

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**JOSCEANE CARLA KNOB**

**OZONIZAÇÃO COMO PROPOSTA DE TRATAMENTO  
PARA O SORO DO LEITE PRODUZIDO NA INDÚSTRIA  
DE LATICÍNIOS**

**FRANCISCO BELTRÃO**

**2023**

**JOSCEANE CARLA KNOB**

**OZONIZAÇÃO COMO PROPOSTA DE TRATAMENTO  
PARA O SORO DO LEITE PRODUZIDO NA INDÚSTRIA  
DE LATICÍNIOS**

**ozonation as a proposed treatment for whey produced  
in the dairy industry**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Ambiental da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador(a): Ticiane Sauer Pokrywiecki  
Coorientador(a): Naimara Vieira do Prado.

**FRANCISCO BELTRÃO**

**2023**



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**JOSCEANE CARLA KNOB**

**OZONIZAÇÃO COMO PROPOSTA DE TRATAMENTO  
PARA O SORO DO LEITE PRODUZIDO NA INDÚSTRIA  
DE LATICÍNIOS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Ambiental da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 03/julho/2023

---

Ticiane Sauer Pokrywiecki  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Wagner de Aguiar  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Denise Andreia Szymczak  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**FRANCISCO BELTRÃO**

**2023**

Dedico este trabalho à minha família e a todos que me apoiaram durante a trajetória.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por sua graça que me manteve firme no caminho para este momento tão esperado

A minha família por todo o apoio e incentivo durante o período acadêmico. Principalmente aos meus pais Elton Knob e Marileti Schneider Knob que trabalharam duro e não mediram esforços para que eu pudesse me manter em outra cidade e ter uma educação de qualidade. Também as minhas irmãs Jaiane Knob e Jaqueline Knob, avós, tios, tias, primos, primas e família do meu namorado que de uma maneira ou outra sempre me auxiliaram, sou imensamente grata por estarem ao meu lado e torcerem por mim.

Agradeço ao meu namorado Bruno Lucas dos Santos por ser meu parceiro de vida e estudo, por sua paciência, compreensão e incentivo constante. Te dedico este agradecimento com todo o meu amor e gratidão, por estar ao meu lado e ser meu maior apoio em cada conquista e desafio.

Agradeço a minha orientadora professora Dr<sup>a</sup> Ticiane Sauer Pokrywiecki e coorientadora Dr<sup>a</sup> Naimara Vieira do Prado, pela sabedoria com que me guiaram nesta trajetória, seu exemplo, apoio e empatia foram muito importantes para mim. Agradeço também aos professores membros da banca, Dr<sup>a</sup> Denise Szymczak e Dr Wagner de Aguiar pela disponibilidade, conselhos e valiosas contribuições.

Gratidão a todos os amigos que estiveram ao meu lado durante a jornada acadêmica. Sua presença, apoio e encorajamento foram fundamentais para superar os desafios e manter a motivação. Agradeço por compartilharmos histórias, risadas, momentos de estudo e troca de ideias.

Sou grata a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa, desde o fornecimento de amostra até o auxílio nas análises realizadas.

A instituição de ensino Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), por me proporcionar um ensino de qualidade e um ambiente de crescimento pessoal e profissional, a todos os servidores que durante este período de graduação colaboraram de alguma maneira para que chegasse até este momento.

Por fim, dedico este TCC a cada um que apoiou e torceu por mim, sem esse apoio essa conquista não seria possível.

## RESUMO

Em meio a crescente preocupação da sociedade e órgãos públicos em relação ao manejo adequado dos recursos naturais, destacam-se os esforços para a preservação da água, recurso indispensável à vida. A geração de efluentes por meio de atividades antropogênicas é inevitável, portanto, torna-se necessário a aplicação de tratamentos eficazes, que confirmem ao efluente tratado condições de lançamento que respeitem a legislação vigente. Este estudo propõe uma abordagem alternativa para tratar o soro de leite, conhecido por sua alta carga orgânica e potencial poluidor. O processo se caracteriza em submeter o soro de leite a um processo de ozonização-UV que atua na oxidação de poluentes, os degradando e os transformando em substâncias mais simples, que podem ser removidas por processos comumente utilizados em etapas subsequentes. Foram realizados sete ensaios testando diferentes combinações de níveis para tempo e pH. O planejamento e tratamento dos dados seguiram a metodologia da superfície de resposta. A eficiência do tratamento foi avaliada através da comparação de dados físico-químicos obtidos antes e depois do tratamento, com destaque para DQO e DBO. Identificou-se através da MSR que a maior eficiência se deu em meio mais ácido e tempo de reação maior. O tratamento apresentou potencial na remoção da carga orgânica, porém, os resultados não foram satisfatórios, não atendendo a legislação cabível. Mesmo não alcançando o resultado esperado em sua totalidade, este trabalho de pesquisa oferece uma base sólida e valiosa para estudos futuros sobre o tema, podendo ser exploradas novas abordagens, técnicas e metodologias para aprimorar o tratamento do efluente.

Palavras-chave: Ozônio; efluente de laticínios; superfície de resposta; tratamento de efluentes.

## **ABSTRACT**

Amidst the growing concern of the community and public bodies in relation to the proper management of natural resources, efforts to preserve water, an indispensable resource for life, stand out. The generation of effluents through anthropogenic activities is inevitable, therefore, it is necessary to apply effective treatments, which confirm to the treated effluent discharge conditions that respect current legislation. This study proposes an alternative approach to treat whey, known for its high organic load and polluting potential. The whey remained in a UV-ozonation process that acts on the emission of pollutants, degrading them and involving them in simpler substances, which can be removed by processes commonly used in subsequent steps. Seven assays were performed testing different combinations of levels for time and pH. Data planning and treatment followed the response surface methodology. Treatment efficiency was evaluated by comparing physicochemical data obtained before and after treatment, with emphasis on COD and BOD. It was identified through the MSR that the greater efficiency occurred with a more acidic medium and longer reaction time. The treatment showed potential in removing the organic load, however, the results were not efficient, not complying with the applicable legislation. Even not reaching the expected result in its entirety, this research work offers a solid and valuable base for future studies on the subject, being able to explore new approaches, techniques and methodologies to improve the treatment of the effluent.

Keywords: Ozone; dairy effluent; response surface; wastewater treatment.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Quadro 1 – Análises físico-químicas realizadas.....</b> | <b>25</b> |
| <b>Figura 1 – Remoção do sobrenadante.....</b>             | <b>27</b> |
| <b>Figura 2 – Reator ozonização-UV.....</b>                | <b>28</b> |
| <b>Figura 3 – Amostra E2 após tratamento.....</b>          | <b>29</b> |
| <b>Quadro 2 – Comparação com a legislação.....</b>         | <b>35</b> |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Fatores e níveis do tratamento.....                       | 26 |
| Tabela 2 - Planejamento experimental do tratamento conforme MSR..... | 26 |
| Tabela3 - Caracterização inicial do soro de leite.....               | 30 |
| Tabela 4 - Dados obtidos antes e pós-tratamento.....                 | 32 |

## SUMÁRIO

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | INTRODUÇÃO.....                                | 13 |
| 2     | OBJETIVOS.....                                 | 15 |
| 2.1   | Objetivo geral.....                            | 15 |
| 2.2   | Objetivos específicos.....                     | 15 |
| 3     | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....                     | 16 |
| 3.1   | Geração de efluentes.....                      | 16 |
| 3.2   | Efluentes industriais.....                     | 16 |
| 3.3   | Indústria alimentícia.....                     | 17 |
| 3.4   | Indústria de laticínios.....                   | 17 |
| 3.5   | <i>Produção de queijo</i> .....                | 18 |
| 3.6   | Soro de leite.....                             | 19 |
| 3.7   | Tratamento convencional de efluentes.....      | 20 |
| 3.8   | Tratamento alternativo de efluentes.....       | 21 |
| 3.9   | Ozonização.....                                | 21 |
| 3.10  | Legislação.....                                | 22 |
| 3.11  | Uso da estatística no tratamento de dados..... | 23 |
| 3.12  | Metodologia da superfície de resposta.....     | 23 |
| 4     | MATERIAIS E MÉTODOS.....                       | 25 |
| 4.1   | Coleta e armazenamento do soro de leite.....   | 25 |
| 4.2   | Análises realizadas.....                       | 25 |
| 4.3   | Delineamento estatístico.....                  | 25 |
| 4.4   | Tratamento do soro do leite.....               | 26 |
| 4.4.1 | Pré-tratamento.....                            | 27 |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| 4.4.2      | Ajuste de temperatura e pH das amostras.....      | 27        |
| 4.4.3      | Reator de ozonização-UV.....                      | 27        |
| 4.4.4      | Tratamento.....                                   | 27        |
| 4.4.5      | Amostra adicional.....                            | 27        |
| <b>4.5</b> | <b>Tratamento dos dados.....</b>                  | <b>29</b> |
| <b>5</b>   | <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>               | <b>30</b> |
| <b>5.1</b> | <b>Caracterização do soro de leite.....</b>       | <b>30</b> |
| <b>5.2</b> | <b>Caracterização pós-tratamento.....</b>         | <b>32</b> |
| <b>5.3</b> | <b>Comparação com a legislação ambiental.....</b> | <b>33</b> |
| <b>6</b>   | <b>CONCLUSÃO.....</b>                             | <b>36</b> |
|            | <b>REFERÊNCIAS.....</b>                           | <b>36</b> |

---

## 1 INTRODUÇÃO

O tratamento eficaz dos efluentes industriais é uma importante parcela do manejo adequado da água e vem se tornando cada vez mais uma necessidade do mundo atual. O descarte incorreto de efluentes ameaça a sustentabilidade já que prejudica recursos naturais como a água e o solo, os quais são indispensáveis para a nossa sobrevivência (BORGES *et al.*, 2019).

