

**UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES**  
**PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**CÂMPUS DE ERECHIM**  
**DEPARTAMENTO DAS ENGENHARIAS E CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO**  
**CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**BIANCA TRINDADE OLDONI**

**TANINO COMO ALTERNATIVA AO USO DE COAGULANTES QUÍMICOS NO  
TRATAMENTO DE EFLUENTE DE LATICÍNIO**

**ERECHIM – RS**

**2020**

**BIANCA TRINDADE OLDONI**

**TANINO COMO ALTERNATIVA AO USO DE COAGULANTES QUÍMICOS NO  
TRATAMENTO DE EFLUENTE DE LATICÍNIO**

**Trabalho de conclusão de curso  
apresentado como requisito parcial à  
obtenção do grau de Engenheiro  
Químico, Departamento das Engenharias  
e Ciências da Computação da  
Universidade Regional Integrada do Alto  
Uruguai e das Missões – Câmpus de  
Erechim.**

**Orientadora: Profa. Dra. Juliana Steffens**

**ERECHIM – RS**

**2020**

**BIANCA TRINDADE OLDONI**

**TANINO COMO ALTERNATIVA AO USO DE COAGULANTES QUÍMICOS NO  
TRATAMENTO DE EFLUENTE DE LATICÍNIO**

**Trabalho de conclusão de curso  
apresentado como requisito parcial à  
obtenção do grau de Engenheiro  
Químico, Departamento das Engenharias  
e Ciências da Computação da  
Universidade Regional Integrada do Alto  
Uruguai e das Missões – Câmpus de  
Erechim.**

Erechim, 15 de setembro de 2020.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Juliana Steffens  
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

---

Prof. Dr. Rogério Marcos Dallago  
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

---

Profa. Dra. Clarice Steffens  
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

*Dedico este trabalho aos meus pais Joseane e Chamberlain, meu avô Dalgino, minha avó Elides (in memorian) e tia Gistine (in memorian), pelo apoio e incentivo em concluir os meus estudos.*

## AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Joseane Trindade, por proporcionar a oportunidade de estudar Engenharia Química, além do incentivo, exemplo e ajuda diária; e ao meu pai, Chamberlain Marcos Oldoni, por apoiar e acreditar na minha capacidade em concluir meus estudos e principalmente no meu futuro. Vocês são muito importantes.

Em especial à minha falecida avó, Elides Teresinha Trindade, minha segunda mãe, meu exemplo de pessoa, uma grande importância na conclusão dos meus estudos.

Ao meu avô, Dalgino Moraes Trindade, que, apesar de incapaz no momento, enquanto pôde, esteve presente em todas etapas da minha vida, sempre mantendo interesse nos meus estudos.

À minha falecida madrinha, Gestine Cássia Trindade, uma grande acadêmica que sempre apoiou minhas escolhas e incentivou meu futuro.

À minha orientadora, Dra. Juliana Steffens, pela excelente disposição, paciência e ajuda, como profissional e como pessoa, na conclusão deste trabalho.

Ao meu professor, Dr. Rogério Marcos Dallago, pela ajuda e pelo aprendizado sempre que necessário para a realização deste trabalho.

À minha professora, Dra. Clarice Steffens, por aceitar o convite para participar da minha banca.

Ao meu coordenador, Dr. Marcelo Luis Mignoni, pela atenção e paciência diária, além de conceder a oportunidade em concluir os meus estudos na instituição.

À Rosi e à Sandy, pela grande ajuda e disponibilidade em laboratório sempre que necessário, e pelas análises feitas pela Rosi com muito carinho.

Aos meus amigos e familiares que cresceram junto comigo durante meus anos difíceis, sempre presentes no que precisasse e que fizeram presença na minha defesa.

Aos meus companheiros de laboratório pela ajuda, compreensão e paciência durante a realização dos meus experimentos.

À instituição URI Câmpus de Erechim pela oportunidade de formação e desenvolvimento pessoal.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho e para o meu futuro profissional.

*So close no matter how far. It couldn't  
be much more from the heart. Forever  
trusting who we are. And nothing else  
matters.*

(Nothing Else Matters - Metallica)

## RESUMO

A indústria de laticínios é um dos principais setores de produção alimentícia mundial, recebendo grande destaque no Brasil. No entanto, ela está entre as maiores poluidoras por conta das elevadas taxas de emissão de efluentes devido ao uso de água em variadas etapas dos seus processos. Tendo em vista a redução dos impactos ambientais e as legislações vigentes de lançamento de efluentes, estas indústrias buscam realizar tratamentos sustentáveis e mais viáveis destes resíduos, como a aplicação de coagulantes naturais em seus processos. Os métodos mais comuns para o tratamento são os físico-químicos de coagulação-floculação, caracterizados pela clarificação das águas e concentração de sólidos em forma de flocos, impulsionados pelo uso dos coagulantes inorgânicos ou orgânicos. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência da aplicação de coagulante natural à base de tanino (Tanfloc SG) em relação à aplicação de coagulantes inorgânicos (sulfato de alumínio, policloreto de alumínio e cloreto férrico) no tratamento de efluente líquido de laticínio. Para tanto, foram realizados testes independentes de coagulação entre duas marcas distintas de leite em pó que simularam o efluente, através do uso dos coagulantes de tanino, sulfato de alumínio, policloreto de alumínio e cloreto férrico. Desse modo, foi selecionada a marca mais efetiva, além das dosagens mínimas necessárias de cada coagulante. Esta seguiu para um procedimento de coagulação-floculação simples a partir da concentração mínima encontrada dos coagulantes. Como resposta da eficiência do processo, foram acompanhados os parâmetros de pH, cor, turbidez, sólidos totais (ST), sólidos suspensos (SS), sólidos sedimentáveis (SSed), carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT), além das porcentagens de remoção de cor, turbidez, COT e NT. As análises mostraram que os tratamentos geraram um efluente pós-tratamento que atende os padrões estabelecidos pela legislação para lançamento em corpos hídricos, exceto pelo ajuste necessário do pH para algumas amostras coaguladas com cloreto férrico e sulfato de alumínio. Foram observadas diminuições de cor e turbidez (~99%), para todos os coagulantes utilizados. Para a COT e NT, pode-se verificar reduções mais efetivas para o tanino e o policloreto de alumínio, entre 80 e 90%, respectivamente. Os coagulantes foram comparados posteriormente quanto à viabilidade econômica a partir do custo por m<sup>3</sup>, trazendo o tanino como de menor valor. Portanto, com base nos resultados encontrados, é constatado o tanino como uma alternativa mais barata, viável e eficaz de tratamento aos coagulantes químicos, além de causar menor dano ao meio ambiente por ser de origem natural, sendo considerado sustentável.

**Palavras Chaves:** efluente líquido de laticínio, coagulação-floculação, coagulantes, tanino.

## ABSTRACT

The dairy industry is one of the main sectors of world food production, receiving great prominence in Brazil. However, it is among the biggest polluters because of the high rates of effluent emissions due to the use of water in various stages of its processes. In view of the reduction of environmental impacts and the current legislation on the release of effluents, these industries seek to carry out sustainable and more viable treatments of these residues, such as the application of natural coagulants in their processes. The most common methods for treatment are the coagulation-flocculation physicochemicals, characterized by the clarification of waters and the concentration of solids in the form of flakes, driven by the use of inorganic or organic coagulants. In this context, the present work aimed to evaluate the efficiency of the application of natural tannin-based coagulant (Tanfloc SG) in relation to the application of inorganic coagulants (aluminum sulfate, aluminum polychloride and ferric chloride) in the treatment of liquid dairy effluent. For this purpose, independent coagulation tests were performed between two distinct brands of powdered milk that simulated the effluent, through the use of the coagulants of tannin, aluminum sulfate, aluminum polychloride and ferric chloride. In this way, the most effective brand was selected, in addition to the minimum dosages required for each coagulant. This followed to a simple coagulation-flocculation procedure based on the minimum concentration found for the coagulants. In response to the efficiency of the process, the parameters of pH, color, turbidity, total solids (ST), suspended solids (SS), sedimentable solids (SSed), total organic carbon (COT) and total nitrogen (NT) were proceeded, in addition to percentages of color removal, turbidity, COT and NT. The analysis showed that the treatments generated a post-treatment effluent that comply with the standards established by the legislation for release into water bodies, except for the necessary adjustment of the pH for some samples coagulated with ferric chloride and aluminum sulfate. Reductions in color and turbidity (~ 99%) were observed for all coagulants used. For COT and NT, more effective reductions for tannin and aluminum polychloride can be seen, between 80 and 90%, respectively. The coagulants were later compared for economic viability based on the cost per m<sup>3</sup>, bringing the tannin as of lower value. Therefore, based on the results found, tannin is found to be a cheaper, viable and effective treatment alternative to chemical coagulants, in addition to causing less damage to the environment as it is of natural origin, being considered sustainable.

**KEYWORDS:** liquid dairy effluent, coagulation-flocculation, coagulants, tannin.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Evolução da produção de leite no Brasil entre os anos de 1980 e 2018 .	<b>19</b>
<b>Figura 2</b> - Etapas de processos e os principais pontos de geração de resíduos em uma planta de laticínios.....	<b>21</b>
<b>Figura 3</b> - Reação de cationização do tanino da <i>Acacia mearnsii</i> .....	<b>29</b>
<b>Figura 4</b> - Estrutura polimérica do tanino fabricado no Brasil .....	<b>29</b>
<b>Figura 5</b> - Exemplo do final de um processo de decantação de um efluente .....	<b>30</b>
<b>Figura 6</b> - Aspecto visual dos coagulantes tanino (a), PAC (b), cloreto férrico (c) e sulfato de alumínio (d).....	<b>33</b>
<b>Figura 7</b> - Foto ilustrativa da primeira tentativa de coagulação-floculação com cloreto férrico, baseado na dosagem utilizada por Ceni (2017), observada para todos testes .....	<b>40</b>
<b>Figura 8</b> - Teste de coagulação-floculação com cloreto férrico, com os pHs ajustados para 9, 10, 11 e 12 .....	<b>40</b>
<b>Figura 9</b> - Formação de flocos em dosagem mínima de cloreto férrico para o efluente sintético A com: pH normal (~7) (a), pH 9 (b) e pH 10 (c); e para o efluente B com pH normal (~7) (d), pH 9 (e) e pH 10 (f) .....	<b>41</b>
<b>Figura 10</b> - Aspecto visual do efluente coagulado com PAC: efluente sintético A com pH normal (~7) (a), pH 9 (b) e pH 10 (c); e para o efluente B com pH normal (~7) (d), pH 9 (e) e pH 10 (f) .....	<b>42</b>
<b>Figura 11</b> - Aspecto visual dos efluentes sintéticos tratados com sulfato de alumínio: para o efluente B com pH 10 (a) e pH normal (~7) (c); e para o efluente A com pH 10 (b) e pH normal (~7) (d) .....	<b>44</b>
<b>Figura 12</b> - Teste de eficiência de floculação em dosagem mínima de tanino para o efluente sintético A com pH normal (~7) (a) e pH 10 (c); e para o efluente A com pH normal (~7) (b) e pH 10 (d) .....	<b>45</b>
<b>Figura 13</b> - Aspecto visual do tratamento convencional com o uso de cloreto férrico nas concentrações, em mg/L, de 1000 (a),1050 (b), 1100 (c), 1150 (d), 1200 (e), 1250 (f) e 1300 (g), todas contendo lodo no fundo do recipiente .....	<b>47</b>
<b>Figura 14</b> - Aspecto visual do tratamento convencional com o uso de PAC nas concentrações, em mg/L, de 1000 (a),1050 (b), 1100 (c), 1150 (d), 1200 (e), 1250 (f), 1300 (g) e 2000 (h), todas contendo lodo no fundo do recipiente .....	<b>48</b>
<b>Figura 15</b> - Aspecto visual do tratamento convencional com o uso de PAC nas concentrações, em mg/L, de 1800 (i), 1900 (j), 2000 (k), 2100 (l) e 2200 (m), todas contendo lodo no fundo do recipiente .....	<b>48</b>
<b>Figura 16</b> - Aspecto visual do tratamento convencional com o uso de cloreto férrico nas concentrações, em mg/L, de 1000 (a),1050 (b), 1100 (c), 1150 (d), 1200 (e), 1250 (f), 1300 (g) e 1350 (h), todas contendo lodo no fundo do recipiente .....	<b>49</b>

**Figura 17** - Aspecto visual do tratamento convencional com o uso de tanino nas concentrações, em mg/L, de 250 (a), 300 (b), 350 (c), 400 (d), 450 (e), 500 (f) e 550 (g), todas contendo lodo no fundo do recipiente .....**49**

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Valores de DBO, DQO, OG, NT, SST, SSV e pH para efluentes gerados em diferentes laticínios (em mg/L, exceto pH) .....	<b>22</b>
<b>Tabela 2</b> - Características físico-químicas de efluentes de indústrias de laticínios e padrões de lançamento previstos na Legislação.....	<b>23</b>
<b>Tabela 3</b> - Informações nutricionais do leite em pó comercial da marca A para elaboração experimental de um efluente sintético de laticínio .....	<b>31</b>
<b>Tabela 4</b> - Informações nutricionais do leite em pó comercial da marca B para elaboração experimental de um efluente sintético de laticínio .....	<b>32</b>
<b>Tabela 5</b> - Teores de pH, cor, turbidez, Carbono Orgânico Total (COT), Nitrogênio Total (NT), Sólidos Totais (ST) e Sólidos Sedimentáveis (SSed) para o efluente sintético A e B.....	<b>38</b>
<b>Tabela 6</b> - Padrões para lançamento de efluentes conforme legislações vigentes (CONAMA e CONSEMA) .....	<b>39</b>
<b>Tabela 7</b> - Dosagem mínima de coagulante, tempo de sedimentação e pH final do efluente sintético A e B em diferentes pHs, tratados com cloreto férrico 10% (m/v) .	<b>41</b>
<b>Tabela 8</b> - Dosagem mínima de coagulante, tempo de sedimentação e pH final do efluente sintético A e B em diferentes pHs, tratados com PAC 10% (m/v) .....	<b>43</b>
<b>Tabela 9</b> - Dosagem mínima de coagulante, tempo de sedimentação e pH final do efluente sintético A e B em pH normal e pH 10, tratados com sulfato de alumínio 10% (m/v).....	<b>44</b>
<b>Tabela 10</b> - Dosagem mínima de coagulante, tempo de sedimentação e pH final do efluente sintético A e B em pH normal e pH 10, tratados com tanino .....	<b>46</b>
<b>Tabela 11</b> - Caracterização do efluente tratado com cloreto férrico nas dosagens de 1100, 1150 e 1200 mg/L .....	<b>50</b>
<b>Tabela 12</b> - Porcentagem de remoção de cor, turbidez, COT e NT dos efluentes tratados da marca B com cloreto férrico em diferentes concentrações em comparação ao efluente bruto.....	<b>51</b>
<b>Tabela 13</b> - Caracterização do efluente tratado com policloreto de alumínio nas dosagens de 1300, 1900, 2000 e 2100 mg/L .....	<b>52</b>
<b>Tabela 14</b> - Porcentagem de remoção de cor, turbidez, COT e NT dos efluentes tratados da marca B com PAC em diferentes concentrações em comparação ao efluente bruto .....	<b>52</b>
<b>Tabela 15</b> - Caracterização do efluente tratado com sulfato de alumínio nas dosagens de 1050, 1100, 1150, 1200 e 1250 mg/L .....	<b>53</b>
<b>Tabela 16</b> - Porcentagem de remoção de cor, turbidez, COT e NT dos efluentes tratados da marca B com sulfato de alumínio em diferentes concentrações em comparação ao efluente bruto.....	<b>54</b>
<b>Tabela 17</b> - Caracterização do efluente tratado com tanino nas dosagens de 300, 350 e 400 mg/L .....	<b>55</b>

**Tabela 18** - Porcentagem de remoção de cor, turbidez, COT e NT dos efluentes tratados da marca B com tanino em diferentes concentrações em comparação ao efluente bruto .....**55**

**Tabela 19** - Custo por m<sup>3</sup> de efluente para os coagulantes à base de cloreto férrico, policloreto de alumínio, sulfato de alumínio e tanino, baseado nas melhores condições encontradas no tratamento convencional.....**56**

## LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E UNIDADES DE MEDIDA

a\* = cromaticidade que tende do verde (-) ao vermelho (+)

ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABS Pt-Co = Absorbância Platina-Cobalto

APHA = *American Public Health Association* (Associação Americana de Saúde Pública)

AWWA = *American Water Works Association* (Associação Americana de Águas)

b\* = cromaticidade que varia do azul (-) ao amarelo (+)

°C = graus Celsius

CONAMA = Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONSEMA = Conselho Estadual do Meio Ambiente

COT ou TOC = Carbono Orgânico Total ou *Total Organic Carbon*, mg/L

DBO = Demanda Biológica de Oxigênio, mg/L

DQO = Demanda Química de Oxigênio, mg/L

EMBRAPA = Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAO = *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação)

g = grama

g/L = grama por litro

Hue = ângulo de tonalidade

IBGE = Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IC = carbono inorgânico

kcal = quilocaloria

kJ = quilojoule

L = litro

L\* = luminosidade da amostra variando de 0 (escuro) a 100 (claro)

m = metro

M = molar

m<sup>3</sup> = metro cúbico

m/V = relação massa e volume

mg = miligrama

mg/L = miligrama por litro

min = minutos

mL = mililitro

mL/L = mililitro por litro

NBR = Norma Brasileira

NT = Nitrogênio Total, mg/L

NTU = Unidade Nefelométrica de Turbidez

OG = Óleos e Gorduras, mg/L

P<sub>1</sub> = massa final da amostra

P<sub>2</sub> = massa inicial da amostra

PAC = Policloreto de Alumínio

pH = potencial Hidrogeniônico

\$ = dólar

SS = Sólidos Suspensos ou Lodo Final, mg/L

SSsed = Sólidos Sedimentáveis, mL/L

SST = Sólidos Suspensos Totais, mg/L

SSV = Sólidos Suspensos Voláteis, mg/L

ST = Sólidos Totais, mg/L

tan<sup>-1</sup> = tangente inversa

Tanfloc = Tanato Quaternário de Amoneo

TC = concentrações de carbono

UASB = *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente)

µg = micrograma

µL = microlitro

µm = micrometro

V<sub>a</sub> = volume da amostra

WEF = *Water Environment Federation* (Federação de Ambiente Aquático)

