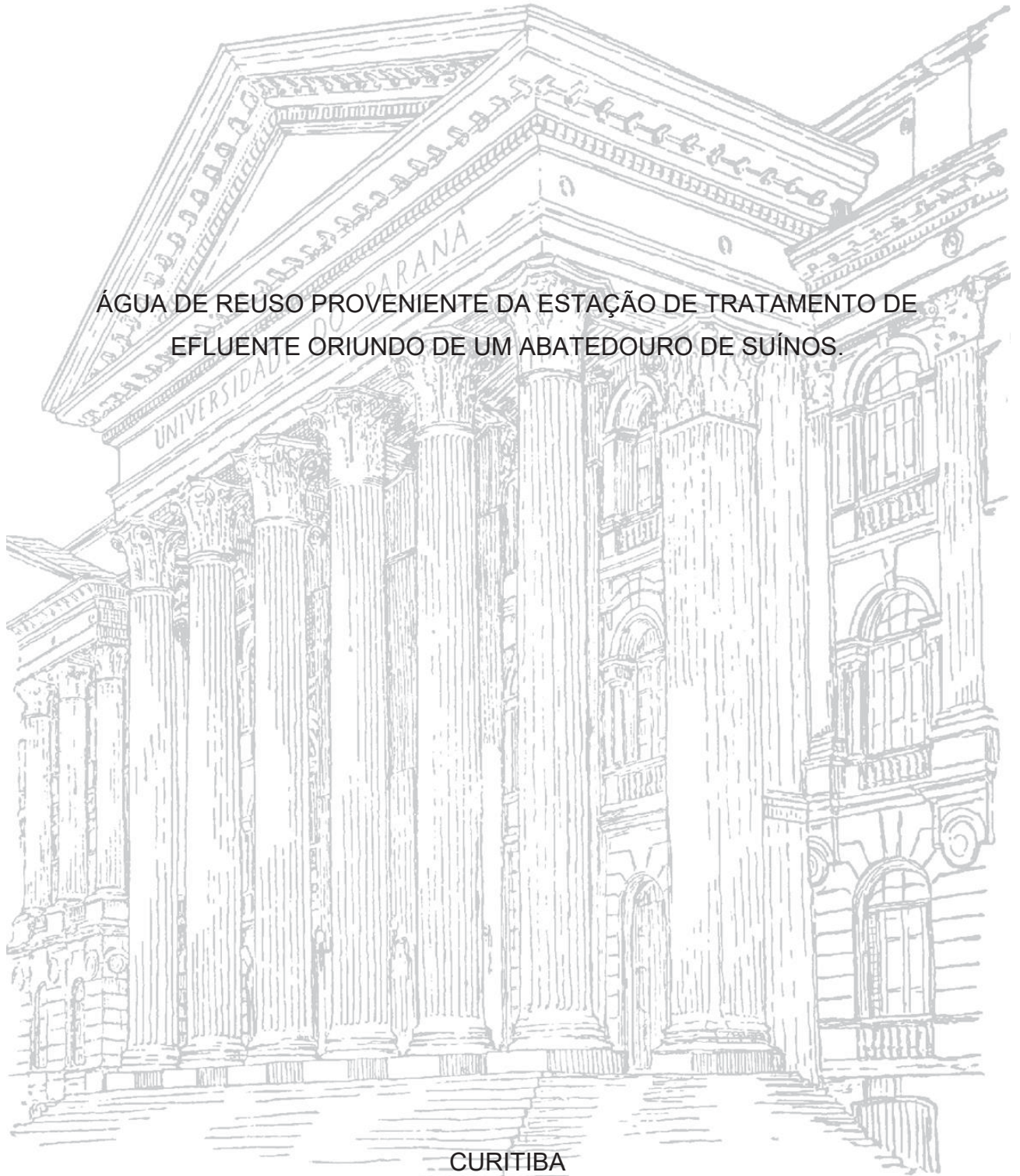


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RODRIGO DE OLIVEIRA BORDIGNON

ÁGUA DE REUSO PROVENIENTE DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE  
EFLUENTE ORIUNDO DE UM ABATEDOURO DE SUÍNOS.



CURITIBA

2023

RODRIGO DE OLIVEIRA BORDIGNON

ÁGUA DE REUSO PROVENIENTE DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE  
EFLUENTE ORIUNDO DE UM ABATEDOURO DE SUÍNOS

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná (UFPR), em parceria com a Universidade de Stuttgart e o Sistema Nacional de Aprendizagem Industrial do Paraná (SENAI), como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo C. Raimundo

CURITIBA

2023

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Bordignon, Rodrigo de Oliveira

Água de reuso proveniente da estação de tratamento de efluente oriundo de um  
abatedouro de suínos. / Rodrigo de Oliveira Bordignon. – Curitiba, 2023.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia,  
Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e  
Industrial, em parceria com o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial  
(SENAI) e a Universität Stuttgart.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Cesar Raimundo.

1. Água - Reuso. 2. Suínos. 3. Abatedouros. 4. Ultrafiltração. I. Raimundo,  
Rodrigo Cesar. II. Universidade Federal do Paraná. Pós-Graduação Mestrado  
Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial. III. Serviço Nacional de  
Aprendizagem Industrial. IV. Título.

Bibliotecária: Roseny Rivelini Morciani CRB-9/1585

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **RODRIGO DE OLIVEIRA BORDIGNON** intitulada: **ÁGUA DE REUSO PROVENIENTE DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE ORIUNDO DE UM ABATEDOURO DE SUÍNOS**, sob orientação do Prof. Dr. RODRIGO CESAR RAIMUNDO, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 28 de Fevereiro de 2023.

Assinatura Eletrônica

08/03/2023 16:09:44.0

RODRIGO CESAR RAIMUNDO

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

09/03/2023 10:53:35.0

AGNES DE PAULA SCHEER

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

20/03/2023 11:14:23.0

MYRIAM LORENA MELGAREJO NAVARRO CERUTTI

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

## **EM MEMÓRIA**

A minha querida avó Glacy que cuidou e zelou por mim durante todo o tempo que estive comigo e que nem o tempo apagará você da minha lembrança e da minha vida.

Lembranças que mantereí sempre no meu coração por todo amor e carinho que sempre me deu e hoje só sou o que sou graças a você.

Que junto a Deus continue sempre cuidando de mim, como sempre fez em vida, me protegendo e iluminando meus caminhos

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais Vicentina e Dilson, que me escolheram e dedicaram suas vidas a zelar por mim, sempre me apoiando nas minhas escolhas e incentivando a continuar com meus objetivos. Muito obrigado sempre.

A minha esposa, amiga e companheira de vida Giovana, que sempre esteve ao meu lado em toda a minha caminhada acadêmica, me ajudando e incentivando nas batalhas da vida. Você é um exemplo de caráter, dedicação e perseverança com seus objetivos, me espelho em você. Obrigado por me escolher fazer parte da sua vida.

A minha família por todo apoio e por sempre estarem ao meu lado dando suporte em tudo que preciso.

Ao meu orientador Prof. Raimundo Rodrigo, pela ajuda e paciência nesse tempo que estivemos juntos. Por acreditar no meu trabalho e valorizar o esforço de todo o trabalho feito durante este meu ciclo de formação.

Ao Prof. Vitor Renan, por ter auxiliado no meu trabalho e por abrir as portas do laboratório EMULTEC para que eu pudesse fazer meus ensaios e sempre se colocando à disposição para me ajudar. Muito Obrigado.

Ao Frigorífico PRF – Rainha da Paz Foods por ter aberto as portas para que este projeto fosse viabilizado, ao fornecimento de amostras e dados da estação de tratamento de efluente.

*“É nosso dever proteger o maior patrimônio nacional, pois a  
nação que destrói o seu solo, destrói a si mesma.”*

*Theodore Roosevelt*

## RESUMO

A crise hídrica associada a elevada taxa de consumo de água pelas indústrias impulsionou a busca por alternativas de tratamentos avançados a fim de possibilitar a reutilização da água, lançada ao emissário. A indústria de suínos, especificamente o Frigorífico RPF – Rainha da Paz Foods, tem alta demanda na utilização da água no abate, tornando com que esse projeto fosse direcionado para tentar solucionar o problema do uso de água potável ao aplicar a alternativa de tratamento avançado em seu efluente tratado, gerando assim a água de reuso, para reutilização na unidade fabril. Para que esse tratamento avançado fosse eficaz, foi realizada a combinação de três tratamentos, sendo eles a eletrofloculação, ultrafiltração e filtração granular, para a redução físico-química da carga de contaminantes do efluente proveniente da estação de tratamento de efluentes do frigorífico. Com os ensaios realizados e análises laboratoriais, foi possível afirmar a eficiência da combinação dos tratamentos propostos e assegurar que a água de reuso obtida está dentro dos parâmetros para ser utilizada dentro da unidade fabril.

Palavras-chave: abatedouro, água de reuso, eletrofloculação, suíno, tratamento de efluente, ultrafiltração, filtração granular.

## **ABSTRACT**

The water crisis associated with the high rate of water consumption by industries boosted the search for advanced treatment alternatives in order to enable the reuse of water, released into the river. The pig industry, specifically the slaughterhouse RPF – Rainha da Paz Foods, has a high demand for the use of water in slaughter, making this project aimed at trying to solve the problem of using potable water by applying the alternative of advanced treatment in its treated effluent, thus generating reuse water, for reuse in the manufacturing unit. For this advanced treatment to be effective, a combination of three treatments was carried out, namely electroflocculation, ultrafiltration and granular filtration, for the physical-chemical reduction of the contaminant load of the effluent from the effluent treatment station of the slaughterhouse. With the tests carried out and laboratory analyses, it was possible to affirm the efficiency of the combination of proposed treatments and ensure that the reuse water obtained is within the parameters to be used within the manufacturing unit.

Keywords: slaughterhouse, reuse water, electroflocculation, pig, effluent treatment, ultrafiltration, granular filtration

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – DIAGRAMA DO PROCESSO DE ABATE DE SUÍNOS.....	17
FIGURA 2 – DIAGRAMA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO – FRIGORÍFICO RPF 20	
FIGURA 3 – FUNCIONAMENTO DA ELETROFLOCULAÇÃO.....	28
FIGURA 4 – REPRESENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE DUAS FASES SEPARADO POR MEMBRANA.....	28
FIGURA 5 – ESQUEMA DA MORFOLOGIA DA SEÇÃO TRANSVERSAL DE DIFERENTES MEMBRANAS .....	29
FIGURA 6 – TIPOS DE PROCESOS DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANA .....	30
FIGURA 7 – ORGANOGRAMA DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	34
FIGURA 8 – ENSAIO DE BANCADA DO PROCESSO DE ELETROFLOCULAÇÃO	38
FIGURA 9 –UNIDADE DE ELETROFLOCULAÇÃO DE BANCADA .....	38
FIGURA 10 – FLOTADOR FABRICADO PARA OS ENSAIOS DE ELETROFLOCULAÇÃO.....	38
FIGURA 11 – DIMENSIONAMENTO DO FLOTADOR FABRICADO – VISTA LATERAL .....	39
FIGURA 12 – DIMENSIONAMENTO DO FLOTADOR FABRICADO – VISTA SUPERIOR COM CORTES .....	39
FIGURA 13 – DIMENSIONAMENTO DO FLOTADOR FABRICADO – CORTE A-A’ E B-B’ .....	40
FIGURA 14 – DIMENSIONAMENTO DO FLOTADOR FABRICADO – VISTA DO SUPORTE DAS PLACAS .....	40
FIGURA 15 – MEMBRANAS POLIMÉRICAS (NADIR US100 P).....	42
FIGURA 16 – ENSAIO DE BANCADA DO PROCESSO DE ULTRAFILTRAÇÃO ....	43
FIGURA 17 – UNIDADE DE ULTRAFILTRAÇÃO DE BANCADA.....	43
FIGURA 18 – ENSAIO DE BANCADA DO PROCESSO DE ULTRAFILTRAÇÃO ....	49
FIGURA 19 – LOCAIS PARA UTILIZAÇÃO DA ÁGUA DE REUSO NA PLANTA ....	53
FIGURA 20 – FORMAÇÃO D E ESPUMA/LODO – REAÇÃO DA ELETRÓLISE .....	56
FIGURA 21 – FLUXO DE PERMEADO DURANTE A UF DA AMOSTRA PROVENIENTE DA EF. ....	58
FIGURA 22 – FATOR DE CONCENTRAÇÃO DURANTE A UF DA AMOSTRA PROVENIENTE DA EF .....	58

FIGURA 23 – FLUXO PERMEADO PARA ÁGUA DEIONIZADA ANTES E APÓS O PROCESSO DE UF .....	59
FIGURA 24 – REPRESENTAÇÃO DO CONCENTRAÇÃO DE SOLUTO NA INTERFACE DA MEMBRANA .....	60
FIGURA 25 – FLUXO DE PERMEADO DURANTE A UF A 2 bar .....	61
FIGURA 26 – FATOR DE CONCENTRAÇÃO DURANTE A UF A 2 bar .....	62
FIGURA 27 – AMOSTRAS DAS ANÁLISES DE EL E UF PARA COMPARAÇÃO VISUALQUADRO 8.....	66

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA PLACA DE ALUMÍNIO UTILIZADA.....	41
TABELA 2 – CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS - ELETROFLOCULAÇÃO .....	41
TABELA 3 – ENSAIOS REALIZADOS NA ULTRAFILTRAÇÃO .....	44
TABELA 4 – QUANTIFICAÇÃO DA ÁGUA TRATADA NA ETE.....	52
TABELA 5 – CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DO PROCESSO DE ELETROFLOCULAÇÃO.....	55
TABELA 6 – CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DO PROCESSO DE UF .....	57
TABELA 7 – VALORES DA RESISTÊNCIA DURANTA A OPERAÇÃO DURANTE O PROCESSO DE UF COM AS AMOSTRAS .....	60
TABELA 8 – CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DO PROCESSO DE FILTRAÇÃO GRANULAR .....	63
TABELA 9 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DO EFLUENTE TRATADO NA ETE – AMOSTRAS SELECIONADAS .....	64
TABELA 10 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DO EFLUENTE TRATADO NA ETE – ENSAIOS EM LABORATÓRIO INTERNO (EMULTEC – UFPR).....	65
TABELA 11 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DO EFLUENTE TRATADO NA ETE – ENSAIOS EM LABORATÓRIO PARTICULAR EXTERNO .....	66
TABELA 12 – ESTUDO PRELIMINAR DE CASO.....	67

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - IDENTIFICAÇÃO DAS CLASSES DE ÁGUA DE REUSO .....	25
QUADRO 2 - PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA DE REUSO .....	26
QUADRO 3 – LEGISLAÇÃO APLICADA .....	31
QUADRO 4 – RELAÇÃO DE AMOSTRAS OBTIDAS .....	35
QUADRO 5 – ANÁLISES LABORATORIAIS PRELIMINARES - METODOLOGIA...	50
QUADRO 6 – PRINCIPAIS AMOSTRAS .....	51
QUADRO 7 – PARÂMETROS PARA CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DO EFLUENTE PRÉ E PÓS-TRATAMENTO AVANÇADO .....	51
FIGURA 27 – AMOSTRAS DAS ANÁLISES DE EL E UF PARA COMPARAÇÃO VISUALQUADRO 8.....	66

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	- Agência Nacional de Águas
ASTM	- American Society for Testing and Materials
BR	- Bruto
CNRH	- Conselho Nacional de Recursos Hídricos
DBO	- Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	- Demanda Química de Oxigênio
EL	- Eletrofloculação
ETE	- Estação de Tratamento de Efluentes
FG	- Filtração Granular
LO	- Licença de Operação
MAPA	- Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MF	- Microfiltração
NBR	- Norma Brasileira Regulamentadora
pH	- Potencial Hidrogeniônico
PIB	- Produto Interno Bruto
PMS	- Processo de Separação por Membrana
RPF	- Rainha da Paz <i>Foods</i>
SDT	- Sólidos Dissolvidos Totais
SIF	- Serviço de Inspeção Federal
SMWW	- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater
SST	- Sólidos em Suspensão Totais
ST	- Sólidos Totais
SVS	- Secretaria de Vigilância Sanitária

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1	OBJETIVOS .....	16
1.1.1	Objetivo geral .....	16
1.1.2	Objetivos específicos.....	16
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>17</b>
2.1	ABATE DE SUÍNOS .....	17
2.1.1	Recepção, Repouso e Lavagem dos Suínos.....	18
2.1.2	Atordoamento .....	18
2.1.3	Sangria .....	18
2.1.4	Escaldagem.....	18
2.1.5	Depilagem e Toilette.....	18
2.1.6	Evisceração .....	19
2.1.7	Cortes, Desossa e Refrigeração.....	19
2.1.8	Graxaria.....	19
2.1.9	ETE – Estação de Tratamento de Efluente .....	19
2.2	SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES PARA ABATEDOUROS DE SUÍNOS.....	20
2.2.1	Linha Vermelha/Verde .....	21
2.2.2	Peneira Estática .....	21
2.2.3	Tanque de Equalização .....	21
2.2.4	Flotador Primário .....	21
2.2.5	Decanter .....	22
2.2.6	Lagoa aerada .....	23
2.2.7	Flotador secundário.....	23
2.2.8	Emissário dos Efluentes .....	23
2.3	ÁGUA DE REUSO.....	24
2.3.1	Tipos de água de reuso.....	25
2.4	PÓS-TRATAMENTO .....	27
2.4.1	Eletrofloculação .....	27
2.4.2	Processo de separação por membranas .....	28
2.5	LEGISLAÇÃO.....	31
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>33</b>

3.1	MATERIAL.....	33
3.2	MÉTODOLOGIA.....	33
3.2.1	Tratamento avançado.....	33
3.2.2	Coleta e preparo do efluente .....	36
3.2.3	Eletrofloculação .....	37
3.2.4	Ultrafiltração .....	42
3.2.5	Filtração granular.....	48
3.3	ANÁLISE LABORATORIAL .....	49
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>52</b>
4.1	QUANTIFICAÇÃO DA ÁGUA TRATADA NA ETE .....	52
4.1.1	Possíveis locais para emprego da água de reuso .....	53
4.2	AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE ELETROFLOCULAÇÃO .....	53
4.3	AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE UF .....	56
4.3.1	Aplicação da filtração granular como etapa para remoção de sólidos.....	60
4.4	AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE FILTRAÇÃO GRANULAR.....	62
4.5	ESTUDO do fator de remoção por processo aplicado.....	63
4.6	ANÁLISE TOTAL DAS AMOSTRAS .....	64
4.7	ESTUDO PRELIMINAR PARA IMPLANTAÇÃO DA UNIDADE NO FRIGORÍFICO.....	66
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>68</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>69</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Este projeto foi desenvolvido através da aplicação de tecnologias nos processos de tratamento de efluente em série para se obter a água de reuso, estudo da quantificação do volume de água utilizada para se abater um animal, o tema de escassez hídrica, o apelo ambiental de reutilizar a água dentro da indústria.

O grande apelo ambiental deste projeto é o fato da quantidade de água utilizada dentro de frigoríficos para se abater um animal e de acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA), o terceiro setor que mais consome água no país é o setor industrial, perdendo apenas para os setores de abastecimento humano e da agricultura. O Brasil é um dos países mais industrializados do mundo portanto, este consumo contribui para o Produto Interno Bruto (PIB) do país.

Na indústria alimentícia, o Brasil é o segundo maior exportador mundial de carnes bovinas, suínas e de aves. Ao longo dos últimos anos a produção de carnes bovinas aumentou 4,05 vezes, de carne suína, 4,88 vezes e de carne de aves aumentou 22,7 vezes, com uma expansão pecuária de 4,5% anual em média. O consumo de carne suína no Brasil ainda é inferior ao de carne bovina e de aves, e ao longo dos últimos 35 anos apresentou um crescimento moderado. O mercado interno se torna atrativo, em vista do tamanho da população brasileira, que serviu de parâmetro para a expansão das agroindústrias e das micro e pequenas empresas atuantes neste ramo da economia.

De acordo com o Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (2009), essa expansão em números se traduziu na marca de 29 milhões de suínos abatidos em 2010, sob Serviço de Inspeção Federal (SIF), enquanto os abates com sistemas de inspeção estadual e municipal chegaram a um total de 32 milhões de cabeças neste mesmo ano, contabilizados pelo IBGE.

No processo produtivo da indústria frigorífica, assim como em grande parte dos processos industriais, o impacto ao meio ambiente é eminente e devem ser adotadas medidas mitigatórias para minimizá-los. No abate suíno originam-se três principais fontes poluidoras: resíduos sólidos, emissões atmosféricas e lançamento de efluentes líquidos. Os resíduos sólidos são provenientes predominantemente de materiais orgânicos de partes não comestíveis como, cascos, pelos, vísceras, entre outros; a emissão atmosférica se dá pela geração de energia térmica (caldeira) e os efluentes líquidos são oriundos do abate animal.

A quantidade de água consumida, de acordo com o RPF (2022), é de aproximadamente 600 litros de água por suíno abatido, ou seja, um impacto ambiental significativo é gerado pelo abate na indústria frigorífica. Esse número considera desde a recepção do animal no abatedouro até a saída da carcaça para venda.

Os resíduos provenientes de abate de suínos contêm contaminantes orgânicos e inorgânicos, sendo indicado sempre que este tipo de efluente seja coletado e tratado para evitar contaminação de solo e água superficiais, preferencialmente seguindo a normativa e o licenciamento ambiental do estabelecimento

Diante do cenário de impactos ambientais gerados pelo consumo de água no setor industrial, destaca-se a importância do reuso da água, seja para conservação, diminuição do consumo ou redução da emissão do efluente em corpos hídricos.

O reuso da água para uso industrial pode ser dividido em 2 modalidades: macro externo, macro interno. Macro externo que é proveniente de tratamento de esgoto administradas por concessionárias e macro interno oriundo da estação de tratamento de efluente advindos do processo da indústria. (HESPANHOL, 2003). Este trabalho se limitou ao macro interno, isto são as águas residuárias provenientes da própria indústria, após passar pela Estação de Tratamento de Efluentes (ETE).

