamento terciário.....	16
2.3.4	Métodos avançados.....	16
2.4	Tratamento terciário ou avançado.....	16
2.4.1	Eletrocoagulação/flotação.....	17
2.4.2	Adsorção, Neutralização e varredura: Eletrocoagulação.....	17
2.4.3	Eletrofloculação.....	19
2.4.4	Flotação das impurezas: Eletroflotação.....	19
2.4.5	Ciência dos colóides.....	19
2.4.6	Eletrodos de alumínio.....	21
2.4.7	Eletrodos de ferro.....	21
3	METODOLOGIA.....	22
3.1	Tipo de pesquisa.....	22
3.2	Coleta do efluente.....	23
3.3	Característica do reator.....	23
3.4	Análises físico-químicas.....	24
3.5	Análises dos dados.....	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	26
4.1	Estudos preliminares.....	26
4.2	Resultado das análises visuais.....	26
4.3	Resultados das análises físico-químicas.....	31
4.4	Relação Custo x Benefício.....	33

4.4.1 Consumo de energia.....	33
4.4.2 Desgaste dos eletrodos.....	34
4.5 Vantagens.....	35
4.5.1 Desvantagens.....	35
4.6 Sugestões de melhorias.....	35
5 CONCLUSÃO .....	37
REFERÊNCIAS.....	38

## 1 INTRODUÇÃO

Com o mercado aquecido e um crescimento populacional ligado à qualidade de vida, a necessidade hídrica se torna indispensável em todos os aspectos. Utilizada no meio doméstico, agricultura e indústria; a destinação da água nem sempre tem o seu tratamento adequado ao corpo receptor, ou se tem, em alguns aspectos peca por sua não conformidade ao leito de despejo. Segundo (CRESPILHO; REZENDE, 2004), o uso percentual de água está assim distribuído no Brasil: 43% da água são classificados como de uso doméstico, 40% destinam-se à agricultura e 17% são utilizados na indústria. A indústria, além de ocupar o terceiro lugar no consumo de água, é um agente potencialmente gerador de impactos ambientais.

A agroindústria brasileira é um ponto forte no mercado financeiro nacional e internacional. O Brasil, hoje, é um dos maiores produtores de carne e derivados no mundo. Tais rendimentos são de bom grado ao mercado, mas a consciência ambiental e redução de custos pairam sobre os empreendedores brasileiros e mundiais, pois a distribuição destes produtos é localizada em grandes centros, e a maneira como tratam o meio ambiente é de interesse de todos.

Efluentes provenientes deste tipo de indústria precisam de tratamento, sendo gerenciados de acordo com a legislação, passando por tratamentos antes dos efluentes retornarem ao meio ambiente ou que possam ser reutilizados em processos internos.

Contudo, propõe-se neste trabalho um método de tratamento, por meio da eletrocoagulação/flotação. Com parâmetros ligados ao método convencional, confrontando dados para uma melhor discussão sobre o sistema adotado.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma metodologia para o tratamento de efluente frigorífico suíno utilizando processos eletroquímicos.

#### 1.1.1.1 Objetivos Específicos

- ✓ Descrever a eletrocoagulação/flotação
- ✓ Montar o reator eletroquímico;
- ✓ Realizar a caracterização físico-química e biológica do efluente bruto e tratado
- ✓ Otimizar tensão terminal e a corrente admissível em função da qualidade da água residual a ser tratada;
- ✓ Avaliar a eficiência do sistema através da cinética de remoção dos contaminantes orgânicos e inorgânicos (cor e turbidez)
- ✓ Viabilidade do processo
- ✓ Confrontar parâmetros de lançamento de efluentes com os dados impostos pela legislação nacional e estadual
- ✓ Avaliar o consumo de energia e massa do alumínio gasto na reação

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Frigorífico de suíno

Atualmente, o Brasil é um dos maiores produtores de carne suína do mundo, a detenção de ser um dos maiores em tal seguimento faz com que a qualidade esteja em primeiro lugar, já que o setor mundial tem padrões de qualidade implementados rigorosamente, passados por grande inspeção, almejando um bom produto.

Com um enorme fluxo de carne exportada e consumida internamente, ainda pode-se citar os subprodutos que este segmento provém, não sendo descartados de forma irresponsável, pois também trazem lucros à agroindústria.

O Brasil é o quarto maior produtor e exportador de carne suína do mundo e, segundo dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), a tendência é que até 2019 haja um incremento de 4,9% na produção. Atualmente, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Paraná são os três maiores produtores nacionais. No entanto, com o aquecimento do mercado, a tendência é que haja um crescimento na produção das outras regiões. (SEBRAE, 2016).

Os abates dos animais para fins comerciais necessitam de lugares adequados, conforme exigência da Vigilância Sanitária, que regulamenta todas as operações de obtenção de cortes, dando, assim, maior segurança ao consumidor. No abate, produzirá, além de carne, insumos do processo, ossos, vísceras, sangue, couros, gorduras, etc. que tem tratamento específico dentro da indústria.

A suinocultura ainda apresenta concentrações elevadas de sólidos suspensos, impactando fortemente o meio ambiental na região de tratamento.

A poluição orgânica da água, originada da suinocultura, causa um rápido crescimento de microrganismos, resultando em uma elevada demanda bioquímica de oxigênio; com isso, reduz-se a quantidade de oxigênio disponível para a manutenção da vida aquática. Portanto, a descarga direta em corpos d'água é capaz de causar a morte de peixes pelo aumento da DBO. (HOODA et al., 2000). (Ciência Rural, v.37, n.2, mar-abr, 2007).

Os efluentes gerados no tratamento dos produtos e subprodutos em frigoríficos são de suma importância para o meio industrial, pois o reaproveitamento da água residual diminui custos e não acarreta problemas ambientais e multas por falta de preservação ao meio ambiente.

O setor destinado ao processamento de carnes, utiliza em demasia uma alta demanda de água, assim como qualquer outro setor alimentício. Com alta carga de matéria orgânica encontrada nestes efluentes.

Em frigoríficos, assim como em vários tipos de indústria, alto consumo de água acarreta grandes volumes de efluentes - 80 a 95% da água consumida é descarregada como efluente líquido. Estes efluentes caracterizam-se principalmente por:

Alta carga orgânica;  
 Alto conteúdo de gordura;  
 Altos conteúdos de nitrogênio, fósforo e sal;  
 Teores significativos de sais diversos de cura e, eventualmente, de compostos aromáticos diversos (no caso de processos de defumação de produtos de carne);  
 Flutuações de temperatura (uso de água quente e fria).  
 (CETESB, 2006, p.49).

O papel da indústria hoje é determinante para que seja possível a reutilização no tratamento adequado de efluentes em seus diversos processos. Neste sentido, sem investimentos de recursos por parte deste segmento e não havendo o uso sustentável dos recursos em longo prazo não será possível o seu desenvolvimento. Inseridas neste contexto, empresas buscam se adequar à nova realidade, incluindo em suas estratégias as políticas ambientais, buscando um relacionamento saudável com a comunidade e atendendo exigências impostas pelo mercado consumidor.

## 2.2 Gerenciamento de resíduos

A implementação de tecnologia ou métodos para processos passa por uma gestão de análises quanto ao objetivo requerente. Em recursos hídricos, a gestão implica na implementação de algumas séries de medidas.

A maioria das tecnologias usadas no tratamento de efluentes objetivando o reuso é a mesma usada em sistemas de tratamento de água e efluentes, porém, em certos casos, processos de tratamento adicionais são necessários, para remoção de contaminantes específicos e para inativação e remoção de microrganismos patogênicos (METCALF & EDDY, 1991 apud GIL, 2010, p31).