No que tange a geração de efluentes, o setor alimentício em geral é responsável pelo uso de um grande volume de água nos seus processos produtivos, logo, não seria diferente na indústria de laticínios, o segmento se destaca pelo grande volume de efluente gerado, bem como pelo seu potencial poluidor (CARVALHO *et al.*, 2013; ELIA *et al.*, 2022). A produção de lácteos é destaque na indústria brasileira, o país é o quinto maior produtor de leite do mundo depois da Índia, Estados Unidos da América, China e Paquistão (FOA, 2020).

Entre os derivados lácteos, o queijo ocupa lugar de destaque (SIQUEIRA *et al.*, 2010). Segundo Nardy *et al.* (2019), no Brasil a contribuição deste produto nas vendas do setor aumentou 11,1% entre 2005 e 2016. De acordo com a Associação Brasileira das Indústrias de Queijo (ABIQ), em 2010 a produção de queijos no país foi de aproximadamente 745.000 toneladas, portanto, tendo como pressuposto o que foi citado por Almeida *et al.* (2001) que o soro de leite representa de 85 a 90% do volume de leite utilizado na fabricação de queijos, a produção nacional corresponderia a geração aproximada de até 6,7 milhões de toneladas de soro de leite.

O soro de leite possui alta carga orgânica, pois retêm 55% dos nutrientes do leite, sendo composto por proteínas, lactose, vitaminas, sais minerais, e gordura (ALMEIDA *et al.*, 2001). Sua composição reflete diretamente nos valores de demanda química de oxigênio (DQO) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO), que podem chegar respectivamente a 102 g/L e 60 g/L para efluentes de queijo. Sendo assim, o descarte incorreto nos mananciais de água pode levar à eutrofização pelo alto consumo de oxigênio dissolvido (CARVALHO *et al.*, 2013).

Devido às características do soro de leite ele representa um grande desafio no que diz respeito ao seu tratamento. Processos oxidativos avançados são medidas alternativas de tratamento de efluentes que vem se destacando como tecnologias eficientes na degradação de poluentes, presentes em efluentes

e águas residuais, com inúmeros estudos ao longo dos anos (FREIRE et al., 2000; SANTOS et al., 2015; CHAVES et al., 2016; CHAGAS, 2022). Uma das tecnologias que vem ganhando destaque é a ozonização, pela alta capacidade de oxidação do ozônio que é empregado no método e dos radicais hidroxila (.OH) formados pela sua decomposição em meio aquoso. Esses radicais podem reagir com quase todo tipo de substância poluente (LANGE et al., 2006; BRITO; SILVA, 2011; MORAVIA et al., 2011; ARAÚJO et al., 2016).

Por esse motivo, o presente trabalho tem como intuito propor um método alternativo de tratamento para o soro de leite, por meio de processos oxidativos avançados, com o propósito de reduzir sua carga orgânica, aplicando a ozonização- UV ao efluente, será feita a caracterização do soro de leite e após o tratamento os parâmetros serão comparados com os iniciais, através da utilização da superfície de resposta para verificar se houve diminuição nos valores dos parâmetros físico- químicos, particularmente da DBO e DQO.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Propor um tratamento alternativo para o soro de leite, utilizando o processo de ozonização com uso de delineamento estatístico de superfície de resposta.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar o soro de leite através de parâmetros físico-químicos (pH, temperatura, DQO, DBO, cor, turbidez, sólidos totais, sólidos sedimentáveis, sólidos dissolvidos nitrogênio e fósforo);
- Avaliar o tratamento do soro de leite oriundo de uma pequena queijaria do município de Francisco Beltrão-PR através do processo de ozonização, tendo em vista os parâmetros de lançamento de efluentes constantes na legislação;
- Aplicar o delineamento estatístico da superfície de respostas (MRS) para avaliar a influência dos fatores e níveis adotados no tratamento, na redução da DQO e DBO;

## **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 Geração de efluentes**

A água é um recurso indispensável à vida, sua disponibilidade é pré-requisito para a criação e desenvolvimento da civilização, já que diversas atividades do dia a dia, bem como a produção de alimentos dependem do seu uso. À medida que a população cresce, a demanda de água aumenta de modo que se garanta o atendimento das suas necessidades. Ao longo dos processos em que a água é empregada, diferentes substâncias ficam retidas causando alterações na sua composição, a água que resulta dessas atividades denomina-se efluente, que quando descartado sem tratamento adequado pode levar a poluição e degradação dos recursos naturais (BLUME et al., 2010; BORGES et al., 2019).

Segundo Archela et al. (2003), os efluentes provenientes das atividades antrópicas podem ser classificados em:

Efluentes domésticos: com origem em residências, comércios e serviços, os quais geram contaminação por meio de bactérias e substâncias orgânicas recalcitrantes;

Efluente industrial: com origem em processos industriais diversos gerando contaminação por meio dos compostos orgânicos e inorgânicos;

Tendo como pressuposto que a geração de efluentes é inevitável, além de adotar medidas que minimizem os volumes gerados é obrigatório a aplicação de um tratamento adequado ao efluente que garanta conformidade com os parâmetros de lançamento estabelecidos na legislação (BELTRAME et al., 2016).

### **3.2 Efluentes industriais**

Na indústria, a matéria prima passa por processos químicos, físicos e biológicos com o intuito de obter um produto de interesse. Durante esses processos a água é empregada de diversas formas, podendo ser utilizada de forma direta no processo ou compor o produto final, de forma indireta em sistemas de resfriamento e geração de vapor ou na lavagem de tubulações, máquinas e pisos (GIORDANO et al., 2004; SELVASEMBIAN et al., 2021).

Segundo Archela et al. (2003) o efluente que não tem origem doméstica se classifica como efluente industrial. A origem do efluente industrial, ou seja, o processo

no qual foi empregado dentro da indústria determina as suas características próprias, sendo assim, existe uma grande variabilidade na sua composição se considerarmos os diversos ramos e segmentos industriais. Essa composição também pode variar entre indústrias do mesmo segmento, em geral são encontrados componentes orgânicos, que se classificam em biodegradáveis ou tóxicos refratários e componentes inorgânicos (ARCHELA et al., 2003; ZHANG et al., 2019).

Torna-se importante ressaltar que o descarte de efluentes industriais ao longo da história tem participação efetiva na degradação ambiental, seu descarte nos corpos hídricos sem tratamento adequado leva a graves problemas sanitários e ambientais (ARCHELA et al., 2003; FLORIANO et al., 2022).

### **3.3 Indústria alimentícia**

No Brasil, segundo a Associação Brasileira da Indústria de Alimentos (2022), o setor é um importante segmento da atividade econômica do país, já que representa 10,6% do PIB brasileiro e gera 1,72 milhões de empregos formais e diretos. Além disso, o país é o segundo maior exportador de alimentos industrializados do mundo. O setor alimentício é composto por vários sub-setores, como a indústria de laticínios, óleos e gorduras, derivados de carne, de frutas e vegetais, entre outros, produzindo uma variada gama de produtos (DA CUNHA et al., 2006).

O processamento de alimentos pode ser considerado um dos maiores setores industriais do mundo e tem como característica a utilização de um grande volume de água durante o processo produtivo, sendo responsável pela geração do maior volume de efluente por unidade de produção. De maneira geral, em todos os setores alimentícios o efluente gerado possui alta carga orgânica, grande quantidade de resíduos sólidos e lodo (RAMJEAWON, 2000; SHRIVASTAVA et al., 2022).

### **3.4 Indústria de laticínios**

A produção de leite in natura no primeiro trimestre de 2022 destaca-se entre as sete mais importantes atividades agropecuárias do Brasil, representando aproximadamente 4,4% do valor bruto da produção agropecuária do país (MAPA, 2022). A grande maioria do leite produzido é destinado para o beneficiamento em indústrias de laticínios, segundo estudo exploratório realizado por de Lima et al.

(2017), sobre este setor, cerca de 60% dos laticínios que participaram do estudo produzem queijos frescos e/ou queijos de média maturação, seguido da produção de manteiga (34%), requeijão (32%), leite pasteurizado (23%) e iogurte (23%), entre outros derivados com participação menor.

Mesmo tendo importante contribuição na esfera econômica e social, não se pode deixar de ressaltar que a atividade láctea, também se destaca negativamente pelo alto volume de água consumido, segundo Saraiva et al. (2009) aproximadamente 1 a 10 m<sup>3</sup> de água são necessários para produzir 1 m<sup>3</sup> de leite, no Brasil, de acordo com o Anuário de leite da Embrapa (2021) em 2020 foram produzidos 35 bilhões de litros de produtos lácteos, gerando um grande montante de efluentes.