Após o tratamento na ETE, o efluente do processo pode passar por tratamentos avançados originando a água de reuso. Dentre eles destaca-se a ultrafiltração, um processo de separação por membranas, que também pode remover partículas e colóides, servindo como uma tecnologia de desinfecção.

Além da ultrafiltração, outro tratamento avançado que pode ser utilizado para originar a água de reuso é a eletrofloculação em sistema contínuo, sendo o mais adequado nos sistemas produtivos com altas taxas de geração de resíduos, avaliando a remoção de sólidos, turbidez e sais do efluente.

Além disso, os processos serão testados em série para possível obtenção de água de reuso com qualidade superior, quando comparada a obtida após os processos individualmente aplicados.

Como proposta de projeto de pesquisa, foi averiguado todo o processo de tratamento do efluente, análise laboratorial de qualidade da água lançada ao corpo hídrico, análise de um pós-tratamento da água para reutilizá-la, estudo das possíveis áreas propícias a receber a água de reuso.

Este projeto traz consigo um apelo ambiental relacionado ao montante de água utilizada, por um frigorífico de abate de suínos, atrelado ao processo de pós tratamento do efluente lançado na calha do rio, trazendo resultados em escala laboratorial satisfatórias para reutilizar parte desta água residual transformando-a em água de reuso que poderia servir para diminuir a quantidade de água potável utilizada diariamente do poço de captação da empresa.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

O presente trabalho objetiva apresentar resultados estudando os processos de eletrofloculação, ultrafiltração e filtração granular no efluente tratado, oriundo do frigorífico de suínos, para obtenção de água de reuso.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- a) Quantificação da água utilizada por suíno dentro do frigorífico estudado.
- b) Analisar parâmetros de funcionamento do arranjo experimental empregando a técnica eletrolítica e filtração por membrana polimérica em escala de laboratório;
- c) Aplicar nos tratamentos de eletrofloculação e ultrafiltração variáveis de processo como: densidade de corrente, tempo de eletrólise, vazão e pressão, para comparação da eficiência na remoção de parâmetros físicos e químicos das amostras;
- d) Avaliar os três processos propostos de eletrofloculação, ultrafiltração e filtração granular de forma individual e em aplicadas em série;
- e) Determinar a possibilidade de reuso do efluente tratado;

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Para a revisão de literatura uma introdução do processo de abate de suínos, do Frigorífico RPF, descrevendo suas etapas, além da caracterização e apresentação da estação de tratamento da fábrica são necessários para que se tenha uma visão do processo produtivo e entendimento do local do ponto de coleta do efluente que foram feitos os testes, também descritos, de eletrofloculação, ultrafiltração e filtração granular.

### 2.1 ABATE DE SUÍNOS

O processo de abate no Frigorífico RPF, está apresentado na FIGURA 1, e representa o fluxograma com as operações pré-abate, abate e pós-abate. Todo o processo é acompanhado por veterinário do MAPA, através da inspeção do animal para avaliar doenças respiratórias, como pneumonia enzoótica. As inspeções são realizadas para avaliar as carcaças para comercialização e melhorar as medidas de controle de doenças (GOMES, 2022)

FIGURA 1 – DIAGRAMA DO PROCESSO DE ABATE DE SUÍNOS NO FRIGORÍFICO RPF



FONTE: O autor (2023)

### 2.1.1 Recepção, Repouso e Lavagem dos Suínos

Os suínos são recebidos em caminhões, dirigidos às pocilgas e posteriormente conduzidos à lavagem. Todos os resíduos oriundos desta etapa são direcionados à canaleta da linha verde para tratamento (SMPA, 2010).

### 2.1.2 Atordoamento

Após a lavagem, os suínos são conduzidos para o equipamento (plataforma) para o início do abate. Os animais são transportados e suspensos de forma a imobilizá-los. O atordoamento é realizado por eletrodos posicionados nas duas laterais da cabeça, com isso a corrente elétrica flui em um trajeto mais curto (eletrodo – pele – crânio – cérebro suíno), garantindo assim a segurança no controle do processo de epilepsia chamado de *grande mal* (impede a atividade cerebral e provoca despolarização imediata) (SMPA, 2010; EDINGTON *et al.*, 2018).

### 2.1.3 Sangria

Logo após o atordoamento, a sangria deve ser realizada na secção dos grandes vasos (carótida e jugular). O sangue coletado segue para a drenagem específica sendo coletado em bombonas e encaminhado para a correta destinação (EDINGTON *et al.*, 2018).

### 2.1.4 Escaldagem

Decorrido o tempo necessário para sangria, os animais são imersos em um tanque com água a uma temperatura de 65 °C durante um minuto, para facilitar a remoção posterior dos pelos, unhas e sujeiras no couro (CETESB, 2006).

### 2.1.5 Depilagem e *Toilette*

Após a escaldagem os animais são colocados em uma máquina de retirada dos pelos por atrito. As unhas, cascos e pelos remanescentes são retirados posteriormente de forma manual.

Após a depilagem os animais são içados, recolocados no trilho aéreo e chamuscados com maçaricos para completar a remoção de pelos (ABCS, 2014).

#### 2.1.6 Evisceração

A etapa seguinte consiste na abertura, realizada manualmente com facas, a partir do pescoço até a região inguinal do animal para retirada das vísceras, posteriormente separadas, inspecionadas e encaminhadas para o processamento de acordo com a finalidade: triparia, manipulação de válvulas cardíacas, embalagem e resfriamento de miúdos. (SILVA, SARCINELLI, 2007).

#### 2.1.7 Cortes, Desossa e Refrigeração

Nesta etapa as carcaças são cortadas, iniciando pela remoção da cabeça e pés dianteiros, posteriormente são removidas pele e gordura deixando exposta a porção muscular do animal. As carcaças são lavadas com água sob pressão e encaminhadas para refrigeração nas câmaras de resfriamento (ABCS, 2014).

#### 2.1.8 Graxaria

Todos os subprodutos são processados nesta fase do abate como, por exemplo, ossos, cascos, gorduras, aparas de carnes e vísceras não-comestíveis. Originando neste setor a gordura animal para indústrias química, farinhas de carne e ossos para indústria de ração animal, e há graxarias que produzem sebo chamado de adubo organo-mineral a partir de ossos que servem como subprodutos (CETESB, 2006).

#### 2.1.9 ETE – Estação de Tratamento de Efluente

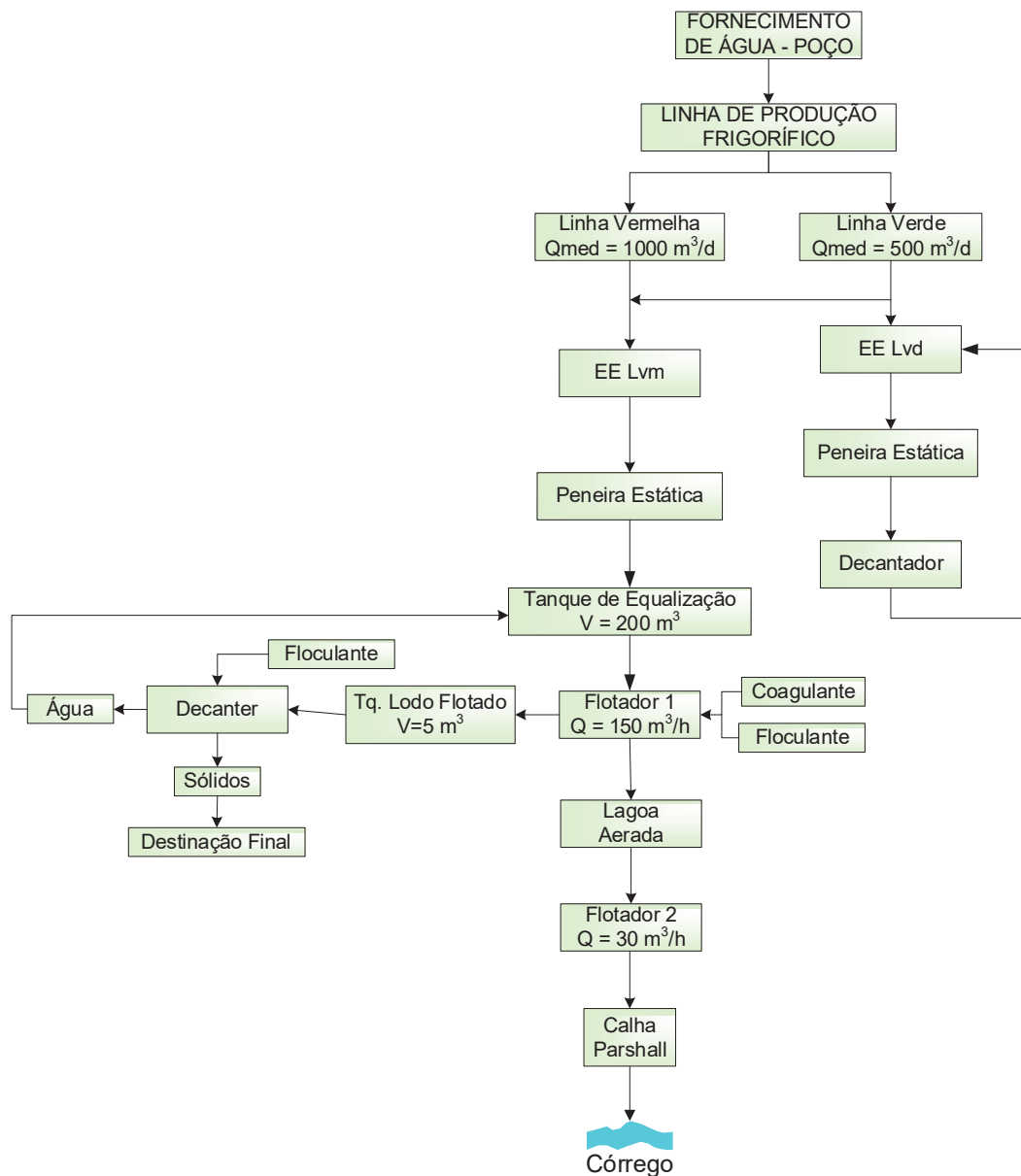
As águas provenientes de dentro do abatedouro contém em sua composição compostos orgânicos biodegradáveis, com demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) bastante elevadas, além de nitrogênio, fósforo, óleo e graxas (devido ao sólido em suspensão), gorduras, sangue, proteína e celulose.

Essa água originária do abate de suínos é direcionada para a estação de tratamento de efluentes da planta (OZTURK, YILMAZ, 2019).

## 2.2 SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES PARA ABATEDOUROS DE SUÍNOS

As águas residuais oriundas do processo produtivo no Frigorífico RPF são canalizadas e conduzidas ao sistema de tratamento de efluentes, conforme apresentado na FIGURA 2.

FIGURA 2 – DIAGRAMA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO – FRIGORÍFICO RPF



FONTE: O autor (2023)

### 2.2.1 Linha Vermelha/Verde

Nos abatedouros a divisão de efluentes gerados é dividida em duas correntes chamadas de linha verde e vermelha (CETESB, 2006).

- **Linha verde:** Contém efluentes gerados nas áreas externa e/ou gerados sem a presença de sangue, como por exemplo nas lavagens de pátio, pisos, equipamentos, caminhões ou pocilgas, nas baias de condução.
- **Linha vermelha:** Todo efluente destinado para essa corrente contém restos de sangue, sendo ele proveniente diretamente de dentro da área de abate.

Os efluentes provenientes da corrente da linha verde, tem vazões médias de 20 m<sup>3</sup>/h e 30 m<sup>3</sup>/h respectivamente. O efluente é proveniente do processo de abate e corte, linha vermelha, tem uma vazão média de 100 m<sup>3</sup>/h, sendo conduzido à elevatória e recalado à peneira estática. (RPF, 2022).

### 2.2.2 Peneira Estática

A peneira estática é o primeiro equipamento da estação de tratamento de efluentes, sua função é a remoção dos resíduos sólidos grosseiros, com eficiência de 60 a 70% dos sólidos de até 0,75 mm (ABCS, 2014).

Os efluentes da linha vermelha/verde são enviados por bombas a uma peneira estática, em aço inox e de malha 0,75 mm, com capacidade para 100 m<sup>3</sup>/h.

### 2.2.3 Tanque de Equalização

O efluente bruto e filtrado das linhas vermelha e verde é conduzido ao tanque de equalização, cuja função é a homogeneização dos efluentes e absorção dos picos de vazão a fim de evitar a decantação. (PINTO *et al.*, 2018).

### 2.2.4 Flotador Primário

O efluente equalizado é enviado por um conjunto motor-bomba, tipo centrífuga, até o flotador primário físico-químico, em aço inox, com a função de reduzir a carga orgânica do efluente.

O flotador é alimentado por produtos químicos, floculante e coagulante, para o tratamento físico-químico, no qual ocorre a formação de flocos que carregam os resíduos do abate, sendo caracterizados por partículas pequenas agregadas umas nas outras, formando flocos, e sendo carregadas até a superfície do efluente por microbolhas (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

As microbolhas de ar aderem-se aos flocos e os transportam até a superfície do flotador primário resultando em uma manta de lodo. Essa formação de flocos aerados é um processo de aprisionamento de pequenas bolhas dentro dos flocos, ocorrendo uma nucleação de bolhas na interface floco/água. (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Esta manta de lodo na superfície é raspada para a extremidade do flotador primário por meio de um raspador mecânico. Todo o lodo gerado no flotador primário é armazenado em um tanque e encaminhado ao tanque de armazenamento por meio de uma bomba helicoidal.

A água tratada que sai do flotador 1 é enviado para uma lagoa aerada, seguindo para o flotador 2.

### 2.2.5 Decanter

O *decanter* é uma centrífuga que realiza a separação das fases sólida e líquida do lodo por meio da diferença de densidades em função da atuação da força centrífuga com adição de um floculador catiônico. (EAGLE, 2015).

O lodo flotado é bombeado para dentro do decanter por um tubo de alimentação onde é lançado ao interior do caracol. Na parte interna do caracol o lodo é submetido à ação da força centrífuga produzida pelo giro do cilindro.

A massa sólida fica pressionada contra a parede interna do cilindro e uma rosca transportadora helicoidal transporta esta massa sólida até o final do segmento, enviada a um big bag para destinação final (EAGLE, 2015).

A água clarificada sai da parte interna do cilindro e retorna ao tanque de equalização.

O material que passa pelo *decanter* gera dois produtos:

- Água: A água constitui cerca de 90% do volume do lodo flotado. Toda água produzida retorna ao tanque de equalização.

- Sólidos: Os sólidos representam cerca de 8% do volume do lodo flotado, juntamente referendo. É constituído por matéria orgânica e minerais, nesta fase os sólidos apresentam cerca de 60% de umidade.

### 2.2.6 Lagoa aerada

A lagoa aerada receberá o líquido clarificado proveniente do flotador e por meio de quatro aeradores superficiais garante a oxigenação do meio e a redução da carga orgânica residual.

O oxigênio é utilizado no metabolismo de microrganismos responsáveis pela degradação de compostos orgânicos, no processo de nitrificação, na oxidação de poluentes inorgânicos e precipitação de elementos metálicos, além da massa líquida estar em movimento constante potencializando as reações e impedindo a criação de áreas mortas com depósitos e fermentação (GODINI *et al.*, 2021).

#### 2.2.6.1 Aeradores

O oxigênio atmosférico presente na superfície do efluente na lagoa não é suficiente para o processo bacteriano aeróbico, tendo a necessidade de um complemento mecânico, os aeradores, garantindo assim um fluxo parcialmente misto e sedimentação de sólidos em estágios dentro da lagoa (POUGATCH *et al.*, 2007).

### 2.2.7 Flotador secundário

O flotador secundário recebe a água da lagoa aerada e opera com as mesmas propriedades do flotador primário, garantindo assim que a água seja lançada ao corpo receptor de forma eficaz e dentro dos parâmetros exigidos pelo IAT – Instituto de Água e Terra.

### 2.2.8 Emissário dos Efluentes

Após o tratamento biológico (lagoas de estabilização) os efluentes são conduzidos através de um emissário ao corpo hídrico receptor principal, Rio Capivari,

após a confluência do Arroio Água Clara, de acordo com a LO – Licença de Operação do Frigorífico RPF – Rainha da Paz Foods, com uma vazão máxima de 34 m<sup>2</sup>/h.

### 2.3 ÁGUA DE REUSO

A prática de conservação da água vem sendo disseminada dentro da indústria, essa técnica consiste na aplicação de alternativas para redução do consumo de água. Dentre as ações, a água de reuso é a mais aplicada, sendo constituída pela água obtida após o tratamento avançado de efluentes gerados na própria indústria (SEBRAE-RJ, 2017)

Em 2005, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, publicou a Resolução nº 54 que estabeleceu modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água, sendo ele um instrumento legal, porém apenas abrange a modalidade de reuso direto não potável.

A prática de reuso da água é aplicável em qualquer fase do processo produtivo dentro de um frigorífico, com exceção em alguns setores, devendo ser analisadas as condições da qualidade da água necessárias para atender ao uso requerido. Em alguns setores há restrições, a fim de proteger a qualidade do produto e demais precauções no âmbito do manuseio do alimento *in natura*. Estas restrições estão relacionadas a legislação sanitária nº 326, estabelecida pela Secretaria de Vigilância Sanitária – SVS, onde apresenta o Regulamento Técnico ‘Condições Higiênicas Sanitárias e Boas Práticas de Fabricação para Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos’.

A utilização de água de reuso nas fábricas consiste, por limitação da legislação, no uso interno fabril, sendo diretamente aproveitada nas partes externas da fábrica, não podendo ser utilizado em setores que tenha contato direto com o alimento. Partindo de uma premissa da redução da utilização de água potável para serviços em áreas comuns, além de reduzir o volume do efluente lançado no corpo receptor (FIESP, 2006).

Segundo Souza (2015), 1/3 do efluente da indústria frigorífica é originária de atividades que não possuem contato direto com o produto, ou seja, a água de reuso poderia ser utilizada nessas áreas, tais como: lavagem de caminhões, caixas, irrigação de jardim, pocilgas, lavagem de equipamento da ETE, dentre outras.

### 2.3.1 Tipos de água de reuso

Segunda a NBR 13.969 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (1997), item 5.6.4, apresenta uma nomenclatura adotada para as “classes de água de reuso” dividida em 4 classes, sendo cada uma delas específica para determinado ramo e área pré-estabelecida da indústria, apresentado no QUADRO 1.

QUADRO 1 - IDENTIFICAÇÃO DAS CLASSES DE ÁGUA DE REUSO

PARÂMETRO	UNIDADE	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4
APLICAÇÃO	-	- Lavagem de carros  - Aplicação com possível aspiração de aerossóis pelo operador  - Usos com contato direto do usuário com a água	- Lavagem de pisos  - Calçadas e irrigação de jardim  - Manutenção de lagos e canais para fins paisagísticos	- Reuso em descargas de vasos sanitário	- Reuso em sistemas de irrigação pontual  - Reuso nos pomares, cereais, forragens, pastagem  - Irrigação de gramíneas e flores
pH	-	6 - 8	-	-	-
TURBIDEZ	NTU	-	< 5	< 10	-
SST	mg L <sup>-1</sup>	200	-	-	-
OXIGÊNIO DISSOLVIDO	mg L <sup>-1</sup>	-	-	-	2
COLIFORMES FECAIS	UFC 100 mL <sup>-1</sup>	200	500	500	5.000
CORO RESIDUAL	mg L <sup>-1</sup>	0,5 - 1,5	0,5	-	-

FONTE: NBR (1997)

Existem especificações da qualidade da água de reuso para que possa ter as mínimas condições de uso dentro da fábrica a partir das características físico-químicas e microbiológicas do efluente tratado. Portanto é gerada uma relação de parâmetros físico-químicos que representam o limite permitido para utilização da água de reuso, conforme apresentado no QUADRO 2 (FAPPI *et al.*, 2017).