Em frigoríficos, tendo como meta tempo e eficiência no tratamento dos seus efluentes, os abatedouros minimizam a etapa de processos, este sistema pode variar de empresas, mas tem em sua maioria uma linha de tratamento. A linha de cortes de um frigorífico corresponde a um grande consumo de água, somando também à parte de limpeza dos produtos e das áreas aonde ocorre o processo.

- ✓ Separação ou segregação inicial dos efluentes líquidos em duas linhas principais: linha “verde”, que recebe principalmente os efluentes gerados na recepção dos animais, nos currais/pocilgas, na condução para o abate/“seringa”, nas áreas de lavagem dos caminhões, na bucharia e na triparia; e linha “vermelha”, cujos contribuintes principais são os efluentes gerados no abate.
- ✓ Tratamento primário: para remoção de sólidos grosseiros, suspensos sedimentáveis e flotáveis, principalmente por ação físico-mecânica
- ✓ Tratamento secundário: para remoção de sólidos coloidais, dissolvidos e emulsionados, principalmente por ação biológica, devido à característica biodegradável do conteúdo remanescente dos efluentes do tratamento primário. Tratamento terciário (se necessário, em função de exigências técnicas e legais Locais): realizado como “polimento” final dos efluentes líquidos provenientes do tratamento secundário, promovendo remoção suplementar de sólidos, de nutrientes (nitrogênio, fósforo) e de organismos patogênicos. (CETESB, São Paulo 2009, p 59-60).

O gerenciamento adequado dentro de um processo produtivo é um passo fundamental para garantir a sustentabilidade das operações, diminuir os impactos ao meio ambiente e preservar a saúde dos colaboradores.

### 2.3 TRATAMENTO CONVENCIONAIS DE EFLUENTES LÍQUIDOS INDUSTRIAIS

Os processos de tratamento de efluentes amparando-se na legislação ambiental podem ser classificados em físicos, químicos e biológicos em função da natureza dos poluentes a serem removidos e ou das operações unitárias utilizadas para o tratamento. A divisão destes costuma ser em três classes:

#### **2.3.1 Tratamento primário:**

Conjunto de operações e processos unitários que visam, principalmente, à remoção de sólidos em suspensão, ainda que parcialmente, normalmente com eficiência de SS de cerca de 50% e de DBO de cerca de 25%, podendo esses percentuais se elevarem até 80% e 50%, respectivamente, no caso do tratamento primário quimicamente assistido. (ABNT NBR 12209, 2011, p.06).

Estes processos físicos envolvem gradeamento, peneiramento, sedimentação, caixa de gordura, equalização e filtração.

#### **2.3.2 Tratamento secundário:**

Conjunto de operações e processos unitários que visam, principalmente, à remoção da matéria orgânica, ocorrendo tipicamente após o tratamento primário, normalmente com eficiência de remoção de SS e de DBO de cerca de 80% a 90%. Estes processos envolvem reação bioquímica, sendo essa a responsável pelo tratamento de determinado resíduo.

Reator de lodos ativados, lagoa de estabilização, filtro biológico, biodigestores, reatores para a remoção de fósforo e nitrogênio, reator anaeróbico de fluxo ascendente (ABNT NBR 12209, 2011, p.07).

### 2.3.3 Tratamento terciário

Conjunto de operações e processos unitários que visam, principalmente, à remoção de nutrientes ou de micro-organismos. (ABNT NBR 12209, 2011, p.07).

São os processos físico-químicos, aonde reações de natureza não biológicas são desencadeadas para proporcionar o tratamento desejado. São elas: Floculação; coagulação, processos oxidativos, adsorção, flotação, precipitação, osmose reversa, filtração por membranas.

### 2.3.4 Métodos avançados

Os métodos oxidativos são os que reduzem drasticamente o volume do meio contaminado. São baseados na destruição dos poluentes. Neles, são obtidas duas fases: uma composta por água limpa e outra pelo resíduo contaminante concentrado. Os processos oxidativos avançados têm como característica a transformação da maioria dos poluentes orgânicos em água, ânions orgânicos e dióxido de carbono, principalmente os radicais hidroxila. Estes radicais têm potencial de oxidação 2,8V, menor apenas do que o flúor, que é de 3,03V. Esses processos têm como característica serem limpos e não ter uma seletividade, degradando um grande número de compostos. Podem ser usados para degradarem tanto compostos orgânicos em fase aquosa, como em fase gasosa. Os oxidantes mais utilizados são: Flúor, radical hidroxila, oxigênio atômico, ozônio, peróxido de hidrogênio, permanganato, dióxido de cloro, cloro e iodo. (UNICAMP, 2009).

Dentre os POAs está o processo Fenton, que se baseia na geração de OH a partir da decomposição de peróxido de hidrogênio catalisada por íons ferrosos ( $Fe^{2+}$ ) em condição ácida. (BRITTO; R, 2008 apud COLOMBARI; GENENA; LENHARD).

## 2.4 Tratamento terciário ou avançado

Por outro lado, a informação sobre os avanços científicos que geram certas tecnologias é também importante, pois possibilita a técnicos, pesquisadores e gerentes acompanhar e apreender todo o processo.

A eletrocoagulação/flotação vem desempenhando papel importante entre as técnicas não convencionais de tratamento de água em efluentes industriais. E isso se deve à sua

versatilidade, tanto no modo operacional quanto na eficiência de remoção de contaminantes. (CRESPILHO; REZENDE, 2004).

#### 2.4.1 Eletrocoagulação/flotação

É o processo eletroquímico de tratamento de efluentes, em que um reator eletroquímico é o centro das reações de coagulação. A eletroflotação é também chamada de eletrocoagulação e de eletrofloculação. O reator de eletrocoagulação/flotação possui eletrodos de sacrifício, como alumínio, por exemplo, que geram íons  $\text{Al}^{3+}$  em razão do potencial aplicado

Essa etapa, parte do processo anódico, em que o alumínio metálico é oxidado de acordo com a equação 1:



O cátion gerado na etapa anódica hidrolisa-se formando o agente coagulante  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , que será o responsável pela coagulação e formação das partículas coloidais. As etapas da geração eletroquímica são: Adsorção, neutralização, eletrofloculação e flotação das impurezas. (CRESPILHO; REZENDE, 2004).

#### 2.4.2 Adsorção, Neutralização e Varredura: Eletrocoagulação.

Nesta etapa ocorre a coagulação das partículas, ou seja, o alumínio carregado positivamente pode reagir com partículas de cargas negativas. Esse fenômeno ocorre para baixas concentrações de alumínio. Entretanto, essa reação pode ficar limitada pela hidrólise da espécie carregada, liberada em grande quantidade pelo eletrodo, que, por sua vez, é muito rápida. Assim, a adsorção e a neutralização podem ocorrer, porém, seus efeitos são bem menos expressivos quando comparados com a ação do hidróxido de alumínio.

Tendo isso em mente, é de grande interesse, nessa etapa do processo, que a hidrólise resulte em hidróxido de alumínio,  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , uma vez que esse composto será o maior responsável por remover as impurezas do efluente. (CRESPILHO; REZENDE, 2004).

Oxidação do alumínio sólido (REAÇÃO ANÓDICA)



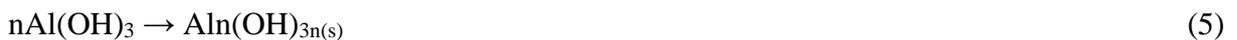
Solvatação do cátion formado



Formação do agente coagulante



Também formam reações secundárias, onde ocorre a formação de polímeros



Vários complexos de alumínio podem ser formados. A presença desses complexos em solução aquosa confere uma característica gelatinosa ao meio.

Esses complexos são os responsáveis por remover contaminantes, pelo fato de adsorverem-se às partículas, originando coágulos maiores: os flocos.

Porém, a estabilidade do hidróxido de alumínio depende do pH do meio.

