

## Uso de tanino como alternativa aos coagulantes químicos no tratamento de efluente de laticínio

Bianca Trindade Oldoni <sup>1</sup>, Clarice Steffens <sup>2\*</sup>, Rogério Marcos Dallago <sup>3</sup>, Juliana Steffens <sup>4</sup>

<sup>1</sup>Graduada em Engenharia Química, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Brasil.

<sup>2</sup>Doutora em Biotecnologia, Professora da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Brasil. (\*Autor correspondente: clarices@uricer.edu.br)

<sup>3</sup>Doutor em Química, Professor da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Brasil.

<sup>4</sup>Doutora em Engenharia Química, Professora da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 07/01/2022 – Revisado em: 07/03/2022 – Aceito em: 05/06/2022

### RESUMO

O objetivo do presente estudo foi avaliar a eficiência do uso de tanino (Tanfloc SG) como coagulante natural em comparação com os coagulantes inorgânicos (policloreto de alumínio, cloreto férrico e sulfato de alumínio) no tratamento de efluente de laticínio. Foram realizados testes para verificação da coagulação utilizando dois efluentes, avaliando as mínimas concentrações necessárias destes coagulantes para floculação e clarificação deste resíduo. Posteriormente, a partir da concentração mínima necessária dos coagulantes foi avaliada a coagulação-floculação, sendo caracterizados os ensaios com maior remoção de cor. Verificou-se que os tratamentos geraram um efluente que se encontra dentro dos padrões da legislação para lançamento em corpos receptores, exceto pela necessidade de ajuste de pH para algumas amostras quando utilizado cloreto férrico e sulfato de alumínio para coagulação. Para todos os coagulantes estudados foram constatadas diminuições de turbidez e cor (~99%). Para o carbono orgânico total e nitrogênio total, reduções mais expressivas foram observadas para o tanino e o policloreto de alumínio, com valores entre 80 e 90%, respectivamente. Em relação à viabilidade econômica dos coagulantes, levando em consideração o custo por m<sup>3</sup>, o tanino apresentou menor valor. Portanto, com este estudo pode-se concluir que o tanino é uma alternativa como coagulante, de baixo custo e eficiente no tratamento de efluente de laticínios quando comparado aos coagulantes químicos, além disso, por ser de origem natural, causa menos danos ao meio ambiente, sendo considerado sustentável.

**Palavras-Chaves:** Coagulante natural, Coagulação, Viabilidade, Tanfloc.

### Tannin as an alternative to the use of chemical coagulants in dairy wastewater treatment

### ABSTRACT

The aim of the present study was to evaluate the efficiency of using tannin (Tanfloc SG) as a natural coagulant compared to inorganic coagulants (poly aluminum chloride, ferric chloride and aluminum sulfate) in the treatment of dairy effluent. Tests were carried out to verify the coagulation using two effluents, evaluating the minimum necessary concentrations of these coagulants for flocculation and clarification of this residue. Subsequently, from the required minimum concentration of coagulants, coagulation-flocculation was evaluated, and the assays with greater color removal were characterized. It was found that the treatments generated an effluent that is within the standards of the legislation for release into receiving bodies, except for the need to adjust the pH for some samples when using ferric chloride and aluminum sulfate for coagulation. Decreases in turbidity and color (~99%) were observed for all coagulants studied. For total organic carbon and total nitrogen, more expressive reductions were observed for tannin and aluminum polychloride, with values between 80 and 90%, respectively. Regarding the economic viability of the coagulants, considering the cost per m<sup>3</sup>, tannin had the lowest value. Therefore, with this study it can be concluded that tannin is an alternative as a coagulant, low cost and efficient in the treatment of dairy effluent when compared to chemical coagulants, in addition, because it is of natural origin, it causes less damage to the environment., being considered sustainable.

**Keywords:** Natural coagulant, Coagulation, Viability, Tanfloc.

Oldoni, T. B., Steffens, C., Dallago, M. R., Steffens, J. (2022). Tanino como alternativa ao uso de coagulantes químicos no tratamento de efluente de laticínio. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v.10, n.3, p.100-116.



## 1. Introdução

O complexo agroindustrial do leite apresenta um papel de grande relevância, seja na esfera econômica ou social, o que influencia na geração de emprego e renda. No entanto, as atividades industriais do setor leiteiro têm provocado preocupações, pela grande quantidade de resíduos líquidos. Durante o processamento de derivados de leite, são requeridos processos de higienização, os quais produzem efluentes altamente poluentes devido a elevada carga orgânica. A busca por tecnologias e gestões mais sustentáveis neste ramo de atividade recebe destaque mundial, e, conseqüentemente, a procura por alternativas mais viáveis e eficientes se tornam interessantes (Brião; Tavares, 2007; Vourch et al., 2008).

Devido aos elevados teores de matéria orgânica, gorduras, sólidos suspensos, nitrogênio e fósforo, o tratamento do efluente de laticínio encontra dificuldades (Andrade, 2011). Este efluente, se lançado diretamente em corpos hídricos sem o tratamento prévio, gera impactos, tais como eutrofização, aumento da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), elevação da concentração de sólidos solúveis, além de proliferação de doenças (Santos, 2006).

Para o tratamento dos efluentes de laticínios são empregados processos físico-químicos e biológicos. No processo físico-químico, o mais utilizado é a coagulação-floculação, que objetiva remover turbidez, cor, e matéria orgânica (Almeida; Grossi, 2014). Se o tratamento físico-químico é conduzido de forma eficiente, se obtém uma redução considerável na carga orgânica.

O sulfato de alumínio e o cloreto férrico são os coagulantes mais empregados no processo de coagulação-floculação, principalmente por serem de baixo custo. No entanto, apresentam algumas desvantagens: os flocos resultantes da coagulação utilizando sulfato de alumínio são essencialmente inorgânicos, portanto, o lodo não sofre decomposição biológica, ou seja, não é biodegradável, dificultando sua disposição final; já o cloreto férrico é corrosivo. Os sais de alumínio também podem provocar a doença de Alzheimer por meio do consumo da água com presença deste metal. Devido aos problemas associados aos coagulantes químicos, uma alternativa que pode ser utilizada é o uso de coagulantes naturais, que podem ser obtidos de extratos de microorganismos, animais ou plantas (Muniz, 2018).

Os coagulantes naturais têm apresentado algumas vantagens quando comparados aos processos físico-químicos de tratamento de efluentes, especificamente devido à baixa toxicidade, biodegradabilidade, e baixa produção de lodos residuais (Yin, 2010). Além disso, o lodo gerado com estes coagulantes no processo de tratamento de efluentes pode ser empregado na agricultura como fonte energética para as plantas e ainda na melhoria do solo (Muniz, 2018). Os taninos são compostos polifenólicos, os quais são extraídos de fontes vegetais, principalmente da *Acacia mearnsii* ou Acácia Negra. Esta é originária da Austrália, e no Brasil é cultivada no estado do Rio Grande do Sul. Nas cascas desta planta é encontrado um alto nível de tanino utilizado como coagulante. Durante a coagulação do efluente, existe pouca alteração do pH, devido ao baixo consumo de alcalinidade, sendo eficiente numa ampla faixa de pH, de 4,5 a 8. Apresenta propriedade de adsorver metais dissolvidos em água, (Fonseca et al., 2010; Mangrich et al., 2014; Justina, Kempka e Skoronski, 2017).