QUADRO 2 - PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA DE REUSO

PARÂMETRO	UMIDADE	TORRES DE RESFRIAMENTO	LAVAGEM DE PISOS	IRRIGAÇÃO INDUSTRIAL	LAVAGEM DE CAMINHÕES	SISTEMA DE INCÊNDIO	SANITÁRIOS	CALDEIRA < 10 bar
TEMPERATURA	°C	Ambiente	Ambiente	Ambiente	Ambiente	Ambiente	Ambiente	Ambiente
pH	-	6 - 9 <sup>(1)(3)(9)</sup>	6 - 9 <sup>(1)</sup>	6 - 9 <sup>(1)(17)</sup>	6 - 9 <sup>(1)</sup>	6 - 9 <sup>(1)</sup>	6 - 9 <sup>(1)</sup>	7 - 10 <sup>(8)(13)</sup>
		6,8 - 7,2 <sup>(6)(17)</sup>	6 - 8 <sup>(17)</sup>	6 - 9 <sup>(1)(17)</sup>	6 - 8 <sup>(15)(17)(18)</sup>	6 - 9 <sup>(1)</sup>	6 - 8 <sup>(17)</sup>	8,3 - 10 <sup>(12)</sup>
		6,5 - 9,5 <sup>(7)</sup>						7,5 - 10 <sup>(14)</sup>
		6,9 - 9 <sup>(10)(13)</sup>						
TURBIDEZ	NTU	2 - 10 <sup>(1)</sup> ≤ 3 <sup>(2)</sup>	≤ 2 <sup>(1)(17)</sup>	≤ 2 <sup>(1)</sup> ; 2 - 5 <sup>(5)</sup>	≤ 2 <sup>(1)(17)</sup>	≤ 2 <sup>(1)</sup>	≤ 2 <sup>(1)(17)</sup> ≤ 5 <sup>(4)</sup>	SE
		2 - 5 <sup>(5)</sup>	2 - 5 <sup>(5)</sup> ≤ 3 <sup>(15)</sup>	≤ 5 <sup>(15)(17)</sup>	≤ 5 <sup>(15)</sup>	≤ 5 <sup>(15)</sup>	≤ 5 <sup>(15)</sup> ≤ 10 <sup>(15)</sup>	SE
COR	Pt Co	SE	≤ 10 <sup>(17)</sup>	≤ 30 <sup>(17)</sup>	≤ 10 <sup>(17)</sup>	SE	≤ 10 <sup>(17)</sup>	SE
DQO	mg L <sup>-1</sup>	≤ 75 <sup>(3)(7)(9)(10)(13)(17)</sup>	SE	SE	SE	SE	SE	50 <sup>(8)(13)</sup>
ST	mg L <sup>-1</sup>	50 <sup>(6)</sup>	SE	SE	SE	SE	SE	SE
SDT	mg L <sup>-1</sup>	≤ 530 <sup>(18)</sup>	SE	SE	SE	SE	SE	SE
		≤ 500 <sup>(3)(9)(10)(13)(17)</sup>	≤ 1000 <sup>(4)</sup>	≤ 1000 <sup>(4)</sup>	≤ 200 <sup>(15)</sup>	SE	≤ 1000 <sup>(4)</sup>	700 <sup>(8)(13)</sup>
CONDUTIVIDADE	µS	1000 <sup>(7)</sup>	≤ 500 <sup>(17)</sup>	SE	SE	SE	SE	SE
		800 - 1200 <sup>(1)</sup>	SE	SE	SE	SE	SE	1100 - 5400 <sup>(12)</sup>
SST	mg L <sup>-1</sup>	20 - 40 <sup>(11)</sup>	SE	SE	SE	SE	SE	0,1 <sup>(8)(13)</sup>
		≤ 5 <sup>(17)</sup> ≤ 30 <sup>(1)</sup>	SE	SE	SE	SE	SE	SE
COLIFORMES TOTAIS	UFC 100 mL <sup>-1</sup>	100 <sup>(3)(9)(10)(13)(17)</sup>	SE	SE	SE	SE	SE	SE
		≤ 2,2 <sup>(17)</sup>	SE	SE	SE	SE	SE	SE
COLIFORMES FECAIS	UFC 100 mL <sup>-1</sup>	≤ 200 <sup>(1)(12)</sup>	≤ 500 <sup>(15)</sup>	≤ 500 <sup>(15)(17)</sup>	≤ 200 <sup>(15)</sup>	Ausente <sup>(1)</sup>	≤ 500 <sup>(15)</sup>	SE
		Ausente <sup>(1)</sup>	Ausente <sup>(1)</sup>	Ausente <sup>(1)</sup>	Ausente <sup>(1)</sup>	Ausente <sup>(1)</sup>	Ausente <sup>(1)</sup>	SE
DUREZA	mg L <sup>-1</sup>	650 <sup>(9)</sup>	500 <sup>(16)</sup>	500 <sup>(16)</sup>	SE	SE	500 <sup>(16)</sup>	350 <sup>(13)</sup>
		50 - 180 <sup>(16)</sup>						

FONTE: (1) EPA, 2004; (2) US EPA, 2004, valores para o Estado do Texas; (3) Metcalfy e Eddy, 2003; (4) Valor máximo recomendado para água potável, de acordo com a Portaria do Ministério da Saúde no 2914 de 12/12/2011; (5) Hammer e Hammer, 2007; (6) Asano e Levine, 1998; (7) Pinjing et al., 2001; (8) Metcalfy e Eddy, 1991; (9) Mancuso e Santos, 2003; (10) Mierzwa, 2002; (11) Eble e Feathers, 1992; (12) Macedo, 2001; (13) Crook e Surampalli, 1996; (14) Lenntech, 2015; (15) NBR 13969/1997; (16) EPA, 2004, valores para a cidade de San Francisco; (17) PIO et al., 2005; (18) Oenning Junior e Pawlowsky, (2007); SE – Sem Especificação encontrada.

## 2.4 PÓS-TRATAMENTO

Para a obtenção de água de reuso é necessário que o efluente tratado pela ETE da fábrica, o qual é lançada no corpo hídrico, seja submetido a um pós-tratamento ou tratamento avançado, dentre eles destaca-se a EL, UF e FG.

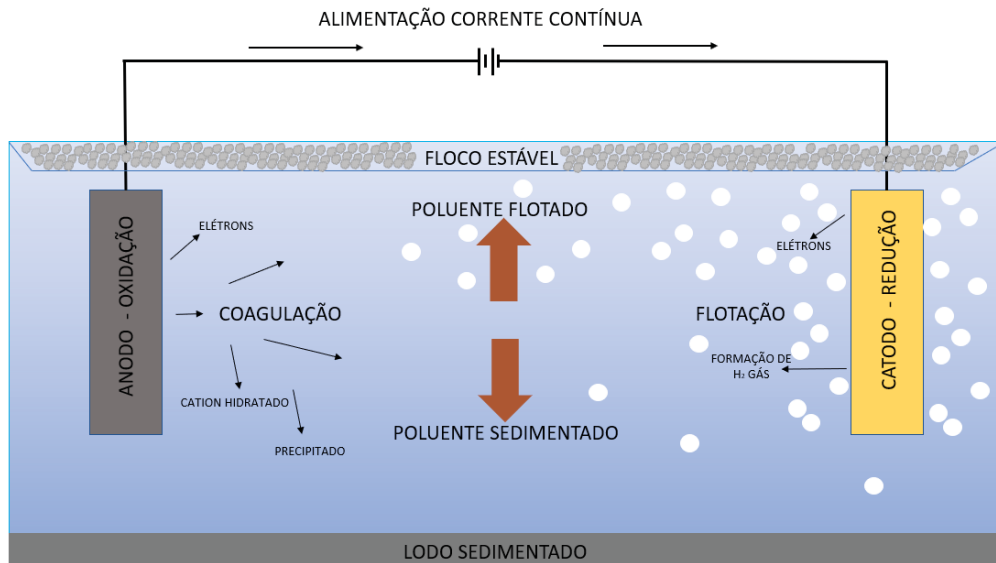
### 2.4.1 Eletrofloculação

O processo de eletrofloculação vem sendo utilizado principalmente na última década, com aplicação em muitos setores industriais. Pode ser descrito como um fenômeno onde cargas são neutralizadas por forças de atração, que atuam sobre as partículas coloidais ou suspensas, ocorrendo por fim sua sedimentação ou flotação (CÁSSIA *et al.*, 2017).

O fenômeno que ocorre na eletrofloculação está atrelado a eletrodos de sacrifício, que liberam espécies químicas que atuam como coagulantes. Essa atuação dos ânodos de sacrifício ocorre com a aplicação de uma diferença de potencial elétrico, onde sofrem corrosão em decorrência da sua oxidação e conseqüentemente ocorre a salvação do cátion formado. Com isso há a formação de espécies hidrolisadas e hidróxidos insolúveis e, ao mesmo tempo, há a formação de microbolhas provenientes da aplicação da diferença de potencial, sendo responsáveis por promover a separação das partículas por meio da flotação. (COMBATT *et al.*, 2017).

As águas residuais de matadouros contêm sangue, visto que eletrólitos e íons são encontrados no sangue, o que favorece a condutividade elétrica, torna-se vantajoso o tratamento por processo de eletrofloculação. Sua aplicação é considerada de baixo custo e favorecida devido as propriedades do sangue presente no efluente, porém os eletrodos sofrem corrosão com o tempo e precisam ser substituídos, por isso é adequado que esse processo seja aplicado combinado a um processo secundário (OZTURK, YILMAZ, 2019). A FIGURA 3 ilustra o processo de eletrofloculação.

FIGURA 3 – FUNCIONAMENTO DA ELETROFLOCULAÇÃO

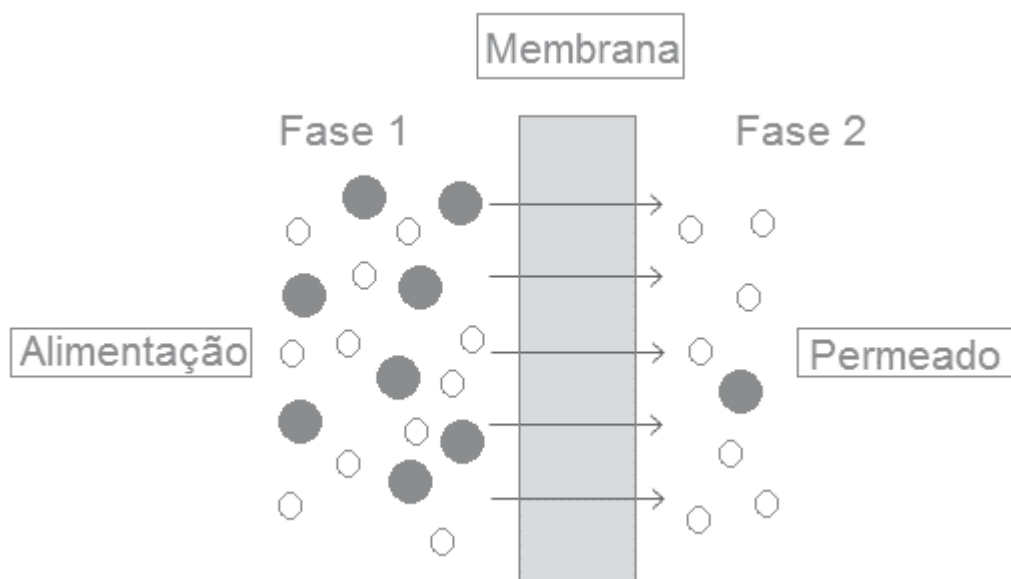


FONTE: O autor (2023)

#### 2.4.2 Processo de separação por membranas

Segundo Habert, Borges e Nobrega (2006), a membrana é definida como uma barreira que separa duas fases, restringindo total ou parcialmente o transporte de espécies químicas presentes nas fases. Na FIGURA 4 está representado o esquema de um Processo de Separação por Membrana (PSM).

FIGURA 4 – REPRESENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE DUAS FASES SEPARADO POR MEMBRANA



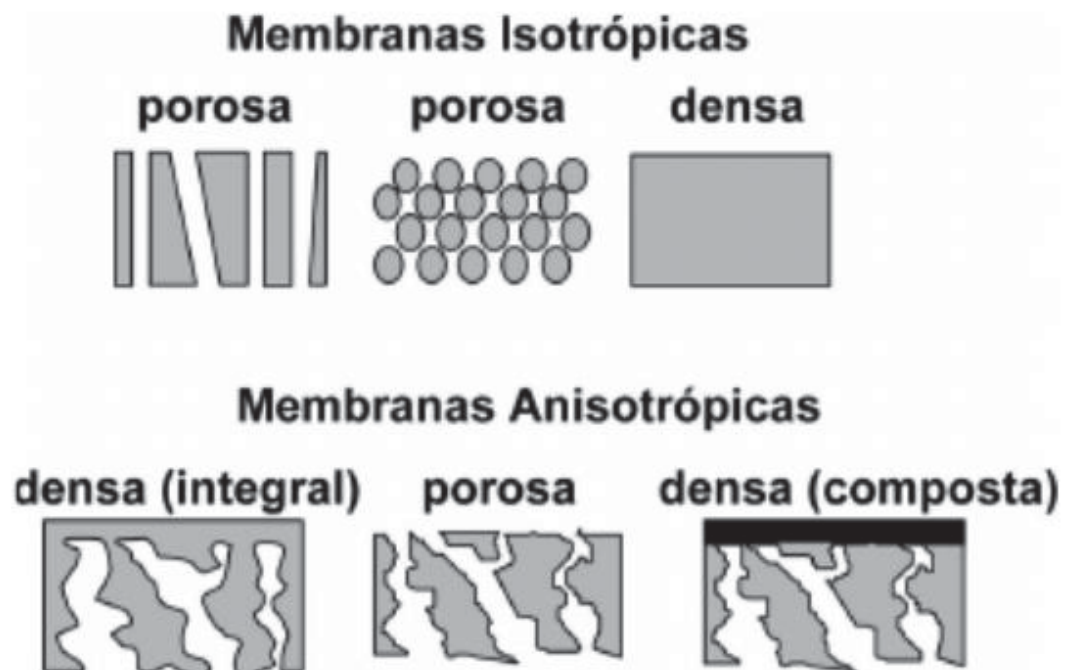
FONTE: Adaptado de MULDER (1996)

Em termos de processo, uma membrana pode ser apresentada como uma barreira seletiva que limita o transporte de vários elementos, existindo várias categorias de membranas responsáveis por este mesmo processo como: membrana polimérica, membrana cerâmica, membrana líquida e membrana de troca iônica (SAMAEI *et al.*, 2018)

As membranas também são classificadas em porosas e não porosas (densas) ou porosas, conforme a morfologia da membrana pode ser classificada como densa quando uma das etapas do PSM envolve a dissolução e difusão dos componentes através de uma membrana virtualmente livre de poros. É considerada porosa quando o transporte dos componentes ocorre em fase fluida contínua, a qual preenche os poros (BERK, 2009).

A FIGURA 5 representa uma classificação das membranas supracitadas em que as partes escuras representam a matriz sólida e as regiões claras, os poros.

FIGURA 5 – ESQUEMA DA MORFOLOGIA DA SEÇÃO TRANSVERSAL DE DIFERENTES MEMBRANAS

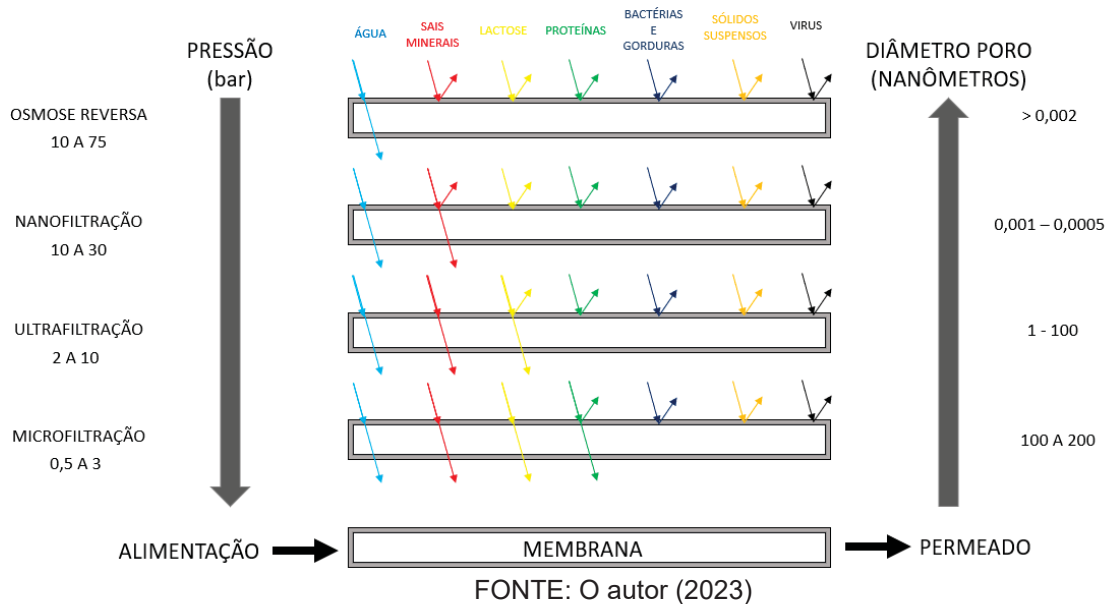


FONTE: HABERT; BORGES; NOBREGA (2006)

Os processos de separação por membranas podem ser diferenciados também de acordo com a força motriz que regem o processo. Os processos de membranas

porosas (microfiltração, ultrafiltração e nanofiltração) e osmose inversa empregam como força motriz o gradiente de pressão, variando de 0,5 a 75 bar (HE *et al.*, 2019).

FIGURA 6 – TIPOS DE PROCESOS DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANA



Quando aplicado no tratamento de águas residuais, os processos de separação por membrana viabilizam sistemas compactos, gerando efluentes com uma alta taxa de remoção. Os poluentes presentes no efluente industrial não são degradados, mas parte destes poluentes fica retido, ou seja, não passa através da membrana, obtendo-se uma fase sólida ou fase líquida mais concentrada (FAPPI *et al.* 2017).

#### 2.4.2.1 Ultrafiltração

A ultrafiltração se diferencia dos outros processos de separação por membranas porosas pelo diâmetro dos poros e intensidade da força motriz que promove a separação dos contaminantes, remoção de compostos orgânicos e remoção de coloides. O diâmetro utilizado neste processo é de a 100 kDa, a pressão aplicada no processo é de 1 a 3 bar. (FAPPI *et al.*, 2017).

A ultrafiltração pode ser utilizada para polimento de efluentes tratados, cuja composição é o grande fator de escolha para utilização deste processo, caso contenha uma grande quantidade de partículas suspensas atuará diretamente na incrustação da membrana. Através da implementação de um processo de eletrofloculação, como pré-tratamento para a ultrafiltração, pode ocorrer a remoção

de grande parte destas partículas que agravam a incrustação na membrana, possibilitando a melhoria do desempenho do processo de UF e, conseqüentemente, gerando a água de reuso. (BEN-SASSON *et al.*, 2011).

## 2.5 LEGISLAÇÃO

No Brasil, o tema da preservação da água começou a ganhar destaque a partir da década de 1980, com a aceleração do desenvolvimento industrial. Portanto aprimorar os meios de economia e de uso racional dos recursos hídricos é um desafio mundial e, nessa perspectiva, o reuso da água é visto como providência de resultados relevantes (RATIER, 2015)

Através de pesquisas na legislação federal, estadual e municipal, foram encontradas algumas aplicações de leis relacionadas diretamente ao tema de água de reuso ou áreas correlacionadas ao tema. No QUADRO 3 está representado um compilado das leis e afins.

QUADRO 3 – LEGISLAÇÃO APLICADA

DOCUMENTO	ANO	EXTENSÃO	PONTOS IMPORTANTES (continua)
Lei nº.10.785/03	2003	Municipal/Curitiba-PR	Criou o Programa de Conservação e Uso Racional da Água
Decreto nº.293/06	2006	Municipal/Curitiba-PR	Dispõe sobre critérios de uso e conservação racional da água
Lei nº.2.856/11	2011	Municipal/Niterói-RJ	Estímulo à instalação de sistema de coleta e reutilização de águas servidas em edificações públicas e privadas
Lei nº.4.593/13	2013	Municipal/Caicó-RN	Recomenda critérios e padrões de qualidade para água de reuso a ser utilizada nas seguintes atividades: produção agrícola, fins urbanos, piscicultura e dá outras providências.
Lei nº.12.726/99	1999	Estadual/Paraná	O Plano de Recursos Hídricos do Estado do Paraná - PLERH/PR, teve início em 2006, sendo dividida em 3 etapas. A primeira etapa é referente ao diagnóstico do cenário, a segunda etapa foi relacionada diretamente ao processo com debates para a população apontar os problemas relacionados a recursos hídricos e a terceira etapa vem para consolidar as diretrizes e abrir caminho para o Plano Estadual através dos estudos apresentados.
Decreto nº.293/06	2006	Estadual/Paraná	Dispõe de forma programática a obrigatoriedade do reuso de água nas

QUADRO 3 – LEGISLAÇÃO APLICADA

DOCUMENTO	ANO	EXTENSÃO	PONTOS IMPORTANTES (continua)
			indústrias instaladas em terrenos com área computável igual ou superior a 5.000 m <sup>2</sup> .
Instrução Técnica nº31	2007	Estadual/São Paulo	Norma Técnica da CETESB quanto ao uso para irrigações provenientes de água de reuso.
Decreto nº.20.448/17	2017	Estadual/Paraná	Dispõe sobre o uso responsável de água no Estado do Paraná.
Resolução nº.02/17	2017	Estadual/Ceará	Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras e considera que o reuso de água se constitui em prática de racionalização e de conservação de recursos hídricos, do Conselho Estadual de Meio Ambiente - COEMA
NBR nº.13969/97	1997	Federal	Norma com nomenclatura adotada para a “classe de água de reuso”, onde subdividiu as águas de reuso em 4 classes, sendo cada uma delas específica para determinado ramo e área pré-estabelecida da indústria
Lei nº.9.433/97	1997	Federal	Dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos-SINGREH, dá ênfase ao uso sustentável da água;
Lei nº.9.984/00	2000	Federal	instituiu a Agência Nacional de Águas – ANA, atribuiu a esta Agência, a competência para implementar, em articulação com os Comitês de Bacia Hidrográfica, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos de domínio da União.
Resolução nº.54/05	2005	Federal	O Conselho Nacional de Recursos Hídricos estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água, e dá outras providências
Resolução nº.357/05	2005	Federal	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, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.
Resolução nº.430/11	2011	Federal	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.

FONTE: O autor (2023)

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 MATERIAL

Para realização da eletrofloculação foram adquiridas placas de alumínio ABNT/ASTM 5052 com aproximadamente 98,5% de pureza, utilizados como eletrodo no processo, um flutuador em acrílico onde no fundo foi colocado pedra porosa de aquário para liberações de microbolhas no sistema com auxílio de um oxigenador Boyou Sc7500, 3,5W, 0,012mpa e com capacidade de 6 litros por minuto. Para a alimentação de tensão nas placas foi utilizado uma fonte chaveada de bancada digital Nice Power SPS-3010, ajustável de 0 à 30VDC e 0 à 5A. A alimentação do efluente foi feita através de uma bomba de água submersa Via Aqua – VA2300, com ajuste de vazão.

A laboração da ultrafiltração foi utilizada um tanque de PVC com capacidade de 10 litros, bomba pressurizadora (SEAFLO, modelo SFDP1), controlador de velocidade (MOTRON, modelo CVE-8701 F), válvula globo com monitoramento por manômetro (Famabras) para ajuste da pressão, uma célula de permeação do tipo placa e quadro e adquirida de forma comercial uma membrana polimérica de ultrafiltração (NADIR US100 P).