(CRESPILHO; REZENDE, 2004).

Como se trata de uma reação de hidrólise, o pH ideal para formação de  $\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$ , está entre 6,5 e 7,0.

Além da formação do agente coagulante, a EF pode gerar microbolhas de gases que são responsáveis pela flotação de óleos, graxas e outros compostos particulados.

A formação desses gases está representada nas Equações:

Evolução de hidrogênio em reações catódicas:



Evolução de oxigênio no processo anódico:



Caso o efluente contenha íons cloreto, poder-se-á formar  $\text{Cl}_2$  no ânodo, que, na presença de água, pode formar íons hipoclorito. Esse fato pode ser considerado como uma grande vantagem da EF, uma vez os processos de geração de cloro podem ser otimizados para participar da desinfecção da água, como também eliminar odores indesejáveis. (CRESPILHO; SANTANA; REZENDE;).

### 2.4.3 Eletrofloculação

Os complexos de hidróxido de alumínio (formados na etapa de geração eletroquímica dos íons alumínio) adsorvem-se em partículas coloidais, originando partículas maiores. Essa etapa, também chamada de floculação, consiste em maior desestabilização do sistema, e os flocos formados podem ser removidos por decantação, filtração ou flotação. Assim, a formação de flocos pode ser considerada resultado de dois fenômenos: da hidrólise do alumínio, que depende do pH e da concentração final de  $\text{Al}^{3+}$ , e do transporte das espécies hidrolisadas, que promove o contato com as impurezas e, em seguida a floculação. (CRESPILHO; REZENDE, 2004).

### 2.4.4 Flotação das impurezas: Eletroflotação

Quando o potencial é aplicado através de uma fonte, a formação de microbolhas de hidrogênio são formadas no cátodo.



Em efluentes que contenham em solução íons cloreto, poderá haver a formação de  $\text{Cl}_2$  no ânodo, que entra em reação com a água formando íons hipoclorito. Nesse caso, o processo poderá ter uma desinfecção do efluente a ser tratado e a diminuição ou eliminação de odor do efluente.

### 2.4.5 Ciência dos colóides

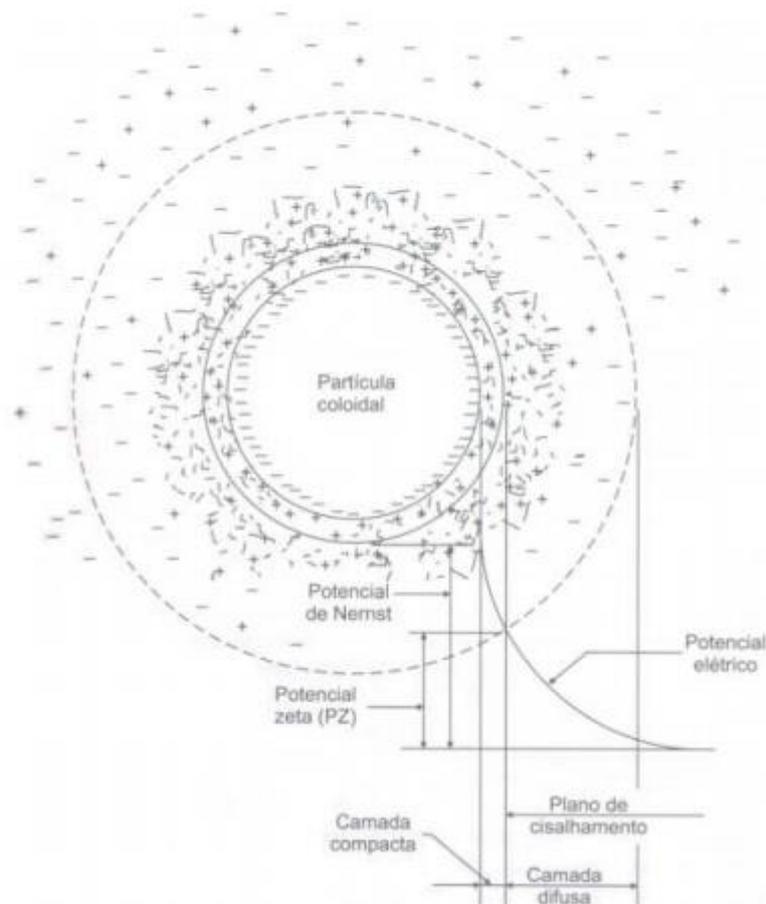
A ciência dos colóides ocupa-se de sistemas em que um ou mais componentes apresenta (m) pelo menos uma de suas dimensões dentro do intervalo de 1nm a 1micro m, ou seja, refere-se essencialmente a sistemas que contêm tanto moléculas grandes como pequenas partículas. Os sistemas coloidais podem ser agrupados em três classificações gerais:

Dispersões coloidais, que são termodinamicamente instáveis e classificadas como irreversíveis por não serem reconstituídas facilmente após a remoção das fases; as soluções verdadeiras de substâncias macromoleculares, que são termodinamicamente estáveis e classificadas como reversíveis por serem reconstituídas facilmente após a separação das fases; e, por fim, os eletrólitos coloidais, que são termodinamicamente estáveis e conferem propriedades iônicas ao sistema, associando-se a outras estruturas e mantendo a propriedade de formação de micelas.

A aproximação entre os colóides presentes em solução é consequência do movimento browniano das partículas. Quando dois colóides se aproximam, ocorre a interação entre as camadas difusas, o que leva à repulsão em razão da força eletrostática entre os mesmos. Essa força de repulsão ocorre porque os colóides possuem cargas de mesmo sinal (negativo por exemplo). Entretanto, elas sofrem ação de forças de Van der Waals do tipo dipolo permanente e dipolo induzido, que atuam nos átomos dos colóides, fazendo que ocorra atração entre as partículas coloidais. Assim, o sistema que está em estágio de floculação é regido pela interação entre as forças de repulsão de origem elétrica e de atração do tipo van der Waals.

Quando as forças de repulsão são maiores que as de atração, o sistema está estável e não ocorre floculação. A energia potencial de repulsão é tanto maior quanto menor a distância entre as partículas. Quando a concentração iônica é baixa, a energia resultante é de repulsão, e atinge um valor máximo, conhecido como barreira de energia. (CRESPILHO; REZENDE, 2004).

Figura 1: Configuração esquemática da dupla camada elétrica



Fonte: (Di Bernardo, 2005). apud PUC-RIO.

### 2.4.6 Eletrodos de Alumínio

O processo de eletrocoagulação/flotação tem como seu elemento principal os eletrodos, a seleção apropriada do material a ser utilizado é muito importante, e os mais comuns são o alumínio e ferro devido ao baixo custo, eficiência e à disponibilidade para encontrá-los. Assim, ambos são geralmente testados em estudos eletroquímicos. Entretanto, a vantagem de utilizar o alumínio como reator é que ele não deixa cor no efluente diferentemente do ferro, e ainda sua capacidade de adsorção do hidróxido de alumínio em relação aos hidróxidos de ferro.

As reações de obtenção do agente coagulante estão descritas no item 2.4.2.

### 2.4.7 Eletrodos de Ferro

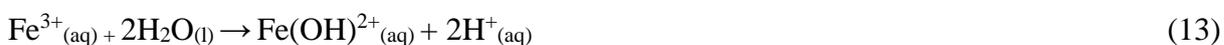
A reação que ocorre no ferro após a aplicação do potencial está descrita abaixo:



Em seguida, ocorre a hidrólise desses íons em meio alcalino:



Entretanto, os íons  $\text{Fe}^{3+}$  podem ser formados em meio ácido e na presença de oxigênio. Dependendo do pH da solução, as espécies  $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  podem estar presentes na solução.