Setores de produção de leite possuem alto potencial poluidor, pois o efluente gerado pela indústria láctea apresenta alta carga orgânica, com DQO de até 102 g/L e DBO de até 60 g/L conforme encontrado por Carvalho et. al. (2013), principalmente pela presença de soro de leite e, devido a incorporação de restos de matéria prima (leite) à água durante a limpeza de silos, pisos, tanques, utensílios, trocadores de calor, homogeneizadores, tubulações e outros equipamentos. Também fazem parte das águas residuárias: prensas, salmouras e detergentes (BRIÃO, 2005; BHUVANESHWARI, 2022).

### **3.5 Produção de queijo**

Estima-se que o surgimento do queijo ocorreu durante a revolução agrícola, há 8.000 anos, entre os rios Tigres e Eufrates, no Iraque (DE PAULA et al., 2009).

O Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Queijos (BRASIL, 1996), define queijo como sendo o produto fresco ou maturado que se obtém por separação parcial do soro do leite ou leite reconstituído (integral, parcial ou totalmente desnatado), ou de soros lácteos, coagulados pela ação física do coalho, de enzimas específicas, de bactéria específica, de ácidos orgânicos isolados ou combinados, todos de qualidade apta para uso alimentar, com ou sem agregação de substâncias alimentícias e/ou especiarias e/ou condimentos, aditivos especificamente indicados, substâncias aromatizantes e matérias corantes.

O queijo é um concentrado lácteo altamente nutritivo, fazem parte da sua composição: proteínas, lipídios, carboidratos, sais minerais, cálcio, fósforo e

vitaminas. Um queijo com 48% de gordura contém cerca de 23-25% de proteína, ou seja, 210 g equivalem a 300 g de carne, considerando o valor protéico (PERRY, 2004).

O queijo é um dos principais derivados lácteos e ocupa lugar de destaque no Brasil. Há uma tendência de crescimento no consumo de queijos no país, entre os anos de 2005 e 2016 a participação nas vendas do setor lácteo foi de 12,8% para 23,7% e as vendas per capita foram de 1,71 quilogramas por habitante para 3,75 quilogramas (NARDY et al., 2019).

### **3.6 Soro de leite**

A partir da produção de queijo é gerado o soro do leite, um co-produto lácteo das indústrias de laticínios que é retirado da coagulação do leite no processo de fabricação do queijo (BRASIL, 2013). A cada quilo de queijo produzido utiliza-se 10 litros de leite, e é gerado 9 litros de soro de leite (MOREIRA et al., 2010; LEITE et al., 2012).

Segundo Carvalho et al. (2013): o soro de queijo é constituído basicamente de água (93- 94%); lactose (4,5-5,0%); proteínas (0,8-1,0%); gorduras (0,3-0,5%); sais minerais (0,6-1,0%) como cálcio, sódio, magnésio, potássio e fósforo, e outros minerais em quantidades reduzidas, por exemplo, flúor, iodo, cobre, zinco e ferro; a maioria das vitaminas presentes no leite (e solúveis em água), como a vitamina B12, a vitamina B6, ácido pantotênico, riboflavina, tiamina, vitamina C e retinol, além de ácido láctico, ácido cítrico e, compostos nitrogenados não-proteicos (ureia e ácido úrico).

Dados da Associação Brasileira das Indústrias de Queijos (ABIQ) indicam que a produção de queijos no país foi de aproximadamente 745.000 toneladas em 2010, portanto de acordo com os estudos de Moreira et al. (2010) e Leite et al. (2012), o montante de soro gerado neste ano foi de 6,7 milhões de litros.

No Brasil, majoritariamente as pequenas e médias queijarias são responsáveis pelo descarte incorreto de cerca de 40% de soro de leite, nos corpos hídricos ou no solo. Devido à falta de conhecimento, infraestrutura e recursos financeiros na maioria dos casos essas queijarias não fazem uma gestão ambiental adequada com o correto manejo do efluente (MARQUARDT et al., 2011).

São produzidos altos volumes deste subproduto e um baixo percentual é reaproveitado, esse aproveitamento atinge apenas 15% do soro produzido (SERPA,

2005). O efluente tem como característica o alto potencial poluidor, devido a alta concentração de matéria orgânica que corresponde a uma demanda bioquímica de oxigênio (DBO) elevada, trazendo riscos de eutrofização dos mananciais. Dez litros de soro descartados sem tratamento prévio são equivalentes a poluição causada por cinco habitantes (MARQUARDT et al., 2011; PRAZERES et al., 2012).

Em efluentes de laticínios que contém o soro de leite a demanda química de oxigênio (DQO) pode variar de 80 mg/L a 95.000 mg/L e a DBO varia de 40 mg/L a 48.000 mg/L como citado por Chung et al. (2022), para efluentes de queijo, Carvalho et al. (2013) encontrou 102 g/L para DQO e 60 g/L para DBO. A DBO do soro de leite pode ser cerca de 10 vezes maior que do esgoto doméstico bruto, 250 a 350 mg L<sup>-1</sup>, o soro é um dos mais poluentes de todos os efluentes. Para efeito de comparação, a decomposição bioquímica de oxigênio (DBO) é de dez a 100 vezes maior que a do esgoto doméstico (MOREIRA et al., 2010; PAULA et al., 2011).

### **3.7 Tratamento convencional de efluentes**

O tratamento de efluentes segue algumas etapas, as etapas primária e secundária correspondem geralmente aos processos convencionais (físico, químico e biológico). O tratamento primário é feito por meio de métodos físicos, a separação da água dos materiais poluentes por sedimentação podendo ocorrer ou não associação de métodos químicos com adição de coagulantes e floculantes para facilitar a decantação. O tratamento secundário comumente é feito por meio de processo biológico, onde ocorre a degradação biológica da matéria orgânica. Ao final dessas etapas, na maioria dos casos, o efluente já atende aos parâmetros de lançamento estabelecidos pela legislação (BELTRAME et al., 2016).

As tecnologias convencionais são as mais comumente utilizadas no tratamento das águas residuárias, de acordo com Archela et al. (2003) e Domingues (2022) elas são categorizadas como:

Métodos físicos: acontece a remoção dos sólidos grosseiros, decantáveis e flutuantes;

Métodos químicos: ocorre a precipitação química, oxidação química, correção e neutralização de pH, cloração;

Método biológicos: biodegradação por meio da oxidação biológica (lodos ativados, filtros biológicos, valas de oxidação e lagoas de estabilização), digestão de lodo (aeróbia e anaeróbia, fossas sépticas).

A escolha do processo de tratamento sempre deve ser baseada no perfil do efluente, níveis permissíveis de poluentes nos corpos d'água e viabilidade técnico-econômica, portanto, previamente deve ser feita a caracterização físico-química e microbiológica do efluente e posteriormente ajuste aos demais critérios (DOMINGUES, 2022).

### **3.8 Tratamento alternativo de efluentes**

A princípio, os tratamentos alternativos pertencem a etapa de tratamento terciária, nesta etapa o foco se concentra na remoção de poluentes que resistiram às etapas anteriores de tratamento, acontece um direcionamento maior em relação a qual composto será eliminado. São alternativas para serem utilizadas nessa etapa: processos de membrana e tecnologias avançadas de oxidação (BELTRAME et al., 2016; DOMINGUES, 2022).

Alguns métodos alternativos vêm tomando conta do cenário de tratamento de resíduos líquidos, tendo como premissa a transformação dos poluentes em substâncias inertes ou inofensivas por meio da degradação que é capaz de modificar sua estrutura química (BRITO et al., 2011; ARAÚJO et al., 2016; RAMOS et al., 2020).

Os processos oxidativos avançados (POAs) fazem parte dessa tendência, são geradas espécies com alta capacidade de oxidação, na maioria dos casos radicais de hidroxila, que são responsáveis por degradar o poluente com objetivo de transformá-los em espécies mais simples como dióxido de carbono, água, ânions inorgânicos ou substâncias menos tóxicas e de fácil degradação por tecnologias comuns (ARAÚJO et al., 2016).

### **3.9 Ozonização**

A ozonização é um POA, já que o ozônio ( $O_3$ ) é um forte agente oxidante ( $E^0 = 2,08 V$ ), quando dissolvido em um líquido, se decompõe a oxigênio e radicais livres, devido a essas características ele possui a capacidade de reagir com muitos

compostos. Se tratando da oxidação de poluentes ela pode acontecer de duas maneiras:

Oxidação direta: ocorre via adição eletrofílica, quando a molécula do ozônio reage com moléculas orgânicas ou inorgânicas presentes no efluente. Podem sofrer o ataque eletrofílico do ozônio (O<sub>3</sub>), nitrogênio (N), Fósforo (P), oxigênio (O) ou carbonos nucleofílicos que são átomos com carga negativa ou também ligações carbono-carbono, carbono-nitrogênio e nitrogênio-nitrogênio duplas e triplas (LANGE et al., 2006; BRITO; SILVA, 2011; MORAVIA et al., 2011).

Oxidação indireta: a decomposição do ozônio gera o radical hidroxila (OH), um oxidante não seletivo que pode reagir com o poluente através de abstração de hidrogênio, transferência de elétrons ou adição radicalar. Há formação de radicais secundários nesta reação que podem reagir novamente com os compostos presentes no meio (LANGE et al., 2006; BRITO; SILVA, 2011; MORAVIA et al., 2011).