Neste sentido o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência do uso de coagulante natural à base de taninos com relação aos coagulantes inorgânicos (policloreto de alumínio, cloreto férrico e sulfato de alumínio) no tratamento de efluente líquido de laticínio.

## 2. Material e Métodos

### 2.1 Preparo das amostras de efluente

Duas amostras de efluente sintético de laticínio utilizando duas marcas de leites em pó integrais comerciais (A e B) foram preparadas na concentração de 2 g/L, de acordo com Ceni (2017).

### 2.2 Testes preliminares: pH e concentração de coagulantes

Testes independentes de coagulação foram realizados utilizando dois efluentes sintéticos de laticínio (A

e B) com pH normal (sem ajuste), e dependendo do teste com ajustes para 9, 10, 11 e 12. Para os ajustes dos pHs foram utilizadas NaOH (hidróxido de sódio) 2M e 0,5M. A medida do pH foi realizada com leitura diretamente nas amostras utilizando um pHmetro digital de bancada (Hayonik, modelo FTP 905).

Como coagulantes foram usados: sulfato de alumínio, cloreto férrico, policloreto de alumínio (PAC) e tanino (Tanfloc). Estes foram avaliados nas concentrações de 100 a 1.000 mg/L. Para cada ensaio foi utilizado 1 L de efluente sintético. O efluente foi mantido em 1.800 rpm de agitação por 20s, posteriormente em 300 rpm por 15 min, utilizando agitador mecânico (Fisatom, modelo 752). A adição do coagulante foi efetuada até observar a formação dos primeiros flocos. Para verificação do início da formação dos flocos foi realizada uma análise visual do líquido. Os testes foram realizados a 25°C.

Por meio dos resultados alcançados nesta etapa, verificou-se que o efluente B, sem ajuste de pH, apresentou melhor coagulação. Assim, este efluente foi escolhido para realizar novos testes de coagulação e verificar a melhor concentração dos coagulantes.

### 2.3 *Uso de diferentes coagulantes no tratamento do efluente*

Foram adicionados 1000 mL de efluente, em béqueres de 1000 mL, sem ajuste de pH (pH do efluente 7,2), e em seguida adicionadas diferentes concentrações dos coagulantes (policloreto de alumínio, cloreto férrico e sulfato de alumínio). Foram adicionadas concentrações 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 ainda para o sulfato de alumínio foi realizado teste com 1.350 mg/L. Para o tanino foram 250; 300; 350; 400; 450; 500; 550 mg/L. Já para o PAC foram 1.000; 1.050; 1.100; 1.150; 1.200; 1.250; 1.300 mg/L. Também foram realizados outros testes para o PAC com 1.800; 1.900; 2.000; 2.100 e 2.200 mg/L.

Foi realizada inicialmente agitação rápida de 1800 rpm durante 20 s, e em seguida agitação lenta de 300 rpm por 15 min, utilizando agitador mecânico. Posteriormente, as amostras permaneceram em repouso por 30 min, para ocorrer a sedimentação, que deve acontecer entre 10 e 12 min (Ribeiro, 2015). Os ensaios em que não foi observada a clarificação do sobrenadante foram descartados. Os que apresentaram clarificação foram colocados em cone Imhoff (1000 mL), e mantidos em repouso por 1 a 2 h. Após este tempo, foi realizada medida do volume de lodo. O lodo e o líquido clarificado foram retirados do cone e filtrados em papel filtro e funil de vidro e posteriormente inseridos em vidro de relógio e levados em estufa (Marconi, modelo MA035/811300) a 105°C até peso constante para ser avaliada a quantidade de sólidos suspensos (SS).

### 2.4 *Determinações analíticas*

Dos efluentes sintéticos (A e B), e o sintético B tratado, foram realizadas análises de pH, turbidez, ST (Sólidos Totais), SSed (sólidos sedimentáveis), cor, NT (Nitrogênio Total), COT (Carbono Orgânico Total) e SS (Sólidos Suspensos) utilizando a metodologia da APHA (2005). Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

A turbidez foi analisada por meio de um turbidímetro (Policontrol, modelo AP-2000). Os sólidos totais foram obtidos por análise gravimétrica, por meio de estufa de secagem com circulação de ar (Marconi, modelo MA035/811300) à  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ , até obter massa constante. Os SSed foram obtidos em  $25^\circ \pm 1^\circ\text{C}$  em cone de Imhoff utilizando 1000 mL e a amostra permaneceu em repouso de 1 a 2 h até deposição dos sólidos no fundo do cone. A cor foi obtida pelo método espectrofotométrico, utilizando um colorímetro (Hach, modelo DR/870, programa 19). O pH foi obtido com leituras diretas na amostra a temperatura de  $25^\circ \pm 1^\circ\text{C}$  utilizando pHmetro digital (Hayonik, modelo FTP 905).

Os teores de COT e NT foram determinados pelo analisador de NT com leituras diretas no equipamento (Shimadzu, modelo TOC-VCSH). Os SS foram obtidos em cone de Imhoff, onde o lodo depositado no fundo foi colocado para um papel filtro com funil de vidro. Após a filtração, o papel filtro foi inserido em um vidro-relógio e colocado em estufa com circulação de ar (Marconi, modelo MA035/811300) a  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ , até secagem completa.

## 2.5 Análise Estatística

Os resultados das análises foram tratados estatisticamente pela Análise de Variância (ANOVA) pelo teste de *Tukey* ( $p < 0,05$ ) e/ou *T Student*, utilizando o software *Statistic*.

## 3. Resultados e discussão

### 3.1 Caracterização dos efluentes

De acordo com a Tabela 1, verifica-se que o efluente B apresentou maiores teores de turbidez, NT, e menores valores de pH, COT e ST, diferindo estatisticamente ( $p < 0,05$ ) do efluente A. Esta diferença pode ser devido a composição do leite em pó utilizado para elaborar o efluente sintético.