Sob circunstâncias alcalinas,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  e  $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$  estão presentes na solução em maior quantidade. Consequentemente, as espécies aniônicas e catiônicas podem ser formadas usando ferro como eletrodo de sacrifício. Desse modo, pode-se esperar que ocorra a adsorção e absorção de metais pesados por esses compostos.

Um dos problemas causados pelo uso do eletrodo de ferro é o efluente tratado pode apresentar coloração amarelada ou esverdeada em razão de  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{3+}$ .

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Tipo de pesquisa

A pesquisa realizada foi do tipo estudo de caso descritivo de abordagem qualitativa. O estudo de caso descritivo exige do investigador a análise da relação entre, pelo menos, duas variáveis, independente e dependente. No caso, o estudo realizado foi o tratamento de resíduos de água descartada por empresa frigorífica por meio da eletroflotação.

[...] são realizados experimentos quando o pesquisador pode manipular o comportamento direta, precisa e sistematicamente. Isso pode ocorrer em um laboratório, no qual o experimento pode focar uma ou duas variáveis isoladas. (YIN, 2005, p. 27).

Especificamente, determinou-se como variável independente o processo de eletroflotação e como variável dependente, a água residual utilizado no processo. Assim, a utilização da eletrofloculação fará com que a água descartada no processo possa ser novamente utilizada, ou descartada sem agredir o meio ambiente.

A pesquisa descritiva exige a presença e manipulação de variáveis. No entanto, cabe lembrar do cuidado necessário para que elementos externos não interfiram nos resultados. Gil (1999, p. 44), nos diz que “as pesquisas deste tipo têm como objetivo primordial a descrição das características de determinada população, fenômenos ou o estabelecimento de relações entre variáveis”.

Neste tipo de pesquisa estudou-se um só caso por meio de investigação empírica com delineamento adequado, que representou a busca de respostas à hipótese de trabalho (problema de pesquisa).

O estudo de caso representa uma investigação empírica e compreende um método abrangente, com a lógica do planejamento, da coleta e da análise de dados. Pode incluir tantos estudos de caso único quanto de múltiplos, assim como abordagens quantitativas e qualitativas de pesquisa. (id *ibid.*, p. 56).

Desta forma, com a definição das variáveis, iniciou-se o processo de investigação para, quantitativamente e com a utilização do laboratório, avaliarmos a adequação e a eficiência do tratamento dos efluentes procurando determinar a viabilidade econômica e a rapidez do procedimento. O delineamento da pesquisa é a disciplina dos dados. Sua finalidade implícita é impor restrições controladas às observações de fenômenos naturais. (KERLINGER, 2003, p. 105). Sobre o controle de variáveis, o mesmo autor nos diz que:

A força básica da pesquisa experimental está no controle relativamente alto da situação experimental e conseqüentemente das possíveis variáveis independentes. Isto significa que as relações podem ser estudadas isoladas da cacofonia do mundo exterior; as relações “puras” podem ser estudadas. (id *ibid.*, p. 127).

Fica estabelecida assim a manipulação e controle das variáveis previamente determinadas para a investigação sem a intervenção do meio exterior, o que garantiu a fidedignidade dos resultados alcançados.

### **3.2 Coleta do efluente**

As amostras dos efluentes foram coletadas em um frigorífico suíno no Sul de Santa Catarina, em Pedras Grandes. Efluente na linha vermelha de processo onde ocorrem o abate e ações subsequentes como sangria, esfolagem, escaldamento, evisceração, limpeza e lavagem das carcaças, processamento de vísceras, câmaras frias, corte e desossa; áreas com presença significativa de sangue e graxaria.

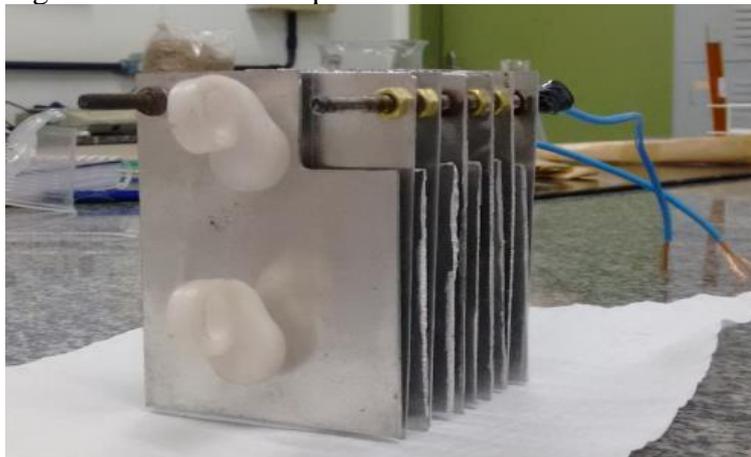
Para análises laboratoriais, a coleta adequada das amostras é de suma importância para assegurar representatividade e resultados confiáveis. Não existem amostras iguais, deste modo o método de coleta deve ser sistemático. Foram coletadas de três a cinco litros em dias diferentes de abate, estas amostras foram armazenadas em recipientes de polietileno e posteriormente realizados os experimentos.

O método de coleta das amostras utilizou como referências as Normas Brasileiras Registradas (NBR) 9897 e NBR 9898 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e do Standard Methods for Water and Wastewater, 21 ed.: (FLORIANÓPOLIS, 2009).

### **3.3 Característica do reator**

Para realização do procedimento experimental foi utilizado um reator de acrílico com 300 mm de comprimento, 200 mm de altura e 150 mm largura. Dentro do reator colocou-se uma célula eletrolítica formada por 12 placas de alumínio de medidas 150 mm x 100 mm e 1,0 mm de espessura, espaçamento entre as placas de 5 mm, com barras roscadas 3/16". O conjunto formado possui dois coletores distribuidores da energia elétrica, um alimentado com carga elétrica positiva (+) e outro com negativa (-) arranjados de forma que cada placa obtivesse como vizinha outra placa com carga elétrica oposta, formando um circuito em paralelo (Figura 1).

Figura 2: Reator Eletroquímico



Fonte: do autor, 2017.

### 3.4 Análises físico-químicas do efluente bruto e tratado

Tabela 1: Parâmetros e técnicas utilizadas

Parâmetros	Técnicas de análises
DBO <sub>5</sub>	Respirométrico-Oxítóp
DQO	Refluxo Dicromato de potássio
N-Amoniacal	Spectroquant Pharo 300 – Merck com reagente de NESSLER
Fósforo	Spectroquant Pharo 300 – Merck
Óleos e graxas	Extração a solvente
Sólidos Totais	Cone Imhoff
Alumínio	Espectrofotômetro de absorção atômica
pH	Potenciômetro

Fonte: do autor, 2017.

As análises físico-químicas para o efluente bruto e tratado foram realizadas de acordo os procedimentos do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 22 Edition*; e *USEPA Test Methods - Clean Water Analytical Methods*. Com os resultados obtidos das análises foi possível comparar com os valores máximos permitido pela legislação vigente do CONAMA - Resolução nº 430, de 13 de Maio de 2011, sendo complementação da norma 357, ou a Lei estadual 14.675, de 13 de abril de 2009.