### **3.10 Legislação**

São definidos parâmetros e concentrações limites para corpos receptores e lançamento de efluentes em corpos hídricos, estes padrões de qualidade são estabelecidos para assegurar a qualidade dos mananciais, contribuir com a fiscalização dos poluidores e a detecção e autuação dos responsáveis pela degradação do corpo receptor (Von Sperling, 1998).

A nível federal, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), por meio de sua Resolução n° 430, de 13 de maio de 2011 (Brasil, 2011), dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, fixando valores de concentração de parâmetros orgânicos e inorgânicos a serem obedecidos por qualquer fonte poluidora que lance seus efluentes diretamente em corpos receptores.

Entretanto, órgãos ambientais estaduais e municipais podem ter legislações próprias, sempre tendo como base os padrões estabelecidos pela legislação federal e podendo estabelecer padrões mais rigorosos (MORAIS, 2019). No estado do Paraná a legislação adotada pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Sema) é a Resolução n° 21, de 22 de abril de 2009 que dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento e a Resolução n° 70, de 01 de outubro de 2009 que

dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece condições e critérios e dá outras providências para empreendimentos industriais.

A carga poluidora de um efluente pode ser avaliada pela concentração de matéria orgânica e quantidade de oxigênio necessário para oxidá-la. Para tal determinação são adotados indicadores, sendo os principais a demanda química de oxigênio (DQO) e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), a legislação nacional e municipal fornece valores de referência para estes parâmetros, portanto, para que o efluente possa ser lançado no corpo hídrico é indispensável que esteja em conformidade com os limites estabelecidos (VALENTE et al., 1997).

### **3.11 Uso da estatística no tratamento de dados**

A estatística é a ciência que trata dos dados e em um mundo movido pela informação, tornou-se uma ferramenta imprescindível na tomada de decisões, em diversas áreas da nossa vida em sociedade como economia, política, medicina, engenharia, entre outras (MARTINS, 2010; SANTOS, 2007).

Para Moore et al. (1997) a Estatística é uma disciplina metodológica, que oferece a outros campos um grupo de ideias coerentes e ferramentas para tratar os dados, mas não existe por si própria. A estatística leva em consideração a variabilidade e considera que os dados são mais do que números, são números com um contexto, que quando analisados fornecem um significado.

O objetivo da estatística é resumir a informação compreendida em um conjunto de dados, com o uso da tecnologia para calcular as medidas e apresentá-las através de representações gráficas mais convenientes, para que seja possível a interpretação adequada de toda a informação que está à disposição com o propósito de responder a questões concretas (MARTINS, 2010).

Pensar de forma estatística segundo Shaughnessy e Pfannkuck (2002), é entender a importância dos dados para tomar decisões em situações reais, buscar apresentar os dados de diferentes formas viabilizando uma melhor compreensão, com o emprego de gráficos, tabelas, dispersão, estimar e explicar a causa de acontecimentos explorando a variabilidade aplicando modelos estatísticos e se atentar ao contexto para interpretar as informações contidas nos dados.

### **3.12 Metodologia da superfície de resposta**

A metodologia de superfície de resposta (MSR) se trata de uma técnica estatística utilizada para a modelagem e análise de problemas nos quais a variável resposta é influenciada por vários fatores, cujo objetivo é a otimização dessa resposta (COMPARINI et al., 2012).

A MSR é um método de otimização multivariada, que tem como vantagem a redução do número de experimentos, resultando em menor gasto de reagentes e de tempo. Desenvolve modelos matemáticos que permitem estabelecer a relevância e a significância estatística dos efeitos dos fatores estudados, avaliando também os

efeitos de interação entre os mesmos. Caso haja efeitos de interação, as condições ótimas estabelecidas pelo método multivariado poderão ser mais confiáveis do que aquelas obtidas utilizando um método univariado (FERREIRA et al., 2007).

Para a aplicação da metodologia é necessário reconhecer dois tipos de variáveis envolvidas: as variáveis independentes (os fatores) e as variáveis dependentes (as respostas) (BEZERRA et al., 2008). Para os fatores ou variáveis independentes, é possível estudar alguns de seus diversos níveis em diferentes combinações com os níveis de outras variáveis. Os níveis de uma variável são os diferentes valores que esta variável pode assumir. Os níveis mínimos e máximos das variáveis delimitam o domínio experimental do sistema estudado (BRUNS et al., 2006). A MSR pode analisar a contribuição das variáveis adotadas no experimento para chegar ao ponto ótimo, bem como definir qual nível ou combinações de níveis obtiveram melhor desempenho (NOVAES et al., 2017).

Essa metodologia é frequentemente utilizada no delineamento estatístico do tratamento de efluentes, no trabalho de Martins et al. (2017) foi utilizado o delineamento Box-Behnken para remoção de DQO de efluente têxtil usando eletrocoagulação com corrente contínua pulsada, já de Oliveira et al. (2018) utilizou a MSR para realizar o planejamento e otimização do tratamento por ozonização da água de lavagem da borra oleosa do refino de petróleo.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Coleta e armazenamento do soro de leite

Para o desenvolvimento deste trabalho foi coletado o volume de aproximadamente 30 litros de soro de leite em uma pequena queijaria localizada em Francisco Beltrão, Paraná, Brasil. Os procedimentos de coleta, acondicionamento e preservação foram realizados de acordo com a metodologia descrita no Standard Methods (APHA, 2017).

### 4.2 Análises realizadas

Para caracterizar o soro de leite em seu estado inicial e após a realização do tratamento foram feitas análises físico-químicas, estas forneceram informações essenciais para interpretação e comparação dos dados. As análises foram feitas em triplicata e em conformidade com as metodologias descritas pelo Standard Methods (APHA, 2017). Os parâmetros determinados para cada etapa estão indicados no Quadro 1.

**Quadro 1 – Análises físico-químicas realizadas**

| Parâmetro             | Caracterização inicial | Pós-tratamento |
|-----------------------|------------------------|----------------|
| pH                    | x                      | x              |
| Temperatura           | x                      |                |
| DQO                   | x                      | x              |
| DBO                   | x                      | x              |
| Cor                   | x                      | x              |
| Turbidez              | x                      | x              |
| Fósforo               | x                      |                |
| Nitrogênio (NTK)      | x                      |                |
| Sólidos Totais        | x                      | x              |
| Sólidos Sedimentáveis | x                      |                |
| Sólidos Dissolvidos   | x                      |                |

Fonte: Autoria própria (2023)

### 4.3 Delineamento estatístico

Aplicou-se a metodologia da superfície de resposta (MSR) para o planejamento experimental e tratamento dos dados, considerando o tempo e o pH

como variáveis independentes do processo e os parâmetros físico-químicos obtidos pós-tratamento, em especial, a DQO e DBO como variáveis dependentes. Os fatores e os níveis que foram utilizados na parte experimental foram definidos em conformidade com a (MSR), a faixa de variação e a condição inicial adotada para cada fator escolhido constam na Tabela 1.

**Tabela 1 – Fatores e níveis do tratamento**

| Fatores     | Níveis           |        |        |
|-------------|------------------|--------|--------|
|             | Condição inicial | Mínimo | Máximo |
| Tempo (min) | 75               | 30     | 120    |
| pH          | 6                | 3      | 9      |

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Conforme o planejamento experimental do tratamento, foram realizados quatro ensaios combinando os níveis máximos e mínimos de cada fator, além de três ensaios com repetição do ponto central, totalizando sete ensaios. A combinação dos fatores e seus níveis reais e codificados estão dispostos na Tabela 2.

**Tabela 2 – Planejamento experimental do tratamento conforme MSR**

| Ensaio | Codificado |    | Real        |    |
|--------|------------|----|-------------|----|
|        | Tempo      | pH | Tempo (min) | pH |
| 1      | +1         | +1 | 120         | 9  |
| 2      | +1         | -1 | 120         | 3  |
| 3      | -1         | +1 | 30          | 9  |
| 4      | -1         | -1 | 30          | 3  |
| 5      | 0          | 0  | 75          | 6  |
| 6      | 0          | 0  | 75          | 6  |
| 7      | 0          | 0  | 75          | 6  |

**Fonte: Autoria própria (2023)**

#### 4.4 Tratamento do soro de leite

O procedimento foi realizado em escala de bancada no laboratório de águas e efluentes da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Francisco Beltrão.

#### 4.4.1 Pré-tratamento

Devido à alta carga orgânica do soro de leite, optou-se por realizar uma etapa de pré-tratamento. Para cada amostra um volume de 2,5 L de soro de leite foi deixado em repouso em um béquer por aproximadamente duas horas, após esse período, observou-se a formação de uma camada na parte superior, em seguida, foi feita a retirada deste sobrenadante com o auxílio de uma peneira, conforme figura 1.

**Figura 1 – Remoção do sobrenadante**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

#### 4.4.2 Ajuste de temperatura e pH das amostras

Com o objetivo de evitar possíveis interferências da temperatura no tratamento, especialmente porque o foco do estudo está na avaliação da influência do tempo e pH no tratamento, assegurou-se que todas as amostras estivessem na mesma temperatura. Para isso, utilizou-se um termômetro e uma chapa aquecedora quando necessário, para ajustar e padronizar a temperatura a 23 °C.