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>18</b>
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 Produção de leite mundial e no Brasil.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2 Efluentes das indústrias de laticínios .....</b>	<b>20</b>
<b>3.3 Métodos convencionais para o tratamento de efluente de laticínio .....</b>	<b>23</b>
<b>3.4 Processo de coagulação-floculação e o uso de agentes coagulantes.....</b>	<b>25</b>
3.4.1 Coagulantes inorgânicos/químicos .....	26
3.4.2 Coagulantes orgânicos/naturais .....	27
<b>3.5 Processo de decantação de um efluente de laticínio.....</b>	<b>29</b>
<b>3.6 Processo de filtração simples de um efluente de laticínio .....</b>	<b>30</b>
<b>4 METODOLOGIA .....</b>	<b>31</b>
<b>4.1 Preparo das amostras de efluente.....</b>	<b>31</b>
<b>4.2 Testes preliminares de pH e dosagem de coagulantes .....</b>	<b>32</b>
<b>4.3 Tratamento do efluente de laticínio com diferentes coagulantes .....</b>	<b>33</b>
<b>4.4 Determinações analíticas .....</b>	<b>34</b>
4.4.1 Cor aparente.....	34
4.4.2 Turbidez.....	35
4.4.3 pH .....	35
4.4.4 Carbono Orgânico Total (COT ou TOC) .....	35
4.4.5 Sólidos Totais (ST) .....	36
4.4.6 Sólidos Sedimentáveis (SSed) .....	36
4.4.7 Nitrogênio Total (NT) .....	36
4.4.8 Sólidos Suspensos ou Lodo Final (SS) .....	37
<b>4.5 Análise Estatística.....</b>	<b>37</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>38</b>
<b>5.1 Caracterização dos efluentes sintéticos e padrões de lançamento .....</b>	<b>38</b>
<b>5.2 Testes de pH e dosagem de coagulantes .....</b>	<b>39</b>
5.2.1 Testes preliminares para o cloreto férrico.....	39

5.2.2 Testes preliminares para o policloreto de alumínio .....	42
5.2.3 Testes preliminares para o sulfato de alumínio .....	43
5.2.4 Testes preliminares para o tanino.....	45
<b>5.3 Tratamento convencional com o uso de coagulantes .....</b>	<b>46</b>
5.3.1 Tratamento convencional com cloreto férrico .....	46
5.3.2 Tratamento convencional com policloreto de alumínio .....	47
5.3.3 Tratamento convencional com sulfato de alumínio.....	48
5.3.4 Tratamento convencional com tanino .....	49
<b>5.4 Caracterização dos efluentes tratados.....</b>	<b>50</b>
5.4.1 Caracterização do efluente tratado com cloreto férrico .....	50
5.4.2 Caracterização do efluente tratado com policloreto de alumínio .....	52
5.4.3 Caracterização do efluente tratado com sulfato de alumínio .....	53
5.4.4 Caracterização do efluente tratado com tanino .....	55
<b>5.5 Custo dos coagulantes.....</b>	<b>56</b>
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>57</b>
<b>7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>58</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>59</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As indústrias de laticínios são um setor alimentício de grande abrangência no Brasil, sendo um dos maiores produtores do mundo, com alto consumo por parte da população e de elevada importância na economia. No entanto, geram grandes quantidades de efluentes líquidos, pois requerem vários processos de higienização, sendo consideradas altamente poluentes por conta da elevada carga orgânica. A procura por gestões e desenvolvimento de tecnologias mais sustentáveis nessas empresas recebe grande destaque mundial, e, como consequência, a busca por alternativas que sejam viáveis e eficientes, não apenas para intensificar as regulamentações ambientais, mas também para a conscientização na preservação dos recursos naturais e redução dos impactos ambientais no ecossistema (BRIÃO, TAVARES, 2007; VOURCH et al., 2008).

As dificuldades no tratamento destes efluentes ocorrem por sua composição ser geralmente de alto teor de matéria orgânica, concentração de óleos e graxas (gorduras), teores de nitrogênio e fósforo, sólidos suspensos e nutrientes alimentícios (ANDRADE, 2011). Seu lançamento direto em corpos hídricos sem o prévio tratamento gera impactos, como a elevação da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), aumento da concentração de sólidos solúveis, eutrofização e proliferação de doenças transportadas pela água (SANTOS, 2006).

Para o tratamento deste efluente são utilizados processos físico-químicos e biológicos. Um dos mais utilizados no processo físico-químico é a coagulação-floculação, a qual visa a remoção de cor, turbidez e matéria orgânica (ALMEIDA; GROSSI, 2014). Quando o tratamento físico-químico é realizado de maneira eficiente no tratamento de efluentes, a carga orgânica do tratamento biológico subsequente é consideravelmente reduzida.

Os coagulantes mais utilizados no processo de coagulação-floculação são o sulfato de alumínio e o cloreto férrico, os quais apresentam desvantagens em relação ao equilíbrio do pH, consumo da alcalinidade da água, com destaque aos sais de alumínio, que se associam com a doença de Alzheimer pelo consumo da água com concentrações deste metal, geração de lodo com substâncias tóxicas e não biodegradáveis.

Para minimizar os problemas associados aos coagulantes químicos, estudos têm demonstrado que o uso de coagulantes naturais, extratos de micro-organismos, animais ou plantas que podem ser utilizados (MUNIZ, 2018).

O emprego de coagulantes naturais nos processos físico-químicos de tratamento de efluentes são uma alternativa em relação aos inorgânicos, pois apresentam baixo custo, maior biodegradabilidade, não toxicidade e o uso de condições menores de pH na coagulação (YIN, 2010). Além disso, o lodo produzido no tratamento de efluentes com estes coagulantes pode ser utilizado na agricultura como fonte de matéria orgânica e nutrientes para as plantas e na melhoria das propriedades do solo (MUNIZ, 2018).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

O objetivo geral do presente estudo é avaliar a eficiência da aplicação de coagulante natural à base de taninos em relação aos coagulantes inorgânicos (sulfato de alumínio, policloreto de alumínio e cloreto férrico) no tratamento de efluente líquido de laticínio.

### **2.2. Objetivos Específicos**

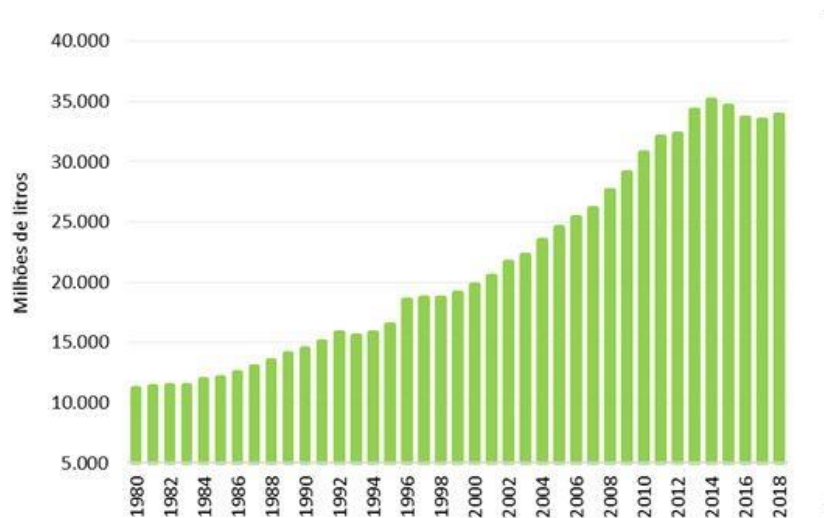
- ❖ Caracterizar os efluentes líquidos das marcas A e B em relação ao pH, cor, turbidez, sólidos totais (ST), sólidos sedimentáveis (SSed), COT (Carbono Orgânico Total) e NT (Nitrogênio Total);
- ❖ Determinar a dosagem mínima e pH ótimo dos coagulantes cloreto férrico, policloreto de alumínio, sulfato de alumínio e tanino;
- ❖ Avaliar a eficiência de remoção de pH, cor, turbidez, sólidos suspensos ou lodo final (SS), sólidos sedimentáveis (SSed), COT (Carbono Orgânico Total) e NT (Nitrogênio Total), para o efluente tratado com cloreto férrico, policloreto de alumínio, sulfato de alumínio e tanino;
- ❖ Avaliar a eficiência e viabilidade do tanino em relação aos coagulantes químicos.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1. Produção de leite mundial e no Brasil

De acordo com a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), em 2018, a produção de leite no mundo chegou a aproximadamente 843 bilhões de litros. Assim, esta matéria-prima classifica-se como a segunda taxa que mais cresce no mundo, além da implementação de novas técnicas e tecnologias nessa área, fazendo a produção leiteira ocupar um grande espaço na economia mundial. O primeiro lugar no ranking está com a Ásia e seus 40% da fabricação deste produto no planeta, com destaque para a China. A América do Sul ocupa a quarta colocação, participando de quase 8% dessa formação, sendo o Brasil o maior produtor do continente (FAO, 2018). Destes 843 bilhões de litros, o Brasil contribui com 33,8 bilhões de litros, conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), ficando entre os dez países com a maior produção de leite. A Figura 1 mostra a evolução da produção de leite no Brasil ao longo dos anos e, mesmo com uma pequena redução em 2015, continua com sua alta taxa perante o continente sul-americano (IBGE, 2018).

**Figura 1** – Evolução da produção de leite no Brasil entre os anos de 1980 e 2018.



**Fonte:** Elaborado pelo Milkpoint (2019), baseado nos dados do IBGE (2018).

O setor lácteo é um dos mais significativos no Brasil, onde as atividades são realizadas em todos Estados. As regiões Sul e Sudeste têm a maior notoriedade, totalizando 70% da produção de leite no país (MILKPOINT, 2019). Segundo o IBGE, o Sul está em primeiro lugar na posição nacional e aumenta sua participação constantemente, com um volume de 11,6 bilhões de litros de leite no ano de 2018, ficando responsável por 34,2% da geração no país. Já a segunda região mais importante aparece como o Sudeste, com seus 11,5 bilhões de litros de leite produzidos. Com relação aos estados, Minas Gerais se caracteriza como o maior produtor de leite do Brasil (8,9 bilhões de litros), representando 26,4% do total nacional, seguido do Paraná e Rio Grande do Sul, com 4,4 bilhões de litros e 4,2 bilhões de litros de leite, respectivamente (IBGE, 2018).

### 3.2. Efluentes das indústrias de laticínios

Conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e sua Norma Brasileira (NBR) 9800/1987, efluente líquido é definido como todo despejo líquido vindo de um estabelecimento industrial, entre eles os originados desses processos industriais, águas de refrigeração poluídas (águas servidas de utilidades), águas pluviais poluídas e esgoto doméstico.

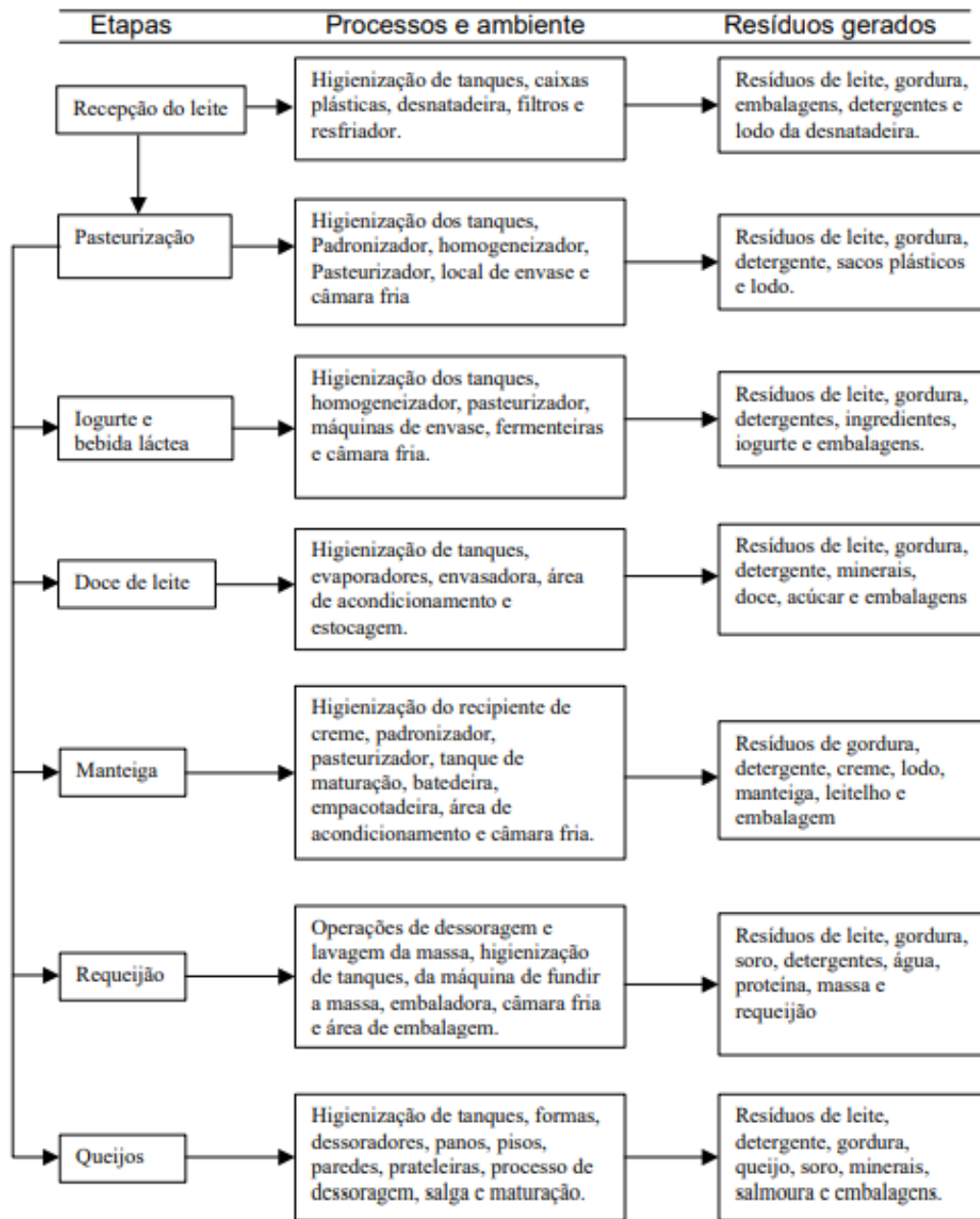
Os laticínios estão entre os maiores poluidores das indústrias de alimentos devido às elevadas gerações de efluentes pelo uso da água nas etapas do processo e a presença de carga orgânica, principalmente do soro do leite (ANDRADE, 2011; RIBEIRO, 2015).

A média de efluente gerada para cada litro de leite beneficiado é de cerca de dois litros e meio, chegando a originar 40 milhões de metros cúbicos ao ano no Brasil (VILLA, SILVA, NOGUEIRA, 2007). De acordo com a Comissão Europeia, do inglês *European Commission* (2006), a formação de efluentes nestas indústrias atende ao tipo de produto fabricado, sendo para os produtos brancos (leites, cremes e iogurtes) cerca de 3 litros por quilo de leite processado, para produtos amarelos (manteigas e queijos) 4 litros por quilo de leite processado e para produtos especiais (leite, soro e produtos lácteos desidratados) 5 litros por quilo de leite processado.

Estes efluentes são os líquidos originados de atividades praticadas na indústria que, na maioria, estão entre as operações de limpeza e lavagem de equipamentos, bem como os procedimentos de descarga e descarte, além dos vazamentos e derramamentos (MACHADO et al., 2002). A Figura 2 apresenta um esquema das etapas destes processamentos e seus principais locais de geração de efluentes em uma planta de laticínios.

O consumo maior de água nestas plantas de laticínios está presente nas operações de processamento e limpeza, correspondendo a cerca de 80% do volume total, gerando vazões de efluente em torno de 1,1 a 6,8 litros por metro cúbico de leite processado, por conta do enxague e desinfecção de latões de leite, tanques, tubulações com resíduos de leite e pisos (BRIÃO, 2007; SARAIVA et al., 2009). A descarga e descarte são considerados a retirada do soro e sólidos do leite de clarificadoras, finos da produção de queijo e produtos retornados, evacuação do leite e misturas dos equipamentos, e a purga de soluções de limpeza. De imediato, os vazamentos e derramamentos acontecem nas tubulações e demais instalações quando operados ou consertados de forma inapropriada, além dos transbordamentos dos tanques (OMIL et al., 2003).

**Figura 2** – Etapas de processos e os principais pontos de geração de resíduos em uma planta de laticínios.



Fonte: Silva (2006).

Os resíduos líquidos dos laticínios apresentam altos teores de sais e nutrientes, como o nitrogênio, fósforo e potássio, e matéria orgânica (óleos, gorduras, graxas, sólidos suspensos, material flotável, proteínas, lactose, ácido láctico), auxiliando na grande demanda química e bioquímica de oxigênio (AQUARONE et al., 2001; NAIME, GARCIA, 2005). De forma aprofundada, os constituintes presentes nos mesmos são substâncias associadas ao leite; detergentes e desinfetantes (higienização); areia e poeira (limpeza e transporte); lubrificantes (manutenção); além da presença de açúcar, pedaços de frutas, essências, soro, entre outros (SALAZAR, 2009). Os danos ambientais causados estão relacionados com uma alta carga orgânica e concentrações de substratos

fermentáveis com odores desagradáveis presentes nestes, sendo extremamente necessária sua remoção (CENI, 2017).

Na Tabela 1, são apresentados os valores de Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Óleos e Gorduras (OG), Nitrogênio Total (NT), Sólidos Suspensos Totais (SST), Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) e Potencial Hidrogeniônico (pH) de efluentes gerados em diversos laticínios, revelando como são produzidos em grande quantidade, sendo considerados uma grande fonte poluidora do meio ambiente (BORTOLUZZI, 2016).

**Tabela 1** – Valores de DBO, DQO, OG, NT, SST, SSV e pH para efluentes gerados em diferentes laticínios (em mg/L, exceto pH).

Origem	DQO	DBO	OG	NT	SST	SSV	pH
LC	4000	2600	400	55	675	635	8 – 11
LC	4000	2160	-	200	-	500	5 – 9
LC	2926	1580	294	36	-	-	6,7
LC	4500	2300	-	56	816	-	7,2
LC	633	260	-	106	240	-	8,9
LC	2125	1250	-	70	280	250	9,8
LC	4500	2300	350	60	800	-	-
LC	3190	1950	690	43	820	-	5 – 10
FQ	4430	3000	754	18	1100	-	7,32
IM	1500	1000	-	63	191	-	-

LC: laticínio; FQ: fábrica de queijo; IM fábrica de iogurte e manteiga.

**Fonte:** adaptado de OMIL et al. (2003) apud GUERRA FILHO (2007).

Na Tabela 2, são apresentadas as características físico-químicas de efluentes de indústrias de laticínios citadas na literatura e os padrões de emissão previstos na legislação vigente, da Resolução CONSEMA n° 355/2017 (RIO GRANDE DO SUL, 2017), que fixa os padrões de lançamento desses efluentes líquidos em águas superficiais no Rio Grande do Sul, e da Resolução CONAMA n° 430/2011 (BRASIL, 2011) que abordam as condições de lançamentos dos mesmos, variando em virtude da vazão e dos padrões de lançados e o estabelecido para a classe em que o corpo hídrico se encaixa para cada parâmetro (BORTOLUZZI, 2016).