### 3.5 Análise dos dados

Para a comparação entre as médias dos tratamentos, foi utilizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade com nível de confiança igual a 95%. O teste de Tukey permite testar qualquer contraste, sempre, entre duas médias de tratamento. O teste baseia-se na Diferença Mínima Significativa. A estatística do teste é dada da seguinte forma:

$$\Delta = q\sqrt{QMRes/r} \quad (15)$$

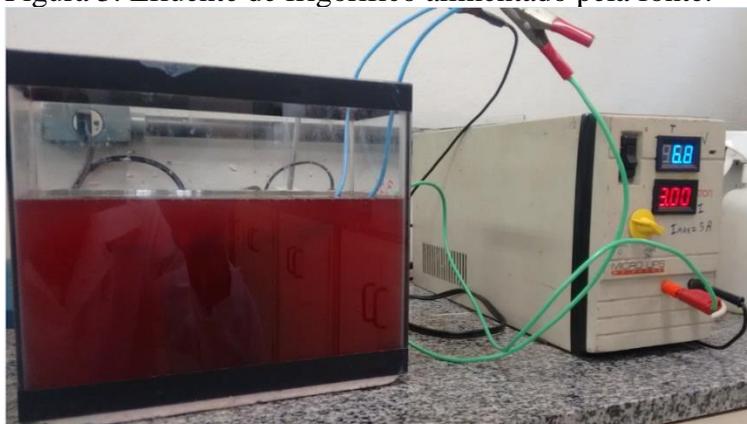
Em que,  $q$  é a amplitude total studentizada, tabelada,  $QMRes$  é o quadrado médio do resíduo, e  $r$  é o número de repetições. O valor de  $q$  depende do número de tratamentos e do número de graus de liberdade do resíduo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Estudos preliminares

Os ensaios de eletrocoagulação/flotação foram conduzidos em laboratório, utilizando 3,5 litros de efluente bruto, com o tempo de exposição de 0 a 60 minutos, ao potencial elétrico do reator. A avaliação da eficiência do sistema foi realizada por meio dos resultados obtidos das análises físico-químicas do efluente bruto e tratado. O monitoramento dos parâmetros e a duração dos experimentos foi dependente do tempo necessário para o sistema atingir a estabilidade, 60 minutos.

Figura 3: Efluente de frigorífico alimentado pela fonte.



Fonte: do autor, 2017.

Figura 4: Efluente tratado



Fonte: do autor, 2017.

As melhores condições de tratamento foram selecionadas e avaliadas por meio dos ensaios de cor (Hz) e turbidez (FAU), utilizando um espectrofotômetro modelo Spectroquant Pharo 300 -MERCCK.

Durante todas as etapas experimentais foi efetuada a inversão de polaridade dos eletrodos a cada cinco minutos, com o intuito da redução e formação do filme passivo. Inicialmente, os ensaios foram realizados na corrente de 1,3 e 5A.

Tabela 2: Otimização e Validação do processo.

Corrente	1A	3A	5A
Cor (Hz)	50,1	5,1	6,1
Turbidez (FAU)	27,2	2	4
pH	8,39	9,74	9,75
Temperatura (°C)	27	29	29
Tensões (V)	4,3	7,5	10,2
Tempo (min)	60	60	60

Fonte: do autor, 2017.

De acordo com resultados apresentados na tabela 2, observa-se que o melhor tratamento se deu em uma corrente de 3A com inversão de polaridade, ou seja, a troca de polos no sistema. Segundo (CRESPILHO, REZENDE, 2004), “a Eletroflotação com inversão de polaridade, o eletrodo que se comporta como cátodo, por determinado tempo passa a se comportar como ânodo após a inversão da polaridade. Tal inversão diminui a passivação, aumentando a vida útil do eletro em até três vezes e, ao mesmo tempo, diminuindo a resistividade do sistema”. A corrente utilizada na Eletroflotação vai determinar a quantidade de metal (Al), por exemplo, que será oxidada no ânodo. Alguns cuidados devem ser tomados ao escolher o valor da corrente elétrica a ser aplicada. Elevada corrente pode significar perda de potência, pois parte dela se dissipará como energia térmica pela solução. (CRESPILHO; REZENDE, 2004).

#### 4.2 Resultados das análises visuais

A cada processo eletroquímico, as seguintes avaliações foram realizadas: pesagem inicial e final do reator seco; medidas médias das tensões; medidas da temperatura e inversão da polaridade. Para fazer o acompanhamento cinético de cor e turbidez, alíquotas de 30 mL foram coletadas a cada cinco minutos e analisadas. Posteriormente, os dados foram tratados e as médias dos três experimentos para os parâmetros de pH, cor e turbidez são apresentadas na tabela 3.

Tabela 3: Média das correlações por tempo.

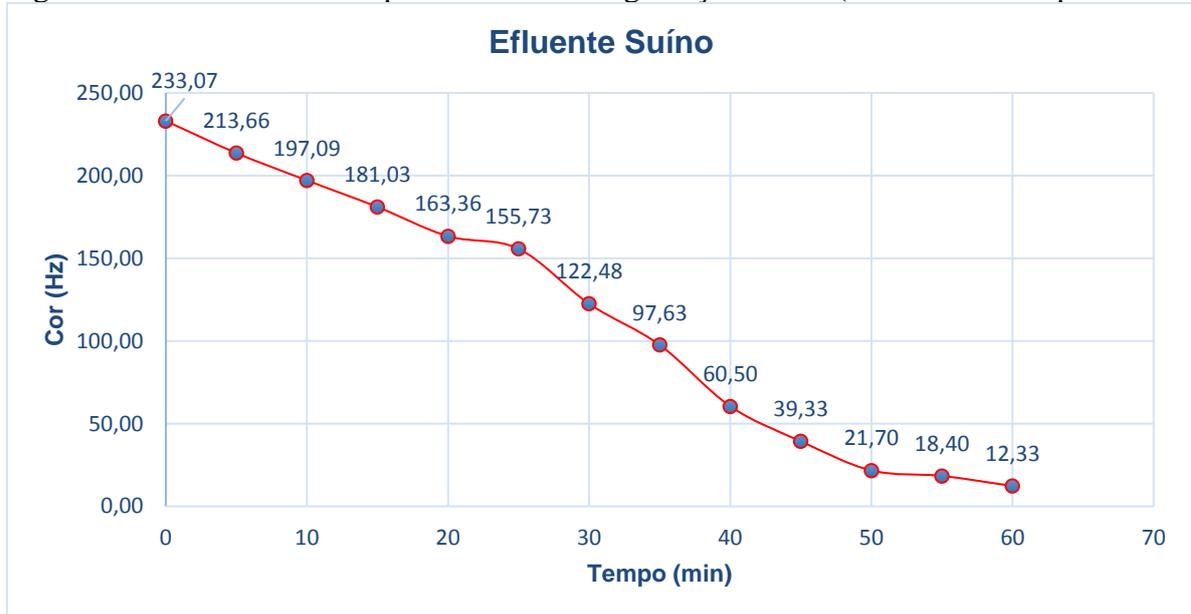
Tempo (min)	Cor (Hz)	Turbidez (FAU)	pH
0	233,07	122,81	7,45
5	213,66	112,39	7,74
10	197,09	103,32	7,88
15	181,03	94,13	8,01
20	163,36	81,53	8,34
25	155,73	78,53	8,66
30	122,48	63,93	8,72
35	97,63	50,33	8,87
40	60,50	31,00	9,02
45	39,33	20,33	9,41
50	21,70	12,33	9,75
55	18,40	9,66	9,76
60	12,33	3,66	9,86

Fonte: do autor, 2017.

“A cor da água é causada, principalmente por substâncias húmicas originadas da decomposição da matéria orgânica. O coloide causador da cor da água tem alguns comportamentos diferentes dos coloides que causam a turbidez. Ele é extremamente fino, com partículas 3,5 - 10  $\mu$ , isto é muito próximo das soluções verdadeiras”. (Química da água 2014). A turbidez é gerada pela matéria em suspensão, que dispersa e absorve a luz, impedindo a passagem da mesma. As argilas, lodos, descarga de esgotos e outras fontes de matéria orgânica, presença de grande número de micro-organismos que formam a matéria em suspensão nas águas naturais, ficam turvas.