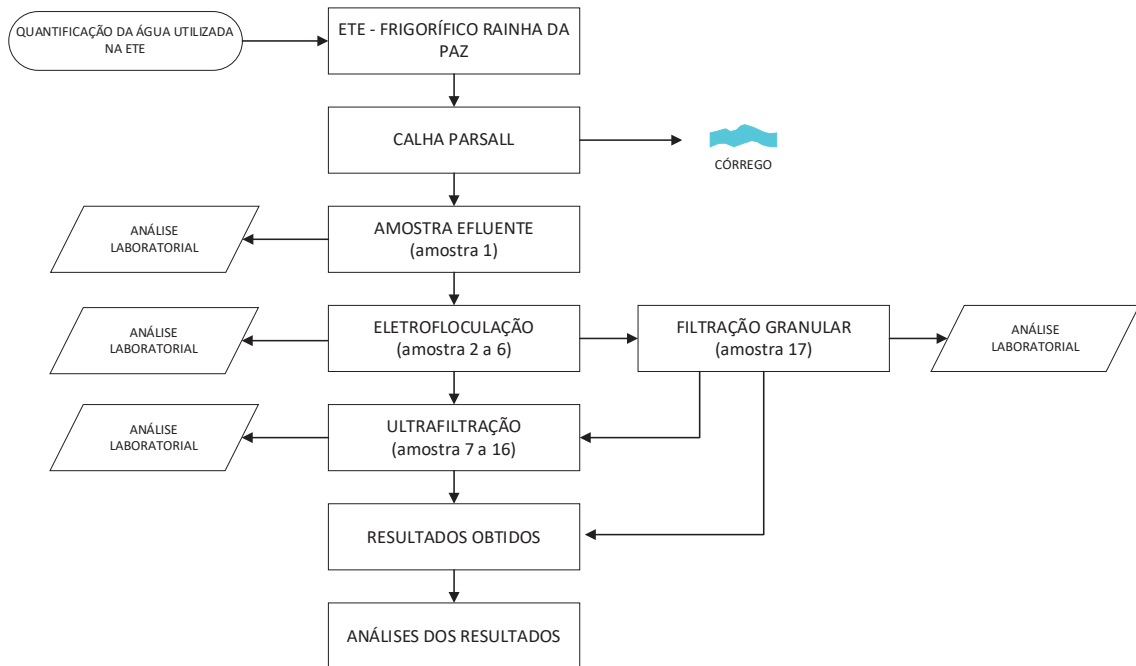
Na filtração granular foi utilizado uma coluna de vidro com areia  $d_{90}=0,46$  mm, uma bomba peristáltica (MILAN, modelo BP600) para alimentação da amostra, uma balança semi-analítica (EXACTA, modelo BL-6200B), previamente tarado e um becker para coleta do filtrado.

#### 3.2 METODOLOGIA

##### 3.2.1 Tratamento avançado

O trabalho foi desenvolvido a partir da coleta de efluente no Frigorífico RPF para ser utilizado como amostra dos experimentos. Em laboratório inicialmente aplicou os ensaios de eletrofloculação e em seguida os ensaios de UF, além dos ensaios de filtração granular o qual foram realizados posteriormente e agregados ao projeto, de uma forma geral a FIGURA 7 apresenta todo o procedimento experimental aplicado ao efluente.

FIGURA 7 – ORGANOGRAMA DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL



FONTE: O autor (2023)

A quantificação de água tratada pelo frigorífico foi a primeira etapa do projeto executada na própria fábrica a fim de quantificar o volume de água tratado e lançado no corpo receptor pelo Frigorífico RPF. Sua quantificação se deu pela instalação de um horímetro na bomba de lançamento do efluente bruto para a estação de tratamento.

A aplicação de tratamento avançado no efluente coletado é a combinação entre os processos de eletrofloculação e ultrafiltração realizados em série.

Inicialmente foram realizados ensaios de eletrofloculação em diferentes condições experimentais sendo elas a vazão e a corrente elétrica. De acordo com os resultados obtidos, foram determinadas as condições para os ensaios da combinação dos processos de eletrofloculação e ultrafiltração.

Posteriormente, como forma de avaliar outro tipo de tratamento, com menor custo de operação, a amostra com melhores parâmetros, obtida após a eletrofloculação, foi submetida a um tratamento por filtração granular. Com isso foi possível comparar o resultado do tratamento de eletrofloculação + ultrafiltração e eletrofloculação + filtração granular.

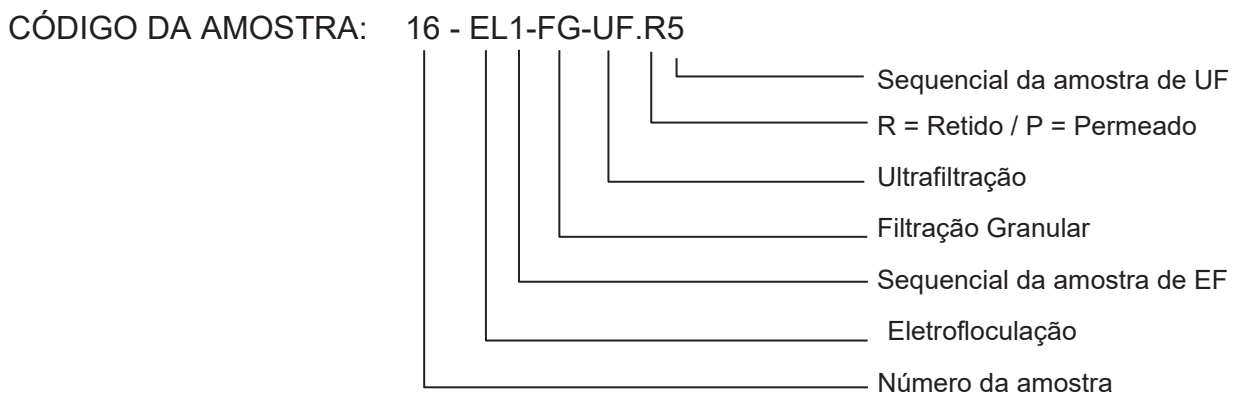
Foi obtido um total de 17 amostras dos ensaios realizados em todas as etapas do trabalho, a descrição destas amostras está apresentada no QUADRO 4.

As 17 amostras obtidas foram submetidas às seguintes análises preliminares: temperatura, pH, salinidade, cor, condutividade, turbidez, DQO, ST, SST, executadas segundo a norma SMWW - *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, representadas no QUADRO 5.

As demais análises necessárias foram realizadas em laboratório particular externo, são elas: DBO, cálcio, ferro, sulfato, potássio, coliformes termotolerantes / fecais, coliformes totais. Estes ensaios foram feitos após o término de todos os ensaios nas amostras que obtiveram melhores resultados nas análises preliminares.

As amostras foram nomeadas seguindo o esquemático a baixo e apresentadas as respectivas amostras no QUADRO 4

- Exemplo



QUADRO 4 – RELAÇÃO DE AMOSTRAS OBTIDAS

CÓDIGO DA AMOSTRA	DESCRIÇÃO DA AMOSTRA	(Continua)
1 - BR	EFLUENTE BRUTO PROVENIENTE DA SAÍDA DA ETE DO RIGORÍFICO	
2 – BR-EL1	AMOSTRA 1-BR APLICADA NA ELETROFLOCULAÇÃO (Q = 4 l/h e AMPERAGEM = 1,050 A)	
3 – BR-EL2	AMOSTRA 1-BR APLICADA NA ELETROFLOCULAÇÃO (Q = 4 l/h e AMPERAGEM = 0,516 A)	
4 – BR-EL3	AMOSTRA 1-BR APLICADA NA ELETROFLOCULAÇÃO (Q = 12 l/h e AMPERAGEM = 1,050 A)	
5 – BR-EL4	AMOSTRA 1-BR APLICADA NA ELETROFLOCULAÇÃO (Q = 12l/h e AMPERAGEM = 0,516 A)	
6 – BR-EL5	AMOSTRA 1-BR APLICADA NA ELETROFLOCULAÇÃO (Q = 55 l/h e AMPERAGEM = 1,050 A)	
7 -EL1-UF.P1	AMOSTRA 2-BR-EL1 APLICADA NA ULTRAFILTRAÇÃO (1 BAR) - PERMEADO	
8 -EL1-UF.R1	AMOSTRA 2-BR-EL1 APLICADA NA ULTRAFILTRAÇÃO (1 BAR) - RETIDO	
9 - EL1-UF.P2	AMOSTRA 2-BR-EL1 APLICADA NA ULTRAFILTRAÇÃO (2 BAR) - PERMEADO	

<b>CÓDIGO DA AMOSTRA</b>	<b>DESCRIÇÃO DA AMOSTRA</b>	<b>(Continua)</b>
10 - EL1-UF.R2	AMOSTRA 2-BR-EL1 APLICADA NA ULTRAFILTRAÇÃO (2 BAR) - RETIDO	
11 - EL1-UF.P3	AMOSTRA 2-BR-EL1 APLICADA NA ULTRAFILTRAÇÃO (3 BAR) - PERMEADO	
12 - EL1-UF.R3	AMOSTRA 2-BR-EL1 APLICADA NA ULTRAFILTRAÇÃO (3 BAR) - RETIDO	
13 - BR-UF.P4	AMOSTRA 1-BR APLICADA NA ULTRAFILTRAÇÃO (2 BAR) - PERMEADO	
14 - BR-UF.R4	AMOSTRA 1-BR APLICADA NA ULTRAFILTRAÇÃO (2 BAR) - RETIDO	
15 - EL1-FG-UF.P5	AMOSTRA 17-EL1-FG APLICADA NA ULTRAFILTRAÇÃO (2 BAR) - PERMEADO	
16 - EL1-FG-UF.R5	AMOSTRA 17-EL1-FG APLICADA NA ULTRAFILTRAÇÃO (2 BAR) - RETIDO	
17- EL1-FG	AMOSTRA 2-BR-EL1 APLICADA NA FILTRAÇÃO GRANULAR	

FONTE: O autor (2023)

### 3.2.2 Coleta e preparo do efluente

Para realização do tratamento avançado foram coletadas amostras, em recipientes de polietileno, do efluente tratado (saída da calha parshall) na unidade de abate de suínos - Frigorífico RPF localizado na cidade de Bocaiúva do Sul/PR e armazenadas refrigeradas no laboratório EMULTEC, disponibilizado para realização dos ensaios.

#### 3.2.2.1 Quantificação da água utilizada no frigorífico RPF

As linhas verde/vermelha, contam com um conjunto de moto bomba para recalque até o início do tratamento, KSB/IMBI de 80 m<sup>3</sup>/h com sucção afogada, recalque de 3 bar, com execução na horizontal, estágio único, sucção simples horizontal e recalque na vertical para cima.

Com a especificação da bomba, foi instalado um horímetro analógico Sibratec BZ142-1HM, cuja função é registrar o tempo em que a bomba permanece ligada de forma acumulativa, registrando assim o tempo de trabalho da moto bomba e consequentemente a quantidade de água passante, com isso foi possível quantificar a água tratada na ETE e a média de água por cabeça de suíno abatido.

Para determinação do total de água tratada por dia na ETE foi calculado através da equação (1)

$$V_{AT} = t_{horímetro} \cdot Q_{bomba} \quad (1)$$

Onde  $V_{AT}$  é o volume total de água tratada diariamente ( $m^3/dia$ ),  $t_{horímetro}$  é a leitura do tempo que a bomba ficou ligada (h/dia) e  $Q_{bomba}$  é a vazão da bomba fornecida pelo fabricante no datasheet ( $m^3/h$ ).

A partir da determinação do volume total tratado na ETE em 24 horas e com as informações da indústria com relação a quantidade de animais abatidos em um determinado dia, pode-se ter a relação de quantidade de água por suíno, calculada através da equação (2)

$$V_{A,s} = \frac{V_{AT}}{SA_{dia}} \quad (2)$$

Onde  $V_{A,s}$  corresponde a quantidade de água tratada para cada suíno abatido diariamente e  $SA_{dia}$  é a quantidade de suínos abatidos no dia, conforme dados fornecidos pelo frigorífico.

Através dos valores obtidos nas equações 1 e 2, é feita uma média aritmética nos valores de  $V_{AT}$  e  $V_{A,s}$ , com valores calculados em 1 semana de processo, obtendo-se o valor diário médio de efluente tratado da ETE e volume de água utilizado por suíno abatido.

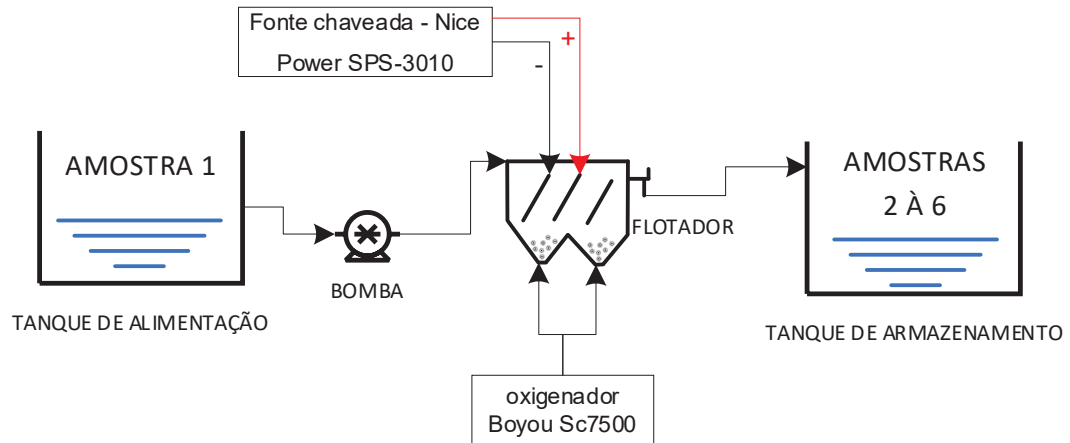
A quantificação da água tratada em sua totalidade é importante na etapa deste estudo onde será levantado qual seria o tamanho da unidade a ser instalada no Frigorífico RPF, levando em consideração que 30% do volume total tratado pelo frigorífico retornaria para dentro da indústria em forma de água de reuso, nas áreas que não tenham contato com o alimento conforme normativa sanitária.

### 3.2.3 Eletrofloculação

Os ensaios de eletrofloculação foram realizados seguindo a metodologia adaptada de Combatt *et al.* (2017), em um flotor de bancada, confeccionado por este autor em material acrílico com capacidade de 4,4 litros. O fluxograma do processo e a unidade de EL de bancada estão representados na

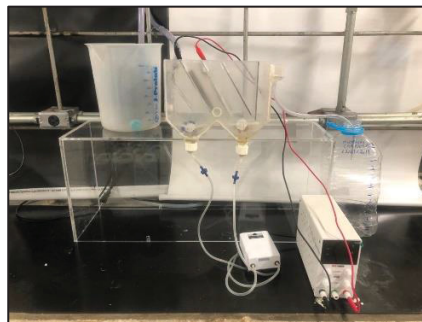
FIGURA 8 e FIGURA 9, respectivamente

FIGURA 8 – ENSAIO DE BANCADA DO PROCESSO DE ELETROFLOCULAÇÃO



FONTE: O autor (2023)

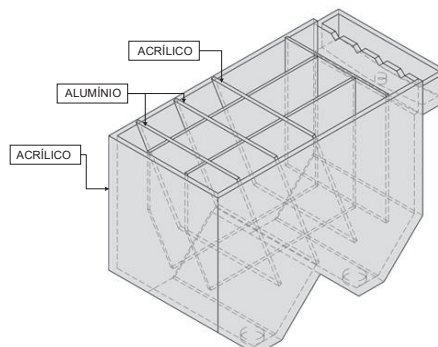
FIGURA 9 – UNIDADE DE ELETROFLOCULAÇÃO DE BANCADA



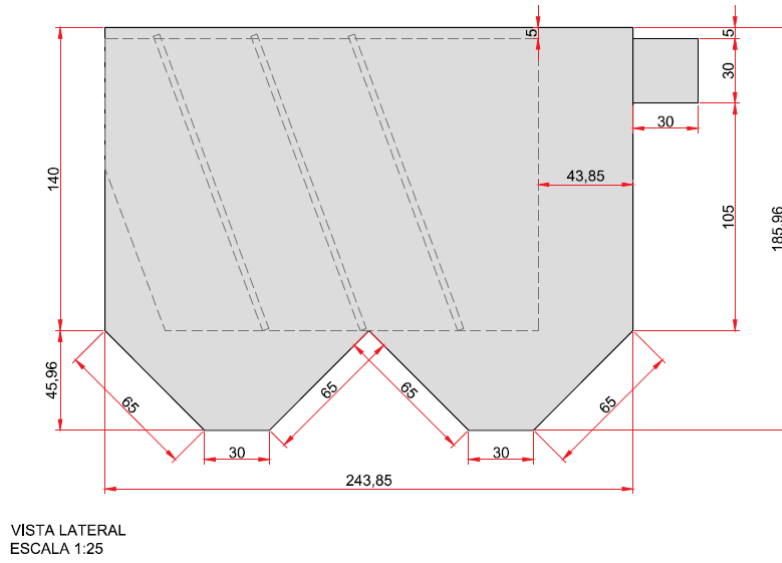
FONTE: O autor (2023)

O processo foi aplicado em fluxo contínuo, onde duas placas de alumínio 145x130x3 mm foram inseridas no flutuador, com espaçamento de 45 mm entre elas. FIGURA 10 e FIGURA 11.

FIGURA 10 – FLOTADOR FABRICADO PARA OS ENSAIOS DE ELETROFLOCULAÇÃO

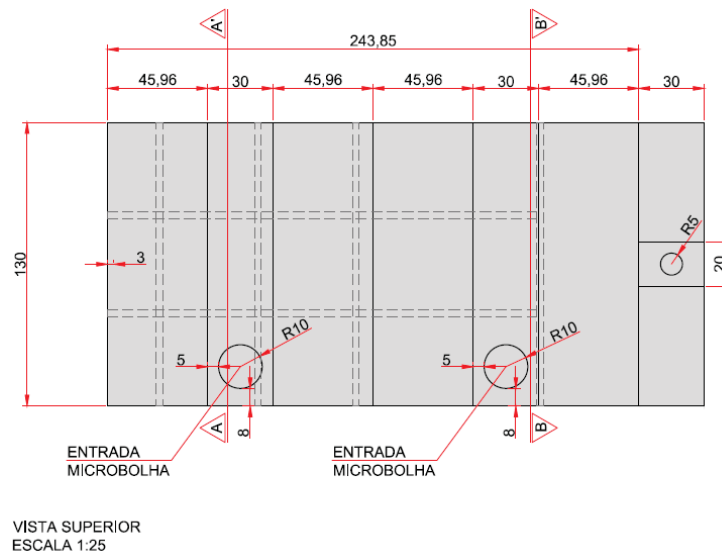


FONTE: O autor (2023)  
FIGURA 11 – DIMENSIONAMENTO DO FLOTADOR FABRICADO – VISTA LATERAL



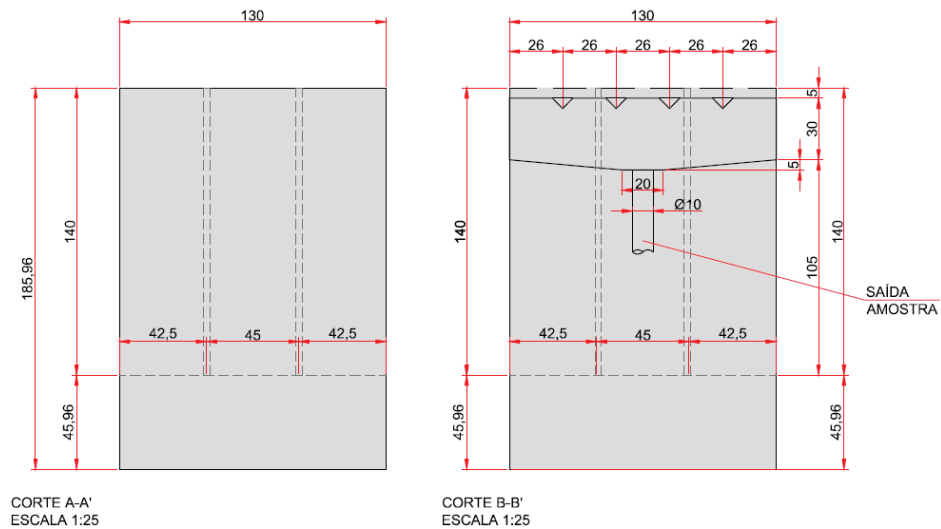
FONTE: O autor (2023)

FIGURA 12 – DIMENSIONAMENTO DO FLOTADOR FABRICADO – VISTA SUPERIOR COM CORTES



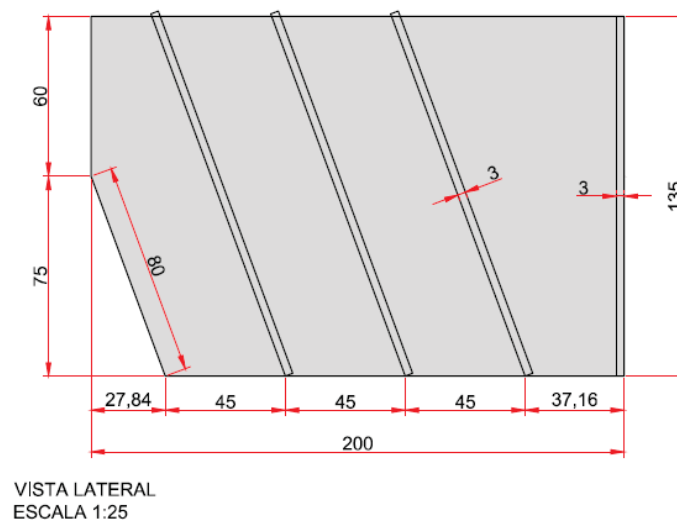
FONTE: O autor (2023)

FIGURA 13 – DIMENSIONAMENTO DO FLOTADOR FABRICADO – CORTE A-A' E B-B'



FONTE: O autor (2023)

FIGURA 14 – DIMENSIONAMENTO DO FLOTADOR FABRICADO – VISTA DO SUPORTE DAS PLACAS



FONTE: O autor (2023)

As placas de alumínio são caracterizadas por apresentarem uma pureza de 96,55% (TABELA 1), seguindo uma relação entre a área de eletrodo e o volume do efluente igual a  $52 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$ . Foi aplicada uma conexão elétrica em paralelo, entre os eletrodos, por meio de uma corrente contínua utilizando uma fonte chaveada de bancada digital Nice Power SPS-3010, ajustável de 0 à 30VDC e 0 à 5A.