**Tabela 2** – Características físico-químicas de efluentes de indústrias de laticínios e padrões de lançamento previstos na Legislação.

Parâmetro	Andrade et al. (2014)	Brião (2007)	Silva (2006)	Res. 355/2017 CONSEMA	Res. 430/2011 CONAMA
Cor (mg Pt-Co/L)	2316,6	-	-	Não deve conferir mudança de coloração ao corpo hídrico receptor	-
Turbidez (FAU)	-	2180,0	-	-	-
DQO (mg/L)	2937,6	3405,1	2120 – 4287	150 – 400	-
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	1120,0	-	496 – 1712	40 – 180	Remoção mínima de 60%
Proteína (mg/L)	-	477,0	-	-	-
Lactose (mg/L)	-	914,8	-	-	-
OG animais (mg/L)	-	879,0	22,1 – 806	30	50
Sólidos Suspensos (mg/L)	-	844,0	230 – 780	50 – 180	-
NT (mg/L)	49,8	-	-	20	20
pH	-	-	4,9 – 11,28	6,0 – 9,0	5,0 – 9,0

**Fonte:** Bortoluzzi (2016), adaptado de Andrade et al. (2014), Brião (2007), Silva (2006), Rio Grande do Sul (2006) e Brasil (2011).

As políticas ambientais para estas empresas estão cada vez mais rígidas quando se fala em descarte de resíduos. Estes efluentes, caso descartados sem tratamento nos cursos de água, de forma negligenciada, representam riscos para o meio ambiente, principalmente no aumento da poluição hídrica, impactando a vida dos seres deste meio. Sendo assim, faz-se necessário o tratamento dos resíduos antes de seu descarte final (SARAIVA et al., 2009; EMBRAPA, 2012; RIBEIRO, 2015; CENI, 2017). O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) definiu, com a Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011, que o lançamento de efluentes de fontes poluidoras para outras receptoras podem ser realizados somente depois do tratamento adequado (BRASIL, 2011).

### 3.3. Métodos convencionais para o tratamento de efluente de laticínio

O tratamento de efluentes é utilizado para reduzir a quantidade de poluentes a níveis aceitáveis, de acordo com a legislação de cada país, para uma destinação correta e que evite o aumento de danos ao meio ambiente (MINOZZO, 2017).

Os métodos para tratamento de efluentes de laticínios mais conhecidos são os físicos, químicos e biológicos que envolvem processos e operações unitárias de mesma condição (CAVALCANTI, 2016). Estes processos podem ser combinados

para um melhor tratamento, devido à limitação, eficácia e despesa de cada técnica (ANDRADE, 2015).

Os processos físicos são fenômenos de natureza física, caracterizados pela retirada de substâncias que são fisicamente removíveis ou que não estão diluídas no efluente, sendo eles o gradeamento, peneiramento, sedimentação, decantação, filtração, osmose reversa, homogeneização. Enquanto os químicos vêm de aplicações de produtos químicos ou reações químicas, usados quando os outros processos não são adequados na remoção dos poluentes, entre eles estão a coagulação, floculação, neutralização, precipitação, oxidação, redução, adsorção, troca iônica, desinfecção. Já os biológicos ou bioquímicos são os que precisam da ação dos microrganismos dos efluentes, tais como os lodos ativados, lagoas de estabilidade, lagoas aeradas, filtros biológicos, biodiscos, reatores anaeróbicos de fluxo ascendente, digestão de lodo (STEIN, 2012).

O tratamento de efluentes é dividido, conforme a necessidade de remoção, em tratamento preliminar ou pré-tratamento, tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário (MINOZZO, 2017).

O pré-tratamento é constituído de processos físicos e consiste na remoção de detritos e sólidos grosseiros, que é feita geralmente com o uso de gradeamento (grandes ou peneiras). Esses resíduos podem ser de embalagens, fragmentos de pedras e coágulos do leite. Este processo evita que o efluente cause prejuízos no sistema para a próxima etapa, como obstruções ou entupimentos, acúmulo de odor e aspecto desagradáveis (ANDRADE, 2011; MINOZZO, 2017).

A etapa de tratamento primário é conhecida como método físico-químico para remoção de sólidos suspensos, óleos e gorduras. Os procedimentos realizados podem incluir principalmente a coagulação/floculação com sais de alumínio e ferro, mas também a flotação, decantação/sedimentação e filtração (ANDRADE, 2011; HAMERSKI, 2012). Inicia-se com a operação de sedimentação ou decantação primária, onde é feita a separação dos sólidos em suspensão, passando o efluente por um tanque, que sedimenta esses resíduos pela ação da gravidade ou, se necessário, pela adição de substâncias coagulantes, formando um lodo primário bruto, que é retirado com a ajuda de raspadores mecânicos ou até mesmo por uma filtração para melhor eficácia. Já a flotação trabalha com a adesão de microbolhas de ar na superfície das partículas e feita a retirada também com os raspadores (VON SPERLING, 2005).

Em seguida, é efetuado o tratamento secundário, que tem como objetivo a remoção da matéria orgânica dissolvida e nutrientes (nitrogênio e fósforo), sendo considerada uma etapa biológica, incluindo vários microrganismos como fungos e bactérias. Estes microrganismos quando em contato com o material orgânico do efluente, tanto em ambiente aeróbio quanto em anaeróbio, o convertem em gás carbônico, água e células, tornando efetiva a decomposição biológica com devido monitoramento. Após a decomposição ou degradação, ocorre a metabolização da matéria orgânica, reduzindo em torno de 60 a 80% de DBO (VON SPERLING, 2005; MINOZZO, 2017).

O ambiente aeróbio utiliza bactérias aeróbias com necessidade constante de oxigênio para o efluente, se destaca pelo uso de biorreatores de lagoas de estabilização, biodiscos, lodos ativados, filtros biológicos e lagoas aeradas, onde a matéria orgânica é removida, tendo menor produção de lodo, grandes remoções de DQO e produção de gás, que pode ser usado como fonte energética; e o ambiente anaeróbio utiliza as bactérias anaeróbias ou aeróbias facultativas em biorreatores

como os biodigestores de lodo, lagoas anaeróbias, fossas sépticas e os reatores de fluxo ascendente (reatores UASB, do inglês Upflow Anaerobic Sludge Blanket), que diminuem a carga orgânica dissolvida das águas residuais), que exigem menor área de instalação e produzem menos lodo para descarte (ANDRADE, 2011; ANDRES JUNIOR, 2015; JUSTINA, KEMPKA, SKORONSKI, 2017).

Já o tratamento terciário tem o objetivo de remover poluentes ou complementar a remoção dos mesmos que vieram do tratamento secundário, ou seja, fazer o polimento do efluente para seu destino final, realizando uma desinfecção para retirada de nutrientes, compostos orgânicos, coloração e odor que não foram removidos na etapa biológica (VON SPERLING, 2005; STEIN, 2012).

### **3.4. Processo de coagulação-floculação e o uso de agentes coagulantes**

Dentro do tratamento convencional de efluentes, que é conhecido por ser o tratamento primário, as operações mais bem-sucedidas e também essenciais são as de coagulação e floculação. Estes procedimentos ganharam importância por volta do século XIX, onde foi descoberta que a existência de partículas e patógenos era diretamente proporcional na água ou efluente e, com a coagulação e consequente floculação, foi possível reduzir a transmissão de doenças causadas pela ingestão de água contaminada (LIBÂNIO, 2010).

A coagulação é um processo que envolve a desestabilização dos materiais coloidais que estão suspensos, cujo diâmetro está entre 0,001 e 1  $\mu\text{m}$ , ou dissolvidos, causadores da cor e turbidez, ou seja, tem como objetivo neutralizar as cargas elétricas negativas das substâncias suspensas através de compostos químicos com cargas positivas, que são os agentes coagulantes, formando os flocos grandes e pesados (floculação) que entrarão em decantação (VAZ, 2009; ANDRES JUNIOR, 2015; JUSTINA, 2017). Neste método o coagulante é adicionado ao meio, geralmente de sais de alumínio e ferro, reduzindo as forças que mantêm as partes em suspensão separadas, além da diminuição da DQO, sendo necessária agitação para um melhor êxito (CARDOSO et al., 2008; SOLANA, 2014).

A agitação é o resultado da ação de quatro principais mecanismos: compressão da camada difusa; adsorção e neutralização de cargas; varredura; adsorção e formação de pontes (DI BERNARDO, DANTAS, 2005). A compressão da camada difusa anula as forças entre as partículas pela adição de íons de carga contrária à dos colóides. A neutralização se une com a adsorção de um coagulante de carga diferente do colóide, resultando em uma carga líquida próxima a zero. A varredura tem formação de precipitados conforme a quantidade do coagulante adicionada, desenvolvendo um floco maior e com rápida sedimentação (PAVANELLI, 2001). A adsorção e formação de pontes é feita com polímeros orgânicos e inorgânicos de grandes cadeias moleculares com sítios ionizáveis que formam pontes entre os colóides, sendo que os orgânicos reduzem as dosagens de coagulante (LIBÂNIO, 2010).

A floculação, que está vinculada à coagulação, é a segunda etapa onde ocorre a aglomeração entre as partículas sólidas antes desestabilizadas para que elas formem aglomerados maiores que podem decantar, devido às forças de Van der Waals, e ser removidos com facilidade por sedimentação, filtração ou flotação. As partículas agregadas adquirem peso, ou seja, maior densidade, e decantam no fundo do tanque, sendo possível sua retirada. Os flocos também podem se formar

de maneira espontânea, apenas pelos choques entre os fragmentos, desde que haja energia disponível decorrente da agitação, que deve ser mecânica e lenta (VON SPERLING, 2005; CARDOSO et al., 2008; LIBÂNIO, 2010; SOUZA et al., 2014).

A coagulação-floculação é caracterizada pela clarificação das águas, que deve ficar com uma baixa concentração de sólidos em suspensão, pelo arraste dessas partículas através dos coagulantes (MATEUS et al., 2015). Após a coagulação, as partículas apresentam tamanho que varia de 0,5 a 5  $\mu\text{m}$ , e na fase da floculação há formação de flocos maiores, entre 100 e 5000  $\mu\text{m}$  (LEE, ROBINSON, CHONG, 2014).

Esta técnica depende de fatores como o pH ótimo e adequado do efluente, tempo, velocidade da mistura, e, principalmente, dosagens ótimas de coagulantes. Estes, quando otimizados, garantem eficiência no processo (VON SPERLING, 2005). Além disso, tem como vantagens a ocorrência em baixas temperaturas, pouco consumo de energia e atinge elevados níveis de purificação em uma única tentativa (MAGACHO, 2009).

São necessárias para o processo duas etapas: mistura rápida e mistura lenta. A primeira etapa de mistura rápida, normalmente conduzida em câmaras com checagem de pH, é onde ocorre a dissipação do coagulante para que ele seja totalmente aproveitado. A segunda etapa de mistura lenta acontece depois da desestabilização das partículas e da formação dos coágulos, iniciando a floculação, que é pela leve agitação para que as partículas se choquem e aumentem, formando flocos que decantam, caracterizando-se por uma operação unitária de clarificação (LIBÂNIO, 2010).

O aumento da eficácia no tratamento primário é obtido com a ajuda dos coagulantes, que podem inorgânicos, dentre os principais os sais de alumínio e ferro, ou orgânicos, encontrados em substâncias naturais, que são muito bem-sucedidos na remoção de materiais coloidais, ou seja, coaguláveis (VON SPERLING, 2005; KUSHWAHA, SRIVASTAVA, MALL, 2010).

Os coaguladores devem ser capazes de produzir hidróxidos insolúveis que englobam os elementos de diâmetro reduzido, precipitados e espécies hidrolisadas em dissociação em meio aquoso, desativando e formando os tais flocos. Estes agentes produzem espécies catiônicas que promovem a perda de estabilidade das partículas do meio pela neutralização/redução de cargas, e os floculantes realizam a formação de flocos e agregados maiores, favorecendo sua remoção nos processos de sedimentação e filtração (LEE, ROBINSON, CHONG, 2014).

### **3.4.1. Coagulantes inorgânicos/químicos**

Para o estímulo do processo de coagulação, geralmente são utilizados coagulantes inorgânicos, também chamados de químicos, derivados de sais de ferro e de alumínio, como o sulfato de alumínio ( $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$ ) e o cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3$ ), considerados os mais convencionais, e o policloreto de alumínio (PAC) (JUSTINA, 2017).

O sulfato de alumínio é um sal de alumínio que possui um elemento eletropositivo, que, quando em contato com a água, promove uma atração entre as partículas de carga negativa, formando os flocos (MINOZZO, 2017). É o coagulante mais usado no Brasil por conta da relativa eficiência, baixo custo, fácil armazenamento e transporte, e trabalha em uma boa faixa de pH, entre 5 e 8. O pH

do efluente tratado é alterado e precisa ser corrigido com produtos químicos, além de seu lodo resultante não ser biodegradável, dificultando sua disposição final e, quando consumido na água potável em elevadas concentrações (maiores que 0,1 mg/L), pode causar problemas à saúde humana, como o Mal de Alzheimer, sendo necessário o rígido controle do residual de alumínio na água após o tratamento (CARDOSO et al., 2008; MATEUS et al., 2015; TALIB, IDRIS, ASLINA, 2016).

O cloreto férrico tem uma alta eficiência de remoção da turbidez e das partículas suspensas em variados efluentes, reage de forma a neutralizar cargas negativas dos colóides e proporciona a formação dos hidróxidos insolúveis de ferro, o que o faz agir sobre ampla faixa de pH, entre 5 e 11, produzindo bons flocos, reduzindo a quantidade de sólidos suspensos, de DQO e eliminando fosfatos (PAVANELLI, 2001; MATOS et al., 2007). Ele possui o ferro como elemento eletropositivo, alterando o pH final da água, sendo necessária a correção dele com outro composto químico. Além disso, a presença de ferro no efluente também pode alterar a coloração, deixando a água amarelada e turva, dependendo da quantidade que é usado, tendo um custo mais elevado em relação ao sulfato de alumínio (VAZ, 2009).

O policloreto de alumínio (PAC 10%) é um polímero inorgânico e um coagulante catiônico à base de cloreto de polialumínio pré-hidrolisado, que consome menos alcalinidade, remove melhor a cor e gera menor volume de lodo que os não-hidrolisados (JUSTINA, 2017). Este coagulante é pré-hidrolisado por ser formado pela hidrólise forçada de um coagulante simples como o sulfato de alumínio ou cloreto de alumínio, o tornando mais eficiente e, por ter alta basicidade, libera uma menor quantidade de ácidos que estes convencionais ao entrar em contato com a água, ocasionando pouca variação do pH do meio (PAVANELLI, 2001; SANTOS, 2014). Os polímeros também realizam a neutralização das cargas dos materiais suspensos na água, formando flocos maiores do que os outros coagulantes, que atuam em uma grande faixa de pH, entre 6 e 9, não alterando a qualidade do efluente final (ANDRADE, 2015; MINOZZO, 2017).

As desvantagens no uso de coagulantes inorgânicos estão desde a atuação em faixas restritas de pH, nos problemas de saúde causados pelos íons metálicos residuais na água tratada, alterando a alcalinidade e fazendo necessário o controle rígido dos resíduos, até na produção de grandes volumes de lodo que precisam de tratamento posterior para melhor remoção, tornando-se um processo caro (VAZ, 2009).

### **3.4.2. Coagulantes orgânicos/naturais**

Melhorias no tratamento primário, como o uso dos coagulantes naturais, aliados a tecnologias no tratamento secundário, podem trazer benefícios para o aperfeiçoamento das estações de tratamento de efluentes nas indústrias de laticínios. Estes apresentam vantagens em relação aos químicos pois possuem baixa toxicidade, alta disponibilidade, baixo custo, biodegradabilidade, baixo volume de produção de lodos residuais (de 4 a 5 vezes menor lodo produzido), pode ser usado na adubação do solo; não tem alteração significativa do pH (CARDOSO et al., 2008; RIBEIRO, 2015; SOARES, QUITÉRIO, VENDRAMEL, 2018). Apesar disso, há dificuldades para obtê-los em boa qualidade e quantidade para operar o sistema de

tratamento, além do seu uso aumentar a matéria orgânica da água, que, ao fermentar, ocasiona mau cheiro.

Estes coagulantes são conhecidos como polieletrólitos, polímeros com unidades repetitivas com grupos eletrolíticos, que se dissociam, criando extensas cadeias de alto peso molecular com cargas positivas ou negativas (BORBA, 2001).

Os principais coagulantes naturais utilizados em tratamentos de efluentes são a moringa (*Moringa oleífera Lam.*), o quiabo (*Abelmoschus esculentus*), a quitosana e os taninos (*Acacia mearnsii*, *Schinopsis balansae* e *Castanea sativa*) (SANTOS et al., 2009; FERRARI, 2015).

A moringa é uma planta originada da Índia com alto valor nutricional e medicinal, além das propriedades de coagulação e clarificação das suas sementes em poluentes de efluentes (MATEUS et al., 2015). Ela é comum em locais tropicais, como o nordeste do Brasil, onde tem uma boa adaptação e cultivo. A ação de suas sementes com a proteína catiônica de alto peso molecular desestabiliza as partículas suspensas na água e forma os flocos (ANDRADE, 2015). Atua em grandes faixas de pH, entre 4 e 12 (VAZ, 2009).

O quiabo é uma hortaliça vinda da Etiópia e cultivada em regiões tropicais e subtropicais. Estudos de Lima (2007) o mostraram como um excelente auxiliar na coagulação-floculação, melhorando significativamente a qualidade da água e sua clarificação. Sua grande vantagem é a possibilidade do uso dos frutos maduros e rejeitados pelo consumidor (RIBEIRO, 2015).

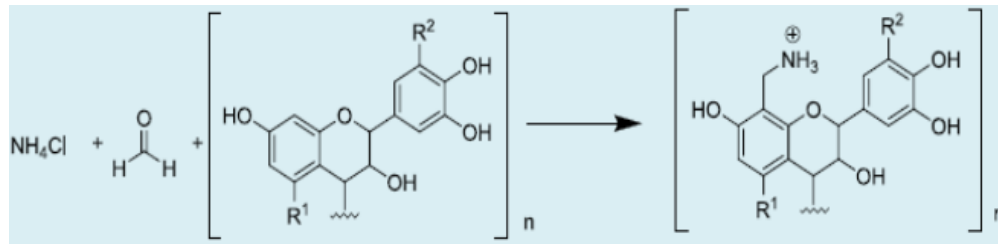
A quitosana é um polieletrólito natural encontrado em fungos, leveduras e principalmente no exoesqueleto de animais marinhos como caranguejos, camarões e lagostas (FONSECA, 2010). O termo quitosana é usado para quitinas desacetiladas com acetilação menor ou igual a 50%. A presença de grupos amino nas cadeias poliméricas a torna catiônica e permite que ela atue facilmente em superfícies negativas das impurezas coloidais da água, com eficácia na formação de flocos na coagulação e fácil sedimentação (FERREIRA, 2012).