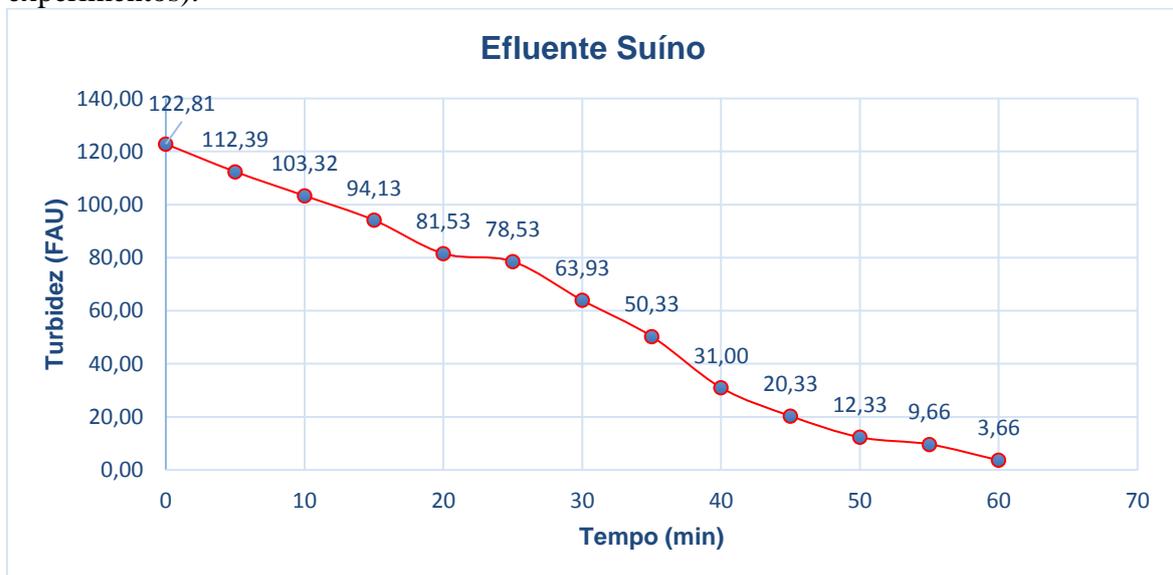
Nas figuras 5 e 6, mostra-se os valores obtidos para cinética de degradação de cor e turbidez.

Figura 5: Resultados obtidos para cinética da degradação da cor (média de três experimentos).



Fonte: do autor, 2017.

Figura 6: Resultados obtidos para cinética da degradação de turbidez (média de três experimentos).



Fonte: do autor, 2017.

De acordo com os resultados apresentados nas figuras 5 e 6, observa-se que nos períodos iniciais, entre 0 a 20 minutos ocorreu a maior remoção da cor e turbidez, 50 e 60%, respectivamente. Este fato pode estar associado pela não formação de filmes pacificadores na placa na etapa inicial do processo.

No intervalo de 20 a 40 minutos, observa-se que o processo sofre pequenas alterações, o que pode estar associada à resistividade do sistema, ou seja, formação de filmes

nas placas eletrolíticas. Segundo Crespilho & Resende (2004), no início da eletrofloculação/flotação ocorre o consumo de  $H^+$ , mas essa reação fica limitada por difusão e, em decorrência do elevado potencial geralmente aplicado, as moléculas de água próximas ao eletrodo são eletrolisadas. Inicialmente, ocorre a redução do hidrogênio na água que se adsorve no eletrodo.

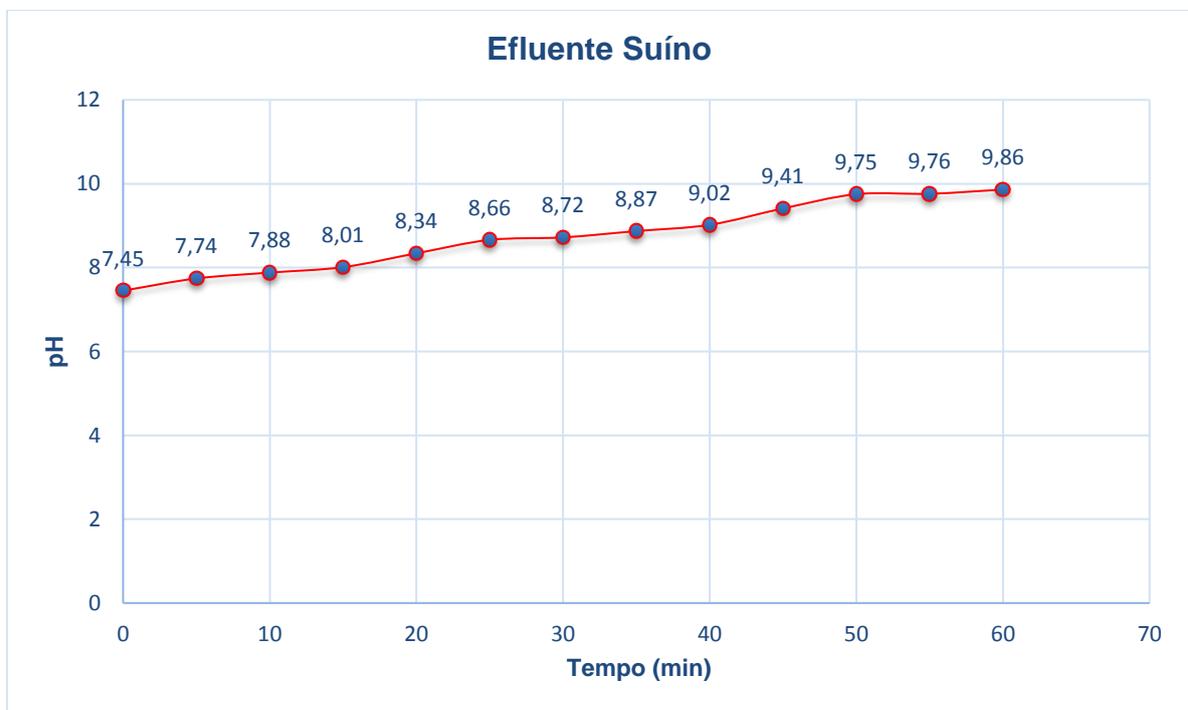


Em seguida, tem-se uma etapa química na formação de  $H_2$ :



Após essa etapa, a reação de passivação continua até a formação dos óxidos.

Figura 7: Valores pH ao longo do processo de eletrocoagulação-flotação



Fonte: do autor, 2017.

A mudança no pH mostrou uma linearidade quanto ao tempo de tratamento. Uma das vantagens do processo eletrofloculação/flotação é a estabilização do pH em torno 9-10. Neste tipo de tratamento, o valor do pH irá subir devido à redução do hidrogênio no cátodo. As reações participantes deste equilíbrio são: hidrólise do alumínio, liberação de  $CO_2$ , formação de oxigênio no ânodo e formação de outros hidróxidos insolúveis. (CRESPILO; REZENDE, 2004).

### 4.3 Resultados das análises físico-química

Os resultados das análise físico-químicas para efluente bruto, bem como os valores máximos permitidos pelas legislações nacional (CONAMA) e do Estado de Santa Catarina, são mostrados na tabela 4.

Tabela 4: Parâmetros para descarte de efluentes e dados obtidos para efluente bruto.

Parâmetro	Resultados	VMP <sup>1</sup>	VMP <sup>2</sup>	Unidade
DBO <sub>5</sub>	400,32	60	60	mg.L <sup>-1</sup>
DQO	2440,00	-	-	mg.L <sup>-1</sup>
N-Amoniacal	126,93	-	20	mg.L <sup>-1</sup>
Fósforo	38,304	4	-	mg.L <sup>-1</sup>
Óleos e graxas	64,37	30	50	mg.L <sup>-1</sup>
Sólidos Totais	1114,63	-	500	mg.L <sup>-1</sup>
Alumínio	-	-	-	mg.L <sup>-1</sup>
pH	7,45	5,0-9,0	6,0-9,0	u.pH

Fonte: do autor, 2017.