**Tabela 1** – Valores de pH, turbidez, ST, SSed, cor, NT e COT, para os efluentes sintéticos A e B.

Parâmetros	Efluente A	Efluente B
pH	7,48 <sup>a</sup> ± 0,03	7,2 <sup>b</sup> ± 0,09
Turbidez (NTU)	1050,58 <sup>b</sup> ± 0,00	1617,66 <sup>a</sup> ± 2,055
ST (mg/L)	191 <sup>a</sup> ± 0,01	182 <sup>b</sup> ± 5,35
SSed (mL/L)	Não observado	Não observado
Cor (ABS Pt-Co)	-	2,56 ± 0,013
NT (mg/L)	74,29 <sup>a</sup> ± 0,74	74,68 <sup>a</sup> ± 0,03
COT (mg/L)	960,23 <sup>a</sup> ± 10,22	937,9 <sup>b</sup> ± 1,50

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

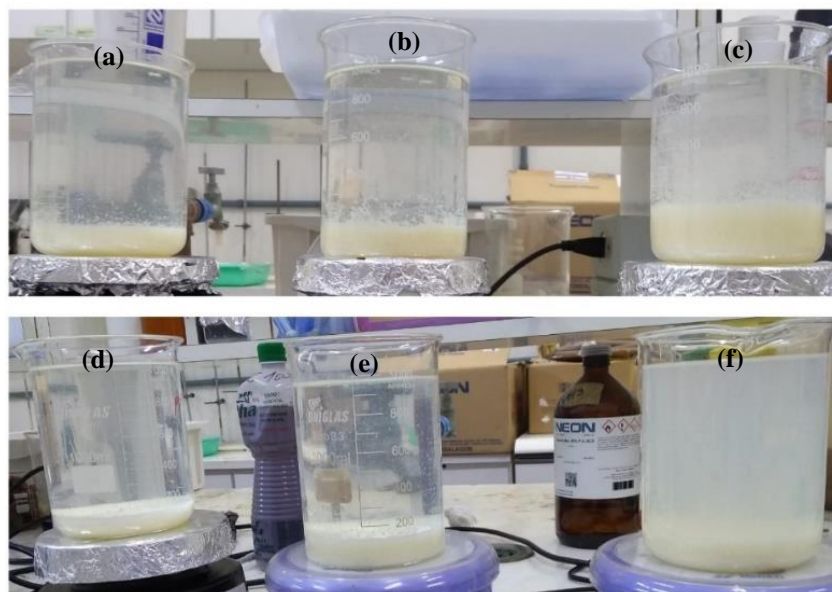
### 3.2 Avaliação do pH e concentração dos coagulantes

O cloreto férrico, sulfato de alumínio, policloreto de alumínio e o tanino apresentaram pH de 1,2; 0 3,3; 3,4; e 1,5, respectivamente. O conhecimento do pH do coagulante é importante pois indica que os coagulantes com pH menor necessitam de menor quantidade do mesmo para reduzir o pH do efluente e dar início ao processo de coagulação.

#### 3.2.1 Testes preliminares utilizando cloreto férrico

Primeiramente foram realizados testes sem ajuste de pH com os efluentes (A e B), utilizando o coagulante cloreto férrico 10% (m/v) nas concentrações de 400, 450, 500, 550, 600, 650 e 700 mg/L, e não foi observada coagulação dos efluentes em nenhuma concentração. Portanto, foram realizadas novas tentativas de coagulação utilizando os efluentes A e B ajustando os pHs para 9, 10, 11 e 12, utilizando como coagulante cloreto férrico 10% (m/v), novamente nas concentrações anteriores, e não foi observada formação de flocos. Assim, foram realizados mais testes independentes aumentando a concentração de cloreto férrico, adicionando o coagulante aos poucos até que ocorresse a floculação, utilizando o efluente sem e com ajuste de pH para 9,0 e 10. A Figura 1 mostra o aspecto visual do efluente, com formação de flocos para os efluentes sintéticos (A e B) em diferentes pHs.

**Figura 1** – Aspecto visual da floculação na dosagem mínima de cloreto férrico do efluente sintético A com: (a) pH normal (~7), (b) pH 9 e (c) pH 10; e para o efluente B (d) com: pH normal (~7), (e) pH 9 e (f) pH 10.



Fonte: o autor.

Em geral, foi observada a formação dos coágulos e decantação. Contudo, para o pH 10 do efluente B (Figura 1-f) foi necessária uma maior quantidade de coagulante para diminuição da turbidez e obtenção da floculação. Os valores da menor concentração de coagulante, pH final e tempo de sedimentação dos efluentes tratados (sintético A e B) nos diferentes pHs, através do uso de cloreto férrico 10% (m/v) estão demonstrados na Tabela 2.

**Tabela 2** – Concentração mínima de coagulante, pH final e tempo de sedimentação do efluente sintético A e B em diferentes pHs, com uso de cloreto férrico 10% (m/v) no tratamento.

Parâmetros	Efluente A			Efluente B		
	pH normal	pH 9	pH 10	pH normal	pH 9	pH 10
Concentração mínima de coagulante (mg/L)	1.100	1.400	1.500	1.000	1.200	1.200
pH do efluente tratado	4,8	5,1	5,4	5,0	4,9	5,5
Tempo de sedimentação (min)	9	9	11	10	12	11

Em relação ao estudo de Ceni (2017), o qual avaliou concentrações de 400, 450, 500, 550, 600, 650 e 700 mg/L para também um efluente sintético de leite, os testes apresentados neste trabalho obtiveram floculação em uma maior concentração deste coagulante. Valores similares de concentração mínima para formar os flocos foram observados para ambos os pHs 9 e 10. O tempo de sedimentação foi de 9 a 12 min, dessa forma se enquadrando com os padrões descritos por Ribeiro (2015), que são no máximo de 10 a 12 min. Também se verifica que o aumento da concentração mínima de coagulante resultou em um aumento do tempo de sedimentação. Isso pode ser devido a maior dimensão do precipitado formado e um tamanho maior de floco levando a uma maior velocidade de sedimentação (Lima, 2007).

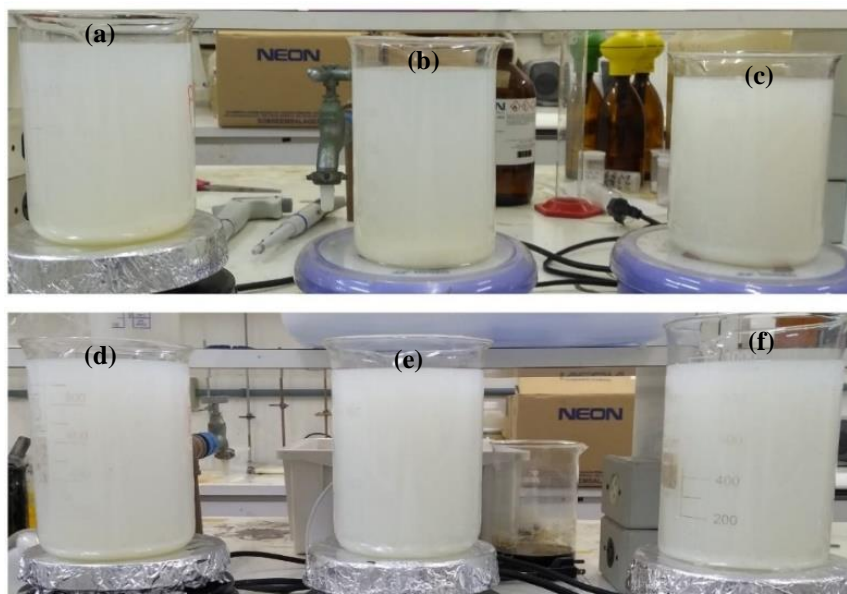
Uma menor quantidade de coagulante foi requerida para o efluente B em pH normal em relação ao efluente A e aos outros pHs, além de apresentar uma boa sedimentação. De acordo com os padrões da

Resolução CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011) o pH do efluente deve estar na faixa de 5 a 9 para o lançamento de efluentes líquidos em corpos receptores. Assim, os experimentos realizados com efluente A em pH normal e efluente B em pH 9 não atenderam o padrão da resolução.