Em seguida, o soro de leite desnatado a 23 °C permaneceu sob agitação magnética constante. Para ajuste do pH da amostra foi utilizado um pHmetro e foram adicionadas soluções de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 20 %) e hidróxido de sódio (NaOH 30 %), para diminuir ou aumentar o pH, respectivamente. Esse procedimento foi realizado individualmente para cada uma das 7 amostras, de acordo com os níveis de pH indicados para cada ensaio na Tabela 2.

#### 4.4.3 Reator de ozonização-UV

Para a realização do tratamento por ozonização-UV, utilizou-se um reator com características específicas, a fim de obter resultados eficientes. O reator de vidro empregado possuía um volume útil de 2 L. Em seu interior, foi instalada uma lâmpada UV que desempenhou um papel fundamental no processo de tratamento. Além disso, o reator foi equipado com um agitador magnético controlado, assegurando a distribuição homogênea dos componentes dentro do sistema. Para evitar qualquer influência externa no processo, o reator foi acondicionado em um compartimento fechado feito de um cano PVC envolvido por uma manta térmica, proporcionando a adequada concentração da luz UV. Por fim, o ozonizador foi acoplado ao reator através de uma mangueira de silicone, contendo uma pedra porosa na extremidade. Essa configuração permitiu a eficiente aplicação do ozônio no efluente, potencializando o processo de tratamento. Garantiu-se também que o ozônio fosse liberado no fundo do reator, proporcionando uma melhor distribuição no meio. O reator utilizado está apresentado na figura 2.

**Figura 2 – Reator ozonização-UV**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

#### 4.4.4 Tratamento

Após a etapa de pré-tratamento, ajuste de temperatura e pH, as amostras de soro de leite foram submetidas ao tratamento por ozonização-UV. Inicialmente,

transferiu-se 2 L da amostra para o reator através da parte superior, utilizando um funil para auxiliar no processo. Em seguida, ligou-se a lâmpada UV e ativou-se o sistema de agitação magnética. Posteriormente, programou-se o tempo de tratamento e acionou-se o ozonizador. Ao final do processo de tratamento, a amostra tratada foi retirada e encaminhada para análise. Esse procedimento foi realizado para os 7 ensaios do MSR, seguindo os níveis e combinações estabelecidos na Tabela 2.

#### 4.4.5 Amostra adicional

Após o tratamento, o soro de leite tratado em cada ensaio foi armazenado em garrafas pet devidamente identificadas e ficou aguardando a realização das análises. No entanto, foi observado que a amostra do ensaio E2 apresentou um comportamento distinto em comparação às demais amostras. Houve uma clara separação de fases, em que a parte superior apresentava um aspecto menos turvo a olho nu, enquanto a parte inferior decantada exibia uma cor e turbidez mais elevadas, conforme figura 3. A parte inferior foi retirada com auxílio de uma pipeta e submetida a análises de caracterização pós-tratamento para conhecer suas propriedades. Essa amostra foi denominada E2b.

**Figura 3 – Amostra E2 após tratamento**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

#### 4.5 Tratamento dos dados

Os dados dos parâmetros físico-químicos (DQO, DBO, cor, turbidez e sólidos totais) obtidos após o tratamento do soro de leite para cada ensaio realizado foram comparados com os valores obtidos na caracterização, através de seus valores absolutos e porcentagem de redução dos valores com relação aos iniciais. Os ensaios que obtiveram os resultados mais satisfatórios foram comparados com a legislação vigente.

Foi verificado o atendimento dos parâmetros estabelecidos pela legislação, através da comparação dos dados obtidos com a legislação que se aplica ao estado do Paraná, Resolução CONAMA 430/2011 e Resolução SEMA 21/2009.

Por fim, a influência dos fatores tempo e pH e seus níveis no resultado do tratamento foi discutida tendo como base o delineamento estatístico realizado no planejamento experimental.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Caracterização do soro de leite

A caracterização detalhada dos efluentes desempenha um papel fundamental na compreensão de sua composição. As análises físico-químicas realizadas forneceram suporte para identificar e quantificar diversos parâmetros relevantes. Os resultados obtidos para pH, DQO, DBO, cor, turbidez, fósforo, nitrogênio, sólidos totais, sólidos sedimentáveis e sólidos dissolvidos foram apresentados na Tabela 3. Através desses dados é avaliada a conformidade do efluente com as regulamentações ambientais e identificadas as áreas que demandam atenção no processo de tratamento. A análise dos resultados proporciona informações valiosas sobre a qualidade do efluente e orienta a definição de estratégias para o tratamento adequado.

**Tabela 3 – Caracterização inicial do soro de leite**

| <b>Parâmetro</b>      | <b>Valor</b> | <b>Unidade</b> |
|-----------------------|--------------|----------------|
| pH                    | 5,5          | mg/L           |
| Temperatura           | 40,8         | °C             |
| DQO                   | 89.364,6     | mg/L           |
| DBO                   | 46.460,2     | mg/L           |
| Cor                   | 48.823,1     | UnPtCo         |
| Turbidez              | 12.653,0     | NTU            |
| Fósforo               | 148,3        | mg/L           |
| Nitrogênio            | 2.303,7      | mg/L           |
| Sólidos Totais        | 687,1        | mg/L           |
| Sólidos Sedimentáveis | 305,2        | mg/L           |
| Sólidos Dissolvidos   | 381,9        | mg/L           |

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Com base nos resultados obtidos na caracterização do efluente, é possível identificar e discutir alguns aspectos relevantes para o contexto do trabalho.

Foi constatado que o pH do efluente apresentou um valor de 5,5, indicando uma acidez leve. Quanto à cor e à turbidez, os valores registrados foram de 48.823,12 unPtCo e 12.653,03 NTU, respectivamente. Esses valores estão atrelados à presença de compostos orgânicos e inorgânicos, como pigmentos naturais e subprodutos de degradação que são responsáveis pela coloração, e a alta quantidade de partículas

sólidas em suspensão no efluente, pela turbidez. A cor pode ter impacto estético e também afetar a qualidade da água receptora, enquanto a turbidez elevada pode prejudicar a penetração de luz e afetar os organismos aquáticos.

A DQO (Demanda Química de Oxigênio) e DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) são parâmetros amplamente utilizados na área ambiental pela capacidade de quantificar a carga poluidora que um efluente possui, para o soro de leite foram encontrados valores elevados para os dois.

A DQO obtida foi de 89.364,6 mg/L, indicando a presença de compostos orgânicos no efluente e conseqüentemente representando uma carga poluente significativa. Outros autores estudaram este parâmetro em efluentes semelhantes como no trabalho realizado por Chung et al. (2022), no qual foram analisados efluentes de laticínios que contém o soro, os valores variaram de 80 mg/L a 95.000 mg/L. Em outro estudo Carvalho analisou o efluente de queijo, amostra semelhante a utilizada no presente trabalho e encontrou 102.000 mg/L.

A DBO apresentou o valor de 46.460,23 mg/L. Para efluentes de queijo Carvalho et al. (2013) encontrou o valor de 60.000 mg/L, ligeiramente maior. Chung et al. (2022) por sua vez estudou um efluente mais diluído e encontrou valores que variaram de 40 mg/L a 48.000 mg/L para efluentes de laticínio que continham soro de leite. Esse parâmetro é uma medida da quantidade de oxigênio necessária para a decomposição biológica dos compostos orgânicos presentes no efluente. Valores elevados de DBO indicam uma carga orgânica alta, o que pode causar problemas de depleção do oxigênio nos corpos d'água receptores.

Os teores de fósforo e nitrogênio encontrados no efluente foram de 148,3 mg/L e 2.303,7 mg/L, respectivamente. Esses nutrientes podem contribuir para a eutrofização dos corpos d'água receptores, causando problemas como diminuição da qualidade da água e o crescimento excessivo de algas que resulta em baixos níveis de oxigênio dissolvido, impactando negativamente os ecossistemas aquáticos.

Diante dessas informações, pode-se inferir que o soro de leite é altamente concentrado, sendo considerado um problema ambiental caso seu descarte seja feito sem o ajuste dos parâmetros. Portanto, fica evidente a necessidade de adotar um tratamento eficiente para o efluente de soro de leite, visando reduzir a carga orgânica, remover nutrientes naturais e tratar os sólidos presentes. Essas medidas são cruciais para garantir a conformidade com as regulamentações ambientais e minimizar o impacto negativo no meio ambiente.

## 5.2 Caracterização pós-tratamento

A fim de avaliar a eficácia do processo de ozonização-UV no tratamento do soro de leite, foram realizadas análises para caracterizar o efluente tratado. A Tabela 4 apresenta os valores de DQO, DBO, cor, turbidez e sólidos totais após o tratamento. Os dados apresentados podem ser comparados aos obtidos na caracterização inicial, com o objetivo de avaliar a redução no valor dos parâmetros.