Os coagulantes à base de taninos vegetais têm mostrado boa eficiência no tratamento de água e efluentes, apresentando resultados iguais ou melhores ao comparar com os inorgânicos tradicionais (TALIB, IDRIS, ASLINA, 2016).

Os taninos são compostos polifenóis macromoleculares extraídos de fontes vegetais, em grande variedade em plantas superiores, principalmente da *Acacia mearnsii* ou Acácia Negra, de origem australiana, que é cultivada no Brasil, somente no estado do Rio Grande do Sul. Seus elevados níveis estão nas cascas desta planta, que fazem a proteção térmica da mesma, sendo usado de 20 a 30% da casca na extração para produzir o coagulante (FONSECA et al., 2010; TALIB, IDRIS, ASLINA, 2016). Eles quase não alteram o pH do efluente tratado por consumir pouca alcalinidade, sendo efetivo em grande faixa de pH, de 4,5 a 8. Sua grande vantagem é apresentar propriedade de adsorver metais dissolvidos em água, aglutinando-os por precipitação no meio, além de poder eliminar ou diminuir a toxidez existente em águas contaminadas por bactérias clorofiladas ou cianofíceas (FONSECA, 2010; MANGRICH et al., 2014; JUSTINA, 2017).

Como os taninos não apresentam naturalmente íons com características positivas, precisam passar por uma reação de cationização, conforme representada na Figura 3. Neste processo, se adiciona um nitrogênio quaternário na estrutura do polifenol do tanino e a reação de aldeído com amina produz um composto de maior peso molecular (JUSTINA, 2017).

**Figura 3** – Reação de cationização do tanino da *Acacia mearnsii*.

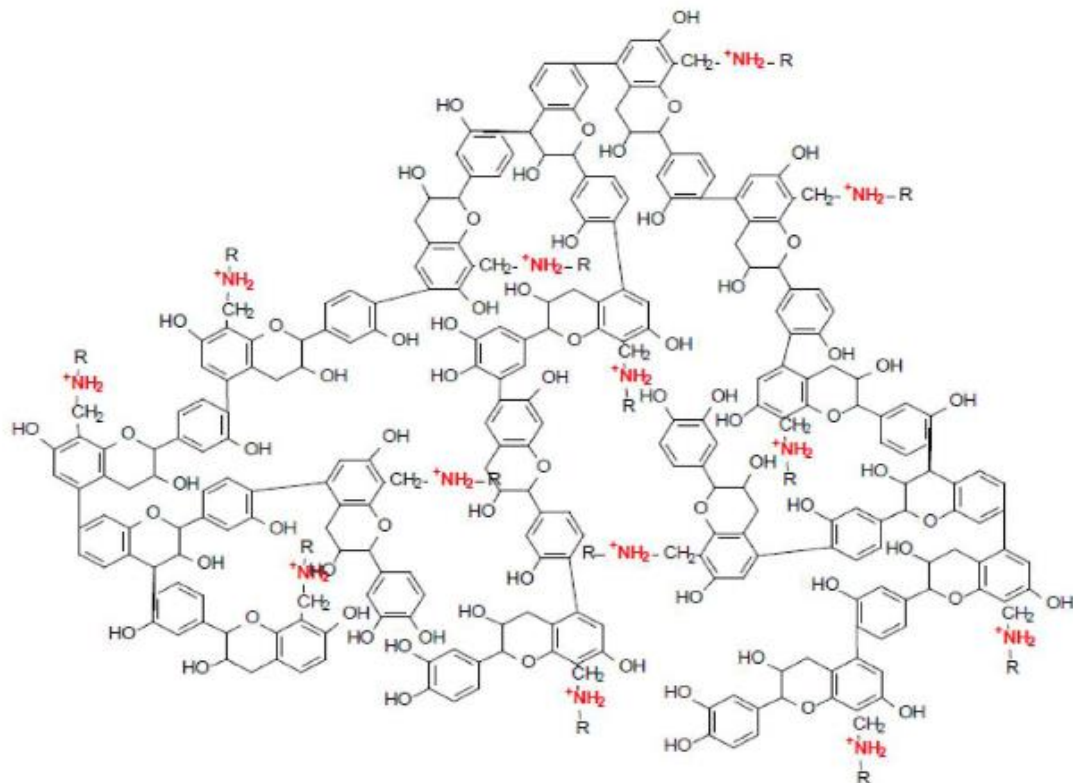


Fonte: Justina (2017).

O tanino catiônico preserva as características do vegetal natural e acrescenta a possibilidade de neutralização de cargas, os tornando coagulantes potenciais e, conseqüentemente, desestabilizando os coloides negativos da água, auxiliando nos processos de coagulação-floculação (TALIB, IDRIS, ASLINA, 2016).

Sendo assim, o tanino, apresentado na Figura 4, conhecido como Tanato Quaternário de Amoneo (Tanfloc), é um polímero natural (orgânico) à base de tanino, ou seja, uma cadeia polimérica do tanino da *Acacia mearnsii* com caráter catiônico em sua matriz orgânica, que está disponível no mercado. Ele tem coloração escura e grande viscosidade em forma líquida. A única empresa que o fabrica no Brasil é a TANAC S.A., localizada no estado no Rio Grande do Sul. Este produto atua em sistemas com partículas coloidais, neutralizando as cargas e formando as pontes entre os coloides, causando a formação dos flocos seguidos de sedimentação (TANAC, 2020).

**Figura 4** – Estrutura polimérica do tanino fabricado no Brasil.



Fonte: Justina (2017).

Os compostos foram testados com sucesso na remoção da turbidez, fármacos (trimetoprima), metais de transição (cobre, zinco e níquel), surfactantes aniônicos (dodecilbenzenossulfonato de sódio), corantes e redução de algas de ambientes aquáticos (HEREDIA, MARTÍN, MUÑOZ, 2010).

### 3.5. Processo de decantação de um efluente de laticínio

Quando finalizada a coagulação-floculação, é realizado o processo de decantação, que também é conhecido por sedimentação, considerado uma operação unitária comum na remoção de partículas sólidas presentes na água, fazendo a separação das fases sólida e líquida (LIBÂNIO, 2010).

Ela se tornará efetiva com a agregação das partículas durante a coagulação, dependendo da força da gravidade para decantar. Sendo assim, quanto maiores as frações formadas, mais peso e densidade elas adquirem, tornando mais rápida a sedimentação da parte sólida no fundo do tanque, que é chamada de lodo, que é normalmente retirado por descarga, representado pela Figura 5 (MATOS et al., 2007).

**Figura 5** – Exemplo do final de um processo de decantação de um efluente.



Fonte: Santos et al. (2005).

### 3.6. Processo de filtração simples de um efluente de laticínio

A filtração corrige as falhas da coagulação e decantação. Caso estejam presentes materiais em suspensão na água, este processo se faz necessário para a remoção mais eficaz do lodo final e maior clarificação do meio.

É uma técnica de purificação em que a água tratada passa por um material poroso que adere o lodo a ele, tendo como objetivo remover as partículas responsáveis pelo aumento da turbidez, tornando a água mais limpa (DI BERNARDO, DANTAS, 2005).

Este processo vai permitir que o efluente tratado se mantenha dentro da legislação e seja lançado em meios hídricos.

## 4. METODOLOGIA

No presente item serão apresentadas os materiais e métodos relacionados ao tratamento físico-químico de um efluente sintético de laticínio, a sua caracterização, bem como a dosagem necessária de coagulantes orgânicos e inorgânicos.

### 4.1. Preparo das amostras de efluente

Foram preparadas inicialmente duas amostras de efluente sintético de laticínio, utilizando duas marcas de leites em pó integrais comerciais (A e B), em recipientes separados, onde a concentração foi de 2 g/L (CENI, 2017). O leite e a água destilada foram pesados uma balança digital de precisão da marca Ohaus (modelo AR3130). Os leites em pó apresentam as características nutricionais apresentadas a seguir, conforme a Tabela 3 e 4, respectivamente.

**Tabela 3** – Informações nutricionais do leite em pó comercial da marca A para elaboração experimental de um efluente sintético de laticínio.

INFORMAÇÃO NUTRICIONAL (porção de 25 g)		
	Quantidade por porção	%VD(*)
<b>Valor Energético</b>	124 kcal = 521 kJ	6
<b>Carboidratos</b>	9,5 g	3
<b>Proteínas</b>	6,6 g	9
<b>Gorduras Totais</b>	6,6 g	12
<b>Gorduras Saturadas</b>	4,3 g	20
<b>Gorduras <i>Trans</i></b>	0 g	**
<b>Fibra Alimentar</b>	0 g	0
<b>Sódio</b>	93 mg	4
<b>Cálcio</b>	190 mg	19

\* % Valores Diários de referência com base em uma dieta de 2000 kcal ou 8400 kJ.

\*\* Valor não especificado.

**Fonte:** Descrição presente na embalagem do produto (2020).

**Tabela 4** – Informações nutricionais do leite em pó comercial da marca B para elaboração experimental de um efluente sintético de laticínio.

<b>INFORMAÇÃO NUTRICIONAL (porção de 26 g)</b>		
<b>Quantidade por porção</b>		<b>%VD(*)</b>
<b>Valor Energético</b>	129 kcal = 542 kJ	6
<b>Carboidratos</b>	10 g	3
<b>Proteínas</b>	6,6 g	9
<b>Gorduras Totais</b>	7,0 g	13
<b>Gorduras Saturadas</b>	3,7 g	17
<b>Gorduras <i>Trans</i></b>	0 g	**
<b>Fibra Alimentar</b>	0 g	0
<b>Sódio</b>	100 mg	4
<b>Cálcio</b>	223 mg	22
<b>Ferro</b>	2,1 mg	15
<b>Vitamina A</b>	120 µg	20
<b>Vitamina C</b>	13,05 mg	29
<b>Vitamina D</b>	1,3 µg	26

\* % Valores Diários de referência com base em uma dieta de 2000 kcal ou 8400 kJ.

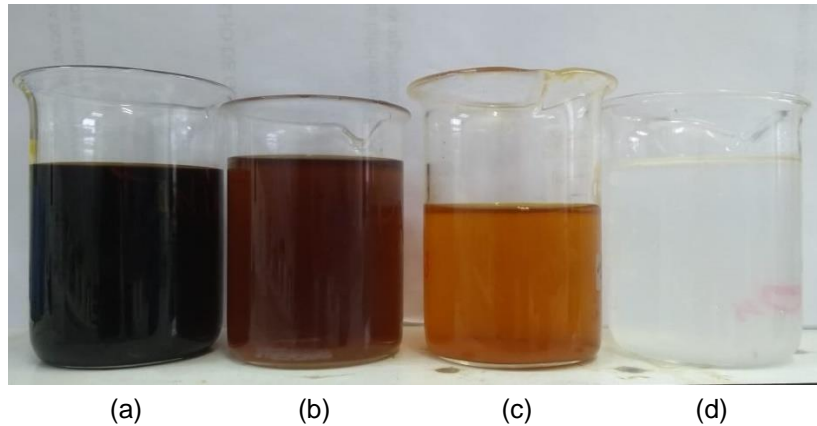
\*\* VD não estabelecido.

**Fonte:** Descrição presente na embalagem do produto (2020).

#### **4.2. Testes preliminares de pH e dosagem de coagulantes**

Foram realizadas uma série de testes independentes de coagulação empregando o pH normal (sem ajuste), e ajustando os pHs para 9, 10, 11 e 12, dependendo do teste, para os dois efluentes sintéticos (A e B). Os valores de pH foram ajustados com soluções de NaOH (hidróxido de sódio) de 2M e 0,5M, fazendo o uso de um pHmetro digital de bancada (Hayonik, modelo FTP 905). Para cada teste foi utilizado 1L de efluente. Os coagulantes utilizados foram o cloreto férrico, sulfato de alumínio, policloreto de alumínio (PAC) e tanino. A Figura 6 apresenta um aspecto visual dos coagulantes utilizados. O cloreto férrico e sulfato de alumínio foram preparados em soluções de 10% (m/V), enquanto o PAC foi utilizado diretamente, sendo fornecido pela universidade (URI Erechim) e o tanino também utilizado diretamente, o qual foi fornecido pelo laboratório da empresa Olfar S/A Alimento e Energia, localizada na cidade de Erechim, Rio Grande do Sul.

**Figura 6** – Aspecto visual dos coagulantes tanino (a), PAC (b), cloreto férrico (c) e sulfato de alumínio (d).



Fonte: o autor.

A dosagem dos coagulantes para cada amostra de efluente foi realizada com o uso de uma micropipeta monocanal (Transferpette, modelo Brand, 100 a 1000  $\mu\text{L}$  ou mg) e realizada a análise visual do início do processo de formação dos flocos no líquido, enquanto a solução era mantida sob agitação máxima de 1800 rpm por 20 s, e posteriormente 15 min de agitação lenta de 300 rpm, em agitador mecânico (Fisatom, modelo 752). Era adicionado coagulante de 100 em 100 mg até verificar a formação dos primeiros flocos da agitação rápida para lenta. A temperatura de coagulação foi ambiente, ou seja, aproximadamente 25°C.

A partir dos resultados obtidos, verificou-se que o efluente sintético obtido do leite em pó da marca B, sem ajuste de pH apresentava melhor coagulação. Assim, optou-se por utilizar este efluente nesta condição para realização de novos experimentos de coagulação para verificar a melhor concentração dos coagulantes. A concentração inicial de coagulação foi baseada nos resultados dos testes preliminares.

### 4.3. Tratamento do efluente de laticínio com diferentes coagulantes

Para os experimentos com diferentes coagulantes foram utilizados béquers de 1000 mL, onde era adicionado 1000 mL de efluente, sem ajuste de pH, com pH normal do efluente de 7,2, e posteriormente eram adicionadas concentrações diferentes de cada coagulante (cloreto férrico, sulfato de alumínio, PAC e tanino). As concentrações adicionadas foram de 1.000; 1.050; 1.100; 1.150; 1.200; 1.250 e 1.300 mg/L de cloreto férrico e sulfato de alumínio, e mais uma de 1350 mg/L para este último. Em relação ao tanino as concentrações foram 250; 300; 350; 400; 450; 500; 550 mg/L. Já para o PAC foram utilizados 1.000; 1.050; 1.100; 1.150; 1.200; 1.250; 1.300. Outros testes de eficiência do PAC foram executados com as concentrações de 1.800; 1.900; 2.000; 2.100 e 2.200 mg/L.

Em cada teste era realizada agitação rápida por 20 segundos, e posteriormente 15 min de agitação lenta, em agitador mecânico (Fisatom, modelo 752). Posteriormente o efluente era mantido em repouso por 30 min, para sedimentação dos flocos, que deve ocorrer rapidamente entre 10 e 12 min (RIBEIRO, 2015). Os testes que não apresentavam clarificação do sobrenadante

eram descartados. Os sobrenadantes clarificados eram inseridos em cone Imhoff (1000 mL), e deixados em repouso por 1 a 2 horas. Posteriormente, era efetuada a medida do volume de lodo, já observado nas graduações do cone. O lodo era retirado do cone, filtrado em papel filtro e funil de vidro e posteriormente inserido em vidro de relógio e levado a estufa (Marconi, modelo MA035/811300) a 105°C até peso constante. O líquido clarificado também foi filtrado.

#### 4.4. Determinações analíticas

Os efluentes sintéticos brutos (A e B), e o efluente sintético B tratado com os diferentes coagulantes foram analisados em relação a: cor, turbidez, pH, COT (Carbono Orgânico Total), SSed (sólidos sedimentáveis), NT (Nitrogênio Total), ST (Sólidos Totais) e SS (Sólidos Suspensos) de acordo com *Standard Methods for Examination of Water & Wastewater* (APHA, AWWA, WEF, 2005). O efluente bruto não foi analisado em relação a sólidos suspensos e o efluente tratado não foi analisado em relação a sólidos totais. Todos os parâmetros foram analisados em triplicata.

##### 4.4.1. Cor aparente

A cor é consequência de substâncias dissolvidas presentes na amostra, ela está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre para atravessar o efluente, devido à presença de materiais coloidais e suspensos (PIVELI, KATO, 2006).

Para determiná-la foi utilizado um colorímetro (Minolta, modelo CR-400, Osaka, Japão) calibrado a temperatura ambiente ( $25^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$ ). Os parâmetros de cor, no caso do efluente bruto, foram avaliados por meio do diagrama tridimensional de cores ( $L^*a^*b^*$ ), por ele não identificar clarificação do efluente e somente a cor aproximada quando ainda em alta turbidez. O ângulo Hue é o valor em graus correspondente ao diagrama tridimensional de cores, onde:  $0^{\circ}$  é vermelho,  $90^{\circ}$  é amarelo,  $180^{\circ}$  é verde e  $270^{\circ}$  é azul; este valor será determinado conforme a Equação 1 (SRINIVASA et al., 2002).

$$\text{Hue} = \tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right) \quad (1)$$

Onde:

$L^*$  = luminosidade da amostra variando de 0 (escuro) a 100 (claro).

$a^*$  = cromaticidade que tende do verde (-) ao vermelho (+).

$b^*$  = cromaticidade que varia do azul (-) ao amarelo (+).

A cor aparente também foi determinada pelo método espectrofotométrico, tanto para o efluente bruto, quanto o tratado, utilizando um colorímetro (Hach, modelo DR/870, programa 19), calibrado com água deionizada até zerar. Os resultados foram expressos em absorbância Platina-Cobalto (ABS Pt-Co), sendo que, quanto mais próximo de zero o valor, mais clarificado está o efluente.

#### 4.4.2. Turbidez

A turbidez é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessar um efluente, indica a qualidade estética do líquido, sendo resultado das partículas sólidas e coloidais (proteínas, sangue e microorganismos) com tamanho menor que 0,2  $\mu$ m. No efluente bruto, as partículas se dispersam no líquido com a interação, formando uma suspensão homogênea e estável (PIVELI, KATO, 2006).

Para determiná-la foi utilizado um turbidímetro digital (Policontrol, modelo AP-2000), calibrado com soluções padrão, onde os resultados se deram em NTU (Unidade de Turbidez Nefelométrica). Caso os valores ultrapassassem do limite, as amostras eram diluídas em menor quantidade em água deionizada. Esse método se baseia na comparação da intensidade da luz dispersa na amostra tratada e a dispersa na amostra bruta.

#### 4.4.3. pH

O pH é o Potencial Hidrogeniônico, ou seja, se refere à concentração do íon hidrogênio e serve para indicar se a solução é ácida, básica ou neutra. Sua escala varia de 0 a 14 em temperatura ambiente, sendo o valor 7 considerado neutro, enquanto os valores abaixo deste são ácidos e acima são básicos.