TABELA 1 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA PLACA DE ALUMÍNIO UTILIZADA

LIGAS ABNT e ASTM	Al (%)	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Cr (%)	Zn (%)	OUTROS CADA (%)	OUTROS TOTAL (%)
5052	96,55	0,25	0,40	0,10	0,10	2,2	0,15	0,10	0,05	0,15

FONTE: NBR 6835 (2000)

### 3.2.3.1 Condições experimentais - Eletrofloculação

A primeira etapa de eletrofloculação teve como objetivo a execução de testes em diferentes condições e, a partir dos resultados, obter o arranjo mais adequado para o tratamento avançado proposto.

No processo de eletrofloculação foi avaliada a influência de duas variáveis de processo: vazão de alimentação e densidade de corrente elétrica aplicada. A primeira variável influencia no tempo de eletrólise da solução presente dentro do flotor e a segunda variável, na quantidade de remoção de agente físicos e químicos na variação da densidade da corrente aplicada às placas metálicas.

A 1-BR, efluente bruto proveniente do tratamento da ETE do Frigorífico RPF, foi coletada e submetida diretamente ao processo de eletrofloculação, mantendo as condições de temperatura e pH do efluente tratado no frigorífico e lançado na calha do rio, ou seja, pH entre 6,00 e 6,50 e temperatura entre 24 e 25 °C. Isto é, não é necessária qualquer modificação da amostra para submetê-la ao tratamento avançado.

As condições avaliadas no processo de eletrofloculação foram: densidade de corrente (27,4 e 55,7 A m<sup>-2</sup>), vazão de efluente (3,84, 11,89 e 55,04 L h<sup>-1</sup>) e tempo de retenção no sistema (68,70, 22,50 e 4,80 min) conforme mostrado na TABELA 2.

TABELA 2 – CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS - ELETROFLOCULAÇÃO

CÓDIGO DA AMOSTRA	VAZÃO (l/h)	TEMPO DE RETENÇÃO (min)	VOLTAGEM (V)	AMPERAGEM (Ampere)	DENSIDADE DE CORRENTE (A.m <sup>-2</sup> )
2 – BR-EL1	3,84	68,70	30,05	1,050	55,70
3 – BR-EL2	3,84	68,70	15,28	0,516	27,40
4 – BR-EL3	11,89	22,50	30,50	1,050	55,70
5 – BR-EL4	11,89	22,50	15,28	0,516	27,40

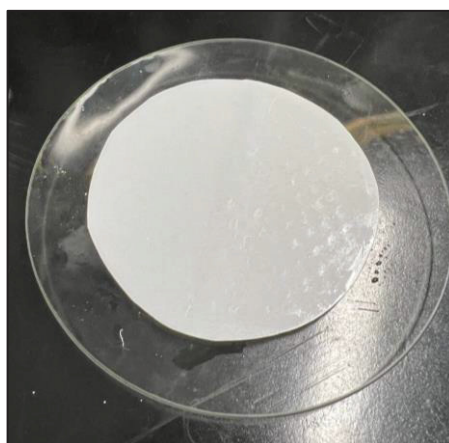
CÓDIGO DA AMOSTRA	VAZÃO (l/h)	TEMPO DE RETENÇÃO (min)	VOLTAGEM (V)	AMPERAGEM (Ampere)	DENSIDADE DE CORRENTE (A.m <sup>-2</sup> )
6 – BR-EL5	55,04	4,80	30,50	1,050	55,70

FONTE: O autor (2023)

### 3.2.4 Ultrafiltração

Os ensaios de ultrafiltração foram realizados segundo metodologia adaptada de Silva (2013), na unidade de ultrafiltração com membranas poliméricas (NADIR US100 P): membranas filtrantes de microfiltração PE/PP: polietileno e polipropileno, diâmetro de poro de 100 kDa e área superficial de 0,0056 m<sup>2</sup>, espessura de 210 – 250 µm, representada na FIGURA 15.

FIGURA 15 – MEMBRANAS POLIMÉRICAS (NADIR US100 P)

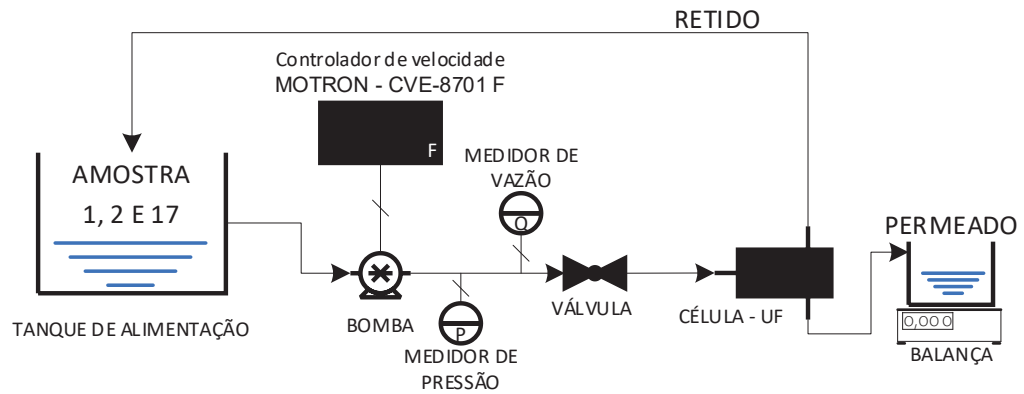


FONTE: O autor (2023)

A unidade de ultrafiltração é composta por um tanque de PVC, com capacidade de 10 L para armazenamento da amostra de alimentação do sistema, conectado a uma bomba pressurizadora (SeaFlo, modelo SFDP1) ajustada por um controlador de velocidade (MOTRON, modelo CVE-8701 F). A vazão de alimentação utilizada foi de 100 L h<sup>-1</sup>, circulando por mangueiras de PVC acopladas à célula de permeação, onde se encontra a membrana, e o ajuste da pressão foi realizado através de uma válvula globo com monitoramento por manômetro (Famabras).

Na FIGURA 16 e FIGURA 17 estão representados o fluxograma da unidade de ultrafiltração e a unidade de bancada.

FIGURA 16 – ENSAIO DE BANCADA DO PROCESSO DE ULTRAFILTRAÇÃO



FONTE: O autor (2023)

FIGURA 17 – UNIDADE DE ULTRAFILTRAÇÃO DE BANCADA



FONTE: O autor (2023)

### 3.2.4.1 Condições experimentais - ultrafiltração

Para o processo de ultrafiltração foi utilizada a amostra pós eletrofloculação que apresentou os melhores parâmetros obtidos nas análises preliminares (amostra 2-BR-EL1) e uma amostra pós filtração granular. Na TABELA 3 estão apresentadas as condições experimentais dos ensaios de ultrafiltração.

No processo de ultrafiltração foram aplicadas diferentes condições de pressão transmembrana a fim de averiguar parâmetros como fluxo de permeado, fator de concentração e parâmetros de qualidade de água.

TABELA 3 – ENSAIOS REALIZADOS NA ULTRAFILTRAÇÃO

CÓDIGO DA AMOSTRA	VAZÃO (l/h)	TEMPO DE ENSAIO	MASSA (Kg)	PRESSÃO (bar)
7 -EL1-UF.P1	100	Variável	2,00	1,0
8 -EL1-UF.R1	100	Variável	2,00	1,0
9 - EL1-UF.P2	100	Variável	2,00	2,0
10 - EL1-UF.R2	100	Variável	2,00	2,0
11 - EL1-UF.P3	100	Variável	2,00	3,0
12 - EL1-UF.R3	100	Variável	2,00	3,0
13 - BR -UF.P4	100	Variável	2,00	2,0
14 - BR -UF.R4	100	Variável	2,00	2,0
15 - EL1-FG-UF.P5	100	Variável	2,00	2,0
16 - EL1-FG-UF.R5	100	Variável	2,00	2,0

FONTE: O autor (2023)

Os experimentos foram realizados adotando regime em batelada, que consiste na remoção do permeado e retorno da corrente retida para o tanque de alimentação, ou seja, o volume da solução de alimentação diminui e a concentração de alimentação aumenta.

Inicialmente, antes de cada ensaio de ultrafiltração, com a membrana limpa, o sistema foi alimentado com água deionizada e vazão fixada em 100 L h<sup>-1</sup>, variando a pressão (1, 2 e 3 bar), por um tempo 10 min de permeação em cada pressão, e realizou-se a medida do fluxo do permeado (fluxo da membrana limpa). Esta etapa é importante para garantir que a membrana foi limpa corretamente após utilização em ensaios anteriores e para verificar se a permeabilidade da membrana continua próxima à da membrana nova.

Em cada ensaio foi utilizado um volume inicial de 4 litros de amostra. A medida da massa de permeado foi registrada em intervalos regulares de tempo até atingir uma

massa de 2 kg de permeado. Ao final de cada ensaio foram retiradas alíquotas da alimentação, do permeado e do retido para serem submetidas às análises dos parâmetros de qualidade.

A análise do perfil dinâmico do processo de ultrafiltração foi efetuada através do estudo dos modelos das resistências em série.

#### 3.2.4.2 Incrustação da membrana

A avaliação da incrustação foi realizada a partir de dados pré e pós processo de UF com cada efluente e pressão empregada. Antes de todos os ensaios foi feita a passagem de água deionizada na membrana com a pressão que seria aplicada no ensaio específico por 10 minutos e anotado a massa de permeado a cada minuto, após o processo de UF com a amostra testada foi passado novamente água deionizada por 10 min e anotado a massa de permeado a cada minuto. Com esses resultados foi possível averiguar a porcentagem da redução de fluxo de permeado causado pela compactação, resistência ao fluxo de massa devido à polarização de concentração.

#### 3.2.4.3 Modelo das resistências em série

Neste modelo, o fluxo de permeado ( $J_p$ ) é descrito em função da pressão transmembrana e da resistência total, conforme a equação (3).

$$J_p = \frac{\Delta P}{\mu \cdot R_T} \quad (3)$$

Sendo:

$\mu$  - viscosidade da solução que permeia a membrana (Pa s);

$R_T$  - resistência total ao processo de filtração ( $m^2 \text{ kg}^{-1}$ ).

A resistência total é a somatória dos efeitos resistivos que ocorrem durante a ultrafiltração e pode ser calculada através da equação (4)

$$R_T = R_M + R_F + R_P \quad (4)$$

Onde:

$R_M$  - resistência específica da membrana ( $m^2 \text{ kg}^{-1}$ );

$R_F$  - resistência devido à formação de *fouling* ( $m^2 \text{ kg}^{-1}$ );

$R_P$ - resistência devido à camada de polarização (efeito da polarização por concentração e formação da torta na superfície da membrana) ( $m^2 \text{ kg}^{-1}$ ).

O valor da resistência específica da membrana ( $R_M$ ) foi obtido por meio do valor de fluxo com água para a membrana limpa ( $J_W$ ) e a viscosidade da água ( $\mu_W$ ), conforme a equação (5). Nestas condições as resistências por polarização e *fouling* são nulas.

$$R_W = \frac{\Delta P}{\mu_W \cdot J_W} \quad (5)$$

A resistência devido ao *fouling* foi determinada pelo cálculo da resistência total a partir da medida de fluxo com água obtido após a operação de ultrafiltração das amostras ( $J'_W$ ) e com a viscosidade da água. Como se utiliza somente água neste processo, a resistência por polarização pode ser desprezada e, portanto, o cálculo é feito de acordo com a equação (6).

$$R_F = \frac{\Delta P}{\mu_W \cdot J'_W} - R_M \quad (6)$$

O valor de  $R_P$  foi calculado através da equação (4) a partir dos valores calculados das demais resistências, sendo  $R_T$  obtida pelo valor de fluxo estacionário de permeado do processo de ultrafiltração das amostras.

#### 3.2.4.4 Parâmetros de avaliação do processo de ultrafiltração

Os seguintes parâmetros de resposta foram avaliados no processo de ultrafiltração:

- Fluxo de permeado ( $J_p$ )
- Fator de concentração ( $F_C$ )
- Coeficiente de rejeição ( $C_R$ )
- Permeabilidade hidráulica ( $P_H$ )

O fluxo de permeado médio foi obtido por gravimetria através da medição do valor da massa do permeado coletado em recipiente, previamente tarado, disposto

sobre uma balança semi-analítica (EXACTA, modelo BL-6200B), em tempos determinados. O valor de fluxo foi calculado através da equação (7).

$$J_P = \frac{\Delta_m}{S \cdot t} \quad (7)$$

Sendo:

$J_P$  - fluxo de permeado ( $\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-1}$ );

$\Delta_m$  - massa de permeado coletada durante em determinado tempo (kg);

$S$  - área superficial da membrana ( $\text{m}^2$ );

$t$  - tempo de coleta do permeado (h).

O fator de concentração expressa o grau de concentração da solução alimentada, e pode ser calculado através da equação (8).

O coeficiente de rejeição indica a relação entre o soluto que permeia a membrana e o que é retido, seu valor pode ser obtido através da equação (9).

$$F_C = \frac{m_I}{m_I \cdot m_P} \quad (8)$$

$$CR(\%) = \left(1 - \frac{C_P}{C_B}\right) \cdot 100 \quad (9)$$

Sendo:

$m_I$  - massa de amostra alimentada no início do processo (kg);

$m_P$  - massa de permeado acumulada durante um período de tempo (kg);

$C_P$  - concentração do soluto na corrente de permeado ( $\text{mg L}^{-1}$ );

$C_B$  - concentração do soluto na corrente de alimentação ( $\text{mg L}^{-1}$ ).

A permeabilidade hidráulica foi obtida através dos valores de fluxo de permeado em diferentes pressões transmembrana utilizando água. Sendo assim, a única resistência oferecida ao processo é a intrínseca à membrana, portanto a relação entre o fluxo e a pressão é linear, conforme apresentado na equação (10) (HABERT; BORGES; NOBREGA, 2006).

$$J_P = P_H \cdot \Delta P \quad (10)$$

Sendo:

$J_P$  - fluxo de permeado ( $\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-1}$ );

$P_H$  - permeabilidade hidráulica ( $\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-1} \text{MPa}^{-1}$ )

$\Delta P$  - pressão transmembrana aplicada (MPa)

#### 3.2.4.5 Procedimento de limpeza da membrana

Após cada ensaio de ultrafiltração, a membrana utilizada foi submetida a um processo de limpeza com o objetivo de preservar e recuperar sua capacidade de permeabilidade, conforme metodologia descrita por Gerke (2016).

Ao término de cada ensaio de ultrafiltração a membrana foi lavada com água deionizada a fim de retirar as partículas maiores retidas na superfície, na sequência foi submersa em uma solução de NaOH 0,1 M por 24 h, e em seguida, em uma solução de hipoclorito de sódio 500 ppm por 1 h.

Estes procedimentos foram realizados nas membranas desconectadas da unidade de ultrafiltração, a qual foi submetida a limpeza por meio de sucessivos enxágues com água. Após o tratamento químico a membrana passou por sucessivos enxágues e sua permeabilidade hidráulica foi determinada. Caso os valores de permeabilidade hidráulica não estivessem próximos aos obtidos em ensaios anteriores, os ciclos de limpeza seriam repetidos.

#### 3.2.5 Filtração granular

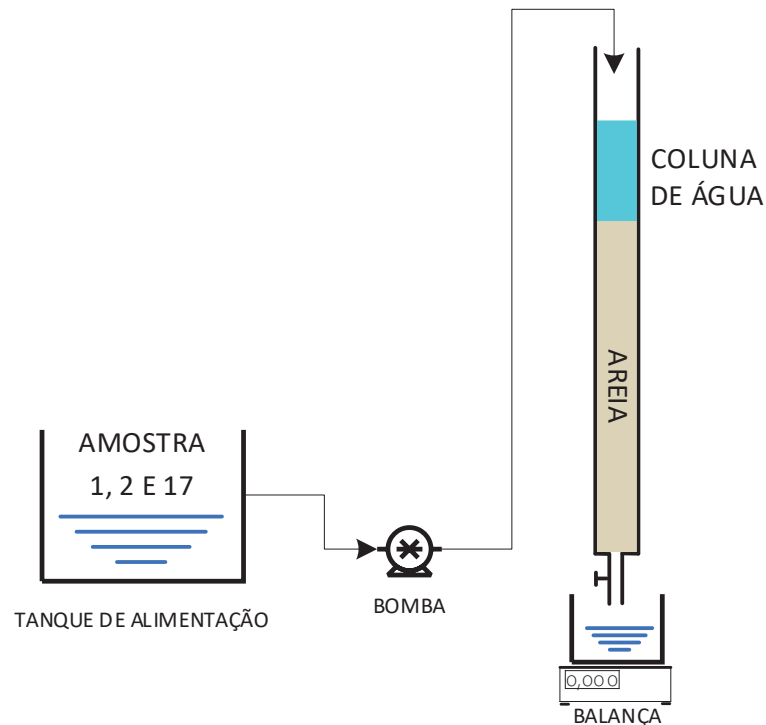
Os ensaios de filtração granular foram realizados segundo metodologia adaptada Silva (2020), realizado em uma coluna de vidro de 80 cm de altura e 5 cm de diâmetro, contendo areia com  $d_{90} = 0,46$  mm como material filtrante. A filtração foi realizada de forma gravitacional, exercida por uma coluna de 40 cm de amostra acima da coluna de areia, com alimentação na parte superior da coluna realizada através de uma bomba peristáltica (Milan, modelo BP631).

O processo de filtração granular foi realizado com fins comparativos com o processo de UF. Analisando os dois processos a UF trata-se de uma técnica mais avançada, em meio as aplicadas neste estudo, enquanto a filtração granular é um método convencional e conseqüentemente menos oneroso. Com isso o intuito deste ensaio é apresentar os resultados em comparação com o ensaio da UF e se os

resultados da filtração granular estão dentro dos parâmetros da qualidade de água de reuso.

A taxa de filtração se manteve em  $0,63 \text{ m h}^{-1}$ , acima do mínimo de  $0,1 \text{ m h}^{-1}$  recomendado pela literatura (OLIVEIRA; SCHNEIDER, 2019).

FIGURA 18 – ENSAIO DE BANCADA DO PROCESSO DE ULTRAFILTRAÇÃO



FONTE: O autor (2023)

### 3.3 ANÁLISE LABORATORIAL

Foi realizada a análise da composição para caracterização do efluente tratado na ETE do Frigorífico RPF e das amostras obtidas após cada etapa experimental do trabalho. A avaliação das amostras é indispensável para caracterização geral do efluente e avaliação da eficiência do tratamento avançado proposto. A metodologia adotada da norma SMWW.

Foram realizadas 9 análises preliminares nas 17 amostras obtidas: temperatura, pH, cor, condutividade, turbidez, DQO, ST TDS e SST, conforme QUADRO 5. Inicialmente esta caracterização foi realizada no efluente bruto proveniente da amostra da ETE do Frigorífico RPF, e nas seis amostras provenientes

dos testes de eletrofloculação para escolha da condição experimental que resultou na amostra com melhores parâmetros para, então, aplicar no processo de ultrafiltração.

Os ensaios de ultrafiltração foram realizados nas três pressões determinadas, conforme descrito na TABELA 3, inicialmente com o efluente bruto (amostra 1-BR) e posteriormente com a amostra resultante da eletrofloculação (amostra 2-BR-EL1). Cada ensaio de ultrafiltração resulta em duas amostras, uma de permeado e outra retida pela membrana, ou seja, foram obtidas oito novas amostras.

Além das amostras provenientes da eletrofloculação e ultrafiltração, outras amostras (14-EL1-FG-UF.P5, 15-EL-FG-UF.R5 e 17-EL1-FG) foram obtidas após o teste de filtração granular. A amostra 17 foi obtida através da combinação dos processos de eletrofloculação e filtração granular, enquanto as amostras 14-EL1-FG-UF.P5 e 15-EL-FG-UF.R5, retido e permeado, respectivamente, são provenientes da combinação eletrofloculação + filtração granular + ultrafiltração.

QUADRO 5 – ANÁLISES LABORATORIAIS PRELIMINARES - METODOLOGIA

VARIÁVEL	MÉTODO	ANÁLISE	EQUIPAMENTOS (continua)
Temperatura (°C)	SMWW2550B	Leitura Direta	Multiparâmetros (AKSO, modelo Combo 5)
pH	SMWW4500-H+	Leitura Direta	
Condutividade (µS)	SMWW2510B	Leitura Direta	
TDS (mg L <sup>-1</sup> )	SMWW2540D	Leitura Direta	
Turbidez (NTU)	SMWW2130/B	Leitura Direta	Turbidímetro (POLICONTROL, modelo AP2000 WT)
DQO	SMWW4500/O-G	Colorimetria	Bloco de aquecimento (NANOCOLOR, modelo Vario Mini) e Espectrofotômetro UV-VIS (SHIMADZU, modelo 1800)
Cor ( Pt Co)	SMWW2130/B	Leitura Direta	Espectrofotômetro (MINISCAN, modelo XE Plus)
ST	SMWW2540F	Gravimétrica	Dessecador de vidro, proveta volumétrica, capsula de porcelana, estufa, mufla e balança analítica.
SST	SMWW2540D	Gravimétrica	Dessecador de vidro, proveta volumétrica, capsula de porcelana, sistema de filtração, bomba de vácuo, kitassato estufa, mufla e balança analítica. Microfiltro de fibra de Vidro de 1,2 micrometros e diâmetro de 47mm (MN, modelo GF-1)

FONTE: O autor (2023)

Após a realização da caracterização das amostras, foram escolhidas as principais amostras obtidas de acordo com os resultados, descritas no QUADRO 6, e submetidas a análises complementares.