**Tabela 4 - Dados obtidos antes e pós-tratamento**

| Ensaio | Parâmetros    |               |                 |                   |                          |
|--------|---------------|---------------|-----------------|-------------------|--------------------------|
|        | DQO<br>(mg/L) | DBO<br>(mg/L) | Cor<br>(UnPtCo) | Turbidez<br>(NTU) | Sólidos totais<br>(mg/L) |
| E1     | 83.486,4      | 45.082,6      | 11.678,1        | 3.305,8           | 578,7                    |
| E2     | 62.912,6      | 35.231,1      | 5.319,9         | 805,0             | 409,0                    |
| E2b    | 115.282,2     | 64.558,0      | 29.414,0        | 7.651,4           | 661,4                    |
| E3     | 81.081,7      | 43.784,1      | 8.331,7         | 2.198,9           | 646,0                    |
| E4     | 70.126,8      | 39.271,0      | 6.323,8         | 1.665,9           | 533,6                    |
| E5     | 83.352,8      | 45.010,5      | 5.989,2         | 1.255,9           | 579,6                    |
| E6     | 78.142,6      | 45.322,7      | 5.989,2         | 1.133,0           | 572,4                    |
| E7     | 76.940,2      | 43.086,5      | 5.989,2         | 1.542,9           | 585,7                    |
| Antes  | 89.364,6      | 46.460,2      | 48.823,1        | 12.653,0          | 687,1                    |

Fonte: Autoria própria (2023)

Com base nos valores apresentados na tabela, pode-se avaliar que em relação aos parâmetros de DQO e DBO, que indicam a carga poluidora do efluente, observou-se uma variação nos valores obtidos entre os ensaios, que pode ser atribuída as diferentes combinações dos níveis de tempo e pH adotadas.

Em todos os ensaios da MSR houve redução tanto da DQO quanto da DBO após o tratamento. Isso sugere que a combinação do pré-tratamento com o processo de ozonização-UV tem potencial para remover compostos orgânicos presentes no soro de leite, resultando em uma diminuição da sua carga poluidora. Entre os ensaios realizados, os resultados mais promissores foram obtidos nos ensaios E2 e E4. O ensaio E2 apresentou uma redução de 30% na DQO, enquanto o ensaio E4 obteve uma redução de 21%. Quanto à DBO, o ensaio E2 registrou um valor de 35.231,1 mg/L, indicando uma redução de 24%, enquanto no ensaio E4 a redução foi de 15%, resultando em um valor de 39.271,0 mg/L.

No que diz respeito à cor e à turbidez, também foram observadas variações importantes entre os resultados dos ensaios. De modo geral, constatou-se uma redução tanto na cor quanto na turbidez após o tratamento, o que indica a remoção de materiais orgânicos e partículas em suspensão presentes no soro de leite. Essa diminuição é desejável, pois a cor e a turbidez podem afetar tanto a qualidade quanto a estética da água receptora. Dentre os ensaios realizados, o E2 se destacou por apresentar os valores mais satisfatórios para ambos os parâmetros, alcançando 93% de redução para turbidez e 89% de redução para cor. O ensaio E4 também foi promissor, pois, apresentou remoção de 87% em ambos os parâmetros.

No que se refere aos sólidos totais, é possível observar uma diminuição em todos os ensaios, indicando a remoção de partículas sólidas presentes no efluente durante o tratamento. O ensaio E2 apresentou a maior redução, alcançando 40% neste parâmetro, seguido pelo ensaio E4, com uma redução de 22%. Os ensaios E1, E5, E6 e E7 apresentaram remoções semelhantes entre si, próximas a 16%. Essa redução é de grande importância, uma vez que altos teores de sólidos totais podem ocasionar problemas de sedimentação no corpo hídrico receptor.

A amostra E2b, que investigou o material decantado após o tratamento no ensaio E2, também proporcionou informações relevantes. Os valores de DQO e DBO obtidos indicam que esse material decantado apresentou uma alta carga orgânica, com valores de DQO e DBO superiores aos do efluente inicial. Isso sugere que, após o tratamento do ensaio E2, a fração com maior carga poluidora foi separada do restante do efluente. Esses resultados destacam a eficiência do processo de tratamento na remoção de compostos orgânicos, levando à formação de um material decantado com uma carga poluidora concentrada. Essas informações são relevantes para a compreensão do processo e podem contribuir para futuras otimizações e aprimoramentos do tratamento.

Com base no comportamento dos ensaios E2 e E4, pode-se fazer considerações importantes. Em geral, ambos os ensaios apresentaram os melhores resultados na redução dos parâmetros em comparação com os demais. No entanto, é importante destacar algumas diferenças entre eles.

No caso do ensaio E2, após o tratamento, observe-se a separação de fases, com a decantação de uma fração (E2b) que contém maior carga orgânica, com valores de DQO de 115.282,2 mg/L e DBO de 64.558,0 mg/L. Por outro lado, a fração líquida do decantado apresentou uma redução significativa de 30 % na DQO. No ensaio E4,

não foi observada uma separação visível de fases, mas ainda assim foram obtidos resultados relevantes, com uma redução de DQO de 21 %.

Portanto, podemos concluir que ambos os ensaios apresentaram resultados promissores, porém com características distintas. No caso do E2, a separação da fração com maior carga orgânica é de extrema importância no tratamento de efluentes, permitindo dar continuidade ao tratamento com um efluente de carga poluidora reduzida. No entanto, é necessário considerar uma gestão adequada do lodo gerado, incluindo o descarte ou reaproveitamento adequado, uma vez que essa fração de lodo já está separada e possui um alto teor de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, nutrientes que podem ser utilizados na produção de adubo para plantas.

O ensaio E4, mesmo com taxas ligeiramente menores de redução dos parâmetros, apresenta um maior potencial na remoção de carga orgânica, uma vez que não houve formação de lodo. Com futuros ajustes nas variáveis do tratamento, é possível maximizar a redução, para chegar em um tratamento mais viável e eficiente para o efluente.

### 5.3 Comparação com a Legislação Ambiental

Os valores dos ensaios com melhor desempenho na diminuição dos parâmetros analisados (E2 e E4), foram comparados no quadro 2 por meio dos valores absolutos e taxas de redução com os padrões estabelecidos pela legislação ambiental aplicável no estado do Paraná, para isso foram utilizados os limites máximos permitidos de acordo com as seguintes regulamentações vigentes CONAMA N°430 de 13/05/2011 e SEMA n°21 de 22/04/2009. Essa comparação permite avaliar se o efluente tratado está em conformidade com as normas ambientais estabelecidas para descarte de efluente em corpos hídricos e determinar a efetividade do processo de ozonização-UV como uma alternativa viável para o tratamento desse tipo de efluente.

**Quadro 2 – Comparação com a legislação**

| Parâmetro | E2       | Remoção (%) | E4       | Remoção (%) | CONAMA N° 430/2011    | SEMA N° 21/2009 |
|-----------|----------|-------------|----------|-------------|-----------------------|-----------------|
| pH        | 2,1      | -           | 2,3      | -           | 5 a 9                 | -               |
| DQO       | 62.912,6 | 30          | 70.126,8 | 21          | -                     | até 225 mg/L    |
| DBO       | 35.231,1 | 24          | 39.271,0 | 15          | remoção mínima de 60% | até 90 mg/L     |

|                |         |    |         |    |   |   |
|----------------|---------|----|---------|----|---|---|
| Cor            | 5.319,9 | 89 | 6.323,8 | 87 | - | - |
| Turbidez       | 805,0   | 94 | 1.665,9 | 87 | - | - |
| Sólidos Totais | 409,0   | 40 | 533,6   | 22 | - | - |

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Ao analisar o quadro, é importante ressaltar que o pH final apresentado pelo efluente em E2 e E4 é ácido, o que pode acarretar uma série de efeitos negativos no corpo receptor. Isso se deve ao ajuste de pH feito conforme o planejamento experimental já que o pH inicial era de 5,5. Para garantir a conformidade com as diretrizes da CONAMA (2011), é necessário ajustar esse parâmetro por meio da adição de hidróxido de sódio, a fim de alcançar a faixa adequada antes do lançamento (5 a 9).

Outro ponto que merece destaque é que mesmo após o tratamento, o valor da DQO permaneceu bem acima do limite definido pela SEMA (2009) para o lançamento de efluentes em corpos d'água. Da mesma forma, em relação à DBO, o valor pós-tratamento ainda é maior. Vale ressaltar que a CONAMA (2011) estabelece uma remoção mínima de 60 % para esse parâmetro, enquanto o ensaio realizado obteve 24 % o que representa um valor significativo diante da elevada carga orgânica do efluente. É importante destacar que, mesmo alcançando a remoção indicada pela legislação, o efluente ainda representaria riscos ambientais, pois a concentração de carga orgânica ainda seria prejudicial.

Embora os resultados pós-tratamento demonstrem o potencial da combinação entre pré-tratamento e ozonização-UV na remoção de compostos orgânicos, redução da carga poluente, diminuição da cor, turbidez e sólidos totais, os ensaios que apresentaram os melhores desempenhos entre os sete realizados ainda ficaram longe de alcançar os valores estabelecidos pela legislação, indicando a necessidade de aprimoramento do tratamento proposto para torná-lo mais eficiente. É fundamental buscar soluções que garantam atender aos requisitos ambientais e garantir a proteção dos corpos hídricos de forma mais eficaz.

Por outro lado, quando comparamos o tempo de tratamento, incluindo o pré-tratamento e a ozonização-UV, de 30 minutos para o ensaio E4 e 120 minutos para o ensaio E2, com o tempo empregado em tratamentos convencionais, observa-se que as taxas de redução dos parâmetros são relevantes. Essa constatação ressalta a

potencialidade da abordagem adotada, pois mesmo com um tempo de tratamento relativamente curto, já é possível obter uma redução significativa dos poluentes.