As leituras de pH foram conduzidas diretamente na amostra a temperatura ambiente ( $25^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ) em pHmetro digital de bancada (Hayonik, modelo FTP 905), previamente calibrado com as soluções-tampão adequadas.

#### 4.4.4. Carbono Orgânico Total (COT ou TOC)

As análises de COT determinam a quantidade de contaminantes orgânicos à base de carbono presente em um efluente. A amostra foi preparada a partir de uma alíquota do efluente de 1 mL previamente filtrado em papel filtro e funil de vidro. Suas determinações foram feitas pelo equipamento analisador de COT (Shimadzu, modelo TOC-VCSH) pelo método da oxidação por combustão catalítica a  $680^{\circ}\text{C}$  e detecção por infravermelho. O teor de COT ou TOC foi determinado pela diferença entre as concentrações de carbono (TC) e carbono inorgânico (IC) automaticamente pelo equipamento, conforme a Equação 2, e os resultados expressos em mg/L.

$$TOC = TC - IC \quad (2)$$

#### 4.4.5. Sólidos Totais (ST)

Os sólidos totais são os resíduos totais que restam em uma cápsula após evaporação e secagem completa (PIVELI, KATO, 2006). Eles, presentes no efluente bruto, foram obtidos por método gravimétrico.

Iniciou-se com a adição de 100 mL da amostra de efluente em cada cápsula de porcelana (triplicata) juntamente com 15g de areia e foram submetidas a evaporação do líquido em banho-maria (Biomatic), aproximadamente por 6 horas, até ser observada a secagem da areia. Após esta evaporação, as cápsulas foram

colocadas em estufa de secagem com circulação de ar (Marconi, modelo MA035/81I300) à  $105 \pm 5$  °C, aproximadamente por 2 horas, até obter massa constante, sendo devidamente secas por mais 30 min em dessecador. Ao final, os sólidos totais foram obtidos por meio da Equação 3.

$$ST = \frac{(P_2 - P_1) \times 1000}{V_a} \quad (3)$$

Onde:

$P_2$  = massa inicial da amostra

$P_1$  = massa final da amostra

$V_a$  = volume da amostra (100 mL)

#### 4.4.6. Sólidos Sedimentáveis (SSed)

Os sólidos sedimentáveis são a porção em suspensão no efluente, que sedimenta pela ação da gravidade (PIVELI, KATO, 2006). Foram obtidos em temperatura ambiente ( $25^\circ \pm 1$  °C) em cone de Imhoff com volume de 1000 mL, sendo que a amostra do efluente é 1000 mL. O líquido permaneceu em repouso de 1 a 2 horas até os resíduos sólidos se deslocarem ao fundo do cone. Um bastão de vidro pode ser usado como auxiliar para esses materiais suspensos se posicionarem ao fundo do cone e completar a decantação, sendo feita a leitura visual da parte sólida em mililitros por ser um cone graduado.

#### 4.4.7. Nitrogênio Total (NT)

As análises de teor de NT mostram a soma do nitrogênio amoniacal e orgânico presentes no efluente. A amostra foi preparada a partir de uma alíquota do efluente de 1 mL previamente filtrado em papel filtro e funil de vidro. Foram determinadas pelo mesmo equipamento da COT, pelo analisador de NT (Shimadzu, modelo TOC-VCSH) pelo método da oxidação por combustão catalítica a 720°C e detecção por infravermelho. O teor de NT foi expresso em mg/L.

#### 4.4.8. Sólidos Suspensos ou Lodo Final (SS)

Os sólidos suspensos são a porção dos sólidos totais que fica retida em um filtro que retém partículas de maior diâmetro, sendo também chamado de resíduo não filtrável ou lodo seco (PIVELI, KATO, 2006). Esse lodo final é obtido após a devida decantação em cone de Imhoff, onde é retirado o líquido clarificado, e o lodo sedimentado no fundo é transferido para um papel filtro em funil de vidro. Com o procedimento de filtração completo, o papel filtro foi colocado em um vidro-relógio e levado para uma estufa de secagem com circulação de ar (Marconi, modelo MA035/81I300) à  $105 \pm 5$  °C, sem tempo definido, porém, até ser observada a secagem. O lodo final é obtido em gramas.

#### **4.5. Análise Estatística**

Os resultados obtidos foram tratados estatisticamente pela metodologia de planejamento de experimentos e pela Análise de Variância (ANOVA) pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), utilizando o software Excel.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente tópico são apresentados e discutidos os resultados obtidos nas etapas de testes e processo de tratamento de efluente sintético de laticínio, sendo eles: caracterização dos efluentes sintéticos e padrões de lançamento; testes de pH e dosagem de coagulantes; tratamento convencional com o uso dos coagulantes; caracterização dos efluentes tratados. Estes resultados serão mostrados através de determinações analíticas e dos percentuais de remoção alcançados para cada dosagem de coagulante, sendo comparados com outros trabalhos.

### 5.1. Caracterização dos efluentes sintéticos e padrões de lançamento

A Tabela 5 apresenta os resultados de pH, cor, turbidez, Carbono Orgânico Total (COT), Nitrogênio Total (NT), Sólidos Totais (ST) e Sólidos Sedimentáveis (SSed) para o efluente sintético A e B.

**Tabela 5** – Teores de pH, cor, turbidez, Carbono Orgânico Total (COT), Nitrogênio Total (NT), Sólidos Totais (ST) e Sólidos Sedimentáveis (SSed) para o efluente sintético A e B.

Parâmetros	Efluente A	Efluente B
pH	7,48 ± 0,03	7,2 ± 0,09
Cor (°)	79,75 ± 0,17 (amarelo)	88,55 ± 0,16 (amarelo)
Cor (ABS Pt-Co)	-	2,56 ± 0,013
Turbidez (NTU)	1050,58 ± 0,00	1617,66 ± 2,055
COT (mg/L)	960,23 ± 10,22	937,9 ± 1,50
NT (mg/L)	74,29 ± 0,74	74,68 ± 0,03
ST (mg/L)	191 ± 0,00	182 ± 5,35
SSed (mL/L)	Não observado	Não observado

**Fonte:** o autor.

Pode-se observar que o efluente sintético A apresenta menores valores de cor e turbidez em comparação ao B, enquanto este último possui valores menores de pH, COT e ST. Já as quantidades de NT são valores muito aproximados e os sólidos sedimentáveis não se formam pelo efluente por estar muito diluído com a água deionizada.

Pode-se também verificar que os parâmetros de ambos os efluentes estão acima dos recomendados pelas legislações vigentes (CONAMA e CONSEMA), conforme a Tabela 6, o que faz necessário o devido tratamento destes efluentes para a possibilidade de descarte ou lançamento em corpos hídricos.

**Tabela 6 – Padrões para lançamento de efluentes conforme legislações vigentes (CONAMA e CONSEMA).**

Parâmetros	PADRÕES DE LANÇAMENTO	
	Res. 430/2011 CONAMA	Res. 355/2017 CONSEMA
pH	5,0 a 9,0	6,0 a 9,0
Cor	Não visível	Não deve conferir mudança de coloração ao corpo hídrico receptor
Turbidez (NTU)	< 40	-
COT (mg/L)*	-	-
NT (mg/L)	até 20	até 20
SS (mg/L)	-	50 a 140
SSed (mL/L)	-	≤ 1,0 mL/L em teste de 1 hora em Cone Imhoff

\* não estabelecem valor máximo permitido para este parâmetro.

Fonte: Brasil (2011); Rio Grande do Sul (2017).

## 5.2. Testes de pH e dosagem dos coagulantes

Os coagulantes foram caracterizados pelos pHs, entre eles o cloreto férrico com pH de 1,2; o sulfato de alumínio com pH de 3,3; o policloreto de alumínio com pH de 3,4; e o tanino com pH de 1,5; o que indica que os de pH mais baixos serão usados em menor quantidade para reduzir o pH do efluente e iniciar o processo de formação dos flocos.

### 5.2.1. Testes preliminares para o cloreto férrico

Os primeiros testes foram conduzidos com os dois efluentes, sem ajuste de pH utilizando cloreto férrico 10% (m/v), em que, de acordo com Ceni (2017), as concentrações que possibilitaram resultados e observação eficiente da coagulação foram de 400, 450, 500, 550, 600, 650 e 700 mg/L deste coagulante. A floculação não foi observada, em nenhuma concentração e nenhum efluente.

**Figura 7** – Foto ilustrativa da primeira tentativa de coagulação-floculação com cloreto férrico, baseado na dosagem utilizada por Ceni (2017), observada para todos testes.



Fonte: o autor.

Sendo assim, foram realizadas novas tentativas, com os dois efluentes, no entanto ajustando os pHs para 9, 10, 11 e 12, utilizando cloreto férrico 10% (m/v), com as mesmas concentrações de coagulante do teste anterior, e novamente não houve ocorrência dos flocos (Figura 8).

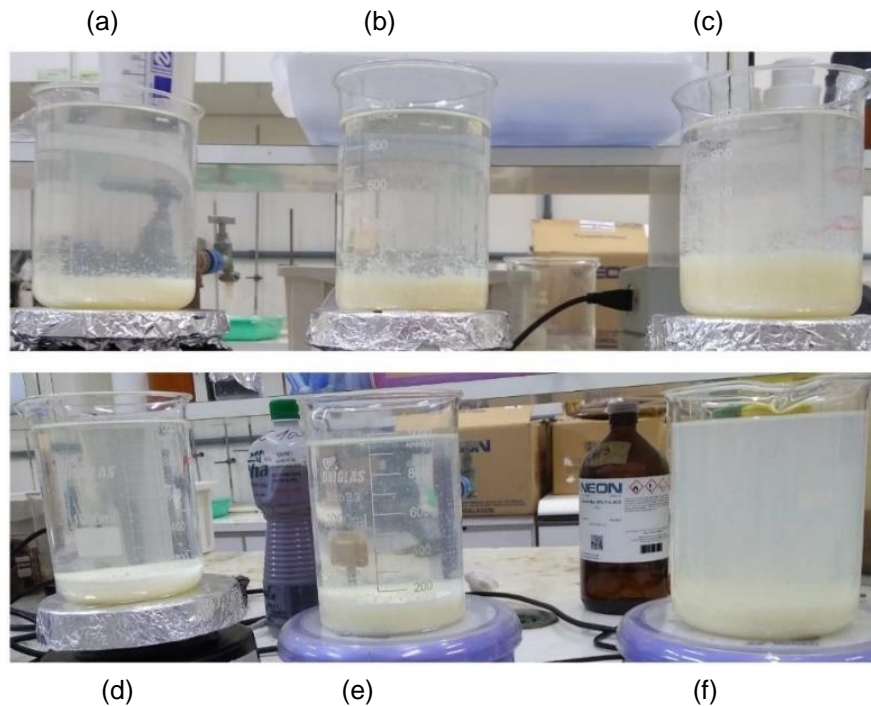
**Figura 8** – Teste de coagulação-floculação com cloreto férrico, com os pHs ajustados para 9, 10, 11 e 12.



Fonte: o autor.

Portanto, foram novamente realizados testes independentes com o aumento na dosagem de cloreto férrico, sendo adicionados aos poucos até que houvesse floculação, com o efluente sem ajuste e com ajuste para pH 9,0 e 10. A Figura 9 mostra o aspecto do efluente, com a formação dos flocos para os diferentes pHs e efluente sintético (A e B).

**Figura 9** – Formação de flocos em dosagem mínima de cloreto férrico para o efluente sintético A com: pH normal (~7) (a), pH 9 (b) e pH 10 (c); e para o efluente B com pH normal (~7) (d), pH 9 (e) e pH 10 (f).



Fonte: o autor.

Verificou-se formação dos flocos e decantação na maioria dos ensaios, exceto em pH 10 do efluente B (Figura 9-f) que, apesar da boa floculação, faz necessário o uso de uma quantidade um pouco maior do coagulante para redução da turbidez. A Tabela 7 mostra a dosagem mínima de coagulante, tempo de sedimentação e pH final do efluente sintético A e B em diferentes pHs, tratados com cloreto férrico 10% (m/v).

**Tabela 7** – Dosagem mínima de coagulante, tempo de sedimentação e pH final do efluente sintético A e B em diferentes pHs, tratados com cloreto férrico 10% (m/v).

Parâmetros	A			B		
	pH = normal	pH = 9	pH = 10	pH = normal	pH = 9	pH = 10
Dosagem mínima de coagulante (mg/L)	1100	1400	1500	1000	1200	1200
Tempo de sedimentação (min)	9	9	11	10	12	11
pH do efluente tratado com presença de lodo	4,8	5,1	5,4	5,0	4,9	5,5

Fonte: o autor.

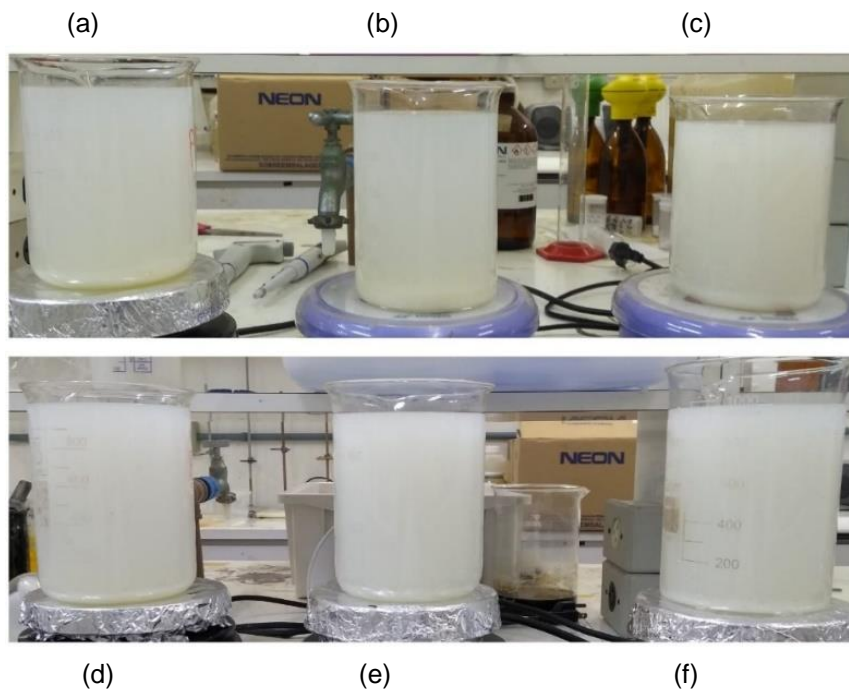
Foi determinada uma maior dosagem de coagulante necessária para flocular o efluente do que as utilizadas por Ceni (2017), que eram 400, 450, 500, 550, 600, 650 e 700 mg/L para a marca B. Os pHs 9 e 10 apresentaram valores próximos de dosagem mínima para formar os flocos, e o tempo de sedimentação está dentro dos padrões descritos por Ribeiro (2015), que seria um máximo de 10 a 12 minutos. O

pH normal do efluente B apresentou necessidade de menor quantidade de coagulante em relação ao A e aos outros pHs, além de uma boa sedimentação e pH final dentro dos padrões da Resolução CONAMA n° 430/2011 (BRASIL, 2011).

### 5.2.2. Testes preliminares para o policloreto de alumínio

Os testes utilizando coagulante policloreto de alumínio (PAC), também foram conduzidos para o efluente sintético A e B com pH normal e ajustados para 9,0 e 10, e acrescidos aos poucos com o coagulante até obtenção da coagulação. A Figura 10 mostra o aspecto visual do efluente coagulado com PAC, para o efluente sintético A e B com pH normal e ajustados para pH 9 e pH 10.

**Figura 10** – Aspecto visual do efluente coagulado com PAC: efluente sintético A com pH normal (~7) (a), pH 9 (b) e pH 10 (c); e para o efluente B com pH normal (~7) (d), pH 9 (e) e pH 10 (f).



Fonte: o autor.

Pode verificar a formação dos flocos e decantação com o coagulante, mas não é observada a clarificação, indicando que o uso de do coagulante deve ser feito em maior quantidade para a redução da cor e turbidez. A Tabela 8 apresenta a dosagem mínima de coagulante, tempo de sedimentação e pH final do efluente sintético A e B em diferentes pHs, tratados com policloreto de alumínio 10% (m/v).

**Tabela 8** – Dosagem mínima de coagulante, tempo de sedimentação e pH final do efluente sintético A e B em diferentes pHs, tratados com PAC 10% (m/v).

Parâmetros	A			B		
	pH = normal	pH = 9	pH = 10	pH = normal	pH = 9	pH = 10
Dosagem mínima de coagulante (mg/L)	1300	1400	1500	1000	1300	1400
Tempo de sedimentação (min)	6	9	10	6	7	8
pH do efluente tratado com presença de lodo	6,3	6,4	6,7	6,2	6,8	7,0

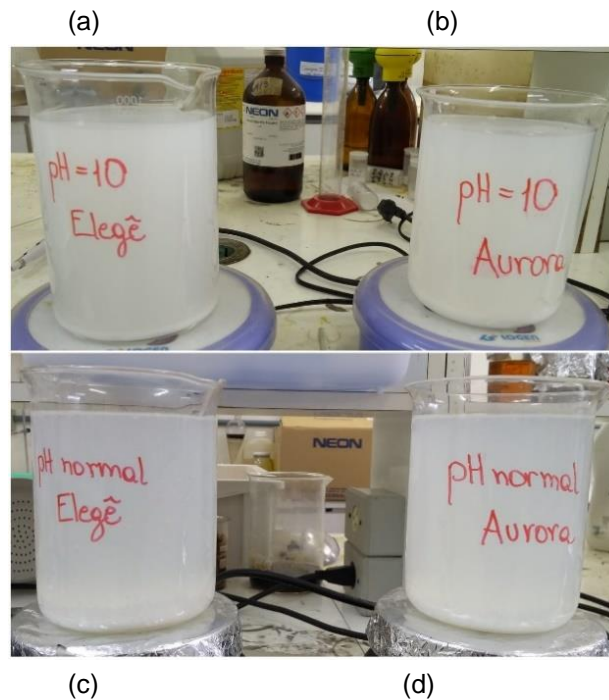
**Fonte:** o autor.

Quando comparados ao cloreto férrico, os valores de dosagem mínima para o PAC foram próximos e o tempo de sedimentação foi menor (Tabela 8). O pH final dos efluentes tratado por PAC apresentaram valor maior que os de cloreto férrico por conta da menor quantidade de flocos que decantaram. O pH normal do efluente B apresentou necessidade de menor dosagem de coagulante para a realização do processo, mas não apresentando clarificação.