QUADRO 6 – PRINCIPAIS AMOSTRAS

<b>CÓDIGO DA AMOSTRA</b>	<b>DESCRIÇÃO DA AMOSTRA</b>
1 - BR	EFLUENTE BRUTO PROVENIENTE DA SAÍDA DA ETE DO FRIGORÍFICO
2 – BR-EL1	AMOSTRA 1-BR APLICADO NA ELETROFLOCULAÇÃO (Melhor resultado entre as amostras de eletrofloculação)
9 – EL1-UF.P2	AMOSTRA 2-EL1 APLICADO NA UF – 2 bar (Melhor resultado entre as amostras de UF)
13 – BR-UF.P4	AMOSTRA 1-BR APLICADO NA UF – 2 bar (motivos de comparação com a amostra 2-BR-EL1)
15 – EL1-FG-UF.P5	AMOSTRA 17-EL1-FG1 APLICADO NA UF – 2 bar (motivos de comparação com a amostra 9-EL1-UF.P2)
17 – EL1-FG	AMOSTRA 2-EL1 APLICADO NA FILTRAÇÃO GRANULAR

FONTE: O autor (2023)

As amostras escolhidas foram submetidas a análises laboratoriais específicas em laboratório externo. Todas as amostras de eletrofloculação, ultrafiltração e filtração granular, foram analisadas seguindo os parâmetros descritos na QUADRO 7, sendo elas: cálcio, ferro, sulfato, potássio, coliformes termotolerantes / fecais, coliformes totais. (APHA ET AL., 2012.).

QUADRO 7 – PARÂMETROS PARA CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DO EFLUENTE PRÉ E PÓS-TRATAMENTO AVANÇADO

<b>PARÂMETRO</b>	<b>REFERÊNCIA (continua)</b>
TEMPERATURA	SMWW2550B
pH	SMWW4500-H+
SALINIDADE	SMWW2520B
COR	SMWW2120C
CONDUTIVIDADE	SMWW2510B
TURBIDEZ	SMWW2130/B
DUREZA	SMWW2340C
DQO	SMWW5220D
DBO	SMWW5210B
ST	SMWW2540F
SST	SMWW2540D

PARÂMETRO	REFERÊNCIA (continua)
TDS	SMWW2540E
CÁLCIO	SMWW3500Ca
FERRO	SMWW3500Fe
SULFATO	SMWW4500SO42E
POTÁSSIO	SMWW3030E,F e 3500-K
COLIFORMES TERMOTOLERANTES / FECAIS	SMWW9225
COLIFORMES TOTAIS	SMWW9225

FONTE: O autor (2023)

## 4 RESULTADOS

### 4.1 QUANTIFICAÇÃO DA ÁGUA TRATADA NA ETE

Com a leitura do horímetro, ligado a moto bomba de recalque da ETE, foi feita a quantificação média do efluente tratado de 549,40 m<sup>3</sup>/dia e volume médio diário de água utilizada por suíno no Frigorífico RPF de 0,586 m<sup>3</sup> como apresentado na TABELA 4.

TABELA 4 – QUANTIFICAÇÃO DA ÁGUA TRATADA NA ETE

DATA DA LEITURA	ABATE DE SUÍNOS (PORCO/DIA)	LEITURA DO HORÍMETRO	TEMPO DA BOMBA LIGADA POR DIA (h)	EFLUENTE/DIA (m <sup>3</sup> )	ÁGUA UTILIZADA/SUÍNO (m <sup>3</sup> )
18/10/2021 06:00	918	6,46	-	-	-
19/10/2021 06:00	931	12,95	6,49	519,20	0,566
20/10/2021 06:00	950	19,48	6,53	522,40	0,561
21/10/2021 06:00	968	25,99	6,51	520,80	0,548
22/10/2021 06:00	902	33,02	7,03	562,40	0,581
23/10/2021 06:00	997	41,14	8,12	649,60	0,720
25/10/2021 06:00	916	47,47	6,33	506,40	0,508
26/10/2021 06:00	932	54,32	6,85	548,00	0,598
27/10/2021 06:00	-	61,40	7,08	566,40	0,608
MÉDIA	939,25	-	6,87	549,40	0,586

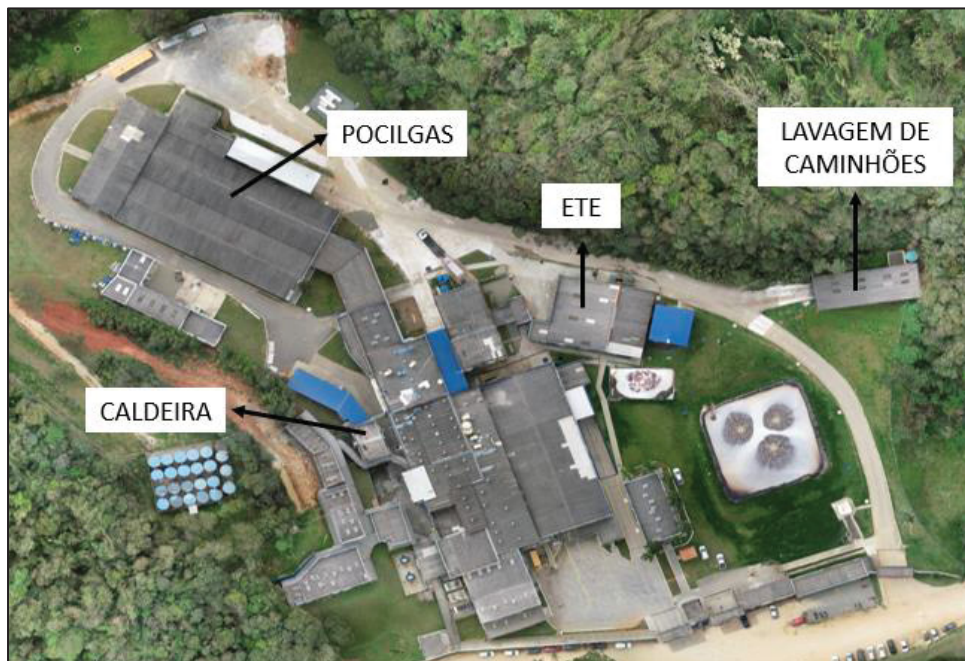
FONTE: O autor (2023)

#### 4.1.1 Possíveis locais para emprego da água de reuso

Foi realizada visita técnica na planta do Frigorífico RPF na cidade de Bocaiuva do Sul, com o intuito de analisar as áreas propícias a receber a água de reuso dentro da unidade, seguindo todas as normas e leis vigentes.

A identificação e apontamento das áreas que podem receber a água de reuso estão representados FIGURA 19, sendo las os principais locais dentro da fábrica onde a água de reuso pode ser utilizada como: ETE, pocilga, área de lavagem de caminhões e caldeira, além das áreas externas para irrigação de gramíneas e lavagem do pátio externo. Perante a legislação nenhum ponto que venha a receber a água de reuso pode ter contato com o alimento processado, portanto essas áreas estão fora da área de abate animal.

FIGURA 19 – LOCAIS PARA UTILIZAÇÃO DA ÁGUA DE REUSO NA PLANTA



FONTE: O autor (2023)

#### 4.2 AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE ELETROFLOCULAÇÃO

Durante os ensaios de eletrofloculação foi observado o fenômeno de coagulação das partículas finas presentes na amostra 1-BR, proveniente da ETE do Frigorífico RPF, através da eletrólise.

Outro fator relevante observado na TABELA 5, foi o aumento dos SST - Sólidos em Suspensão Total - nas amostras após o processo de eletrofloculação. Esta análise consiste na filtração de determinada quantidade de amostra em membrana de microfibras de vidro com 1,2  $\mu\text{m}$  de diâmetro de poro, no qual quantifica-se o sólido retido na membrana. Os valores de SST obtidos para a amostra 1-BR são menores em relação aos obtidos nas amostras 2-BR-EL1 a 6-BR-EL5, devido às partículas menores presentes na amostra 1-BR (antes da eletrofloculação). Esse resultado indica a eficiência da eletrofloculação na formação de agentes coagulantes, ou seja, agentes que promovem a junção de partículas pequenas e, conseqüentemente, a formação de partículas maiores, facilitando a remoção das sujidades do efluente.

Através da análise de ST – Sólidos Totais – na qual determinada quantidade de amostra é inserida em cápsulas de porcelana, seguem para secagem em estufa até total evaporação da amostra, restando apenas o sólido para quantificação. Nesta análise as partículas menores, que não são detectadas no ensaio de SST, podem ser quantificadas. Nas demais amostras, pós eletrofloculação, parte das partículas sólidas floculam e saem em formato de lodo na parte superior do flutuador, porém foi verificada uma baixa eficiência das microbolhas instaladas no flutuador, que limitavam a suspensão e, conseqüentemente, a remoção das partículas. Os valores de 50% em média de remoção de ST, da TABELA 5, mostra a eficiência da coagulação e flotação, no processo.

Conforme apresentado anteriormente, foram utilizadas duas variáveis no processo, densidade de corrente e variação de vazão. Para a variação de vazão podemos apontar o tempo de retenção como fator crucial pois conforme a vazão aumenta o tempo de retenção diminui, ou seja, o tempo da amostra, dentro do flutuador, em contato com os agentes coagulantes é menor, refletindo na menor formação de partículas maiores no final da amostra representada nos ensaios. Para variação da densidade de corrente a taxa de  $\text{A.m}^{-2}$  influencia na eficiência da remoção, ou seja, as amostras que foram aplicadas taxas de densidade de corrente maiores apresentaram maiores eficiência de remoção dos parâmetros físicos químicos.

Após a análise das 6 amostras, sendo a amostra 1-BR efluente bruto da ETE e as demais amostras provenientes dos ensaios de eletrofloculação, optou-se pela escolha da amostra 2-BR-EL1 para dar continuidade aos experimentos de ultrafiltração, por apresentar os resultados com melhores parâmetros dentre as amostras deste ensaio. Destaque para maior redução do parâmetro DQO, aumento

expressivo dos SST e, conseqüentemente, o aumento da turbidez, ressaltando a eficiência da técnica de eletrofloculação.

TABELA 5 – CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DO PROCESSO DE ELETROFLOCULAÇÃO

AMOSTRA		ENSAIO					
		1 - BR	2 - BR-EL1	3 - BR-EL2	4 - BR-EL3	5 - BR-EL4	6 - BR-EL5
DBO	(mg L <sup>-1</sup> )	7,6	6,4	6,6	6,6	7,3	7,4
	% de remoção	-	15,8%	13,2%	13,2%	11,8%	2,6%
DQO	(mg L <sup>-1</sup> )	57*	31	44	44	52*	57*
	% de remoção	-	46%	23%	23%	7,7%	0,00%
TURBIDEZ	(NTU)	5	23*	16*	19*	16*	15*
	% de remoção	-	-360%	-220%	-280%	-220%	-200%
ST	(mg L <sup>-1</sup> )	107,3	54,3	54,9	54,6	55,1	55,3
	% de remoção	-	49,4%	48,8%	49,1%	48,6%	48,5%
TDS	(mg L <sup>-1</sup> )	572*	677*	683*	681*	686*	687*
	% de remoção	-	-18,4%	-19,4%	-19,1%	-19,9%	-20,1%
SST	(mg L <sup>-1</sup> )	10	72*	46*	60*	46*	45*
	% de remoção	-	-720%	-460%	-600%	-460%	-450%

FONTE: O autor (2023)

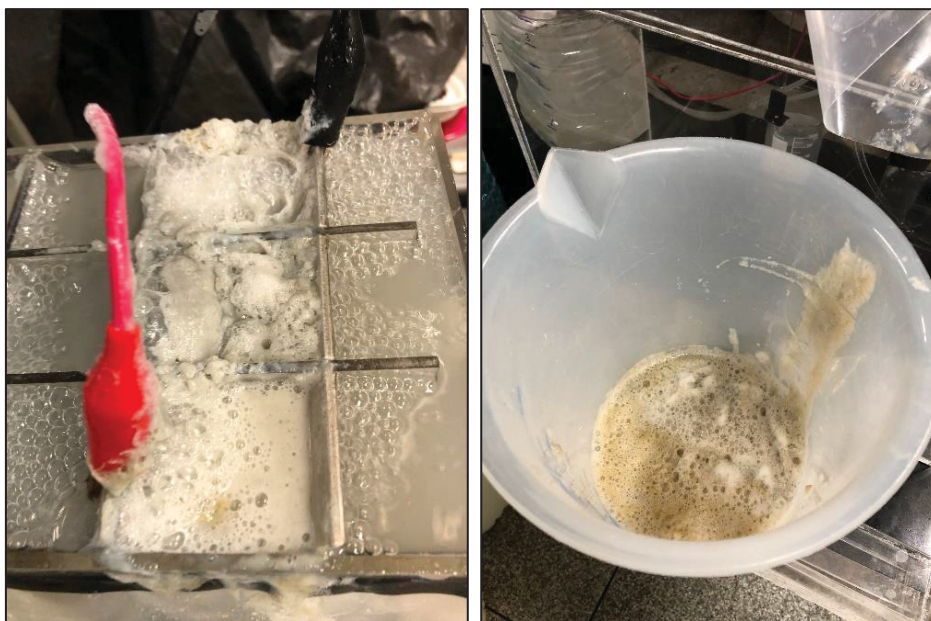
NOTA: \* Valores acima do limite de acordo com a QUADRO 2.

Os resultados da TABELA 5 mostraram que a amostra 1-BR estava com o parâmetro TDS acima do limite dos parâmetros da qualidade da água de reuso, com o processo de eletrofloculação ocorreu eletrólise dos sólidos finos e conseqüentemente o aumento do valor de TDS, colocando assim todas as amostras de eletrofloculação com valores a cima dos limites permitidos para água de reuso.

A DQO do 1-BR está acima do limite dos parâmetros apresentados, porém após o processo de EL as amostras 2 - BR-EL1, 2 - BR-EL2 e 2 - BR-EL3 apresentaram, analisando a DQO separadamente, resultados satisfatórios, ou seja, dentro dos parâmetros legais,

Vale ressaltar que no processo de EL ocorreu a formação de espuma/lodo superficial, conforme apresentado na FIGURA 20, isso se dá com a ação de agentes coagulantes e a aplicação de microbolhas que levam as partículas menores e menos densas que a água até a superfície do flotor.

FIGURA 20 – FORMAÇÃO DE ESPUMA/LODO – REAÇÃO DA ELETRÓLISE



FONTE: O autor (2023)

### 4.3 AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE UF

A amostra, pós processo de eletrofloculação, utilizada para realização dos ensaios de UF foi a 2-BR-EL1, pois apresentou os melhores parâmetros de qualidade em relação às demais. Para fins comparativos, a amostra 1-BR, antes de passar por qualquer tratamento, também foi submetida ao processo de UF, originando as amostras 13-BR-UF.P4 (permeado) e 14-BR-UF.R4 (retido).

As amostras 9-EL1.UF.P2 (permeado) e 10-EL1.UF.R2 (retido), são provenientes da amostra 2-BR-EL1, submetida à UF nas mesmas condições de pressão e vazão que a amostra 1-BR. Enquanto as amostras 14-EL1-FG-UF.P5 (permeado) e 15-EL1-FG-UF.R5 (retido) são provenientes da amostra 2-BR-EL1, submetida inicialmente ao tratamento de FG e em seguida ao processo de UF, também nas mesmas condições de pressão e vazão de alimentação.

As amostras 7-EL1-UF.P1, 9-EL1-UF.P2, 11-EL1-UF.P3, 13-EL1-UF.P4 E 15-EL1-UF.P5, obtidas após o processo de UF, representam o permeado, ou seja o que permeia a membrana. Enquanto as amostras 8-EL1-UF.R1, 10-EL1-UF.R2, 12-EL1-UF.R3, 14-EL1-UF.R4 e 16-EL1-UF.R5 correspondem ao que ficou retido pela membrana, e apresentam valores elevados dos parâmetros de qualidade da água, devido a remoção do permeado do processo com baixa concentração de contaminantes. De maneira geral, esses valores elevados dos parâmetros na amostra retida pela membrana, corroboram com a eficiência do processo de UF, onde o permeado obtido corresponde à uma água de reuso dentro de todos os padrões apresentados na TABELA 6.

TABELA 6 – CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DO PROCESSO DE UF

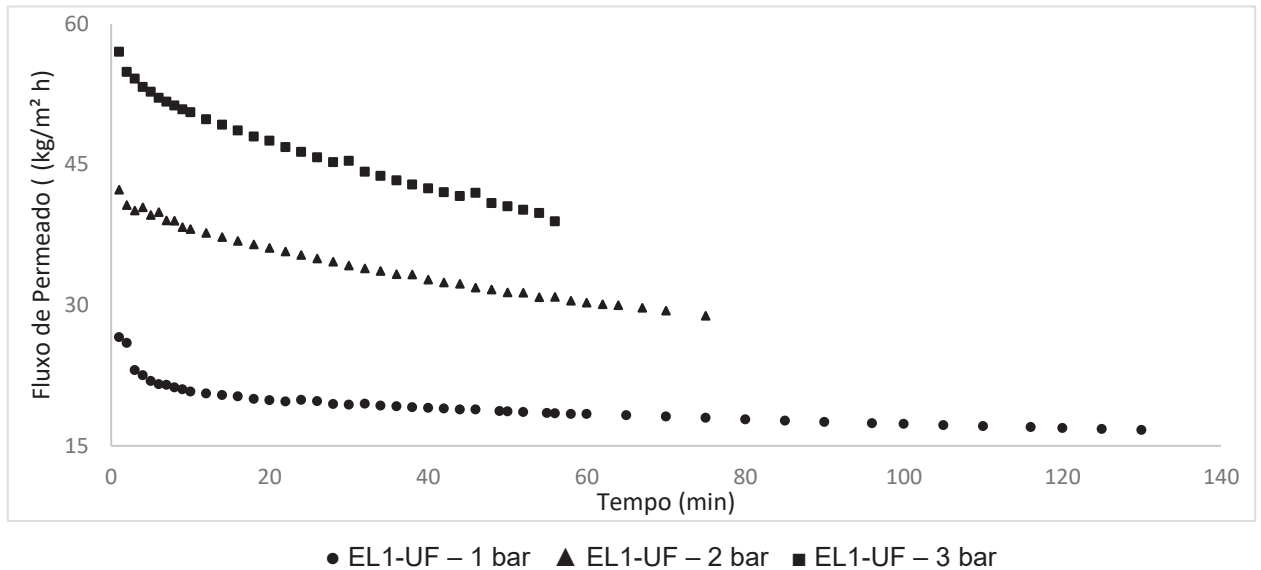
AMOSTRA		1 - BR	2 - BR-EL1	7 - EL1-UF.P1	8 - EL1-UF.R1	9 - EL1-UF.P2	10 - EL1-UF.R2	11 - EL1-UF.P3	12 - EL1-UF.R3	13 - BR-JF.P4	14 - BR-JF.R4	15 - EL1-FG-UF.P5	16 - EL1-FG-UF.R5
ENSAIO													
DBO	(mg L <sup>-1</sup> )	7,6	6,4	< 2	7,1	< 2	7	< 2	7,3	< 2	6,9	< 2	7,1
	% de remoção	-	15,8%	76,6%		76,6%		76,6%		80,3%		76,6%	
DQO	(mg L <sup>-1</sup> )	57*	31	31	57	31	52	28	72	28	77	26	77
	% de remoção	-	45,5%	0,00%		0,00%		9,7%		50,8%		16,1%	
TURBIDEZ	(NTU)	5	23*	2	122	2	128	2	173	2	135	2	161
	% de remoção	-	360%	91,3%		91,3%		91,3%		60%		91%	
ST	(mg L <sup>-1</sup> )	107,3	54,3	42,2	63,5	42,1	61,6	26,9	69,1	39,5	50,1	14,6	40,4
	% de remoção	-	49,4%	60,7%		60,8%		74,9%		63,2%		86,4%	
TDS	(mg L <sup>-1</sup> )	572*	677*	395	482	400	457	402	476	409	443	385	492
	% de remoção	-	-18,4%	41,7%		40,9%		40,6%		28,5%		43,1%	
SST	(mg L <sup>-1</sup> )	10	72*	0	254	0	244	0	250	0	247	0	251
	% de remoção	-	-620%	100%		100%		100%		100%		100%	

FONTE: O autor (2023)

NOTA: \* Valores acima do limite de acordo com a QUADRO 2.

A avaliação da influência da pressão transmembrana está representada na FIGURA 21 e na FIGURA 22, as quais apresentam o fluxo de permeado e o fator de concentração, respectivamente, durante a UF, que consiste no ensaio da amostra 2-BR-EL1 em 3 diferentes pressões, com remoção contínua do permeado até obtenção de 2 kg de amostra.

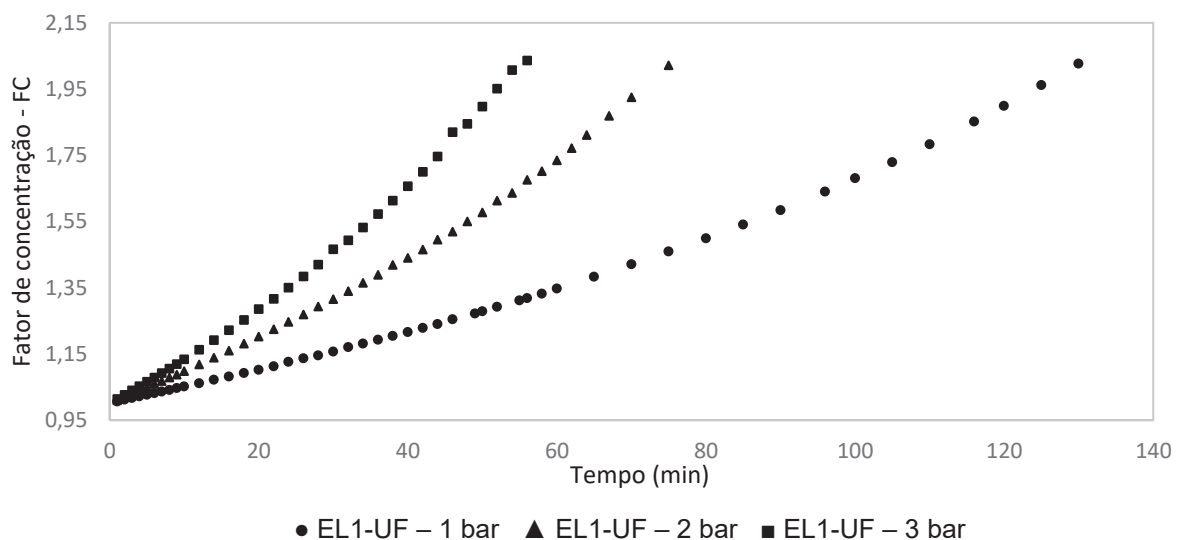
FIGURA 21 – FLUXO DE PERMEADO DURANTE A UF DA AMOSTRA PROVENIENTE DA EF.