Portanto, embora haja a necessidade de aprimorar o tratamento para atingir os padrões exigidos, os resultados obtidos até o momento mostram uma alternativa promissora ao tratamento convencional, oferecendo eficiência em um tempo relativamente menor. É um ponto de partida importante para o desenvolvimento de estratégias mais eficazes de remoção de poluentes, garantindo a preservação dos recursos hídricos e o cumprimento das normas ambientais.

## 6. CONCLUSÃO

Através da caracterização do efluente, foi possível compreender suas características físicas e químicas. Foram observados valores elevados de DQO (89.364,6 mg/L) e DBO (46.460,23 mg/L), confirmando a alta carga orgânica do soro de leite e seu potencial poluidor, além da presença de índices significativos de fósforo e nitrogênio, que podem resultar em eutrofização de ambientes aquáticos.

A combinação do desnatamento com o tratamento por ozonização-UV obteve eficiência na remoção da carga orgânica, porém, apresentou taxas de redução relativamente baixas. Os ensaios E2 e E4 que obtiveram a maior redução alcançaram em média cerca de 26 % na DQO e 20 % na DBO. A remoção de cor e turbidez foi mais eficiente, atingindo aproximadamente 90 %. No entanto, mesmo com essas reduções, os valores ainda ficaram muito acima dos limites estabelecidos pelas legislações cabíveis ao estado do Paraná.

Para o delineamento estatístico do estudo foi empregada a metodologia da superfície de resposta (MSR), que permitiu analisar os níveis e fatores que mais influenciaram no resultado do tratamento. Em relação à influência dos fatores, o pH foi determinante para a remoção de carga orgânica, quanto mais ácido o meio reacional maior a eficiência do tratamento. Observou-se também que os fatores tempo e pH apresentaram interação, portanto, quanto maior o tempo de reação em meio ácido, melhores resultados de remoção de carga orgânica foram obtidos, já em meio básico o tempo não foi determinante para o sucesso do tratamento.

Apesar da necessidade de realizar ajustes e melhorias no processo, os resultados obtidos até o momento mostram a alternativa como promissora ao tratamento convencional, oferecendo eficiência em um tempo relativamente menor. A continuidade dos estudos e a otimização das variáveis de tratamento, como pH, tempo de reação, são fundamentais para a obtenção de um tratamento mais eficiente e ambientalmente seguro. Pode-se adotar uma nova faixa de variação explorando um pH mais ácido e testar outros níveis de tempo de reação, como também podem ser adicionadas novas etapas no tratamento, como por exemplo a decantação.

Diante disso, conclui-se que a caracterização detalhada do efluente, juntamente com a avaliação do tratamento utilizando delineamento estatístico e a comparação com os padrões estabelecidos na legislação, constituem uma abordagem eficaz e fundamentada para o desenvolvimento de estratégias de tratamento de

efluentes e aprimoramento do tratamento. Essa abordagem permite avaliar a eficiência na remoção dos contaminantes, analisar a influência dos fatores e níveis no processo de tratamento e verificar o cumprimento dos padrões legais para o lançamento dos efluentes em corpos hídricos.

Apesar de não ter alcançado o resultado esperado em sua totalidade, este trabalho de pesquisa oferece uma base sólida e valiosa para estudos futuros sobre o tema. As limitações encontradas ao longo do processo servem como oportunidades para aprimoramentos e aprofundamento em áreas específicas. A caracterização detalhada do efluente e a avaliação da proposta de tratamento proporcionaram percepções importantes sobre as características e desafios associados a esse tipo de efluente. Essas descobertas podem direcionar pesquisadores e profissionais a explorar novas abordagens, técnicas e metodologias para aprimorar o tratamento de efluentes.

Portanto, esse trabalho se apresenta como um ponto de partida significativo, capaz de fornecer subsídios e motivar estudos posteriores, contribuindo para avanços na área de tratamento de efluentes e para a preservação do meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Keila Emilio de; BONASSI, Ismael Antonio; ROÇA, Roberto de Oliveira. Características físicas e químicas de bebidas lácteas fermentadas e preparadas com soro de queijo minas frescal. **Food Science and Technology**, v. 21, p. 187-192, 2001.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. American Water Works Association. Water Environmental Federation. 21. ed. Washington, DC: APHA-AWWA-WEF, 2005.
- APHA. AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Standard methods for examination of water and wastewater. 23.th. Washington: American Public Health Association. 2017.
- ARAÚJO, Karla Santos de et al. Processos oxidativos avançados: uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais. *Revista Ambiente & Água*, v. 11, p. 387-401, 2016.
- ARCHELA, Edison et al. Considerações sobre a geração de efluentes líquidos em centros urbanos. *Geografia (Londrina)*, v. 12, n. 1, p. 517-526, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS. Números do setor. 2021. Disponível em: <<https://www.abia.org.br/numeros-setor>>. Acesso em: 02 de jun. de 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE QUEIJO. Avanços e perspectivas da indústria brasileira de queijos. 2010. Disponível em: <[http://www.abiq.com.br/imprensa\\_ler.aspcodigo=1003&codigo\\_categoria=2&codigo\\_subcategoria=17](http://www.abiq.com.br/imprensa_ler.aspcodigo=1003&codigo_categoria=2&codigo_subcategoria=17)>. Acesso em: 20 de maio de 2022.
- BELTRAME, Thiago Favarini et al. Efluentes, resíduos sólidos e educação ambiental: Uma discussão sobre o tema. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 20, n. 1, p. 283-294, 2016.
- BEZERRA, Marcos Almeida et al. Metodologia de superfície de resposta (RSM) como ferramenta de otimização em química analítica. *Talanta*, v. 76, n. 5, pág. 965-977, 2008.
- BHUVANESHWARI, S. et al. Diferentes metodologias de tratamento e reatores empregados para o tratamento de efluentes lácteos - Uma revisão. *Journal of Water Process Engineering*, v. 46, p. 102622, 2022.
- BLUME, Kamila Käfer et al. Avaliação da qualidade da água do Rio dos Sinos, sul do Brasil. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 70, n. 4, pág. 1185-1193, 2010.
- BORGES, Thayná Nunes; COSTA, Raíssa Miranda; GONTIJO, Hebert Medeiros. Caracterização do efluente de uma indústria de laticínios:

proposta de tratamento. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 1, p. e5081742, 2019.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução do CONAMA Nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF, 18 mar, 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Estabelece os padrões de identidade e qualidade de soro de leite. Instrução Normativa nº 53, 25 de agosto de 2013.

BRASIL. Portaria no 146 de 7 de março de 1996. Aprova o regulamento técnico de identidade e qualidade dos queijos. Diário Oficial da União, Brasília, 11 de março de 1996.

BRASIL. **Resolução do CONAMA Nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução. 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama. Brasília, DF, 16 maio, 2011.

BRIÃO, V. B.; TAVARES, C. R. Geração de efluentes na indústria de laticínios: atitudes preventivas e oportunidades. In: **Congresso Brasileiro De Engenharia Sanitária E Ambiental**. 2005.

BRITO, Núbia Natália; SILVA, Victor Borges Marinho. Processo oxidativo avançado e sua aplicação ambiental. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 3, n. 1, 2011.

BRUNS, Roy E.; SCARMINIO, Ieda Spacino; DE BARROS NETO, Benício. **Projeto- quimiometria estatística** . Elsevier, 2006.

CARVALHO, Fátima; PRAZERES, Ana R.; RIVAS, Javier. Águas residuais de soro de queijo: Caracterização e tratamento. **Ciência do meio ambiente total** , v. 445, p. 385-396, 2013.

CHAGAS, Cristofelly Câmara das. Processos oxidativos avançado: revisão dos POAs aplicados ao tratamento de efluentes. 2022.

CHUNG, Woo Jin; SHIM, Jaehong; RAVINDRAN, Balasubramani. Caracterização de efluentes de processamento de queijo e tratamento com nanopartículas de cálcio sintetizadas por extrato de flores de Senna auriculata

L. **Journal of King Saud University-Science** , v. 34, n. 2, pág. 101793, 2022.

COMPARINI, Anaisa et al. Metodologia de superfície de resposta: uma introdução nos softwares R e STATISTICA. 2012.

DA CUNHA, Denis Antonio; DIAS, Roberto Serpa; GOMES, Adriano Provezano. **Uma análise sistêmica da indústria alimentícia brasileira**. 2006.

DE LIMA, LUIZ PAULO; PEREZ, RONALDO; CHAVES, JOSÉ BENÍCIO PAES. A indústria de laticínios no Brasil—Um estudo exploratório. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 35, n. 1, 2017.

DE OLIVEIRA, Mateus Chaves Almeida; MOREIRA, Jessica; NAVES, Fabiano Luiz. PLANEJAMENTO E OTIMIZAÇÃO DO TRATAMENTO POR OZONIZAÇÃO DA ÁGUA DE LAVAGEM DA BORRA OLEOSA DO REFINO DO PETRÓLEO. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, n. 47, p. 24-34, 2018.

DE PAULA, Junio César Jacinto; DE CARVALHO, Antônio Fernandes; FURTADO, Mauro Mansur. Princípios básicos de fabricação de queijo: do histórico à salga. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 64, n. 367, p. 19-25, 2009.