### 5.2.3. Testes preliminares para o sulfato de alumínio

Os testes utilizando coagulante sulfato de alumínio, também foram conduzidos para o efluente sintético A e B com pH normal e ajustado para 10, e acrescidos aos poucos com o coagulante até obtenção da coagulação. A Figura 11 mostra o aspecto visual do efluente coagulado com sulfato de alumínio, para o efluente sintético A e B com pH normal e pH 10, pois o pH 9 manifestou comportamento semelhante ao pH 10, não sendo mais necessário para os demais testes.

**Figura 11** – Aspecto visual dos efluentes sintéticos tratados com sulfato de alumínio: para o efluente B com pH 10 (a) e pH normal (~7) (c); e para o efluente A com pH 10 (b) e pH normal (~7) (d).



Fonte: o autor.

Pode-se visualizar floculação e decantação de ambas amostras, mas não é observada a clarificação, igualmente ao que foi observado para o PAC, indicando a necessidade de uso de maior quantidade do sulfato de alumínio para diminuir a cor e turbidez. Como o sulfato de alumínio atua em faixa de pH de 5 a 8, seriam necessários novos ajustes de pH do efluente.

Benazzi (2013) encontrou as melhores coagulações de efluente sintético de laticínio na concentração de 4500 mg/L utilizando sulfato de alumínio ( $Al_2(SO_4)_3$ ) 10% (m/v).

A Tabela 9 apresenta a dosagem mínima de coagulante sulfato de alumínio 10% (m/v), tempo de sedimentação e pH final do efluente sintético A e B em pH normal e pH 10.

**Tabela 9** – Dosagem mínima de coagulante, tempo de sedimentação e pH final do efluente sintético A e B em pH normal e pH 10, tratados com sulfato de alumínio 10% (m/v).

Parâmetros	A		B	
	pH = normal	pH = 10	pH = normal	pH = 10
Dosagem mínima de coagulante (mg/L)	1000	1400	1000	1300
Tempo de sedimentação (min)	8	10	8	10
pH do efluente tratado com presença de lodo	5,3	5,6	5,3	5,9

Fonte: o autor.

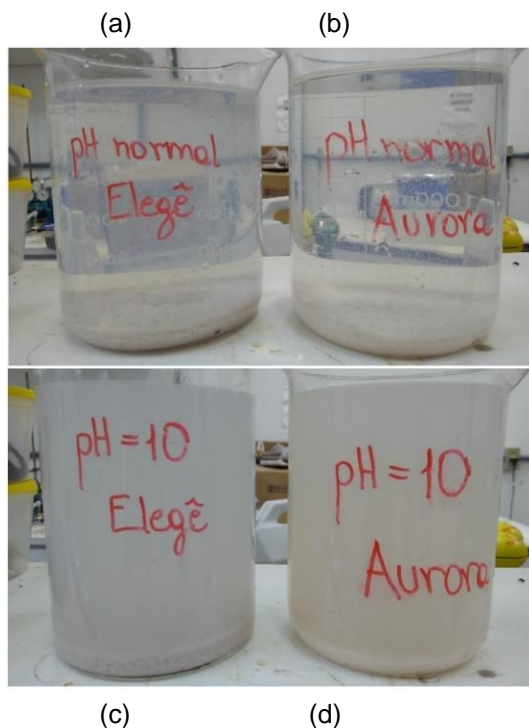
Os efluentes sem ajuste de pH (pH=normal), apresentaram menor dosagem mínima, menor tempo de coagulação e menores pH finais, quando comparados ao pH 10.

Foi verificada menor concentração de coagulante para o processo em relação a Benazzi (2013), que utilizou um valor de 4500 mg/L. O tempo de sedimentação e o pH final estão dentro dos padrões, este último de acordo com a Resolução CONAMA n° 430/2011 (BRASIL, 2011), porém houve menor sedimentação dos flocos, pois o efluente permaneceu turvo, mostrando ser necessário o aumento da quantidade do coagulante para melhor clarificação.

#### 5.2.4. Testes preliminares para o tanino

Os testes utilizando coagulante tanino, também foram conduzidos para o efluente sintético A e B com pH normal (~7) e ajustado para 10, e acrescidos aos poucos com o coagulante até obtenção da coagulação. A Figura 12 mostra o aspecto visual do efluente coagulado com tanino, para o efluente sintético A e B com pH normal e pH 10.

**Figura 12** – Aspecto visual da floculação em dosagem mínima de tanino para o efluente sintético B com pH normal (~7) (a) e pH 10 (c); e para o efluente A com pH normal (~7) (b) e pH 10 (d).



Fonte: o autor.

Pode-se verificar a clarificação em pH normal nos dois efluentes, enquanto para o pH 10 pode-se perceber maior turbidez em ambos, o que indica a necessidade do uso de maior concentração do coagulante. A Tabela 10 apresenta a

dosagem mínima de coagulante tanino, tempo de sedimentação e pH final do efluente sintético A e B em pH normal e pH 10.

**Tabela 10** – Dosagem mínima de coagulante, tempo de sedimentação e pH final do efluente sintético A e B em pH normal e pH 10, tratados com tanino.

Parâmetros	A		B	
	pH = normal	pH = 10	pH = normal	pH = 10
Dosagem mínima de coagulante (mg/L)	300	300	300	300
Tempo de sedimentação (min)	8	8	8	8
pH do efluente tratado com presença de lodo	6,4	7,0	6,6	6,9

**Fonte:** o autor.

Justina (2017) utilizou tanino no tratamento de efluente de laticínio nas concentrações de 100, 200 e 300 mg/L, e obteve a melhor remoção de cor com o uso da quantidade de 300 mg/L de coagulantes à base de taninos, que foi a dosagem mínima encontrada do mesmo coagulante no presente trabalho.

Para os dois pHs e de ambos efluentes, apresentaram flocos com a mesma quantidade de coagulante, e o mesmo tempo de sedimentação, sendo que o efluente com o pH ajustado apresentou pH maior ao final, porém menor clarificação.

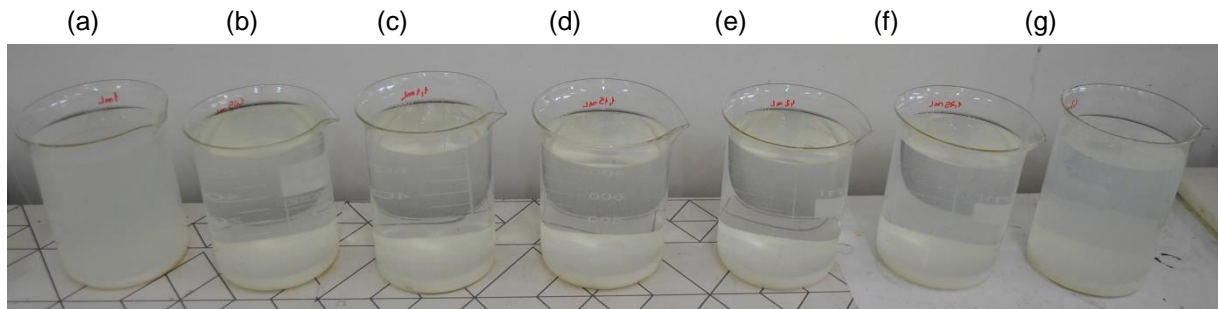
### 5.3. Tratamento convencional com o uso de coagulantes

Os testes de pH realizados nos ensaios preliminares revelaram que o efluente sintético do leite em pó da marca B em seu pH normal (sem ajuste) foi o que apresentou menor dosagem de coagulante e, ao mesmo tempo, apresenta melhor coagulação em comparação ao da marca A e os outros pHs. Então, utilizou-se este efluente nesta condição de pH (normal) para realizar o experimento de coagulação-floculação, utilizando como coagulantes o cloreto férrico, policloreto de alumínio, sulfato de alumínio e tanino em diferentes concentrações.

#### 5.3.1. Tratamento convencional com cloreto férrico

O tratamento convencional com cloreto férrico 10% (m/v) foi conduzido em agitação mecânica a partir da dosagem mínima de 1000 mg/L (a) dos testes preliminares e ainda 1050 (b), 1100 (c), 1150 (d), 1200 (e), 1250 (f) e 1300 (g) mg/L, para observação da melhor eficiência para diferentes quantidades. A Figura 13 apresenta um aspecto visual dos efluentes clarificados com os lodos decantados.

**Figura 13** – Aspecto visual do tratamento convencional com o uso de cloreto férrico nas concentrações, em mg/L, de 1000 (a), 1050 (b), 1100 (c), 1150 (d), 1200 (e), 1250 (f) e 1300 (g), todas contendo lodo no fundo do recipiente.



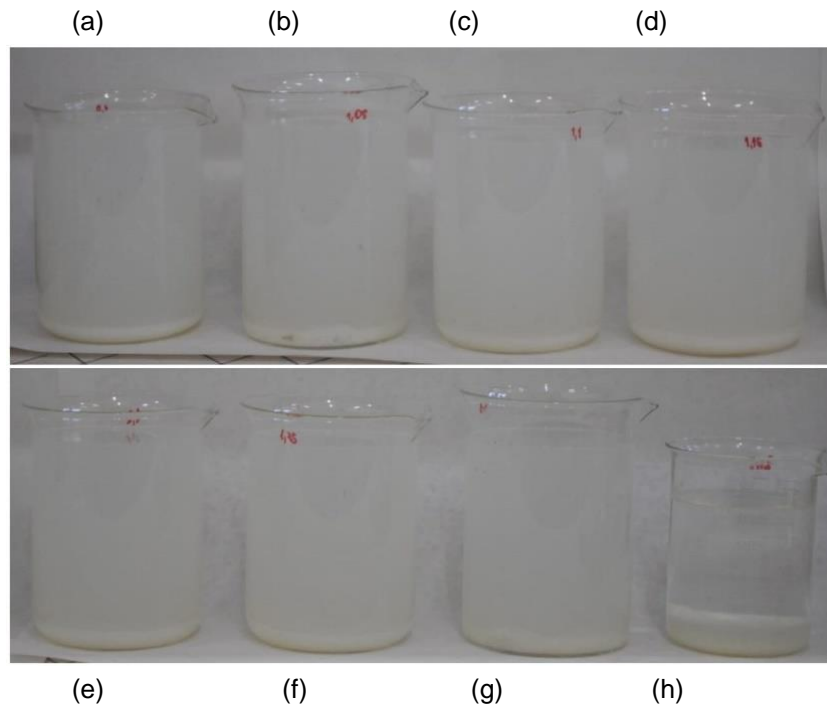
Fonte: o autor.

As concentrações do coagulante que melhor clarificaram o efluente foram, em mg/L, as de 1100 (c), 1150 (d) e 1200 (e), e estas seguiram para caracterização físico-química, bem como o lodo gerado. As outras amostras que apresentaram turbidez não foram analisadas. O tempo de sedimentação para todos foi de 8 a 9 min, considerado um tempo eficaz conforme as legislações.

### 5.3.2. Tratamento convencional com policloreto de alumínio

O tratamento convencional com PAC 10% também foi realizado e a partir da dosagem mínima de 1000 mg/L dos testes preliminares, além de concentrações de 1050, 1100, 1150, 1200, 1250 e 1300 mg/L, que permitem analisar as eficiências conforme realizado o aumento destas quantidades. Verificou-se que todas as concentrações de 1000 (a), 1050 (b), 1100 (c), 1150 (d), 1200 (e), 1250 (f) e 1300 (g) mg/L não foram suficientes para a clarificação do efluente, formando pouco lodo em rápida sedimentação (4 a 6 min), como também muita turbidez, sendo necessário um novo teste com aumento do coagulante para 2000 mg/L (h), que se mostrou efetivo, com boa decantação (10 min) e clarificação do efluente. A Figura 14 mostra o aspecto visual do efluente tratado com PAC nas diferentes concentrações.

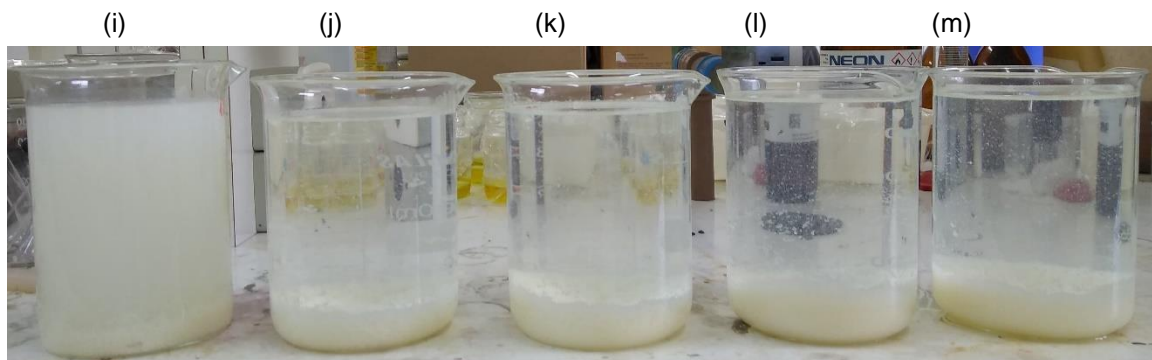
**Figura 14** – Aspecto visual do tratamento convencional com o uso de PAC nas concentrações, em mg/L, de 1000 (a), 1050 (b), 1100 (c), 1150 (d), 1200 (e), 1250 (f), 1300 (g) e 2000 (h), todas contendo lodo no fundo do recipiente.



Fonte: o autor.

Como estas concentrações de 1000 a 1300 mg/L (a até g) não foram suficientes para coagulação e a de 2000 mg/L (h) se mostrou satisfatória, novos testes foram realizados com concentrações de PAC de 1800 (i), 1900 (j), 2000 (k), 2100 (l) e 2200 (m) mg/L, para visualização novamente da eficácia entre as diversas dosagens. A Figura 15 mostra o aspecto visual do uso PAC nas concentrações 1800, 1900, 2000, 2100 e 2200 mg/L no tratamento do efluente.

**Figura 15** – Aspecto visual do tratamento convencional com o uso de PAC nas concentrações, em mg/L, de 1800 (i), 1900 (j), 2000 (k), 2100 (l) e 2200 (m), todas contendo lodo no fundo do recipiente.



Fonte: o autor.

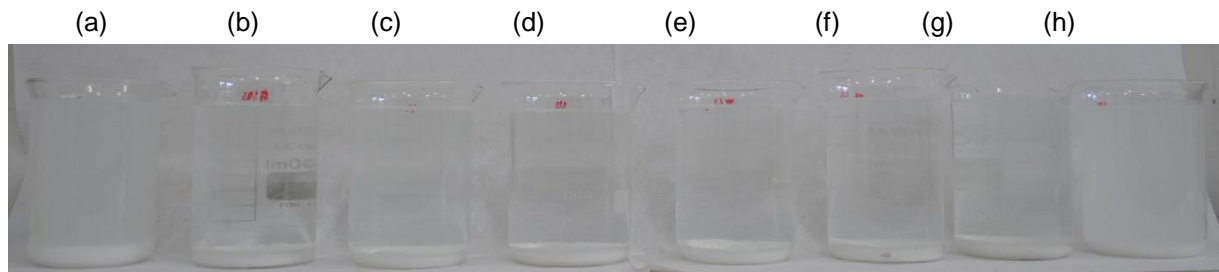
Verifica-se que para 1800 mg/L (i) não ocorreu clarificação efetiva e a partir de 1900 mg/L (j) é observada a remoção de turbidez, com tempos de processo entre 10

e 12 min. As concentrações de 1900 (j), 2000 (k) e 2100 (l) mg/L foram selecionadas para caracterização.

### 5.3.3. Tratamento convencional com sulfato de alumínio

O tratamento convencional com sulfato de alumínio 10% também foi realizado partindo da dosagem mínima de 1000 mg/L (a) além de 1050 (b), 1100 (c), 1150 (d), 1200 (e), 1250 (f) e 1300 (g) e 1350 (h) mg/L, para análise da efetividade em diversas quantidades. A Figura 16 mostra o aspecto visual do efluente tratado nestas condições.

**Figura 16** - Aspecto visual do tratamento convencional com o uso de cloreto férrico nas concentrações, em mg/L, de 1000 (a), 1050 (b), 1100 (c), 1150 (d), 1200 (e), 1250 (f), 1300 (g) e 1350 (h), todas contendo lodo no fundo do recipiente.



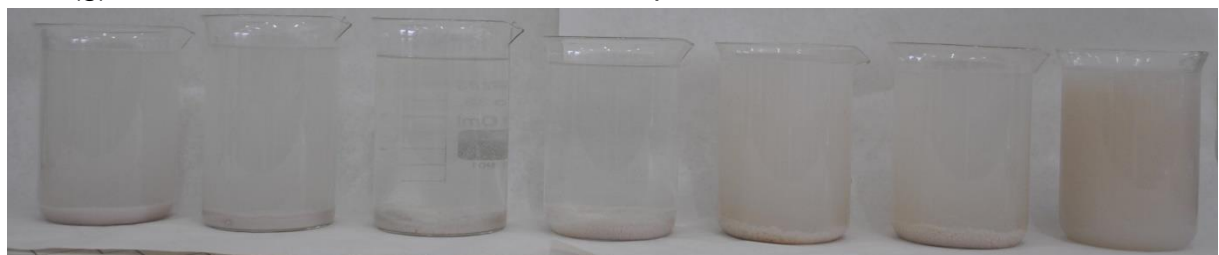
Fonte: o autor.

Observa-se que as concentrações de 1000 (a), 1300 (g) e 1350 (h) mg/L apresentaram aspecto turvo. As demais concentrações 1050 a 1250 mg/L (Figura 16 b até f) apresentaram excelentes clarificações e remoção da turbidez com boa formação dos flocos, e sedimentação de 6 a 8 min, as quais foram caracterizadas.

### 5.3.4. Tratamento convencional com tanino

Para o tratamento convencional com tanino foram realizados ensaios partindo da dosagem de 250 (a), para fins de observação de eficiência, seguidos da dosagem mínima de 300 (b), além de 350 (c), 400 (d), 450 (e), 500 (f) e 550 (g). A Figura 17 mostra o aspecto visual do efluente tratado nestas condições.

**Figura 17** - Aspecto visual do tratamento convencional com o uso de cloreto férrico nas concentrações, em mg/L, de 250 (a), 300 (b), 350 (c), 400 (d), 450 (e), 500 (f) e 550 (g), todas contendo lodo no fundo do recipiente.



Fonte: o autor.

Os taninos apresentam, visualmente, uma boa formação dos flocos, no entanto, uma alta turbidez, bem perceptível, para as dosagens de 250 (a), 450 (e), 500 (f) e 550 (g) mg/L. Sendo assim, para 300 (b), 350 (c) e 400 (d) mg/L consideram-se boas clarificações e grande diminuição da turbidez, com tempo de floculação de 6 a 8 min, sendo estas concentrações caracterizadas.

#### 5.4. Caracterização dos efluentes tratados

O efluente sintético da marca B, com seus respectivos coagulantes (cloreto férrico, PAC, sulfato de alumínio e tanino) em diferentes concentrações, foi caracterizado em termos de pH, cor, turbidez, Carbono Orgânico Total (COT), Nitrogênio Total (NT), Sólidos Suspensos ou Lodo Final (SS) e Sólidos Sedimentáveis (Ssed).