### 3.2.2 Testes preliminares utilizando policloreto de alumínio

Os experimentos com o coagulante policloreto de alumínio (PAC) foram realizados para os efluentes sintéticos A e B (com pH normal e pH 9,0 e 10). O coagulante foi adicionado lentamente até obtenção da coagulação, conforme o aspecto visual do efluente (Figura 2). A formação dos flocos e decantação com o coagulante foi observada, contudo sem clarificação. Esse resultado indica que deve ser utilizada maior quantidade (mg/L) do coagulante PAC para a redução da turbidez e cor.

**Figura 2** – Aspecto visual da floculação na dosagem mínima de PAC do efluente sintético A com: (a) pH normal (~7), (b) pH 9 e (c) pH 10; e para o efluente B (d) com: pH normal (~7), (e) pH 9 e (f) pH 10.



Fonte: o autor.

Os resultados da mínima concentração de coagulante, pH final e tempo de sedimentação dos efluentes sintéticos tratados (A e B) em diferentes pHs, com o uso de PAC 10% estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3**– Concentração mínima de coagulante, pH final e tempo de sedimentação do efluente sintético A e B em diferentes pHs, com uso de PAC 10% (m/v) no tratamento.

Parâmetros	Efluente A			Efluente B		
	pH normal	pH 9	pH 10	pH normal	pH 9	pH 10
Concentração mínima de coagulante (mg/L)	1.300	1.400	1.500	1.000	1.300	1.400
pH do efluente tratado	6,3	6,4	6,7	6,2	6,8	7,0
Tempo de sedimentação (min)	6	9	10	6	7	8

Ao comparar com o cloreto férrico, os valores de menor concentração para o PAC 10% (m/v) foram próximos, por outro lado, o tempo de sedimentação foi menor. Os efluentes tratados por PAC apresentaram

valores maiores de pH em relação aos tratados com cloreto férrico. Essa diferença pode ser devido a quantidade menor do lodo que decantou. O pH sem ajuste do efluente B requereu uma concentração menor de coagulante para a realização do experimento, mas não apresentou clarificação. Esses resultados corroboram com os encontrados por Justina, Kempka e Skoronski (2017) no tratamento de efluente de laticínio com uso de coagulante PAC, contudo utilizando dosagens menores utilizando equipamento *Jar Test*.

### 3.2.3 Testes preliminares utilizando sulfato de alumínio

Os experimentos com o coagulante sulfato de alumínio foram realizados para os efluentes sintéticos A e B com pH sem ajuste e pH 10. Visualmente verificou-se a decantação e a floculação de ambas as amostras, mas não foi presenciada uma boa clarificação. Esse resultado também foi observado para o coagulante PAC. Para diminuir a cor e turbidez foi necessária uma maior quantidade do coagulante de sulfato de alumínio. Este age sob faixa de pH de 5 a 8 (Talib, Idris e Aslina, 2016), podendo ser necessárias alterações no pH do efluente. Os resultados da dosagem mínima de sulfato de alumínio 10% (m/v), pH final e tempo de sedimentação dos efluentes sintéticos A e B em pH normal e pH 10 estão apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4** – Concentração mínima de coagulante, pH final e tempo de sedimentação do efluente sintético A e B em diferentes pHs, com uso de sulfato de alumínio 10% (m/v) no tratamento.

Parâmetros	Efluente A		Efluente B	
	pH normal	pH 10	pH normal	pH 10
Concentração mínima de coagulante (mg/L)	1.000	1.400	1.000	1.300
pH do efluente tratado	5,3	5,6	5,3	5,9
Tempo de sedimentação (min)	8	10	8	10

Os menores valores de pH foram observados em ambos efluentes com pH sem ajuste, além de baixa concentração, pouco tempo de floculação e menores pHs finais. Contudo, esses resultados foram melhores em relação ao trabalho de Benazzi (2013), que utilizou 4500 mg/L de coagulante sulfato de alumínio para clarificação, enquanto no presente processo foram utilizadas menores concentrações. O pH final está de acordo com os padrões da Resolução CONAMA n° 430/2011 (BRASIL, 2011). Por outro lado, houve uma menor sedimentação dos flocos, o que fez o efluente permanecer turvo, fazendo necessária uma maior quantidade de sulfato de alumínio para um melhor tratamento.

### 3.2.4 Testes preliminares utilizando tanino

Os testes com o coagulante tanino apresentaram clarificação em pH normal para os dois efluentes avaliados. Para o pH 10 verificou-se uma maior turbidez, indicando a necessidade de mais concentração desse coagulante. Para ambos pHs dos efluentes avaliados foi observada a presença de flocos em mesmo tempo de sedimentação utilizando a mesma quantidade de coagulante (Tabela 5), onde o efluente com pH 10 apresentou maior pH, porém menor redução de turbidez.

Justina, Kempka e Skoronski (2017) utilizaram o coagulante tanino no tratamento de efluente de laticínio em diferentes concentrações (100, 200 e 300 mg/L), e verificaram a melhor remoção de cor na concentração de 300 mg/L com *Jar Test*. Esse resultado corrobora com o presente estudo, onde também foi a concentração mínima requerida de 300 mg/L.

**Tabela 5** – Concentração mínima de coagulante, pH final e tempo de sedimentação do efluente sintético A e B em diferentes pHs, com uso de tanino no tratamento.

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

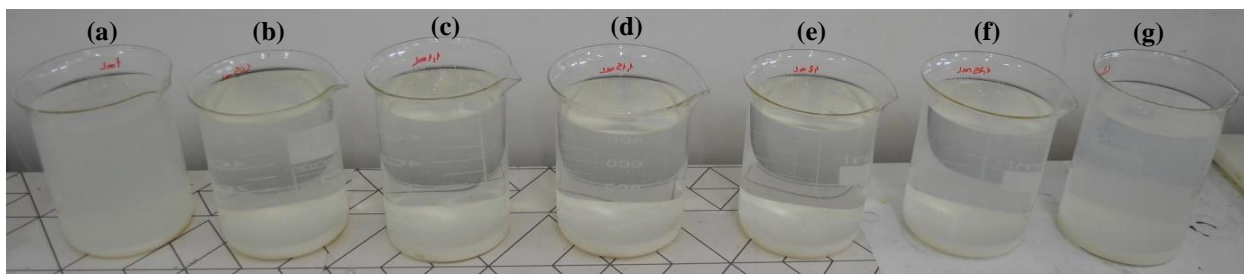
### 3.3 Tratamento convencional através do uso de coagulantes

Os testes com diferentes pHs realizados nos experimentos preliminares mostraram que o efluente sintético B (pH normal, Tabela 1) foi o que necessitou concentração menor de coagulante e obteve melhor coagulação final. Dessa forma, esse pH (7,2; normal) foi escolhido para realizar as análises de coagulação-floculação, utilizando os coagulantes: cloreto férrico, policloreto de alumínio, sulfato de alumínio e tanino.