DOMINGUES, Eva et al. Processos avançados de oxidação baseados em radicais sulfatos para tratamento de efluentes agroindustriais: uma revisão comparativa com a peroxidação de Fenton. **Ciência do Meio Ambiente Total**, p. 155029, 2022.

ELIA, Soteria; STYLIANO, Marinos; AGAPIOU, Agapios. Caracterização aromática de efluentes de soro de cabra cru e tratado eletroquimicamente. **Química e Farmácia Sustentáveis**, v. 27, p. 100640, 2022.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Anuário leite 2021: saúde única e total. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1132875/anuario-leite-2021-saude-unica-e-total>>. Acesso em: 18 de maio de 2022.

FERREIRA, SL Costa et al. Projeto Box-Behnken: uma alternativa para a otimização de métodos analíticos. **Analytica chimica acta**, v. 597, n. 2, pág. 179-186, 2007.

FLORIANO, Lucinara Moreira; SERPA, Elaine Cristina de Sousa Neves; ANSCHAU, Cleusa Teresinha. GERENCIAMENTO E TRATAMENTO DOS EFLUENTES GERADOS NA OFICINA MECÂNICA E LAVAGEM DE UMA CONCESSIONÁRIA DE VEÍCULOS. **Anais de Engenharia Química**, v. 1, n. 1, p. 113-136, 2022.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. Produção de leite. 2021. Disponível em:<

<https://www.fao.org/dairy-production-products/production/en/>>.  
Acesso em 13 maio de 2022.

FREIRE, Renato Sanches et al. Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. **Química nova**, v. 23, p. 504-511, 2000.

GIORDANO, Gandhi et al. Tratamento e controle de efluentes industriais. **Revista ABES**, v. 4, n. 76, p. 1-84, 2004.

GOVERNO FEDERAL – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Valor Bruto da Produção Agropecuária de 2022 é estimado em R\$ 1,2 trilhão. 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/valor-bruto-da-producao-agropecuaria-de-2022-e-estimado-em-r-1-2-trilhao#:~:text=A%20estimativa%20do%20Valor%20Bruto,reta%C3%A7%C3%A3o%20de%208%2C6%25>>. Acesso em: 22 de maio de 2022.

LANGE, Liséte Celina et al. Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por processo oxidativo avançado empregando reagente de Fenton. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, p. 175-183, 2006.

LEITE, Marcelo Teixeira; BARROZO, Marcos Antonio de Souza; RIBEIRO, Eloizio Júlio. Técnica de análise canônica como uma abordagem para determinar as condições ideais para a produção de ácido láctico por *Lactobacillus helveticus* ATCC 15009. **International Journal of Chemical Engineering**, v. 2012, 2012.

MARQUARDT, Liliane et al. Indústrias lácteas: alternativas de aproveitamento do soro de leite como forma de gestão ambiental. **Tecnológica**, v. 15, n. 2, p. 79-83, 2011.

MARTINS, Maria Eugénia Graça; PONTE, João Pedro. Organização e tratamento de dados. **Lisboa: ME-DGIDC**, 2010.

MORAIS, Naassom Wagner Sales; SANTOS, André Bezerra dos. Análise dos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos e de reúso de águas residuárias de diversos estados do Brasil. 2019.

MORAVIA, Wagner Guadagnin; LANGE, Liséte Celina; AMARAL, Míriam Cristina Santos. Avaliação de processo oxidativo avançado pelo reagente de fenton em condições otimizadas no tratamento de lixiviado de aterro sanitário com ênfase em parâmetros coletivos e caracterização do lodo gerado. **Química Nova**, v. 34, n. 8, p. 1370-1377, 2011.

MOREIRA, Ricardo Wagner Mori et al. Avaliação sensorial e reológica de uma bebida achocolatada elaborada a partir de extrato hidrossolúvel de soja e soro de queijo. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 32, n. 4, p. 435-438, 2010.

NARDY, Vinícius Pimenta Delgado Ribeiro; CARVALHO, Glauco Rodrigues; DA ROCHA, Denis Teixeira. Mercado de leite fluido e queijos no Brasil: uma análise de 2005 a 2016. In: **Embrapa Gado de Leite- Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: WORKSHOP DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA GADO DE LEITE, 23., 2019, Juiz de Fora. Anais... Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2019.(Embrapa Gado de Leite. Documentos, 234)., 2019.

NOVAES, C. G. et al. Otimização de métodos analíticos usando metodologia de superfícies de resposta-Parte I: variáveis de processo. **Revista Virtual Química**, v. 9, n. 3, p. 1284-1215, 2017.

PARANÁ. Secretaria Estadual do Meio Ambiente – **SEMA. Resolução n. 001, de 11 janeiro de 2007**. Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. Curitiba, PR, 23 jan. 2007. Disponível em: <[http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao\\_ambiental/Legislacao\\_estadual/RESOLUCOES/RESOLUCAO\\_SEMA\\_01\\_2007.pd](http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/RESOLUCOES/RESOLUCAO_SEMA_01_2007.pd) f>. Acesso em: 01 jun. 2022.

PARANÁ. Secretaria Estadual do Meio Ambiente – **SEMA Resolução n. 021, de 22 de abril de 2009**. Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. Curitiba, PR, 22 abr. 2009. Disponível em: <[www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao\\_ambiental/Legislacao\\_estadual/RESOLUCOES/RESOLUCAO\\_SEMA\\_21\\_2009\\_LICENCIAMENTO\\_PADROES\\_AMBIENTAIS\\_SANEAMENTO.pdf](http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/RESOLUCOES/RESOLUCAO_SEMA_21_2009_LICENCIAMENTO_PADROES_AMBIENTAIS_SANEAMENTO.pdf)>. Acesso em: 01 jun. 2022.

PARANÁ. Conselho Estadual do Meio Ambiente (Cema). **Resolução nº 70, de 01 de Outubro de 2009**. Dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece condições e critérios e dá outras providências para empreendimentos industriais. PR. 2009.

PARANÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Sema). **Resolução nº 21, de 22 de Abril de 2009**. Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. PR. 2009.

PAULA, L. DE; ROLIM, M. M.; BEZERRA NETO, E.; SOARES, T. M.; PEDROSA, E. M. R.; SILVA, E. F. F. Crescimento e nutrição mineral de milho forrageiro em cultivo hidropônico com soro de leite bovino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.931-939, 2011.

PERRY, Kátia SP. Queijos: aspectos químicos, bioquímicos e microbiológicos. **Química nova** , v. 27, n. 2, pág. 293-300, 2004.

PRAZERES, Ana R.; CARVALHO, Fátima; RIVAS, Javier. Manejo de soro de queijo: uma revisão. **Revista de gestão ambiental** , v. 110, p. 48-68, 2012.

RAMJEAWON, T. Produção mais limpa em fábricas de cana-de-açúcar nas Maurícias. **Revista de produção mais limpa** , v. 8, n. 6, pág. 503-510, 2000.

RAMOS, JL et al. Processos oxidativos avançados no tratamento de águas residuárias: possibilidades mecânicas na poluição de poluição. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas** , v. 14, n. 4, pág. 372-388, 2020.

SANTOS, Carla. Estatística descritiva. **Manual de auto-aprendizagem**, v. 2, 2007.

SANTOS, Jânio Sousa; MACIEL, Laercio Galvão; SEIXAS, Vitória Nazaré Costa. Processo de Separação por Membrana (PSM): aplicação da tecnologia na indústria láctica. **DESAFIOS**, v. 1, n. 1, p. 210-226, 2015.

SARAIVA, Claudety Barbosa et al. Consumo de água e geração de efluentes em uma indústria de laticínios. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 64, n. 367, p. 10-18, 2009.

SELVASEMBIAN, Rangabhashiyam et al. Progresso recente em células de combustível microbianas para tratamento de efluentes industriais e geração de energia: fundamentos para aplicação em escala e desafios. **Tecnologia de Biorecursos** , p. 126462, 2021.

SERPA, E. Concentração de proteínas de soro de queijo por evaporação a vácuo e ultra filtração. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Regional Integrada, Erechim, 2005.

SHAUGHNESSY, J. Michael; PFANNKUCH, Maxine. Quão fiel é o Velho Fiel? Pensamento estatístico: Uma história de variação e previsão. **O Professor de Matemática** , v. 95, n. 4, pág. 252-259, 2002.

SHRIVASTAVA, Vaibhav et al. Águas residuais na indústria alimentar: Tecnologias de tratamento e potencial de reutilização. **Quimiosfera** , pág. 133553, 2022.

SIQUEIRA, Kennya Beatriz et al. O mercado lácteo brasileiro no contexto mundial. **Embrapa Gado de Leite-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2010.

VALENTE, José Pedro Serra; PADILHA, Pedro Magalhães; SILVA, Assunta Maria Marques. Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição

no ribeirão Lavapés/Botucatu-SP. **Eclética Química**, v. 22, p. 49-66, 1997.

VON SPERLING, M. Análise dos padrões brasileiros de qualidade de corpos d'água e de lançamento de efluentes líquidos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.3, n 1, p. 111-132, 1998.

ZHANG, Manman et al. Degradação combinada de células a combustível microbianas fotoeletrocatalíticas (PEC-MFC) de poluentes orgânicos refratários e utilização de eletricidade in-situ. **Chemosphere**, v. 214, p. 669-678, 2019.