##### 5.4.1. Caracterização do efluente tratado com cloreto férrico

A Tabela 11 apresenta os resultados dos parâmetros analíticos em relação ao pH, cor, turbidez, Carbono Orgânico Total (COT), Nitrogênio Total (NT), Sólidos Suspensos ou Lodo Final (SS) e Sólidos Sedimentáveis (SSed) dos efluentes tratados com cloreto férrico nas dosagens de 1100, 1150 e 1200 mg/L.

**Tabela 11** - Caracterização do efluente tratado com cloreto férrico nas dosagens de 1100, 1150 e 1200 mg/L.

Parâmetros	Dosagem de coagulante cloreto férrico (mg/L)		
	1100	1150	1200
pH	4,5 <sup>a</sup> ± 0,06	4,2 <sup>b</sup> ± 0,02	4,1 <sup>c</sup> ± 0,03
Cor (ABS Pt-Co)	0,017 <sup>a</sup> ± 0,000	0,008 <sup>b</sup> ± 0,001	0,006 <sup>c</sup> ± 0,001
Turbidez (NTU)	0,79 <sup>a</sup> ± 0,008	0,31 <sup>b</sup> ± 0,010	0,18 <sup>c</sup> ± 0,008
COT (mg/L)	303,5 <sup>a</sup> ± 6,04	229,4 <sup>c</sup> ± 1,52	282,1 <sup>b</sup> ± 3,86
NT (mg/L)	7,618 <sup>a</sup> ± 0,03	7,101 <sup>b</sup> ± 0,08	7,018 <sup>a</sup> ± 0,09
SS (mg/L)	1078 <sup>a</sup> ± 0,01	1072 <sup>b</sup> ± 0,02	1066 <sup>c</sup> ± 0,02
SSed (mL/L)	140 <sup>b</sup> ± 0,02	150 <sup>a</sup> ± 0,02	140 <sup>b</sup> ± 0,01

\*Resultados de média ± desvio padrão; letras diferentes em uma mesma linha correspondem à diferença significativa ( $p < 0,05$ ) pelo Teste de Tukey.

**Fonte:** o autor.

Os valores de pH, cor, turbidez e sólidos suspensos apresentarem diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as dosagens de coagulante apresentando maiores valores para menores dosagens de coagulante, indicando que na maior dosagem, obteve-se melhores resultados para estes parâmetros. Observa-se um declínio do pH com o aumento da dosagem do coagulante, o que provavelmente é devido ao próprio pH do coagulante, pois quanto maior a quantidade adicionada no efluente, menor é o pH do mesmo. Os teores de COT e SS também foram maiores para as dosagens de 1100 mg/L, no entanto os menores teores foram obtidos em 1150 mg/L. Já para o NT o menor valor foi para a dosagem de 1150 mg/L e nesta

dosagem também foi obtido maior valor de SSed. A Tabela 12 mostra a porcentagem de remoção da cor, turbidez, COT e NT para o efluente tratado com diferentes dosagens de cloreto férrico, em relação ao efluente bruto.

**Tabela 12** – Porcentagem de remoção de cor, turbidez, COT e NT dos efluentes tratados marca B com cloreto férrico em diferentes concentrações em comparação ao efluente bruto.

Parâmetros	Porcentagem de remoção (%)		
	1100 mg/L	1150 mg/L	1200 mg/L
Cor (ABS Pt-Co)	99,33%	99,68%	99,73%
Turbidez (NTU)	99,95%	99,98%	99,99%
COT (mg/L)	67,64%	75,54%	69,92%
NT (mg/L)	89,80%	90,50%	89,90%

**Fonte:** o autor.

Verifica-se que a cor e turbidez, em ambas dosagens de coagulantes apresentaram boa remoção, no entanto ao utilizar 1200 mg/L de coagulante obteve-se as melhores remoções. Já para COT e o NT as melhores remoções foram na dosagem de 1150 mg/L.

Mello Silva et al. (2016) estudaram a coagulação como pré-tratamento para o efluente da usina de beneficiamento de leite utilizando o cloreto férrico como coagulante na concentração de 200 mg/L e obtiveram eficiência de remoção de turbidez de 94,9%.

Molossi et al. (2014) estudaram o uso de cloreto férrico em efluente de indústria de laticínio na dosagem de 60 mg/L e obtiveram 45% de remoção de NT, 40% de cor e 70% de turbidez. Comparados aos dados do presente estudo, estes valores encontrados pelos autores são inferiores devido às dosagens deste estudo serem maiores, demonstrando que o mesmo na menor dosagem do estudo (1100 mg/L), obteve-se boas eficácias de remoção dos parâmetros analisados.

Portanto, com os valores obtidos verifica-se que, é necessário o ajuste do pH para 5,0 ou 6,0, desde a dosagem de 1100 mg/L, para se adequar às legislações da CONSEMA (2017) e CONAMA (2011) e possibilidade de descarte em corpos hídricos. Já os valores de NT para todas quantidades de coagulantes se aplicam em ambos padrões de lançamento (até 20 mg/L), enquanto para a COT, pode-se notar uma melhor eficiência de remoção para 1150 mg/L (acima de 70%).

#### 5.4.2. Caracterização do efluente tratado com policloreto de alumínio

A Tabela 13 apresenta os resultados dos parâmetros analíticos em relação ao pH, cor, turbidez, Carbono Orgânico Total (COT), Nitrogênio Total (NT), Sólidos Suspensos ou Lodo Final (SS) e Sólidos Sedimentáveis (SSed) dos efluentes tratados com PAC nas dosagens de 1300, 1900, 2000 e 2100 mg/L.

**Tabela 13** - Caracterização do efluente tratado com PAC nas dosagens de 1300, 1900, 2000 e 2100 mg/L.

Parâmetros	Dosagem de coagulante policloreto de alumínio (mg/L)			
	1300	1900	2000	2100
pH	6,35 <sup>a</sup> ± 0,018	5,75 <sup>b</sup> ± 0,004	5,59 <sup>c</sup> ± 0,050	5,5 <sup>c</sup> ± 0,060
Cor (ABS Pt-Co)	0,219 <sup>a</sup> ± 0,001	0,002 <sup>c</sup> ± 0,001	0,006 <sup>b</sup> ± 0,001	0,002 <sup>c</sup> ± 0,001
Turbidez (NTU)	34,73 <sup>a</sup> ± 0,41	0,13 <sup>c</sup> ± 0,10	0,26 <sup>b</sup> ± 0,09	0,07 <sup>d</sup> ± 0,05
COT (mg/L)	308,83 <sup>a</sup> ± 4,45	198,74 <sup>c</sup> ± 0,75	239,4 <sup>b</sup> ± 2,34	188,2 <sup>d</sup> ± 1,05
NT (mg/L)	14,19 <sup>a</sup> ± 0,22	5,329 <sup>c</sup> ± 0,03	6,555 <sup>b</sup> ± 0,10	5,239 <sup>c</sup> ± 0,03
SS (mg/L)	846 <sup>d</sup> ± 0,00	1058 <sup>a</sup> ± 0,01	1027,6 <sup>c</sup> ± 0,01	1054,2 <sup>b</sup> ± 0,01
SSed (mL/L)	98 <sup>d</sup> ± 0,00	110 <sup>c</sup> ± 0,02	140 <sup>a</sup> ± 0,01	125 <sup>b</sup> ± 0,01

\*Resultados de média ± desvio padrão; letras diferentes em uma mesma linha correspondem à diferença significativa ( $p < 0,05$ ) pelo Teste de *Tukey*.

Fonte: o autor.

Pode-se verificar na Tabela 13 que os maiores valores de pH, cor, turbidez, COT, e NT, e os menores de SS e Ssed foram obtidos com a dosagem de 1300 mg/L, indicando que esta dosagem não é adequada para o tratamento do efluente. Observa-se um declínio do pH com o aumento da dosagem do coagulante, o que provavelmente é devido ao próprio pH do coagulante, pois quanto maior a quantidade adicionada no efluente, menor é o pH do mesmo. O pH das amostras tratadas com 2000 e 2100 mg/L não apresentaram diferença significativa ( $p > 0,05$ ). A Tabela 14 mostra a porcentagem de remoção da cor, turbidez, COT e NT para o efluente tratado com diferentes dosagens de PAC, em relação ao efluente bruto.

**Tabela 14** – Porcentagem de remoção de cor, turbidez, COT e NT dos efluentes tratados da marca B com PAC em diferentes concentrações em comparação ao efluente bruto.

Parâmetros	Porcentagem de remoção (%)			
	1300 mg/L	1900 mg/L	2000 mg/L	2100 mg/L
Cor (ABS Pt-Co)	91,44%	99,92%	99,76%	99,92%
Turbidez (NTU)	97,850%	99,990%	99,980%	99,996%
COT (mg/L)	67,07%	78,81%	74,47%	79,93%
NT (mg/L)	80,99%	92,86%	91,22%	92,98%

Fonte: o autor.

Observa-se que a dosagem de coagulante de 2100 mg/L foi a que apresentou melhores remoções. No entanto, desde a dosagem de 1900 mg/L, todas podem ser consideradas aptas para lançamento em rios e lagos, de acordo com as legislações da CONAMA (2011), e com ajuste de pH para o valor de 6,0 de acordo com a legislação CONSEMA (2017), além das boas porcentagens de remoção de COT (acima de 70%) e diminuição do valor de NT (até 20 mg/L) conforme ambas as legislações.

Andrade (2011) também utilizou o policloreto de alumínio para o processo de coagulação de efluente de laticínio, utilizando 1400 mg/L chegou a 90,85% de remoção de turbidez.

Molossi et al. (2014) estudaram o uso de policloreto de alumínio em efluente de indústria de laticínio na dosagem de 5 mg/L e obtiveram 46% de remoção de NT, 66% de cor e 84% de turbidez. Comparados aos dados deste estudo apresentado, estes valores encontrados pelos autores são inferiores devido às dosagens do presente estudo serem maiores, demonstrando que mesmo na menor dosagem do estudo (1300 mg/L), se obtiveram boas eficiências de remoção dos parâmetros analíticos.

### 5.4.3. Caracterização do efluente tratado com sulfato de alumínio

A Tabela 15 apresenta as medidas de pH, cor, turbidez, Carbono Orgânico Total (COT), Nitrogênio Total (NT), Sólidos Suspensos ou Lodo Final (SS) e Sólidos Sedimentáveis (SSed) dos efluentes tratados com sulfato de alumínio nas dosagens de 1050, 1100, 1150, 1200 e 1250 mg/L.

**Tabela 15** - Caracterização do efluente tratado com sulfato de alumínio nas dosagens de 1050, 1100, 1150, 1200 e 1250 mg/L.

Parâmetros	Dosagem de coagulante sulfato de alumínio (mg/L)				
	1050	1100	1150	1200	1250
pH	5,06 <sup>b</sup> ± 0,04	5,17 <sup>a</sup> ± 0,02	5,0 <sup>b</sup> ± 0,04	4,9 <sup>c</sup> ± 0,01	4,6 <sup>d</sup> ± 0,07
Cor (ABS Pt-Co)	0,006 <sup>a</sup> ± 0,001	0,004 <sup>b</sup> ± 0,001	0,006 <sup>a</sup> ± 0,001	0,003 <sup>c</sup> ± 0,001	0,002 <sup>d</sup> ± 0,000
Turbidez (NTU)	0,62 <sup>a</sup> ± 0,016	0,64 <sup>a</sup> ± 0,016	0,03 <sup>c</sup> ± 0,030	0,02 <sup>c</sup> ± 0,030	0,08 <sup>b</sup> ± 0,060
COT (mg/L)	206,82 <sup>e</sup> ± 0,18	230,96 <sup>b</sup> ± 0,32	337,72 <sup>a</sup> ± 4,51	306,4 <sup>c</sup> ± 2,44	289,5 <sup>d</sup> ± 3,28
NT (mg/L)	8,452 <sup>d</sup> ± 0,05	10,91 <sup>c</sup> ± 0,018	11,55 <sup>a</sup> ± 0,05	10,86 <sup>c</sup> ± 0,03	11,14 <sup>b</sup> ± 0,04
SS (mg/L)	904 <sup>a</sup> ± 0,01	781 <sup>e</sup> ± 0,01	866 <sup>b</sup> ± 0,01	846 <sup>c</sup> ± 0,01	838 <sup>d</sup> ± 0,01
SSed (mL/L)	85 <sup>b</sup> ± 0,02	98 <sup>a</sup> ± 0,02	80 <sup>d</sup> ± 0,01	82 <sup>c</sup> ± 0,02	75 <sup>e</sup> ± 0,01

\*Resultados de média ± desvio padrão; letras diferentes em uma mesma linha correspondem à diferença significativa ( $p < 0,05$ ) pelo Teste de *Tukey*.

**Fonte:** o autor.

Observa-se um declínio do pH com o aumento da dosagem do coagulante, o que provavelmente é devido ao próprio pH do coagulante, pois quanto maior a quantidade adicionada no efluente, menor é pH do mesmo.

No geral, verifica-se que com o aumento da dosagem de coagulante os valores de pH foram menores, bem como a cor e o SSed, além da diminuição da turbidez. Enquanto os teores de COT, NT e SS foram obtidos em menores proporções em dosagens menores de coagulantes. Observou-se diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre todas as amostras para os SS.

O pH dos testes encontra-se dentro dos padrões de lançamento da CONAMA (2011) de 1050 a 1150 mg/L, fazendo necessário o ajuste com hidróxido de sódio as dosagens de 1200 e 1250 mg/L, exceto para os padrões CONSEMA (2017), que exigem o ajuste de todas as amostras.

A Tabela 16 apresenta a porcentagem de remoção da cor, turbidez, COT e NT para o efluente tratado com diferentes dosagens de sulfato de alumínio, em relação ao efluente bruto.

**Tabela 16** – Porcentagem de remoção de cor, turbidez, COT e NT dos efluentes tratados da marca B com sulfato de alumínio em diferentes concentrações em comparação ao efluente bruto.

Parâmetros	Porcentagem de remoção (%)				
	1050 mg/L	1100 mg/L	1150 mg/L	1200 mg/L	1250 mg/L
Cor (ABS Pt-Co)	99,77%	99,84%	99,77%	99,88%	99,92%
Turbidez (NTU)	99,962%	99,960%	99,998%	99,999%	99,995%
COT (mg/L)	77,95%	75,37%	63,99%	67,33%	69,13%
NT (mg/L)	88,68%	85,39%	84,53%	85,46%	85,08%

**Fonte:** o autor.

Observa-se que a remoção de cor e turbidez foram eficientes para todas as dosagens de coagulantes, sendo que a cor teve maior remoção para 1250 mg/L e a turbidez para 1200 mg/L. O mesmo não foi observado para remoção de COT, que obteve maior eficiência de remoção para 1050 e 1100 mg/L, por serem quantidades que melhor reduzem a COT. Para NT, a melhor remoção foi obtida para 1050 mg/L, mas os valores de todas as amostras se enquadram nas legislações (até 20 mg/L) da CONAMA (2011) e CONSEMA (2017).

Mello Silva et al. (2016) estudando coagulação como pré-tratamento para o efluente da usina de beneficiamento de leite, utilizando sulfato de alumínio como coagulante na concentração de 200 mg/L obtiveram eficiência de remoção de turbidez de 85,4%.

Molossi et al. (2014) estudaram o uso de sulfato de alumínio em efluente de indústria de laticínio na dosagem de 90 mg/L e obtiveram 39% de remoção de NT, 55% de cor e 83% de turbidez. Comparados aos dados deste estudo, estes valores encontrados pelos autores são inferiores devido às dosagens do presente estudo serem maiores, demonstrando que mesmo na menor dosagem do estudo apresentado (1050 mg/L), se obtiveram adequadas eficiências de remoção dos parâmetros analisados.

#### 5.4.4. Caracterização do efluente tratado com tanino

A Tabela 17 apresenta as medidas de pH, cor, turbidez, Carbono Orgânico Total (COT), Nitrogênio Total (NT), Sólidos Suspensos ou Lodo Final (SS) e Sólidos Sedimentáveis (SSed) dos efluentes tratados com tanino nas dosagens de 300, 350 e 400 mg/L.

**Tabela 17** - Caracterização do efluente tratado com tanino nas dosagens de 300, 350 e 400 mg/L.

Parâmetros	Dosagem de coagulante tanino (mg/L)		
	300	350	400
pH	5,41 <sup>c</sup> ± 0,01	5,66 <sup>b</sup> ± 0,02	5,85 <sup>a</sup> ± 0,01
Cor (ABS Pt-Co)	0,002 <sup>c</sup> ± 0,001	0,007 <sup>a</sup> ± 0,000	0,005 <sup>b</sup> ± 0,001
Turbidez (NTU)	0,07 <sup>c</sup> ± 0,060	0,20 <sup>b</sup> ± 0,005	0,26 <sup>a</sup> ± 0,020
COT (mg/L)	281,2 <sup>a</sup> ± 1,66	180,3 <sup>c</sup> ± 2,93	225,98 <sup>b</sup> ± 3,55
NT (mg/L)	12,02 <sup>a</sup> ± 0,040	8,273 <sup>c</sup> ± 0,006	9,923 <sup>b</sup> ± 0,106
SS (mg/L)	831 <sup>c</sup> ± 0,02	846 <sup>b</sup> ± 0,03	850 <sup>a</sup> ± 0,01
SSed (mL/L)	80 <sup>a</sup> ± 0,01	58 <sup>b</sup> ± 0,02	58 <sup>b</sup> ± 0,02

\*Resultados de média ± desvio padrão; letras diferentes em uma mesma linha correspondem à diferença significativa ( $p < 0,05$ ) pelo Teste de *Tukey*.

**Fonte:** o autor.

Os menores valor de pH, cor turbidez e SS e os maiores valores de COT, NT e SSed foram observados na menor dosagem de coagulante. Todos os parâmetros investigados para todas concentrações do coagulante evidenciam que o efluente tratado pode ser lançado aos recursos hídricos e seguem a legislação da CONAMA (2011), apenas pelo pH que deve ter um leve ajuste para 6,0 para se enquadrar também na legislação CONSEMA (2017). A Tabela 18 apresenta a porcentagem de remoção da cor, turbidez, COT e NT para o efluente tratado com diferentes dosagens de tanino, em relação ao efluente bruto.

**Tabela 18** – Porcentagem de remoção de cor, turbidez, COT e NT dos efluentes tratados da marca B com tanino em diferentes concentrações em comparação ao efluente bruto.