Nota: Condições do ensaio da UF: 23 °C; 1,2 e 3 bar, vazão de alimentação 100 L h<sup>-1</sup>, Massa do permeado 2 kg.

Podemos perceber na FIGURA 21 que o fluxo de permeado sofre um ligeiro decréscimo nos primeiros 2 min do processo nas três pressões aplicadas, sendo que para 1 bar de pressão o fluxo de permeado decresce até os primeiros 20 min e após esse tempo o fluxo de permeado mantém-se constante. Para o ensaio de 2 bar o fluxo de permeado deu sinais que iria começar a ficar constante entre 75 e 80 min e para o processo aplicando 3 bar de pressão o fluxo de permeado decresce em todo o experimento. Para todo o processo foi fixado o fator de concentração igual a 2, ou seja, quando permeou 50% da amostra, que é um volume de 2 litros.

FIGURA 22 – FATOR DE CONCENTRAÇÃO DURANTE A UF DA AMOSTRA PROVENIENTE DA EF

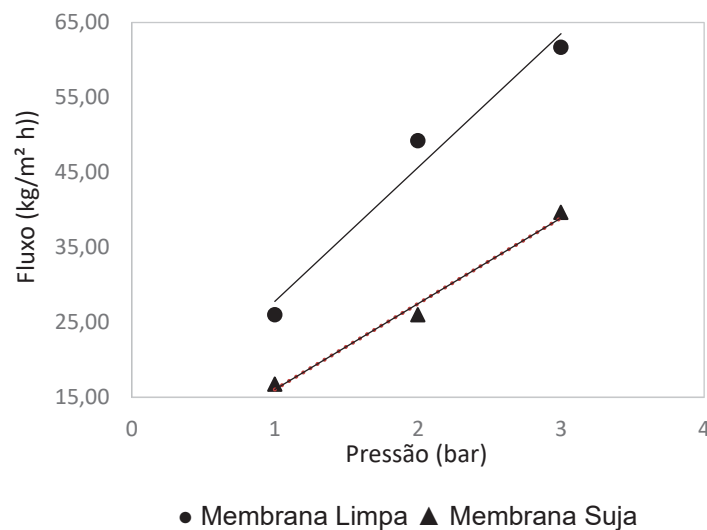


Nota: Condições do ensaio da UF: 23 °C; 1,2 e 3 bar, vazão de alimentação 100 L h<sup>-1</sup>, Massa do permeado 2 kg.

Na FIGURA 22, pode-se observar a diferença de tempo para se obter 2 litros de permeado, ou seja, até atingir um fator de concentração igual a 2, de acordo com a pressão empregada no ensaio, nota-se que na pressão mais elevada (3 bar) o fluxo foi maior, demandando um tempo menor de operação 2 com isso a curva de Fator de concentração mais acentuada.

O fluxo de permeado da água pura foi reduzido em média 39% após o processamento de UF, e a permeabilidade hidráulica reduziu em 36%, conforme apresentado na FIGURA 23. Portanto observa-se que ocorre aproximadamente 1/3 de obstrução durante o processo de UF, porém, o processo pode ser classificado como semi-reversível, no qual a permeabilidade inicial da membrana é restaurada através de um ciclo de limpeza química (STOLLER; OCHANDO-PULIDO, 2014).

FIGURA 23 – FLUXO PERMEADO PARA ÁGUA DEIONIZADA ANTES E APÓS O PROCESSO DE UF



Nota: Condições do ensaio da UF: 23 °C; 1,2 e 3 bar, vazão de alimentação 100 L h<sup>-1</sup>. Massa do permeado 2 kg.

O valor de  $R_P$  causada devido à polarização por concentração apresentou a maior contribuição à resistência total do processo (87,4 %), seguida pela  $R_M$  - Resistência intrínseca da Membrana (8,1 %) e pela resistência  $R_F$  - *fouling* (4,5 %) conforme demonstrado na TABELA 7.

TABELA 7 – VALORES DA RESISTÊNCIA DURANTE O PROCESSO DE UF COM AS AMOSTRAS

NOME	RESISTÊNCIA (kg/m <sup>2</sup> h Pa X 10 <sup>-10</sup> )	CONTRIBUIÇÃO (%)
Membrana (R <sub>M</sub> )	2,013 x10 <sup>9</sup>	8,1 %
Fouling (R <sub>F</sub> )	1,128 x10 <sup>9</sup>	4,5 %
Polarização (R <sub>P</sub> )	2,18 x10 <sup>10</sup>	87,4 %
Total (R <sub>T</sub> )	2,49 x10 <sup>10</sup>	-

FONTE: O autor (2023)

Para o processo de UF, devido a seletividade das membranas, durante o processo de filtração, sempre haverá aumento da concentração do retido, além da concentração próxima a superfície da membrana, onde podemos chamar de polarização por concentração, onde a camada polarizada apresenta uma concentração de soluto na interface da membrana ocorrendo um depósito na superfície da membrana, apresentada na FIGURA 24.

FIGURA 24 – REPRESENTAÇÃO DO CONCENTRAÇÃO DE SOLUTO NA INTERFACE DA MEMBRANA



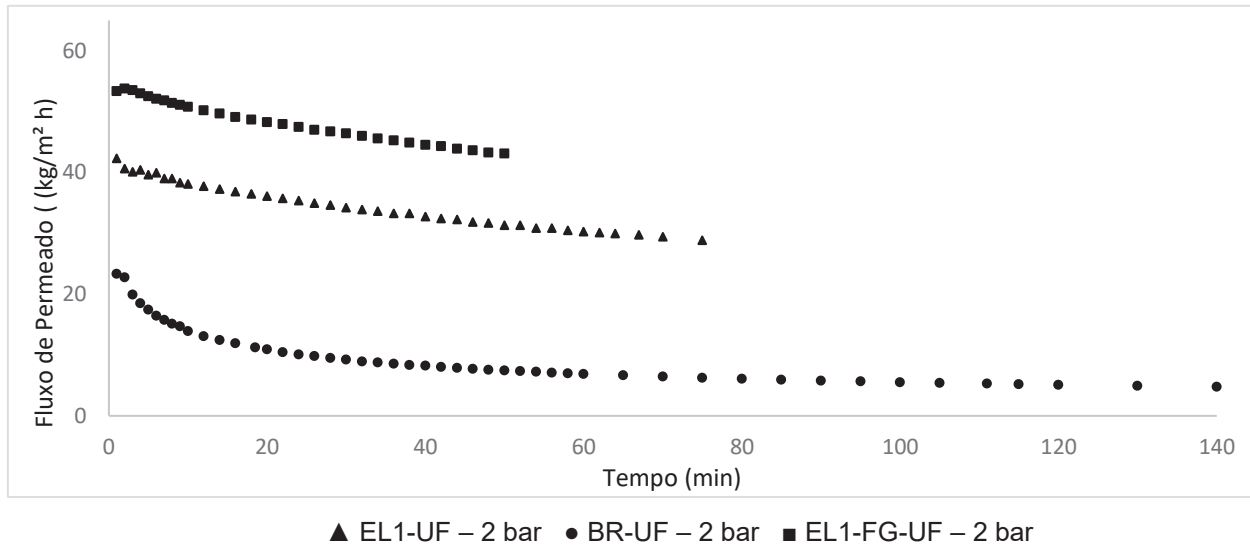
FONTE: O autor (2023)

#### 4.3.1 Aplicação da filtração granular como etapa para remoção de sólidos

Uma etapa de FG após a EF foi aplicada em uma das amostras antes de seguir para o processo de UF, com o objetivo de comparar o fluxo de permeado e o fator de concentração, em três amostras de alimentação com concentrações diferentes, mas mesma pressão transmembrana. Ou seja, uma amostra de efluente bruto, uma amostra pós EL, e uma amostra pós EL e pós FG foram submetidas à UF.

Na FIGURA 25 e FIGURA 26 está apresentada esta comparação, sendo obtidas as amostras de permeado: 13-BR-UF.P4, 9-EL1-UF.P1, e 15-EL1-FG-UF.P5.

FIGURA 25 – FLUXO DE PERMEADO DURANTE A UF A 2 bar



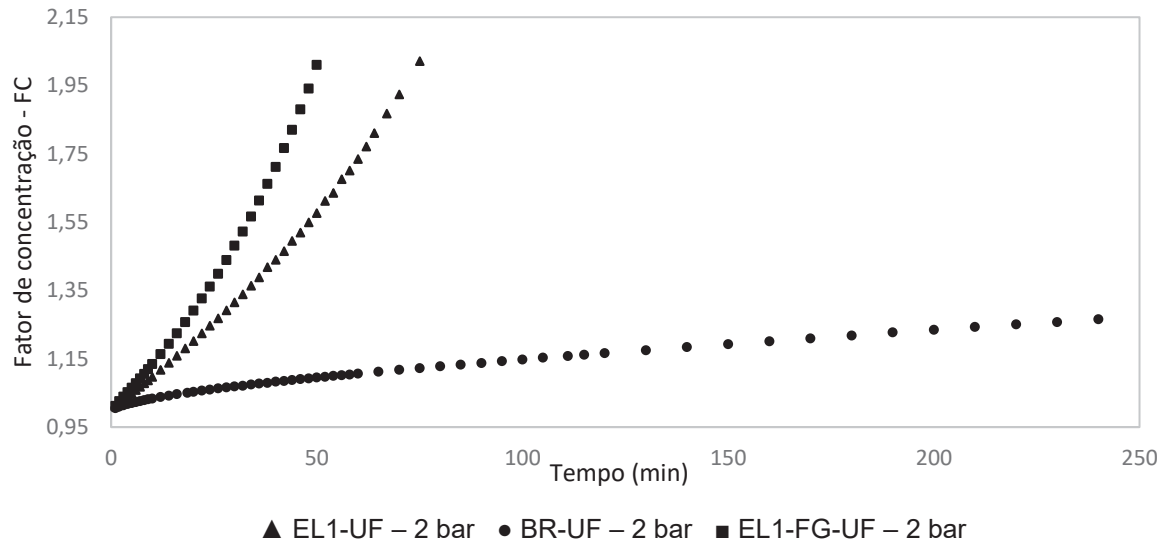
Nota: Condições do ensaio da UF: 23 °C; 2 bar, vazão de alimentação 100 L h<sup>-1</sup>, Massa do permeado 2 kg.

Na FIGURA 25 onde está representado o fluxo de permeado aplicando a mesma pressão porém com efluentes diferentes, sendo o valor com maior fluxo de permeado o efluente proveniente da EL+FG, o efluente que apresentou o menor fluxo de permeado é o efluente bruto aplicado a UF e o efluente que teve seu fluxo de permeado entre 40 kg/m<sup>2</sup>.h, foi o efluente proveniente da EL.

Podemos ver que o efluente proveniente do efluente bruto não chegou a alcançar o fator de concentração igual a 2, ou 2 litros de permeado. Isso se deu pela alta concentração do efluente e incrustação da membrana, diminuindo o fluxo de permeado e deixando o mesmo constante tendendo um fluxo bem baixo.

Para o efluente proveniente da EL, podemos ver um fluxo inicial maior que 40 kg/m<sup>2</sup>.h e após 25 min um fluxo constante de permeado, com baixa variação. No efluente proveniente da EL+FG, com uma filtragem granular antes da UF, vemos a velocidade que se atinge o fator de concentração com um fluxo de permeado alto, isso se dá pelas partículas de sujidades que ficaram retidas na areia da FG e com isso diminuiu a incrustação na membrana no processo de UF.

FIGURA 26 – FATOR DE CONCENTRAÇÃO DURANTE A UF A 2 bar



Nota: Condições do ensaio da UF: 23 °C; 2 bar, vazão de alimentação 100 L h<sup>-1</sup>, Massa do permeado 2 kg.

Temos na FIGURA 26 a representação do fator de concentração, o qual foi alcançado pelas amostras da EL e EL+FG. Para a amostra proveniente do efluente bruto não foi possível alcançar o fator de concentração igual a 2, pelo fato do tempo que seria necessário para alcançar tais números, com isso optou por finalizar o ensaio em 240 minutos (4 horas)

#### 4.4 AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE FILTRAÇÃO GRANULAR

No ensaio de filtração granular foi utilizada a amostra 2-BR-EL1, amostra pós EL que apresentou os melhores resultados de parâmetros de qualidade de água. Este ensaio foi realizado com o intuito de comparar os resultados da FG (amostra 17-EL1-FG) com os resultados da UF (amostra 9-EL1-UF.P2), e avaliar se os parâmetros das amostras obtidas se encontram dentro dos limites para água de reuso.

Os resultados apresentados na TABELA 8, demonstram que a filtração granular não atua de forma eficiente na redução da DBO e DQO no efluente, porém comparado com a amostra 2-BR-EL1, reduz em 60% a turbidez da amostra, além da redução dos sólidos no efluente apresentando valores muito próximos a valores da UF, o que representa um ponto ótimo quando comparado dois processos de filtração com procedimentos distintos.

TABELA 8 – CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DO PROCESSO DE FILTRAÇÃO GRANULAR

AMOSTRA		1 - BR	2 - BR-EL1	9 - EL1-UF.P2	17 - EL1-FG
ENSAIO					
DBO	(mg L <sup>-1</sup> )	7,6	6,4	<2	6,2
	% de remoção	-	15,8%	76,6%	3,1%
DQO	(mg L <sup>-1</sup> )	57*	31	31	31
	% de remoção	-	45%	0,0%	0,0%
TURBIDEZ	(NTU)	5	23*	2	2
	% de remoção	-	-360%	91,3%	91,3%
ST	(mg L <sup>-1</sup> )	107,3	54,3	42,1	42,7
	% de remoção	-	49,4%	22,5%	21,4%
TDS	(mg L <sup>-1</sup> )	572*	677*	400	396
	% de remoção	-	-18,4%	40,9%	41,5%
SST	(mg L <sup>-1</sup> )	10	72*	0	17
	% de remoção	-	-620,0%	100%	76,4%

FONTE: O autor (2023)

NOTA: \* Valores acima do limite de acordo com a QUADRO 2.

#### 4.5 ESTUDO DO FATOR DE REMOÇÃO POR PROCESSO APLICADO

As amostras que apresentaram os parâmetros de qualidade mais adequados, após os três processos apresentados (EF, UF e FG), separadamente ou realizados em série, para utilização da amostra como água de reuso, são: 9-EL1-UF.P2, 13-BR-UF.P4, 15-EL1-FG-UF.P5 e 17-EL1-FG. Na TABELA 9, estão apresentadas a porcentagem de remoção para cada parâmetro de qualidade e de cada tratamento separadamente das amostras supracitadas além da inclusão da melhor amostra da EL a 2 – BR-EL1. Destaca-se na EL a remoção de 46% de DQO, o aumento da turbidez TDS e SST, devido ao processo de eletrólise no efluente, e uma pequena remoção de potássio e cálcio.

Na UF ocorreu uma grande redução de DBO, DQO, além da completa remoção de SST, o que reflete na diminuição de turbidez e nos ST e TDS.

Para a FG aplicada pós EL, os fatores de remoção não foram expressivos para DBO e DQO, o que já era esperado, porém, a diminuição de TDS, ST, SST e turbidez faz com que os valores destes parâmetros fiquem muitos próximos aos valores obtidos na UF, sendo a FG um processo mais simples e menos oneroso que a UF.

TABELA 9 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DO EFLUENTE TRATADO NA ETE – AMOSTRAS SELECIONADAS

AMOSTRA		ENSAIO				
		2 – BR-EL1	9 - EL1-UF.P2	13 - BR-UF.P4	15 - EL1-FG-UF.P5	17- EL1-FG
DBO	% de remoção	15,80%	76,60%	80,30%	76,60%	3,10%
DQO	% de remoção	46,20%	0,00%	50,00%	14,30%	0,00%
TURBIDEZ	% de remoção	-360,00%	91,30%	60,00%	91,30%	91,30%
ST	% de remoção	1,80%	22,50%	28,60%	73,10%	21,40%
TDS	% de remoção	-18,40%	40,90%	28,50%	43,10%	41,50%
SST	% de remoção	-620,00%	100,00%	100,00%	100,00%	76,40%
DUREZA	% de remoção	12,20%	15,40%	21,50%	19,10%	15,40%
POTÁSSIO	% de remoção	17,60%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
CÁLCIO	% de remoção	13,70%	9,90%	23,20%	14,60%	11,50%
FERRO	% de remoção	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
SULFATO	% de remoção	3,20%	8,40%	9,00%	7,40%	2,30%

FONTE: O autor (2023)

#### 4.6 ANÁLISE TOTAL DAS AMOSTRAS

Os resultados são provenientes de testes feitos com no máximo 6 dias após a coleta da amostra 1-BR no Frigorífico RPF, sendo armazenadas em ambiente refrigerado. A caracterização de todas as amostras com suas características físicas e químicas estão representadas na TABELA 8.

TABELA 10 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DO EFFLUENTE TRATADO NA ETE – ENSAIOS EM LABORATÓRIO INTERNO (EMULTEC – UFPR)

AMOSTRA	TEMPERATURA (°C)	pH	DBO (mg L <sup>-1</sup> )	DQO (mg L <sup>-1</sup> )	CONDUTIVIDADE (µS)	TURBIDEZ (NTU)	COR (Pt Co)	ST (mg L <sup>-1</sup> )	TDS (mg L <sup>-1</sup> )	SST (mg L <sup>-1</sup> )
1 - BR	21,2	6,22	7,6	57	871	5	13,3	55,3	572	10
2 – BR-EL1	21,5	7,51	6,4	31	1028	23	11,8	54,3	677	72
3 – BR-EL2	21,6	7,13	6,6	44	1037	16	15,1	54,9	683	46
4 – BR-EL3	21,2	6,94	6,6	44	485	19	14,9	54,6	681	60
5 – BR-EL4	21,2	6,9	7,3	52	482	16	7,0	55,1	686	46
6 – BR-EL5	21,5	6,67	7,4	57	486	15	12,9	55,3	687	45
7 -EL1-UF.P1	21,5	7,65	<2	31	415	2	7,2	42,2	395	0
8 -EL1-UF.R1	21,2	7,61	7,1	57	421	122	6,4	63,5	482	254
9 -EL1-UF.P2	21,4	7,52	<2	31	417	2	8,9	42,1	400	0
10 - EL1-UF.R2	21,1	7,92	7,0	52	412	128	13,6	61,6	457	244
11 - EL1-UF.P3	21,6	7,51	<2	28	421	2	5,0	26,9	402	0
12 - EL1-UF.R3	21,3	7,8	7,3	72	415	173	10,6	69,1	476	250
13 - BR -UF.P4	21	7,54	<2	28	425	2	10,0	39,5	409	0
14 - BR -UF.R4	21,2	7,68	6,9	77	448	135	12,8	50,1	443	247
15 - EL1-FG-UF.P5	20,2	7,8	<2	26	412	2	3,5	14,6	385	0
16 - EL1-FG-UF.R5	20,3	7,79	7,1	77	414	161	5,1	40,4	492	251
17- EL1-FG	21,1	7,76	6,2	31	434	2	9,2	42,7	396	17

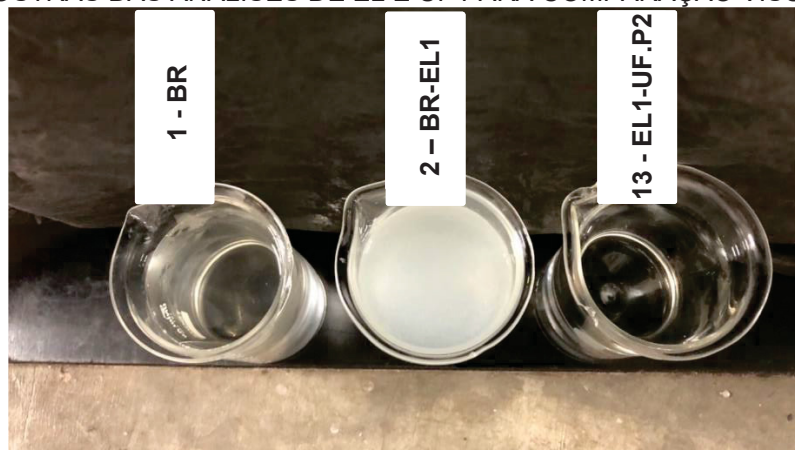
FONTE: O autor (2023)

TABELA 11 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DO EFLUENTE TRATADO NA ETE – ENSAIOS EM LABORATÓRIO PARTICULAR EXTERNO

AMOSTRA		ENSAIO					
		1 - BR	2 - BR-EL1	9 - EL1-UF.P2	13 - BR-UF.P4	15 - EL1-FG-UF.P5	17- EL1-FG
DUREZA	(mg L <sup>-1</sup> )	150,5	132,2	111,8	118,1	106,9	111,8
COL.TERMOTOLERANTES	(UFC/mL)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
COLI. TOTAIS	(UFC/mL)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
POTÁSSIO	(mg L-1)	17	14	14	17	14	14
CÁLCIO	(mg L-1)	29,3	25,3	22,8	22,5	21,6	22,4
FERRO	(mg L-1)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
SULFATO	(mg L-1)	222	215	197	202	199	210

FONTE: O autor (2023)

FIGURA 27 – AMOSTRAS DAS ANÁLISES DE EL E UF PARA COMPARAÇÃO VISUAL QUADRO 8



FONTE: O autor (2023)

#### 4.7 ESTUDO PRELIMINAR PARA IMPLANTAÇÃO DA UNIDADE NO FRIGORÍFICO

A água de reuso, segundo a literatura, corresponde a 30% da água total tratada pela unidade de tratamento da indústria. De acordo com o item 4.1, o Frigorífico RPF trata atualmente na ETE, 549,40 m<sup>3</sup> por dia de água, cujos 30% deste volume corresponde a 6,87 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> de vazão de água de reuso.