#### 3.3.1 Coagulação por cloreto férrico

O aspecto visual do efluente tratado com cloreto férrico 10% (m/v) em diferentes concentrações (1.000, 1.050, 1.100, 1.150, 1.200, 1.250 e 1.300 mg/L) está apresentado na Figura 3. As concentrações do coagulante de 1.100 a 1.200 mg/L (Figura 3 c, d, e) foram as que apresentaram melhor clarificação do efluente. Assim, estas amostras foram caracterizadas em relação aos parâmetros físico-químicos.

**Figura 3** – Aspecto visual da clarificação do efluente com uso de coagulante cloreto férrico nas concentrações de (a)1.000, (b)1.050, (c)1.100, (d)1.150, (e)1.200, (f)1.250 e (g)1.300 mg/L.



Fonte: o autor.

Chen e Liu (2012) observaram uma maior remoção de turbidez utilizando coagulante cloreto férrico em concentrações maiores de 800 até 1500 mg/L em efluente de laticínio em *Jar Test*. Neste sentido, resultados similares em relação a clarificação foram verificados no presente estudo. O cloreto férrico é um excelente clarificador devido a formação de hidróxidos insolúveis de ferro ao entrar em contato com o efluente, o que proporciona a neutralização das cargas do mesmo, formando os coágulos (Matos et al., 2007).

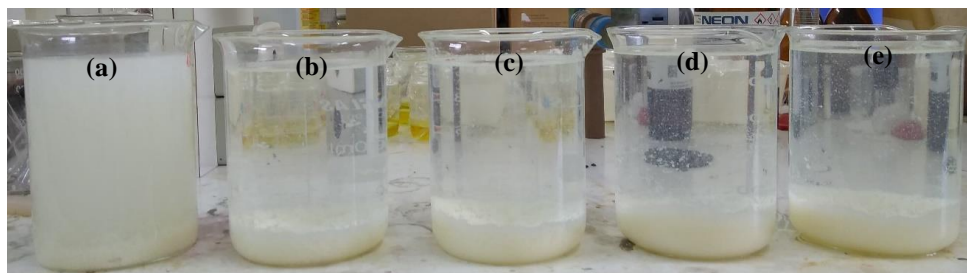
#### 3.3.2 Coagulação por policloreto de alumínio

A coagulação com PAC 10% foi realizada a partir das concentrações mínimas encontradas (1000 a 1300 mg/L), não mostrando eficácia na remoção de turbidez do resíduo. Sendo assim, novos testes foram conduzidos com concentrações maiores (1.800, 1.900, 2.000, 2.100 e 2.200 mg/L), conforme demonstrado na Figura 4.



Observou-se que a dosagem de 1.800 mg/L não foi efetiva, contudo nas concentrações acima de 1.900 mg/L foi verificada uma boa clarificação, sendo estas caracterizadas físico-quimicamente. A maior eficiência da clarificação observada nas maiores concentrações do coagulante pode ser devido à neutralização das cargas ou da repulsão eletrostática nas partículas suspensas do efluente (Kushwaha e Chandra Srivastava, 2010).

**Figura 4** – Aspecto visual da clarificação do efluente com o uso de coagulante PAC nas concentrações de (a)1.800, (b)1.900, (c)2.000, (d)2.100 e (e)2.200 mg/L.



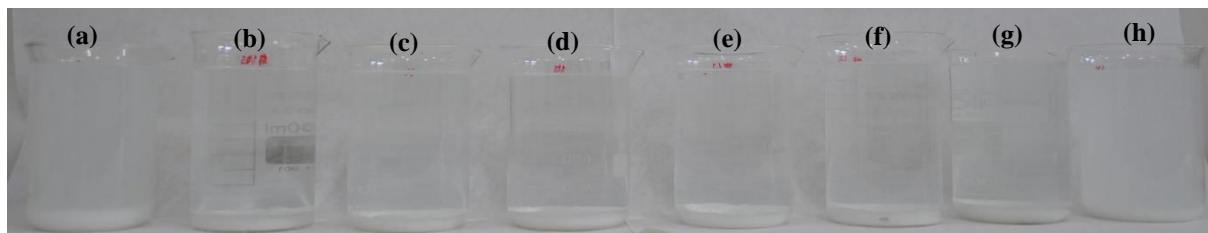
**Fonte:** o autor.

### 3.3.3 Coagulação por sulfato de alumínio

A coagulação com sulfato de alumínio 10% em diferentes concentrações (1.000, 1.050, 1.100, 1.150, 1.200, 1.250, 1.300 e 1.350 mg/L) está apresentada na Figura 5. Pode ser constatada uma melhor clarificação e, conseqüentemente, remoção da turbidez, além de boa formação dos flocos na faixa de 1.050 a 1250 mg/L.

A eficácia deste coagulante pode ser comprovada por ele ser um sal de alumínio, que possui cargas positivas, e ao entrar em contato com o efluente de cargas negativas, provoca uma atração, o que facilita a formação dos flocos e aumenta a clarificação (Minozzo, 2017).

**Figura 5** – Aspecto visual da clarificação do efluente com o uso de coagulante sulfato de alumínio nas concentrações de (a)1.000, (b)1.050, (c)1.100, (d)1.150, (e)1.200, (f)1.250, (g)1.300 e (h)1.350 mg/L.

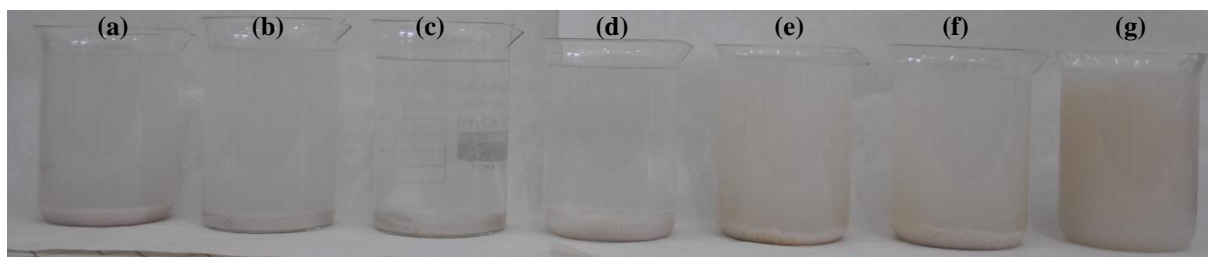


**Fonte:** o autor.

### 3.3.4 Coagulação por tanino

A Figura 6 mostra o resultado da coagulação do efluente com o uso de tanino em diferentes concentrações (250; 300; 350; 400; 450; 500 e 550 mg/L). Pode ser observado que as concentrações de 300 a 400 mg/L apresentaram melhor clarificação do efluente.

**Figura 6** - Aspecto visual da clarificação do efluente com o uso de coagulante tanino nas concentrações de (a) 250, (b) 300, (c) 350, (d) 400, (e) 450, (f) 500 e (g) 550 mg/L.



