

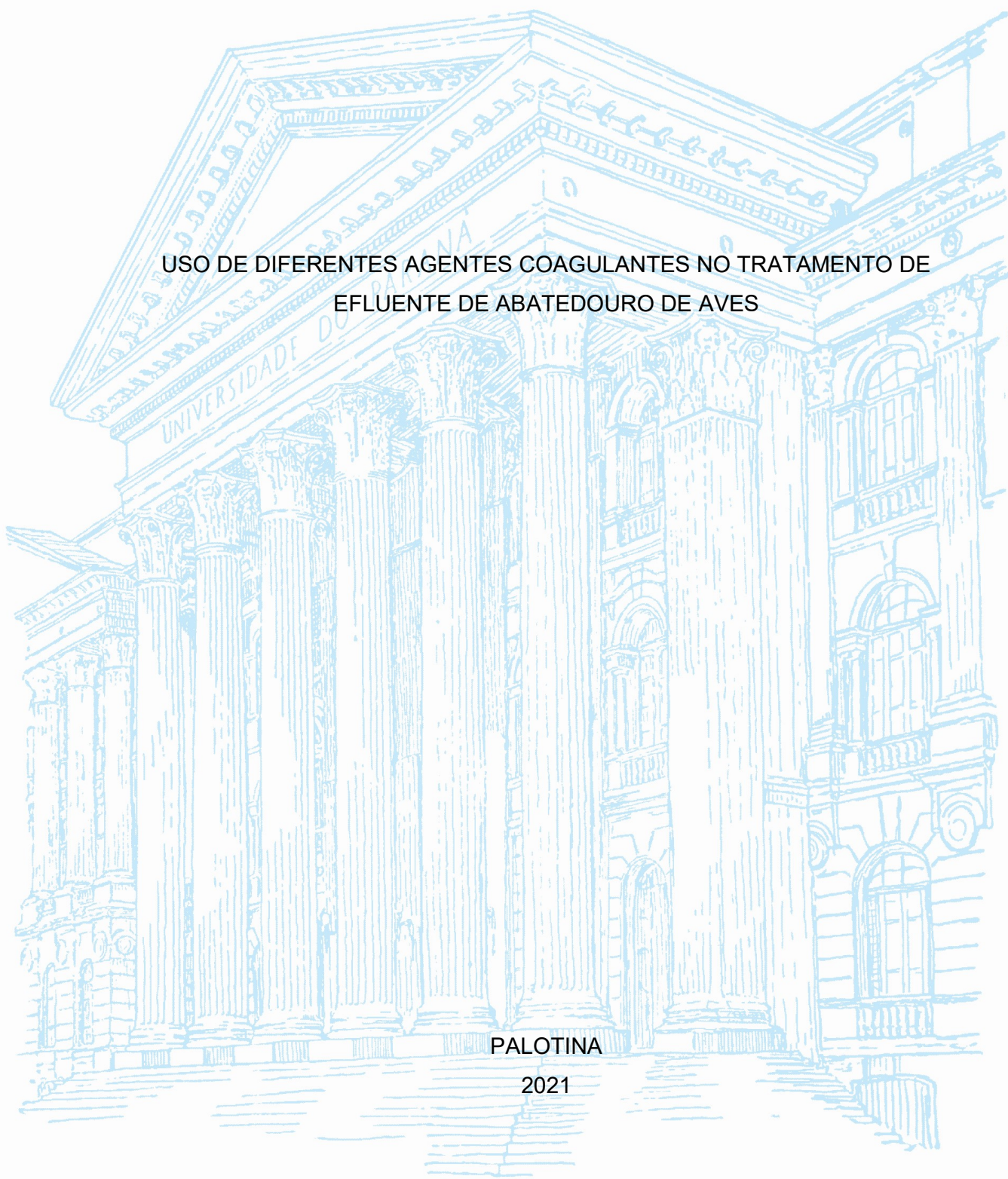
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LETÍCIA ISABELA ROMODA RIPI