Parâmetros	Porcentagem de remoção (%)		
	300 mg/L	350 mg/L	400 mg/L
Cor (ABS Pt-Co)	99,92%	99,73%	99,81%
Turbidez (NTU)	99,996%	99,990%	99,980%
COT (mg/L)	70,02%	80,78%	75,91%
NT (mg/L)	83,91%	88,92%	86,71%

**Fonte:** o autor.

Verifica-se que com a dosagem de 300 mg/L, obteve-se melhores remoções de cor e turbidez e menores remoções de COT e NT. As diminuições de COT e NT foram mais eficientes para a quantidade de 350 mg/L, apesar de todas apresentarem bons parâmetros para as legislações, com COT acima de 70% de remoção e NT com valores menores que 20 mg/L.

Justina (2017), estudo tratamento de efluente de indústria de laticínio utilizando tanino na dosagem de 300 mg/L obteve 70% de remoção de cor e 90% de turbidez, resultados inferiores aos obtidos no presente estudo, o que pode estar relacionado ao efluente, pois o do presente estudo é sintético.

### 5.5. Custo dos coagulantes

A escolha do melhor coagulante depende dos resultados do tratamento do efluente, além do próprio custo. De acordo com Mello Silva et al. (2016), o valor de compra para o sulfato de alumínio é em torno de 190 dólares por tonelada, enquanto que o cloreto férrico é de 300 dólares por tonelada. Já o policloreto de alumínio é em torno de 250 dólares por tonelada. De acordo com Nunes e Yokoyama (2016) o custo de 1 tonelada de tanino é de aproximadamente 463 dólares.

Portanto, neste trabalho, utilizando diferentes coagulantes (cloreto férrico, sulfato de alumínio, policloreto de alumínio e tanino), foram encontradas elevadas eficiências de remoção de cor e turbidez, acima de 99,7%, para as menores dosagens de coagulantes, exceto para o policloreto de alumínio que não foi na menor dosagem, e também boas eficiências de remoção de COT e NT.

Para verificação do custo do efluente, foram escolhidas as melhores condições ou dosagens mínimas de coagulante encontradas para cada tratamento e verificado o valor em dólar por m<sup>3</sup> de efluente (Tabela 19).

**Tabela 19** – Custo (dólar) por m<sup>3</sup> de efluente para os coagulantes à base de cloreto férrico, policloreto de alumínio, sulfato de alumínio e tanino, baseado nas melhores condições encontradas no tratamento convencional.

COAGULANTES	PARÂMETROS		
	Quantidade do coagulante (mg/L)	Valor unitário (\$)	Custo por m <sup>3</sup> (\$/m <sup>3</sup> )
Cloreto férrico	1100	300	0,33
Policloreto de alumínio	1900	250	0,47
Sulfato de alumínio	1050	190	0,20
Tanino	300	463	0,14

Fonte: o autor.

Observa-se na Tabela 19 que, apesar do tanino apresentar o maior custo em relação aos produtos químicos, a quantidade a ser utilizada para o tratamento é menor, de 300 mg/L, ou seja, o custo dele se torna mais barato, quando comparado aos outros coagulantes que utilizam quantidade acima de 1050 mg/L. Assim, o custo por m<sup>3</sup> será \$0,14 para o tanino, enquanto para os outros coagulantes será acima de \$0,20.

## 6. CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos é possível observar que para os tratamentos convencionais do efluente sintético de laticínio com cloreto férrico, policloreto de alumínio, sulfato de alumínio e tanino foram excelentes.

Os ensaios preliminares em relação ao pH, mostraram que o efluente sintético do leite em pó da marca B em seu pH normal (sem ajuste) apresentou as menores dosagens de coagulante.

O emprego dos diferentes coagulantes à base de cloreto férrico, sulfato de alumínio, policloreto de alumínio e tanino apresentaram elevadas eficiências de remoção de cor e turbidez, acima de 99,7% para as menores dosagens de coagulantes, 1100, 1900, 1050 e 300 mg/L, respectivamente, exceto para o policloreto de alumínio que não foi na menor dosagem, além de boas eficiências de remoção de COT e NT.

Além da vantagem econômica, o coagulante tanino apresenta vantagens de caráter ambiental, inclusive não necessitando de ajuste do pH do efluente. Trata-se de um coagulante orgânico, de baixa toxicidade (não adiciona íons metálicos ao meio). Ele demonstrou ser uma alternativa sustentável e viável aos coagulantes tradicionais cloreto férrico, policloreto de alumínio e sulfato de alumínio, no tratamento de efluentes de laticínio.

## **7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

- ❖ Tratamento convencional com efluente bruto real de laticínio, mostrando coagulantes naturais como alternativa;
- ❖ Análises de outros parâmetros analíticos, como DQO e DBO;
- ❖ Realizar ensaios com outras alternativas de tratamento de efluentes, que não sejam convencionais, como o uso de membranas ou eletrocoagulação;
- ❖ Teste de alternativa de uso de outros tipos de coagulantes naturais, como a moringa, maracujá, chia, quiabo, entre outros;
- ❖ Tratamento de efluente visando o reuso da água.

## REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9800/1987 – Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, RJ, 1987.

ALMEIDA, E. J. M.; GROSSI, L. J. **Estudo do processo de tratamento de água da indústria de laticínio**. 2014. 32 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2014.

ANDRADE, G.C. **Eficiência dos processos de flotação e filtração com uso de coagulante natural e químico no tratamento de efluente de laticínio**. 2015. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2015.

ANDRADE, L. H. **Tratamento de efluentes de laticínios por duas configurações de biorreator com membranas e nanofiltração visando o reuso**. 2011. 214 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Uberlândia, Belo Horizonte, 2011.

ANDRADE, L. H.; MENDES, F. D. S.; ESPINDOLA, J. C.; AMARAL, M. C. S. Nanofiltration as tertiary treatment for the reuse of dairy wastewater treated by membrane bioreactor. **Separation and Purification Technology**, 126, p. 21-29, 2014.

ANDRES JUNIOR, D.A. **Tratamento de águas residuais de indústrias de bebidas utilizando tratamento convencional e processo de separação com membranas**. 2015. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2015.

APHA (American Public Health Association); AWWA (American Water Works Association); WEF (Water Environment Federation). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21ª Ed. Washington – DC: APHA, 2005.

AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W.; LIMA, U. **Biotecnologia Industrial**. 1. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher LTDA., 2001.

BENAZZI, T. L. **Otimização de um sistema de eletrofloculação em fluxo contínuo para o tratamento de efluentes líquidos das indústrias de laticínios**. 2013. 121 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2013.

BORBA, L.R. **Viabilidade do uso da *Moringa oleífera Lam* no tratamento simplificado de água para pequenas comunidades**. 2001. 92 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal do Paraíba, João Pessoa, 2001.

BORTOLUZZI, A. C. **Processos avançados de tratamento de efluente líquidos da indústria de soro de leite visando a obtenção de água para reúso**. 2016. 132 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2016.

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 430, 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, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2011.

BRIÃO, V. B. **Processos de separação por membranas para reúso de efluentes de laticínios**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2007.

BRIÃO, V. B.; TAVARES, C. R. G. Ultrafiltração como processo de tratamento para o reúso de efluentes de laticínios. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 134-138, 2007.

CARDOSO, K. C.; BERGAMASCO, R.; COSSICH, E. S.; MORAES, L. C. K. Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da *Moringa Oleifera* Lam. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 30, n. 2, p. 193-198, 2008.

CAVALCANTI, J.E.W.A. **Manual de tratamentos de efluentes industriais**. 3.ed. São Paulo: Engenho Editora Técnica, 2016.

CENI, G. **Estudo da eletrocoagulação aplicada associativamente com peróxido de hidrogênio no tratamento de efluentes líquidos de laticínios**. 2017. 84 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2017.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.D.B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2. ed. São Carlos: Editora Rima, 2005.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Gado de leite**. Estatísticas Agropecuárias, 2012. Disponível em: <[www.cnpqgl.embrapa.br](http://www.cnpqgl.embrapa.br)>. Acesso em: 26 de abril de 2020.

EUROPEAN COMMISSION. **Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC)**. 2006.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAOSTAT database, 2018**. Disponível em: <[www.fao.org/faostat/en/](http://www.fao.org/faostat/en/)>. Acesso em: 26 de abril de 2020.

FERREIRA, R. P. **Uso de coagulantes naturais como pré-tratamento de efluente de laticínio**. 2012. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2012.

FERRARI, C. T. R. R. **Uso de coagulantes naturais no tratamento de efluente da indústria de alimentos**. 2015. 64 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia em Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2015.

FONSECA, C. R.; FREITAS, T. P.; NORONHA, L. L.; FARIA, L. L. F. Utilização de quitosana e tanino como agentes coagulantes na purificação de hidrolisado de bagaço de cana. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 18., Foz do Iguaçu. **Anais do XVIII COBEQ**, 2010.

GUERRA FILHO, D. **Estudo do tratamento de efluentes de laticínio utilizando processos oxidativos avançados integrados a sistemas biológicos (lodos ativados)**. 2007. Tese (Doutorado em Biotecnologia Industrial) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2007.

HAMERSKI, F. **Partida de um reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) no tratamento de efluentes provenientes de uma indústria de laticínios**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

HENARES, J. F. **Caracterização do efluente de laticínio: análise e proposta de tratamento**. 2015. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Campo Mourão, 2015.

HEREDIA, J. B.; MARTÍN, J. S.; MUÑOZ, M. C. G. New coagulants from tannin extracts: Preliminary optimisation studies. **Chemical Engineering Journal**, Badajoz – Espanha, 1 set. 2010. Elsevier, v. 162, n. 3, p. 1019-1025, 2010.

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2018. Disponível em: <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acesso em: 26 de abril de 2020.

JUSTINA, M. D. **Aplicação de tanino vegetal como coagulante no tratamento de efluentes de laticínios e gestão do lodo para aplicação agrônômica**. 2017. 123 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.

JUSTINA, M. D.; KEMPKA, A. P.; SKORONSKI, E. Tecnologias empregadas no tratamento de efluentes de laticínios do vale do Rio Braço do Norte – SC. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá – PR, v. 10, n. 3, p. 809-824, 2017.

KUSHWAHA, J. P.; SRIVASTAVA, V. C.; MALL, I. D. Organics removal from dairy wastewater by electrochemical treatment and residue disposal. **Separation and Purification Technology**, Uttarakhand – Índia, v. 76, n. 2, p. 198-205, 2010.

LEE, C. S.; ROBINSON, J.; CHONG, M. F. A review on application of flocculants in wastewater treatment. *Process Safety and Environmental Protection*. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 92, n. 6, p. 489-508, 2014.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. 3. ed. Campinas: Editora Átomo, 2010.

LIMA, G. J. A. **Uso de polímero natural do quiabo como auxiliar de floculação e filtração em tratamento de água e esgoto.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

MACHADO, R.M.G.; FREIRE, V.H.; SILVA, P.C.; FIGUEIREDO, D.V.; FERREIRA, P.E. Controle ambiental nas pequenas e médias indústrias de laticínios. **Projeto Minas Ambiente**, Belo Horizonte, 2002, 223 p.

MAGACHO, A. L. F. **Avaliação de técnicas de separação combinadas para a purificação de xilose visando a obtenção de bioprodutos.** 167 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2009.

MANGRICH, A. S.; DOUMER, M. E.; MALLMANN, A. S.; WOLF, C. R. Química Verde no Tratamento de Águas: Uso de Coagulante Derivado de Tanino de *Acacia mearnsii*. **Revista Virtual de Química**, Curitiba – PR, v. 6, n. 1, p. 2-15, 2014.

MATEUS, G. A. P.; BAPTISTA, A. T. A.; PINTO, L. A. M.; VIEIRA, A. M. S.; BERGAMASCO, R.; GOMES, R. G. Aplicação do coagulante natural *Moringa Oleifera* na remoção de cor e turbidez de efluente lácteo. *In*: ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA UNICESUMAR, 9., 2015, Maringá. **Anais Eletrônico**. Maringá: ISBN, 2015. p. 4-8.

MATOS, A.T.; CABANELAS, C.F.; CECON, P.R.; MUDADO, C.S. Efeito da concentração de coagulantes e do pH da solução na turbidez da água, em recirculação, utilizada no processamento do cafeeiro. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, 2007.

MELLO SILVA, C.; PORTO, C.A.; RODRIGUES, E.M.R.; ANJOS JÚNIOR; R.H. Pré-tratamento de efluente de laticínio visando a remoção de turbidez. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 7., 2016, Campina Grande. **Anais Eletrônico**. Campina Grande: IBEAS, 2016, p. 1-8.

MILKPOINT. **IBGE: produção de leite cresce 1,6% em 2018 e produtividade por vaca aumenta quase 5%.** 2019. Disponível em: <[www.milkpoint.com.br](http://www.milkpoint.com.br)>. Acesso em: 26 de abril de 2020.

MINOZZO, M. **Avaliação dos efluentes líquidos e resíduos laboratoriais gerados em uma unidade de recebimento de leite: um estudo de caso.** 2017. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2017.

MOLOSSI, J.; BRIÃO, V.B.; HEMKEMEIER, M. Pós-tratamento físico químico de efluentes de laticínio para remoção de fósforo. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 11, n. 2, p. 124-141, 2014.

MUNIZ, G.L. **Otimização do tratamento de efluente lácteo sintético com o uso de coagulantes alternativos.** 2018. 181 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

NAIME, R.; GARCIA, A.C. Utilização de Enraizadas no Tratamento de Efluentes Agroindustriais. **Estudos tecnológicos**, Novo Hamburgo – RS, v. 1, n. 2, p. 9-20, 2005.

NUNES, E.C.S.; YOKOYAMA, L. Aplicação de coagulante orgânico no tratamento de efluentes de água oleosa. *In*: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE, 5., 2016, Bento Gonçalves. **Anais Eletrônico**. Bento Gonçalves: CITMA, 2016, p. 1-8.

OMIL, F.; GARRIDO, J. M.; ARROJO, B.; MÉNDEZ, R. Anaerobic filter reactor performance for the treatment of complex dairy wastewater at industrial scale. **Water Research**, Galicia – Espanha, v.37, n.17, p. 4099- 4108, 2003.

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP, 2001.

PIVELI, R.P.; KATO, M.T. **Qualidade das águas e poluição**: aspectos físico-químicos. São Paulo: ABES, 2006. 285p.

RIBEIRO, I. **Aplicação de coagulantes e floculantes orgânicos alternativos no pós-tratamento de efluente de laticínio**. 2015. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2015.

RIO GRANDE DO SUL, Conselho Estadual do Meio Ambiente – CONSEMA. Resolução nº 355, de 19 de julho de 2017. Dispõe sobre a fixação de Padrões de Emissão de Efluentes Líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Governo do Estado do Rio Grande do Sul, **Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável**, Porto Alegre, RS, 2017.

SALAZAR, R. F. S. **Aplicação de processo oxidativo avançado (POA) como pré-tratamento de efluente de laticínio para posterior tratamento biológico**. 2009. 210 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2009.

SANTOS, A.M.M. **Tratamento de efluentes de biodiesel pelo processo combinado de coagulação-floculação e fenton**. 2014. 95 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

SANTOS, A.M.; SILVA, S.R.; CARVALHO, S.H.V.; SOLETTI, J.I. Tratamento de efluentes lácteos através de coagulação química e sedimentação. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 8., 2009, Uberlândia. **Anais eletrônico**. Uberlândia: COBEQ-IC, 2009. p. 1-6.

SANTOS, H. R. **Coagulação/precipitação de efluentes de reator anaeróbio de leite expandido e de sistema de lodo ativado precedido de reator UASB, com remoção de partículas por sedimentação ou flotação**. 2006. 330 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SANTOS, R.C.O.; FILHO, O.B.; GIORDANO, G.P. Proposta de um método de cálculo do tempo de sedimentação no tratamento de esgoto por lodos ativados em bateladas. **Revista Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 10, n. 3, pág. 185-193, 2005.

SARAIVA, C. B.; MENDONÇA, R. C. S.; SANTOS, A. L.; PEREIRA, D. A. Consumo de água e geração de efluentes em uma indústria de laticínios. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora – MG, v. 64, n. 367, p. 10-18, 2009.

SILVA, D.J.P. **Diagnóstico do consumo de água e da geração de efluentes em uma indústria de laticínios e desenvolvimento de um sistema multimídia de apoio**. 2006. Dissertação (Mestrado), Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa, 2006.

SOARES, B.C.V.; QUITÉRIO, S.L.; VENDRAMEL, S.M.R. Tratamento de efluentes na indústria de laticínios. **Milkpoint**, Rio de Janeiro, RJ, 2018, p. 1-3. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/artigos/industria/tratamento-de-efluentes-na-industria-de-laticinios-211719/>. Acesso em: 28 ago. 2019.

SOLANA, I. **Estudo da viabilidade de utilização de um polímero de base orgânica em substituição ao cloreto férrico no tratamento de efluente industrial**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014.

SOUZA, F. A.; SENRA, R.; CARBO, L.; NADJA, G. M.; MELLO, G. J. Estação de tratamento de água e ensino de ciência: uma experiência didática. **Unopar Científica Ciências Humanas e Educação**, Londrina – PR, v. 15, 2014.

SRINIVASA, P.; BASKARAN, R. RAMESH, M.; PRASHANTH, K.H.; THARANATHAN, R. Storage studies of mango packed using biodegradable chitosan film. **European Food Research and Technology**, v.215, n.6, p.504-508, 2002.

STEIN, R.T. **Caracterização e avaliação do sistema de tratamento de efluentes de uma indústria alimentícia, visando o reuso**. 2012. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Centro Universitário Univates, Lajeado, 2012.

TALIB, Y.; IDRIS, A.; ASLINA, S. A tannin-based agent for coagulation and flocculation of municipal wastewater: chemical composition, performance assessment compared to Polyaluminum chloride, and application in a pilot plant. **Journal of Environmental Management**, Selangor – Malásia, v. 184, n. 3, p. 494–503, 2016.

TANAC. **Tanfloc SG**. 2020. Disponível em: <[www.tanac.com.br](http://www.tanac.com.br)>. Acesso em: 6 de junho de 2020.

VAZ, Luiz Gustavo de Lima. **Performance do processo de coagulação/floculação no tratamento de efluente líquido gerado na galvanoplastia**. 2009. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2009.

VILLA, R. D.; SILVA, M. R. A.; NOGUEIRA, R. F. P. Potencial de aplicação do processo foto-fenton/solar como pré-tratamento de efluente da indústria de laticínios. **Química Nova**, Araraquara – SP, v. 30, n. 8, p. 1799-1803, 2007.

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

VOURCH M.; BALANNEC, B.; CHAUFER, B.; DORANGE, G. Treatment of dairy industry wastewater by reverse osmosis for water reuse. **Desalination**, Rennes – França, v. 219, n. 1-3, p. 190-202, 2008.

YIN, C.Y. Emerging Usage of Plant-Based Coagulants for Water and Wastewater Treatment. **Process Biochemistry**, Selangor – Malásia, v. 45, n. 9, p. 1437-1444, 2010.