**Fonte:** o autor.

O tanino é eficaz em razão da sua capacidade de adsorver metais presentes na água, além de atuar sob sistemas coloidais, realizando a coagulação dos efluentes em que entra em contato, e consequentemente a sedimentação dos flocos (Justina, Kempka e Skoronski, 2017).

Segundo Heredia, Martín e Muñoz (2010), os taninos foram testados quanto à redução de turbidez e obtiveram eficácia em metais de transição (níquel, zinco e cobre), corantes, fármacos (trimetoprima), na diminuição de algas em ambientes com água e em surfactantes aniônicos.

### 3.4 Caracterização do efluentes tratados com diferentes coagulantes

#### 3.4.1 Efluente tratado com cloreto férrico

A Tabela 6 apresenta os resultados da caracterização do efluente tratado utilizando cloreto férrico nas concentrações de 1.100, 1.150 e 1.200 mg/L. Pode-se verificar que para o pH, cor, turbidez e SS houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as concentrações de cloreto férrico, e que o maior valor foi obtido na menor concentração. O pH do efluente diminuiu com o aumento da concentração do coagulante, isto se justifica devido ao pH do próprio coagulante, pois quanto maior a quantidade do coagulante adicionado no efluente, menor é o pH. Observou-se que o menor valor de COT foi na concentração de 1.100 mg/L. O NT apresentou menor valor na concentração de 1.150 mg/L, enquanto nesta concentração obteve-se valor de SSed, este último resultado se explica por conta da sedimentação de mais material, e por consequência reduzindo os teores de NT e COT.

**Tabela 6** – Valores de pH, turbidez, SS, SSed, cor, NT e COT do efluente tratado com coagulante cloreto férrico utilizando as concentrações de 1.100, 1.150 e 1.200 mg/L.

Parâmetros	Concentração de cloreto férrico (mg/L)		
	1.100	1.150	1.200
pH	4,5 <sup>a</sup> ± 0,06	4,2 <sup>b</sup> ± 0,02	4,1 <sup>c</sup> ± 0,03
Turbidez (NTU)	0,79 <sup>a</sup> ± 0,008	0,31 <sup>b</sup> ± 0,010	0,18 <sup>c</sup> ± 0,008
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
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
NT (mg/L)	7,618 <sup>a</sup> ± 0,03	7,101 <sup>b</sup> ± 0,08	7,018 <sup>a</sup> ± 0,09
COT (mg/L)	303,5 <sup>a</sup> ± 6,04	229,4 <sup>c</sup> ± 1,52	282,1 <sup>b</sup> ± 3,86

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

Na Tabela 7 são apresentados os resultados remoção da turbidez, cor, NT e COT. Em relação a cor e turbidez, observa-se remoções de em torno de 99,7% e 99,9% para as concentrações de 1.150 e 1.200 mg/L, respectivamente. Já para COT e o NT a concentração de 1.200 mg/L apresentou melhor remoção.

**Tabela 7** – Remoção de turbidez, cor, NT e COT para o efluente tratado com coagulante cloreto férrico nas concentrações de 1.100, 1.150 e 1.200 mg/L.

Parâmetros	Porcentagem de remoção (%)		
	1.100 mg/L	1.150 mg/L	1.200 mg/L
Turbidez (NTU)	99,95%	99,98%	99,99%
Cor (ABS Pt-Co)	99,33%	99,68%	99,73%
NT (mg/L)	89,80%	90,50%	89,90%
COT (mg/L)	67,64%	75,54%	69,92%

Mello Silva et al. (2016) utilizando cloreto férrico como coagulante na concentração de 200 mg/L no pré-tratamento de efluente de leite obtiveram remoção de turbidez de 94,9%. Molossi, Brião e Hemkemeier (2014) utilizaram 60 mg/L de cloreto férrico para coagulação de efluente de laticínio e obtiveram remoção de 45% de NT, 70% de turbidez e 40% de cor. Comparando estes resultados aos do presente estudo, os valores encontrados foram inferiores provavelmente devido a concentração do coagulante utilizada pelos autores ser menor do que a deste estudo. O cloreto férrico, mesmo na menor concentração (1.100 mg/L) demonstrou boa eficácia de remoção dos parâmetros analisados (Tabela 7).

Portanto, com esse tratamento ainda é necessário ajustar o pH para se adequar os padrões da Resolução CONAMA n° 430/2011 (BRASIL, 2011), para esse efluente poder ser descartado em corpos hídricos.

### 3.4.2 Efluente tratado com policloreto de alumínio (PAC)

Na Tabela 8 são apresentados os resultados da caracterização do efluente tratado utilizando PAC nas concentrações de 1.100, 1.150 e 1.200 mg/L.

**Tabela 8** - Valores de pH, turbidez, SS, SSed, cor, NT e COT do efluente tratado com coagulante PAC utilizando as concentrações de 1.100, 1.150 e 1.200 mg/L.

Parâmetros	Concentração de PAC (mg/L)			
	1.300	1.900	2.000	2.100
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
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
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
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
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
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

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

Verifica-se menores valores de SS e SSed na concentração de 1.300 mg/L. Observa-se uma diminuição do pH com o aumento da concentração do coagulante, o que pode ser devido ao pH do próprio coagulante. Os menores valores de turbidez e COT foram obtidos com 2.100 mg/L.

Na Tabela 9 são apresentados os resultados da remoção de turbidez, cor, NT e COT do efluente tratado com PAC em diferentes concentrações, em relação ao efluente bruto. Verifica-se que as maiores remoções foram obtidas na concentração de 2.100 mg/L. No entanto, como a partir da concentração de 1.900 mg/L foi obtida boas remoções, o efluente é considerado apto para ser lançado em corpos receptores, conforme preconiza a legislação do CONAMA (BRASIL, 2011).

**Tabela 9** – Remoção de turbidez, cor, NT e COT para o efluente tratado com coagulante PAC utilizando as concentrações de 1.300, 1.900, 2.000 e 2.100 mg/L.

Parâmetros	Porcentagem de remoção (%)			
	1.300 mg/L	1.900 mg/L	2.000 mg/L	2.100 mg/L
Turbidez (NTU)	97,850%	99,990%	99,980%	99,996%
Cor (ABS Pt-Co)	91,44%	99,92%	99,76%	99,92%
NT (mg/L)	80,99%	92,86%	91,22%	92,98%
COT (mg/L)	67,07%	78,81%	74,47%	79,93%

Andrade (2011) também utilizou PAC na coagulação de efluente de laticínio na concentração de 1.400 mg/L e verificou 90,85% de remoção de turbidez. Molossi, Brião e Hemkemeier (2014) avaliaram o uso de concentração de 5 mg/L de PAC na coagulação de efluente de laticínio com e obtiveram remoções de 46%, 66% e 84% de NT, cor e turbidez, respectivamente. Os valores encontrados pelos autores quando comparados aos do presente estudo são inferiores, pois as concentrações utilizadas neste estudo são maiores.

### 3.4.3 Efluente tratado com sulfato de alumínio

Na Tabela 10 são mostrados os resultados de cor, pH, COT, turbidez, NT, SSed e SS para o efluente tratado com o coagulante sulfato de alumínio utilizando as concentrações de 1.050, 1.100, 1.150, 1.200 e 1.250 mg/L.