- Volume máximo permitido 1 (**VMP 1**) - Lei estadual 14.675
- Volume máximo permitido 2 (**VMP 2**) – Conama 430.

De acordo com os resultados, foi observado que os valores obtidos encontram-se acima dos valores máximos permitidos para descarte de efluentes, independente da legislação considerada (CONAMA ou Estadual). Estes dados mostram a importância do tratamento para adequar o descarte do efluente de acordo com as normas regulamentadoras; CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA), Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011, ou a Lei estadual 14.675, de 13 de abril de 2009.

Na tabela 5, são mostrados os resultados das análises físico-químicas para efluente tratado.

Tabela 5: Parâmetros para descarte de efluentes e dados obtidos para efluente tratado

Parâmetro	Resultados	VMP <sup>1</sup>	VMP <sup>2</sup>	Unidade
DBO <sub>5</sub>	107,31	60	60	mg.L <sup>-1</sup>
DQO	245,27	-	-	mg.L <sup>-1</sup>
N-amoniaco	23,04	-	20	mg.L <sup>-1</sup>
Fósforo	1,46	4	-	mg.L <sup>-1</sup>
Óleos e graxas	27,79	30	50	mg.L <sup>-1</sup>
Sólidos Totais	339,72	-	500	mg.L <sup>-1</sup>
Alumínio	9,52	-	-	mg.L <sup>-1</sup>
pH	9,86	5,0-9,0	6,0-9,0	u.pH

Fonte: do autor, 2017.

- Volume máximo permitido 1 (**VMP 1**) - Lei estadual 14.675

- Volume máximo permitido 2 (**VMP 2**) – Conama 430.

Segundo FATMA lei nº 14.675, de 13 de abril de 2009, capítulo V, seção II, item XI, diz que: “DBO 5 dias, 20°C no máximo de 60 mg/L, sendo que este limite somente pode ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento biológico de água residuária que reduza a carga poluidora em termos de DBO 5 dias, 20°C do despejo em no mínimo 80% ”. Ao comparar o valor obtido com a legislação, percebe-se que a amostra está acima do valor permitido, 73,2%, tornando-se assim, imprópria para descarte. Entretanto, este percentual de remoção se enquadra nos parâmetros do CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA, resolução N° 430 seção II, remoção mínima de 60 % de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.

Para o nitrogênio amoniaco, um grande problema encontrado em efluentes suínos, obteve-se uma remoção de 82%, mas com valor de 23,04 mg.L<sup>-1</sup>. Este valor fica levemente acima do valor máximo permitido pela legislação 20,0mg.L<sup>-1</sup>. Do fósforo, o valor foi de 1,46 mg.L<sup>-1</sup>, estando dentro do limite permitido pela legislação.

De acordo com a legislação federal, CONAMA Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011, o limite máximo de óleos e graxas para efluentes é de 50mg/L. A amostra que se utilizou foi de efluente de frigorífico suíno e, de acordo com o resultado obtido, deu 27,2mg/L, dentro do limite estabelecido pelo CONAMA, sendo assim, podendo ser descartada adequadamente. Também de acordo com a lei estadual de Santa Catarina nº 14.675, de 13 de

abril de 2009, que diz que o limite máximo permitido de óleos e graxas para descartes de efluentes é de 30mg/L, mostrando que a amostra analisada está em conformidade com a lei estadual, sendo adequada para descarte.

Não existe um limite somente para sólidos totais, mas pode-se encontrar um valor máximo ao analisar-se com os limites dos sólidos dissolvidos. Assim, segundo a Portaria MS Nº 2914 DE 12/12/2011 (Federal), Art. 39º, pode-se observar (Anexo I), que o valor máximo de sólidos dissolvidos totais é de 1000 mg/L. Já no CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA), na resolução nº 430, 13 de maio de 2011, como pode-se também observar (Anexo II) que o valor máximo de sólido totais dissolvidos é de 500mg/L. Isso indica que a amostra em exame não ultrapassa os valores para descarte de efluente.

O teor de alumínio encontrado no efluente tratado foi 9,52 mg.L<sup>-1</sup>. É importante ressaltar que o alumínio não consta em nenhuma legislação com valor de referência para descarte, entretanto, temos que considerar as questões ambientais associadas a sua toxicidade. Assim, seria necessário otimizar o processo operacional para que o descarte do efluente não cause nenhum risco ao meio ambiente terrestre e aquático.

#### **4.4 Relação custo x benefício**

##### **4.4.1 Consumo de Energia**

De acordo com Kobya (CRESPILHO; REZENDE, 2004), o consumo de energia em um reator batelada é expresso como:

$$C_{\text{energia}} = (U \cdot i \cdot t) / v \quad (18)$$

Sendo:  $C_{\text{energia}}$  consumo de energia, em W h/m<sup>3</sup>; U= tensão elétrica aplicada no Sistema, em V; i=corrente elétrica aplicada em A; t= tempo de aplicação da corrente, em horas; V volume de efluente tratado, em m<sup>3</sup>.

Com os valores estabelecidos (i=3A, U=5,6V, tempo=1h) para um volume de 3,5L; obteve-se um consumo igual à: 4,8kw h/m<sup>3</sup>.

#### 4.4.2 Desgaste dos Eletrodos

Conforme a lei de Faraday, o consumo de elétrons é associado a quantidade total de substâncias reagentes. Na eletrocoagulação, este fato está diretamente relacionado ao desgaste do eletrodo (corrosão) no processo de geração do agente coagulante. Isto significa que a geração de alumínio em solução está intimamente relacionada à carga, e esta pode ser controlada pela corrente obtida. Assim, a corrente medida por um multímetro no processo de eletrocoagulação é, a princípio, proporcional à quantidade de alumínio carregado gerado em solução. A massa do eletrodo consumida ( $m_{el}$ ) ou massa teórica ( $m_{teo}$ ), em g, durante a eletroflotação, pode ser calculada pela equação.

$$m_{teo} = \frac{i \cdot t \cdot M}{F \cdot n} \quad (19)$$

onde  $i$  é a corrente (3A);  $t$ , o tempo de aplicação da corrente (3600s);  $M$ , a massa molar do elemento predominante do eletrodo (26,98g.mol<sup>-1</sup>);  $n$ , o número de elétrons envolvidos na reação de oxidação do elemento do anodo ( $n_{Al}=3$ ) e  $F$ , a constante de Faraday (9,65x10<sup>4</sup>C.mol<sup>-1</sup>). Obtendo assim 1g de massa teórica.

Massa admitida:

A média de consumo das massas obteve-se através do peso final e inicial do reator seco, o valor de 2,46g sugere que o alumínio tenha sido acumulado juntamente ao lodo, restando apenas 9,52mg no efluente tratado.

A diferença da massa teórica e a massa admitida pode ser atribuída “ao fato do alumínio total consumido ser a soma do alumínio dissolvido eletricamente (Faraday) e quimicamente, pela dissolução do cátodo, devido ao ataque químico pelos íons hidroxila gerados durante a redução da água, especialmente em altos valores de pH, pois um pH alcalino conduz a um consumo maior do cátodo devido ao ataque dos íons hidroxila”. (MENESES; VASCONCELOS; FERNANDES; ARAÚJO; 2011). (Quim. Nova, v.35, n.2, 235-240, 2012).

## 4.5 Vantagens

As principais vantagens do processo são:

- ✓ A simplicidade na montagem;
- ✓ O equipamento é de baixo custo.
- ✓ Para liberação do coagulante o ajuste é maior do que nos métodos convencionais.
- ✓ Os flocos formados apresentam uma estabilidade facilitando assim sua remoção.
- ✓ O tratamento se dá num curto período de tempo;
- ✓ O processo de eletrofloculação/flotação remove as partículas coloidais menores, pois o campo elétrico aplicado promove mais rapidamente o contato entre elas, facilitando a coagulação.