A TABELA 12, mostra um estudo preliminar com uma estimativa de dimensionamento, separado pelos processos estudados EL, UF e FG, para implantação na indústria aplicado a este estabelecimento específico.

TABELA 12 – ESTUDO PRELIMINAR DE CASO

AMOSTRA	Vazão (m <sup>3</sup> /h)		Volume Flotador (m <sup>3</sup> )		Área membrana (m <sup>2</sup> )		Diâmetro da coluna (m)	
	Lab.	Estudo de Caso	Lab.	Estudo de Caso	Lab.	Estudo de Caso	Lab.	Estudo de Caso
EL	0,0043	6,87	0,004	453,42	-	-	-	-
UF	0,0022		-	-	0,056	192,36	-	-
FG	0,0012		-	-	-	-	0,002	10,91

FONTE: O autor (2023)

O volume do flotador está atrelado ao tempo de retenção de 66 minutos apresentados nos testes da amostra 2-BR-EL1, conseqüentemente para este tempo de retenção é necessário um volume muito grande de flotador, um dos aspectos que pode ser alterado é o aumento da densidade de corrente, aplicando maior corrente elétrica às placas de alumínio, além de aumentar a quantidade de placas dentro do flotador. Com isso, estudos futuros podem ser realizados para diminuição do volume do flotador aplicado ao presente estudo de caso.

Na UF para suprir a elevada área da membrana necessária (192,36 m<sup>2</sup>), uma solução é o dimensionamento de uma unidade com vários módulos de membranas tubulares.

Por fim para implantação da FG, um tanque com 11 metros de diâmetro pode ser aplicado ao processo, além da areia empregada para filtração se tratar de um material com baixo custo.

## 5 CONCLUSÃO

Os três processos de tratamento de água se mostraram eficazes, uma vez que para a obtenção da água de reuso com o efluente proveniente do Frigorífico RPF (amostra 1-BR) foram obtidos resultados satisfatórios, ou seja, todos os parâmetros físico-químicos das amostras onde os ensaios de EL+UF, EL+FG ou EL+FG+UF foram aplicados estão dentro dos parâmetros pré-estabelecidos para água de reuso.

Os ensaios de EL foram essenciais para a obtenção da água de reuso, porém ele não apresentou todas as análises dentro dos limites necessários para a aplicação como água de reuso. Com os dados apresentados é possível afirmar que a EL foi efetiva como aplicação para um pré-tratamento, ou seja, ao aplicar eletrólise no efluente observou sua capacidade de coagulação/floculação das partículas de sujidades. Essa capacidade de unir as micropartículas e transforma-las em escala macro, auxiliou na remoção nos tratamentos posteriores como a UF e FG.

Os tratamentos de UF e FG apresentaram resultados próximos quando comparamos parâmetros físico-químicos, porém devido ao processo de UF ser um método com técnica mais avançada, este processo possibilitou maior remoção das sujidades do efluente. Contudo, tanto o tratamento de UF quanto de FG, resultaram em amostras com parâmetros de qualidade dentro dos limites para água de reuso, apresentados na literatura.

Portanto, este trabalho teve com resultado para o efluente do estudo de caso, a aplicação de EL+FG é mais vantajosa e viável para obtenção da água de reuso, em relação à EL+UF, essa comparação se dá pelo fato da UF ser um processo mais avançado e conseqüentemente mais oneroso quando comparado com o processo de FG que se tem uma aplicação mais comum dentre os tratamentos de efluente.

## REFERÊNCIAS

ABCS – Associação Brasileira de Criadores de Suínos, **Manual de industrialização dos suínos, Brasília**, 2014. Disponível em: <[http://abcs.org.br/wp-content/uploads/2020/06/manual-industria\\_bloq.pdf](http://abcs.org.br/wp-content/uploads/2020/06/manual-industria_bloq.pdf)>. Acesso em 09 de março de 2022

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA, **Estudo da Agência Nacional de Águas aborda uso da água no setor industrial**, Disponível em <<https://www.ana.gov.br/noticias/estudo-da-agencia-nacional-de-aguas-aborda-uso-da-agua-no-setor-industrial>>. Acesso em 05 de Agosto de 2020.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard Specification for Aluminum and Aluminum-Alloy Rolled or Cold Finished Bar**. 22 ed., Washington, DC: APHA, 2012.

ASANO, T; LEVINE, A. D. **Wastewater reclamation, recycling, and reuse: an introduction**. In: Asano T, ed. Wastewater reclamation and reuse. Lancaster, PA, Technomic Publishing Company, 1998, 56 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13969**: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6835**: Alumínio e suas ligas – Classificação das têmperas. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9898**: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Procedimento. Rio de Janeiro, 1987.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. Standard Practice for Measuring Life-Cycle Costs of Buildings and Building Systems. ASTM E-917. West Conshohocken, PA, USA. 1999.

BRASIL. Lei nº.9.433 de 8 de janeiro de 1997 - Dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos-SINGREH, dá ênfase ao uso sustentável da água. **Diário Oficial[da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm). Acesso em: 25 abr. 2023.

BRASIL. Lei nº.9.984 DE 17 DE JULHO DE 2000. Instituiu a Agência Nacional de Águas – ANA, atribuiu a esta Agência, a competência para implementar, em articulação com os Comitês de Bacia Hidrográfica, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos de domínio da União. **Diário Oficial[da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9984.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9984.htm). Acesso em: 25 abr. 2023.

BEN-SASSON, M., Lin, Y. M., & Adin, A. (2011). **Electrocoagulation-membrane filtration hybrid system for colloidal fouling mitigation of secondary-effluent.** *Separation and Purification Technology*, 82(1), 63–70. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.08.020>

BERK, Zeki. Membrane Processes. In: TAYLOR, Steve L. (org.). *Food Process Engineering and Technology*. London: Academic Press, 2009. p. 233–258.

BRASIL. Portaria no 2914, de 12 de dezembro de 2011. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.** Brasília, 2011. Disponível em: <[http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html)>. Acesso em 10 de março de 2022.

CAIACÓ. Lei nº 4.593 de 19 de julho de 2013. Recomenda critérios e padrões de qualidade para água de reuso a ser utilizada nas seguintes atividades: produção agrícola, fins urbanos, piscicultura e dá outras providências. **Legislação do Município de Caiacó**, RN. Disponível em: <https://caico.rn.gov.br/leis.php?id=2471>. Acesso em: 25 abr. 2023.

COMBATT, M. P. M., Mendonça, R. C. S., Valente, G. D. F. S., & Silva, C. M. (2017). **Validação do processo de eletrocoagulação e avaliação da eletrodissolução de eletrodos no tratamento de efluentes de abatedouros de aves.** *Química Nova*, 40(4), 447–453. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170008>

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB), **Guia técnico ambiental de abate (bovino e suíno) – Série P+L**, São Paulo, 2006. Disponível em: <[https://cetesb.sp.gov.br/cons\\_umosustentavel/wpcontent/uploads/sites/20/2013/11/abate.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/cons_umosustentavel/wpcontent/uploads/sites/20/2013/11/abate.pdf)>. Acesso em 09 de março de 2022

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CNRH). Resolução nº.54 de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água, e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Brasil. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=112379>. Acesso em: 25 abr. 2023.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº.357 de 7 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Brasil. Disponível em: [https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res\\_conama\\_357\\_2005\\_classificacao\\_corpos\\_agua\\_rtfcd\\_a\\_altrd\\_res\\_393\\_2007\\_397\\_2008\\_410\\_2009\\_430\\_2011.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf). Acesso em: 25 abr. 2023.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº.430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Ministério do

Meio Ambiente (MMA), Brasil. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=114770>. Acesso em: 25 abr. 2023.

CROOK, J; SURAMPALLI, R. Y. **Water reclamation and reuse criteria in the U.S.** Water Science and Technology, Vol. 33, No10-11, 1996.

CURITIBA. Lei nº10.785 de 18 de setembro de 2003. Criou o Programa de Conservação e Uso Racional da Água. **Legislação do Município de Curitiba**, PR. Disponível em: <http://leismunicipa.is/fbnpe>. Acesso em: 25 abr. 2023.

CURITIBA. Decreto nº293 de 15 de março de 2006, Regulamenta a Lei Estadual nº 10.785 de 18 de setembro de 2003, que dispõe sobre critérios de uso e conservação racional da água. **Legislação do Município de Curitiba**, PR. Disponível em: <http://leismunicipa.is/lfkcp>. Acesso em: 25 abr. 2023.

DE CÁSSIA, R., dos Santos, P., Steffanello, J., Hemkemeier, Marcelo, Pizutti, & Terhorst, J. (2017). **Otimização do processo de eletrocoagulação para esgoto pós tratado**. <https://publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/cricte/article/view/8962>

DIEL, Jefferson Luís. **Caracterização funcional de membranas cerâmicas de micro e ultrafiltração**. Dissertação de Mestrado em Engenharia: Processos de separação por membranas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

EBLE, K. S; FEATHERS, J. **Process water reuse, part I**. Oil & Gas Journal 90 (38), 1992.

EDINGTON, L. N., Marques, J. de A., Cruz, A. L., Bentes, R. M., Mascarenhas, M. T. V. L., Macêdo, J. T. S. A. e, Nascimento, K. A., & Pedroso, P. M. O. (2018). **Operations efficiency of stunning and bleeding in a swine humane slaughter**. *Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal*, 12(1). <https://doi.org/10.5935/1981-2965.20180003>

EPA – Environmental Protection Agency. **Guidelines for Water Reuse**. EPA/625/R-04/108, Washington, DC, September, 2004. Disponível em: <<http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/30006MKD.pdf>>. Acesso em 10 março de 2022.

FAPPI, A., Bortoli Rodrigues Mees, J., Alberto Viera Sarmiento, L., & Rodrigues dos Santos Gomes, E. (2017). **Permeabilidade de membranas poliméricas de microfiltração e ultrafiltração utilizadas no tratamento de efluentes**. *Revista CIATEC-UPF* (Vol. 9, Issue 2). <https://doi.org/https://doi.org/10.5335/ciatec.v9i2.6423>

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - FIESP. **Manual de conservação e reuso de água na indústria**. São Paulo, 2006. 90p. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4418756/mod\\_resource/content/1/Manual%20de%20Conserva%C3%A7%C3%A3o%20e%20Re%C3%BAso%20FIESP.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4418756/mod_resource/content/1/Manual%20de%20Conserva%C3%A7%C3%A3o%20e%20Re%C3%BAso%20FIESP.pdf)>. Acesso em 08 março de 2022.

FRIGORÍFICO RAINHA DA PAZ – RPF. Bocaiuva do Sul.

GERKE, Isabel B. B.; HAMERSKI, Fabiane; SCHEER, Agnes P.; SILVA, Vitor R. Clarification of crude extract of yerba mate (*Ilex paraguariensis*) by membrane processes : Analysis of fouling and loss of bioactive compounds. **Food and Bioproducts Processing**, [S. l.], v. 2, p. 204–212, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2016.12.008>.

GODINI, K., AZARIAN, G., KIMIAEI, A., DRAGOI, E. N., & CURTEANU, S. (2021). **Modeling of a real industrial wastewater treatment plant based on aerated lagoon using a neuro-evolutive technique**. *Process Safety and Environmental Protection*, 148, 114–124. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.09.057>

GOMES, Yuri Almeida et al. Identification of vaginal *Leptospira* in cervical-vaginal mucus of slaughtered pigs in the amazon region. **Animal Reproduction Science**, p. 106930, 2022.

HABERT, Alberto Cláudio; BORGES, Cristiano Piacsek; NOBREGA, Ronaldo. **Processos de Separação por Membranas**. 1. ed. Rio de Janeiro: E-papers, 2006.

HAMMER, M. J; HAMMER, M. J. **Water and wastewater technology**. Ed. Pearson Prentice Hall. 6 th ed. 553 p, 2007.

He, Z., Lyu, Z., Gu, Q., Zhang, L., & Wang, J. (2019). **Ceramic-based membranes for water and wastewater treatment**. In *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* (Vol. 578). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.05.074>

HESPANHOL, Ivanildo. Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In: MANCUSO, Pedro Caetano Sanches; SANTOS, Hilton Felício dos. **Reuso de água**. São Paulo: Manole, 2003. Cap. 3. p. 37-95.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). **Atlas do censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 160 p. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/apps/atlas/>>. Acesso em: 06 de agosto de 2020.

LENNTECH, Water Treatment Solutions. **Características da água de alimentação da caldeira**. 2015. Disponível em: <<http://www.lennotech.com.pt/aplicacoes/processo/caldeira/caldeira-agua-alimentacaocaracteristicas.htm>>. Acesso em: 10 março de 2022.

LOURINHO, G., Santos, D. M. F., & Brito, P. S. D. (2021). **Electrooxidation studies of swine effluents before and after the anaerobic digestion process**. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(2). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104712>

MACÊDO, J. A. B. **Água e águas**. São Paulo: Livraria Varela, 2001.

MANCUSO, P.C; SANTOS, H.F. **Reuso de Água**. Editora Manole Ltda, 576 p.,2003.

MAPA, SIGSIF – Sistema de Informação Gerencias do Serviço de Inspeção Federal, **Acesso a Quantidade de Abate Estadual por ano/espécie: Suíno/2009**. Disponível

em <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/aceso-a-informacao>>. Acesso em 06 de Agosto de 2020.

METCALF; EDDY. **Wastewater engineering treatment and reuse**. Mc Graw-Hill: Higler Education. Fourth Edition, 2003. 1819p.

METCALF; EDDY. Wastewater reclamation and reuse. In: **Wastewater engineering treatment, disposal and reuse**. New York, McGraw Hill. Third Edition, 1991.

MIERZWA, J. C. **O uso racional e o reuso como ferramenta para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria – estudo de caso da Kodak Brasileira**. 2002. Tese (Engenharia Hidráulica e Sanitária), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria MS nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade** Disponível em: <<https://bvsms.saude.gov.br/>>. Acesso em: 28 de outubro de 2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria MS nº 326, de 30 de julho de 1997. **Aprova o Regulamento Técnico: "Condições Higiênico-Sanitárias e de Boas Práticas de Fabricação para Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos", conforme Anexo I.** Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br>>. Acesso em: 28 de outubro de 2021.

MORES, R., Treichel, H., Zakrzewski, C. A., Kunz, A., Steffens, J., & Dallago, R. M. (2016). **Remove of phosphorous and turbidity of swine wastewater using electrocoagulation under continuous flow**. *Separation and Purification Technology*, 171, 112–117. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.07.016>

NALEVAIKO, Jaqueline Zanovelli; RUFATO, Everton Duim; TELEKEN, Joel Gustavo. **Redução de DQO e Turbidez em Efluente de Abatedouro de Aves Tratado por Eletrocoagulação**. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 10, n. 3, p. 341-357, 2021.

NITERÓI. Lei nº 2.856 de 25 de julho de 2011. Estímulo à instalação de sistema de coleta e reutilização de águas servidas em edificações públicas e privadas. **Legislação do Município de Niterói**, RJ. Disponível em: <http://leismunicipa.is/bplrck>. Acesso em: 25 abr. 2023.

OENNING Junior, A. PAWLOWSKY, U. **Avaliação de tecnologias avançadas para reuso de água em indústria metalmeccânica**. *Eng. Sanit. Ambient.* [online]. 2007, vol.12, n.3, pp. 305-316. ISSN 1413-4152. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v12n3/a08v12n3.pdf>>. Acesso em: 10 de março de 2022.

OLIVEIRA, C., Rodrigues, R. T., & Rubio, J. (2010). **A new technique for characterizing aerated flocs in a flocculation- microbubble flotation system**. *International Journal of Mineral Processing*, 96(1–4), 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2010.07.001>

OLIVEIRA, Fernando Freitas; SCHNEIDER, René Peter. **Slow sand filtration for biofouling reduction in seawater desalination by reverse osmosis.** *Water Research*, [S. l.], v. 155, p. 474–486, 2019. DOI: 10.1016/j.watres.2019.

OZTURK, D., & Yilmaz, A. E. (2019). **Treatment of slaughterhouse wastewater with the electrochemical oxidation process: Role of operating parameters on treatment efficiency and energy consumption.** *Journal of Water Process Engineering*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100834>

PARANÁ. Lei nº 12.726 de 16 de novembro de 1999. Plano de Recursos Hídricos do Estado do Paraná - PLERH/PR. **Legislação do Estado do Paraná**, PR. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=241036>. Acesso em: 25 abr. 2023.

PARANÁ. Decreto nº.293 de 27 de janeiro de 2006. Dispõe de forma programática a obrigatoriedade do reuso de água nas indústrias instaladas em terrenos com área computável igual ou superior a 5.000 m<sup>2</sup>. **Legislação do Estado do Paraná**, PR. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=441944>. Acesso em: 25 abr. 2023.

PINJING, H; PHAN, L; GUOEWI, G; HERVOUET, G. **Reclaimed municipal wastewater – a potencial water resource in China.** *Water Science Technology*, v43 (10), 2001. pp. 51-58.

PINTO, J. D. S., LIMA, H. J. M., BIAZETTO, V. N., MANDALHO, M. L., & JANAINA CARVALHO DO CARMO MADUREIRA DA SILVA. (2018). **Gestão ambiental aplicada na estação de tratamento de efluentes de uma indústria de papelão: um estudo de caso.** *Engema – Encontro Internacional Sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente Da FEA/USP, XXIII ENGEMA*.

PIO, A.A.B. et al. **Conservação e reuso de água em edificações.** São Paulo: ProEditora Gráfica, 2005.152 p.

POUGATCH, K., Salcudean, M., Gartshore, I., & Pagoria, P. (2007). **Computational modelling of large aerated lagoon hydraulics.** *Water Research*, 41(10), 2109–2116. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.02.019>

RATIER, Cristiane; DERGINT, Dario Eduardo Amaral; STANKOWITZ, Rosângela F. **Legislação municipal de reuso de água nas indústrias de Curitiba à luz do capitalismo natural**, 2015.

RPF, Rainha da Paz Foods, **Frigorífico Rainha da Paz – Bocaiúva do Sul**, 2022.

SAMAEI, S. M., Gato-Trinidad, S., & Altaee, A. (2018). **The application of pressure-driven ceramic membrane technology for the treatment of industrial wastewaters – A review.** In *Separation and Purification Technology* (Vol. 200, pp. 198–220). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.02.041>

SEBRAE/RJ – Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas no Estado do Rio de Janeiro. **Manual de Conservação e Reuso de Água na Indústria.** Rio de Janeiro,

2017. 29p. Disponível em:<  
[https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS\\_CHRONUS/bds/bds.nsf/599E7A01EFC4D373832572AE00700A2A/\\$File/NT00035102.pdf](https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/599E7A01EFC4D373832572AE00700A2A/$File/NT00035102.pdf)>. Acesso em 08 de março de 2022.

SILVA VENTURINI, K., & Freire Sarcinelli, M. (2007). **Abate de suínos**. *Boletim Técnico - Universidade Federal Do Espírito Santo - UFES, PIE-UFES:01407*, 1–7. [http://www.agais.com/telomc/b01407\\_abate\\_suinos.pdf](http://www.agais.com/telomc/b01407_abate_suinos.pdf)

SILVA, D. O. **Desenvolvimento e aplicação de membranas sílica verde/pva na dessalinização de água do mar por pervaporação**. Tese de doutorado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2020.

SILVA, V. R. **Obtenção e análise da sericina de alta massa molar mediante extração aquosa e ultrafiltração e a avaliação do seu potencial biossortivo**. Tese de doutorado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

SOCIEDADE MUNDIAL DE PROTEÇÃO ANIMAL (SMPA), **Abate Humanitário de suínos**, Charli Beatriz Ludtke .... [et al], Rio de Janeiro: WSPA, 2010. Disponível em: < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/producao-animal/arquivos-publicacoes-bem-estar-animal/programa-steps-abate-humanitario-de-suinos.pdf>>. Acesso em 09 de março de 2022

SOUZA, A. C, **Consumo de água e de energia: uma análise sob a ótica do licenciamento ambiental na indústria de abate de animais do estado da Bahia**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Mestrado Ciências em Engenharia Civil e Ambiental, Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia, 2015.

SOUZA, J. C. P. V. B.; TALAMINI, D. J. D.; SCHEUERMANN, G. N.; SCHMIDT, G. S. (Ed.). **Sonho, desafio e tecnologia: 35 anos de contribuições da Embrapa Suínos e Aves**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. p. 85-102.

SOUZA, J. C. P. V. B.; TALAMINI, D. J. D.; SCHEUERMANN, G. N.; SCHMIDT, G. S. (Ed.). **Sonho, desafio e tecnologia: 35 anos de contribuições da Embrapa Suínos e Aves**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. p. 85-102.

STOLLER, Marco; OCHANDO-PULIDO, Javier Miguel. **The Boundary Flux Handbook**. Amsterdam: Elsevier, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2014-0-00504-7>.

WANG, J., Tang, X., Xu, Y., Cheng, X., Li, G., & Liang, H. (2020). **Hybrid UF/NF process treating secondary effluent of wastewater treatment plants for potable water reuse: Adsorption vs. coagulation for removal improvements and membrane fouling alleviation**. *Environmental Research*, 188. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109833>