**Tabela 10** – Valores de pH, turbidez, SS, SSed, cor, NT e COT do efluente tratado com coagulante sulfato de alumínio utilizando as concentrações de 1.050, 1.100, 1.150, 1.200 e 1.250 mg/L.

Parâmetros	Concentração de sulfato de alumínio (mg/L)				
	1.050	1.100	1.150	1.200	1.250
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
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
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
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
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
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

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

Verifica-se uma diminuição do pH com o incremento da concentração do sulfato de alumínio, isto é, devido ao pH do próprio coagulante, sendo que quanto maior a quantidade de coagulante adicionada no efluente, mais baixo menor é pH do efluente. No geral, observa-se que os valores de pH, cor e SSed foram reduzindo conforme foi aumentando a concentração de coagulante. Enquanto os menores teores de COT e NT e maior teor de SS foram obtidos na menor concentração de coagulante (1.050 mg/L).

Na Tabela 11 são apresentados os resultados da remoção de turbidez, cor, NT e COT para o efluente tratado com coagulante sulfato de alumínio utilizando as concentrações de 1.050, 1.100, 1.150, 1.200 e 1.250 mg/L. Verifica-se que as concentrações de coagulante 1.200 e 1250 mg/L apresentaram maiores remoções. Já a concentração de 1.050 apresentou melhor eficiência de remoção de COT e NT. Todas as amostras se enquadram dentro dos padrões para lançamento no corpo receptor de acordo com CONAMA (BRASIL, 2011).

**Tabela 11**– Remoção de turbidez, cor, NT e COT para o efluente tratado com o coagulante sulfato de alumínio utilizando as concentrações de 1.050, 1.100, 1.150, 1.200 e 1.250 mg/L.

Parâmetros	Porcentagem de remoção (%)				
	1.050 mg/L	1.100 mg/L	1.150 mg/L	1.200 mg/L	1.250 mg/L
Turbidez (NTU)	99,962%	99,960%	99,998%	99,999%	99,995%
Cor (ABS Pt-Co)	99,77%	99,84%	99,77%	99,88%	99,92%
NT (mg/L)	88,68%	85,39%	84,53%	85,46%	85,08%
COT (mg/L)	77,95%	75,37%	63,99%	67,33%	69,13%

Mello Silva et al. (2016) avaliaram sulfato de alumínio como coagulante na concentração de 200 mg/L no tratamento de efluente de laticínio e obtiveram 85,4% de remoção de turbidez. Molossi, Brião e Hemkemeier (2014) utilizaram sulfato de alumínio na concentração de 90 mg/L no tratamento de efluente de laticínio e verificaram 39% de remoção de NT, 83% de turbidez e 55% de cor. Quando comparados aos resultados do presente estudo, verifica-se que os valores encontrados pelos autores são inferiores, pois a concentrações utilizadas no presente estudo são maiores.

#### 3.4.4 Efluente tratado com tanino

Na Tabela 12 são apresentados os resultados de remoção de cor, pH, turbidez, NT, COT, , SS e SSed para efluente tratado com o coagulante tanino nas concentrações de 300, 350 e 400 mg/L. Verifica-se que os menores valores de cor, turbidez, pH e SS e os maiores valores de SSed, NT e COT, foram obtidos na menor concentração de coagulante (300 mg/L). De acordo com os resultados obtidos, para todas as concentrações do coagulante, verifica-se que o efluente tratado está dentro dos padrões exigidos pela legislação CONAMA (2011) para lançamento nos corpos receptores.

**Tabela 12** – Valores de pH, turbidez, SS, SSed, cor, NT e COT do efluente tratado com coagulante tanino utilizando as concentrações de 300, 350 e 400 mg/L.

Parâmetros	Concentração de 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
Turbidez (NTU)	0,07 <sup>c</sup> ± 0,060	0,20 <sup>b</sup> ± 0,005	0,26 <sup>a</sup> ± 0,020
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
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
NT (mg/L)	12,02 <sup>a</sup> ± 0,040	8,273 <sup>c</sup> ± 0,006	9,923 <sup>b</sup> ± 0,106
COT (mg/L)	281,20 <sup>a</sup> ± 1,66	180,30 <sup>c</sup> ± 2,93	225,98 <sup>b</sup> ± 3,55

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

Na Tabela 13 são apresentados os resultados de remoção de turbidez, cor, NT e COT para o efluente tratado com o coagulante tanino nas concentrações de 300, 350 e 400 mg/L. As melhores remoções de cor e turbidez foram obtidas na concentração de 300 mg/L. Já para a remoção de COT e NT a melhor remoção foi na concentração de 300 mg/L.

**Tabela 13** – Remoção de turbidez, cor, NT e COT para o efluente tratado com o coagulante tanino utilizando as concentrações de 300, 350 e 400 mg/L.

Parâmetros	Porcentagem de remoção (%)		
	300 mg/L	350 mg/L	400 mg/L
Turbidez (NTU)	99,99%	99,99%	99,98%
Cor (ABS Pt-Co)	99,92%	99,73%	99,81%
NT (mg/L)	83,91%	88,92%	86,71%
COT (mg/L)	70,02%	80,78%	75,91%

Justina, Kempka e Skoronski (2017), avaliaram o uso de tanino na concentração de 300 mg/L no tratamento de efluente real de laticínio obtiveram e 90% de remoção de turbidez e 70% de cor. Estes resultados são inferiores aos do presente estudo, podendo ser devido ao efluente, pois os autores utilizaram efluente real.

Já para Martín, Heredia e Hernández (2010), a redução de turbidez com coagulante à base de tanino na quantidade de 92,2 mg/L foi de 50 a 60% e em torno de 95% de remoção de cor, sendo explicado pelo fato do uso de diferente concentração do coagulante, além de ser extraído de forma diferente, e aplicação em efluente de indústria têxtil.

### 3.5 Custos dos coagulantes

Para escolher o melhor coagulante em um processo de tratamento de efluentes, deve-se levar em consideração os resultados do tratamento, bem como o custo. Mello Silva et al. (2016), relatam que o custo de uma tonelada de sulfato de alumínio é de 190 dólares, de cloreto férrico é de 300 dólares, e de policloreto de alumínio de 250 dólares. Nunes e Yokoyama (2016) comentam que o custo da tonelada de tanino é de 463 dólares.

Para verificar o custo do efluente, foram utilizadas as melhores condições, ou seja, as mínimas

concentrações de coagulante que apresentaram melhores remoções para cada tratamento, e utilizado o custo em dólar por m<sup>3</sup> de efluente (Tabela 14).

**Tabela 14** – Custo de efluente tratado por m<sup>3</sup> fazendo uso dos coagulantes cloreto férrico, policloreto de alumínio, sulfato de alumínio e tanino, utilizando as melhores concentrações de cada coagulante.