### 4.5.1 Desvantagens

Dependendo do tempo, tensão ou corrente aplicada o consumo de energia elétrica pode ser elevado.

A perda de eficiência devido a formação de óxidos na placa.

Dependendo do efluente, o ajuste da placa é necessário. Se utilizar uma distância maior e o efluente tiver pouca condutividade é necessário o adicionar eletrólitos para melhorar a condutividade. Ou se as placas tiverem uma distância pequena e o efluente for bastante carregado há perda de eficiência no sistema, essa energia pode ser dissipada em forma de calor.

### 4.6 Sugestões de melhorias

O valor de consumo de energia mostra-se alto, entretanto, o tratamento é rápido, o que pode baratear o processo. O tratamento convencional, leva de 35 a 40 dias na empresa de estudo.

O consumo de energia poderá diminuir desde que seja ajustado a corrente terminal, o que fornecerá uma maior economia no processo. Também poderá ser utilizado energia solar, o que tornará o processo mais sustentável.

Outros ensaios, como a diminuição da distância entre os eletrodos poderá aumentar o fluxo da corrente o que diminui a resistividade no sistema. Sabe-se que para efluentes com carga de eletrolítica elevada, o espaço maior entre as placas é de grande valia, pois com a diminuição da distância, ocorre perda de energia no sistema, o que provoca um funcionamento não desejado.

## 5 CONCLUSÃO

Efluentes com teor de matéria orgânica elevada, demandam grande tempo para o tratamento, e isso varia com a quantidade de dejetos que são liberados em determinadas atividades. No estudo de caso em questão, um frigorífico no sul de Santa Catarina, onde são abatidos de 100 a 150 suínos por dia, os efluentes da linha vermelha apresentam elevada concentração de matéria orgânica, DBO (400,32 mg. L<sup>-1</sup>), DQO (2440 mg. L<sup>-1</sup>). Estes efluentes foram tratados por técnicas de eletrocoagulação/flotação e, de acordo com os resultados obtidos, podemos concluir que esta técnica se mostrou eficiente para a sua tratabilidade. A condição otimizada para o tratamento deste de efluente foi: Corrente de 3A, 5,6V e a distância entre a placa de 5mm. Nestas condições, a redução média foi de 90% para DQO, 73,2% DBO, 96 % para fosforo, 82% nitrogênio, e óleos e graxas 56%. Além disso, observa-se que o efluente foi totalmente clarificado, com redução média para cor e turbidez acima de 95%.

## REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 12209 -**Elaboração de projetos hidráulicos – sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários.** Disponível em: < <http://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/documentos-e-publicacoes/outros-sites/122092011Elaboraodeprojetoshidraulicossanitriosdeestaesdetratamentodeesgotossanitrios.pdf>> Acesso em: 20 de junho 2017.
- ALCÂNTARA, Eurípedes. A redoma do atraso. **Veja**, São Paulo, v. 24, n. 25, p. 42-43, jun. 1991.
- CETESB Cia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo. Disponível em:**< <http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/variaveis.pdf>> Acesso em: 05 de maio de 2017.
- COLOMBARI F.S; GENENA, A.K; LENHARD, D.C; CAVALLI, A. **Tratamento terciário de efluente frigorífico por processo fenton.** Disponível em: < <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobeq2014/1037-21452-142151.pdf>> Acesso em: 19 de junho de 2017.
- CONAMA-Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA número 430 de 13 de maio de 2011. Brasília, 2011.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA número 357 de 17 de março de 2005. Brasília, 2005.
- CRESPILHO, F; SANTANA; C; REZENDE,M.O.**Tratamento de efluente da indústria de processamento de coco utilizando eletroflotação.** Quim. Nova,v27, n3,387-392, 2004. Disponível em: <<http://submission.quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/2004/vol27n3/04-AR03146.pdf>> Acesso em: 06 de maio 2017.
- CRESPILHO, F; REZENDE, M.O.R.**Eletroflotação: Princípio e Aplicações.** – São Carlos:2004 96p
- FLORIANÓPOLIS- **Manual Técnico para Coleta de Amostras de Água 2009.** Disponível em: < [http://www.ctec.ufal.br/professor/elca/manual\\_coleta\\_%C3%81gua.pdf](http://www.ctec.ufal.br/professor/elca/manual_coleta_%C3%81gua.pdf)> Acesso em: 20 de maio 2017.
- GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999, 206 p.
- GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA. Código Estadual do Meio Ambiente, Lei número 14.675, 13 de abril de 2009. Florianópolis, 2009. Disponível em: <

[http://www.institutohorus.org.br/download/marcos\\_legais/Lei%2014.675%20Codigo\\_ambiental\\_SC.pdf](http://www.institutohorus.org.br/download/marcos_legais/Lei%2014.675%20Codigo_ambiental_SC.pdf)> Acesso em: 04 de abril 2017.

KARDEC, Alan. **O evangelho segundo o espiritismo**. Disponível em: <<http://www.netpage.estaminas.com.br/sosdepre/codificação.htm>>. Acesso em: 11 nov. 1998.

KARDEC, Alan. **O evangelho segundo o espiritismo**. Disponível em: <<http://www.netpage.estaminas.com.br/sosdepre/codificação.htm>>. Acesso em: 11 nov. 1998.

KERLINGER, F. N. **Foundations of behavioral research**. 2. ed. New York: Holt, Rineart & Winston, 1965 e 1973.

LENZI, E; FAVERO, L; LUCHESE, E. **Química da Água, Ciência, Vida e sobrevivência**. Rio de Janeiro 2014.

MARCONI, Marina de Andrade. Cultura e sociedade. In: LAKATOS, Eva Maria. **Sociologia**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 1991.

MEDEIROS, João Bosco. **Alucinação e magia na arte: o ultimatum futurista de Almada Negreiros**. 1991. 100 f. Monografia (Departamento de Letras)–Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP, São Paulo, 1991.

PUC-RIO-Coagulação química. Disponível em:<[https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/11608/11608\\_5.PDF](https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/11608/11608_5.PDF)> Acesso em:21 de junho 2017.

RAUEN, Fábio José. **Influência do sublinhado na produção de resumos informativos**. 1996. 200f. Tese (Doutorado em Letras/Linguística)-Curso de Pós-graduação em Letras/Linguística, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

RAUEN, Fábio José. **Roteiros de pesquisa**. Rio do Sul: Nova Era, 2006.

RIBEIRO, Efrém. Garimpeiros voltam a invadir área ianomani. **Folha de S. Paulo**, São Paulo, p. 1-10, 18 jun. 1991.

SANTOS, W; MÓL, G. **Química Cidadã**. vol.2. 1ªEd São Paulo 2010

SEBRAE - **Noções iniciais para investir em suinocultura**. Disponível em: <<https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/nocoos-iniciais-para-investir-em-suinocultura,c170ba4c8ad7d410VgnVCM1000003b74010aRCRD>> Acesso em: 10 de maio 2017.

UNICAMP – Universidade de Campinas. Processos Oxidativos Avançados. Instituto de química 2004.Disponível em: < <http://lqa.iqm.unicamp.br/cadernos/caderno3.pdf> > Acesso em: 21 de junho 2017.

VASCONCELOS, R.F; FERNANDES, T. F; ARAUJO, G. **Tratamento do efluente do biodiesel utilizando a eletrocoagulação/flotação**. *Quim. Nova*,v.35, n.2, 235-240, 2012. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/qn/v35n2/02.pdf> > Acesso em: 10 de junho 2017.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Tradução: Daniel Grassi. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.