Coagulantes	Parâmetros		
	Concentração (mg/L)	Valor unitário (\$)	Custo por m <sup>3</sup> (\$/m <sup>3</sup> )
Cloreto férrico	1.100	300	0,33
Policloreto de alumínio	1.900	250	0,47
Sulfato de alumínio	1.050	190	0,20
Tanino	300	463	0,14

Verifica-se que o tanino apresenta o maior custo em relação aos produtos químicos. No entanto, a quantidade deste coagulante a ser empregada no tratamento é menor, ou seja, o custo deste se torna menor quando comparado aos outros coagulantes que empregam quantidade acima de 1.050 mg/L. Portanto, o custo é de \$0,14 por m<sup>3</sup> para o coagulante tanino, e para os outros coagulantes acima é em torno de \$0,20.

#### 4. Conclusão

A aplicação dos coagulantes distintos à base de cloreto férrico, policloreto de alumínio, sulfato de alumínio e tanino exibiram elevadas eficiências na redução de turbidez e cor, trazendo resultados acima de 99,7% para as concentrações mínimas de coagulantes (1.100 para FeCl<sub>3</sub>, 1.050 para Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> e 300 mg/L para tanino), exceto para o PAC que foi a partir da concentração de 1900 mg/L, além da grande eficácia para remoção de NT, acima de 80%, e boa diminuição de COT, a partir de 65%.

O coagulante tanino trouxe como efeito altas porcentagens de remoção nas mais variadas análises. Além do ganho econômico, o tanino apresenta vantagens de natureza ambiental, não fazendo necessário o ajuste do pH do efluente e preservando sua alcalinidade em um futuro descarte em corpos hídricos. Tem comportamento de um coagulante orgânico, com pouca toxicidade, pois não adiciona íons metálicos ao meio, ao contrário dos coagulantes químicos. Ele também demonstrou ser uma opção viável e sustentável em relação a esses coagulantes comuns, como o sulfato de alumínio, policloreto de alumínio e cloreto férrico no tratamento de efluentes de laticínio.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem a URI pela disponibilidade de infraestrutura para o desenvolvimento do presente estudo.

#### Referências

Almeida, E. J. M. & Grossi, L. J. (2014). **Estudo do processo de tratamento de água da indústria de laticínio**. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 32p, Brasil.

Andrade, L. H. (2011). **Tratamento de efluentes de laticínios por duas configurações de biorreator com membranas e nanofiltração visando o reuso**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Belo Horizonte, 214p, Brasil.

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

Benazzi, T. L. (2013). **Otimização de um sistema de eletrofloculação em fluxo contínuo para o tratamento de efluentes líquidos das indústrias de laticínios**. Tese de Doutorado, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 119p, Brasil.

BRASIL. **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, 13 de mai. Disponível em:<  
[http://www.adasa.df.gov.br/images/stories/anexos/8Legislacao/Res\\_CONAMA/Resolucao\\_CONAMA\\_430\\_2011.pdf](http://www.adasa.df.gov.br/images/stories/anexos/8Legislacao/Res_CONAMA/Resolucao_CONAMA_430_2011.pdf)> Acessado em junho/2020. 2011.

Brião, V. B. & Tavares, C. R. G. (2007). Ultrafiltração como processo de tratamento para o reuso de efluentes de laticínios. **Engenharia Sanitária Ambiental**, 12(2), 134-138.

Ceni, G. (2017). **Estudo da eletrocoagulação aplicada associativamente com peróxido de hidrogênio no tratamento de efluentes líquidos de laticínios**. Tese de doutorado, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 84p, Brasil.

Chen, W. & Liu, J. (2012). The possibility and applicability of coagulation-MBR hybrid system in reclamation of dairy wastewater. **Desalination**, 285, 226-231.

Fonseca, C. R., Freitas, T. P., Noronha, L. L. & Faria, L. L. F. (2010, setembro). Utilização de quitosana e tanino como agentes coagulantes na purificação de hidrolisado de bagaço de cana. **Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil.

Heredia, J. B., Martín, J. S. & Muñoz, M. C. G (2010). New coagulants from tannin extracts: Preliminary optimisation studies. **Chemical Engineering Journal**, 162(3), 1019-1025.

Justina, M. D., Kempka, A. P. & Skoronski, E. (2017). Tecnologias empregadas no tratamento de efluentes de laticínios do vale do Rio Braço do Norte – SC. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, 10(3), 809-824.

Kushwaha, J. P. & Chandra Srivastava, V. (2010). Treatment of dairy wastewater by inorganic coagulants: parametric and disposal studies. **Water Research**, 44(20), 5867-5874.

Lima, G. J. A. (2007). **Uso de polímero natural do quiabo como auxiliar de floculação e filtração em tratamento de água e esgoto**. Dissertação de Mestrado, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 113p, Brasil.

Martín, J. S., Heredia, J. B. & Hernández, C. S. (2010). Surface water and wastewater treatment using a new tannin-based coagulant: Pilot plant trials. **Journal of Environmental Management**, 91(10), 2051-2058.

Matos, A. T., Cabanelas, C. F., Cecon, P. R. & Mudado, C. S. (2007). Efeito da concentração de coagulantes e do pH da solução na turbidez da água, em recirculação, utilizada no processamento do café. **Revista Engenharia Agrícola**, 27(2), 544-551.

Mangrich, A. S., Doumer, M. E., Mallmann, A. S. & Wolf, C. R. (2014). Química Verde no Tratamento de Águas: Uso de Coagulante Derivado de Tanino de *Acacia mearnsii*. **Revista Virtual de Química**, 6(1), 2-15.



Mello Silva, C., Porto, C.A., Rodrigues, E.M.R. & Anjos Júnior; R.H. (2016, dezembro). Pré-tratamento de efluente de laticínio visando a remoção de turbidez. **Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, Campina Grande, Paraíba, Brasil, 7.

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

Molossi, J., Brião, V.B. & Hemkemeier, M. (2014). Pós-tratamento físico químico de efluentes de laticínio para remoção de fósforo. **Engenharia Ambiental**, 11(2), 124-141.

Muniz, G.L. (2018). **Otimização do tratamento de efluente lácteo sintético com o uso de coagulantes alternativos**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 181p, Brasil.

Nunes, E.C.S. & Yokoyama, L. (2016, maio). Aplicação de coagulante orgânico no tratamento de efluentes de água oleosa. **Anais do Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente** Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, Brasil.

Ribeiro, I. (2015). **Aplicação de coagulantes e floculantes orgânicos alternativos no pós-tratamento de efluente de laticínio**. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 75p, Brasil.

Santos, H. R. (2006). **Coagulação/precipitação de efluentes de reator anaeróbio de leito expandido e de sistema de lodo ativado precedido de reator UASB, com remoção de partículas por sedimentação ou flotação**. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 309p, Brasil.

Talib, Y., Idris, A. & Aslina, S. A. (2016). 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**, 184(3), 494-503.

Vourch, M., Balannec, B., Chaufer, B. & Dorange, G. (2008). Treatment of dairy industry wastewater by reverse osmosis for water reuse. **Desalination**, 219(1-3), 190-202.

YIN, C.Y. (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. **Process Biochemistry**, 45(9), 1437-1444.