USO DE DIFERENTES AGENTES COAGULANTES NO TRATAMENTO DE
EFLUENTE DE ABATEDOURO DE AVES

PALOTINA

2021



LETÍCIA ISABELA ROMODA RIPI

USO DE DIFERENTES AGENTES COAGULANTES NO TRATAMENTO DE
EFLUENTE DE ABATEDOURO DE AVES

TCC apresentado ao curso de Engenharia de Energia, Setor de Palotina, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Lucas Konrad Burin

PALOTINA

2021

Dedico este trabalho a meus pais, meu irmão, familiares, ao meu orientador, professores responsáveis pela minha formação e a todos os colegas de laboratório.

AGRADECIMENTOS

A meus pais, Lúcia e Isaac. Por estarem comigo em todos os momentos, me dando apoio, dedicando o seu tempo para me darem carinho, atenção e incentivo, vocês são meu alicerce.

Ao meu irmão, Isaac Vinícius, por sempre me dedicar uma palavra amiga, minha avó Tereza pelo olhar doce e terno, e a todos os familiares que sempre me deram toda atenção que precisei.

Aos meus colegas de trabalho, em especial Karla e Cristian, por dedicarem tempo a mim e compreenderem quando eu estive ausente. Ao Ronaldo, Oséias, José Jenisquelton e ao Jailson por sempre fazerem as várias coletas de grandes volumes de efluente para mim.

Ao meu orientador, professor Dr. Eduardo Lucas Konrad Burin, por todo o tempo que foi me dedicado, pela confiança e por todo conhecimento que me foi transferido.

A professora Dr. Dilcemara Cristina Zenatti, por todos os ensinamentos, aulas, e acompanhamento que me foi concedido. Foram várias ligações fora de hora para retirar dúvidas, muitos momentos em laboratório, muitas reuniões. Obrigada professora!

Aos meus colegas de laboratório, Crislaine Pimentel, Erik Aguiar, Fabiana Montovan e Francielli de Assis, por todo apoio que me deram e pela parceria.

A Cooperativa Agroindustrial C.Vale pelo apoio técnico fornecido e pela doação dos volumes de efluente bruto e dos produtos químicos cloreto férrico, PAC e polímero aniônico, utilizados nessa pesquisa.

A UFPR, pela infraestrutura e pelo apoio técnico concedido a mim, e a FUNPAR, por subsidiar a pesquisa.

A empresa Nalco Water, em especial ao representante comercial João Ary Claudino, pela doação do coagulante orgânico 8100 e por todo o conhecimento e experiência compartilhado comigo.

Meu sincero agradecimento a todos por terem me apoiado!

*“Aqueles que se sentem satisfeitos sentam-se e fazem nada.
Os insatisfeitos são os únicos benfeitores do mundo.”*

Walter S. Landor

RESUMO

O tratamento de efluentes de frigoríficos normalmente é composto por três etapas: físico, físico-químico e biológico. O tratamento físico-químico, com ação de coagulantes e floculantes, consiste na remoção de parte da carga orgânica, óleos e graxas e de sólidos suspensos no efluente. A quantidade de fase sólida gerada é expressiva, e, conforme a norma NBR 10004/2004, se caracteriza como um resíduo sólido que deve ser destinado a compostagem ou aterros industriais, encarecendo o processo e causando problemas ambientais e sociais na região. Existe a possibilidade de se explorar o potencial energético desse subproduto a partir da sua combustão em caldeiras. Porém, o uso do cloreto férrico, coagulante comumente empregado, pode ocasionar adversidades na queima desse resíduo devido a quantidade de metais na composição do mesmo. Haja vista, a presente pesquisa visa apresentar alternativas de diferentes coagulantes para o tratamento físico-químico de efluente de abatedouro de aves. Nesse contexto, foram avaliados três agentes coagulantes distintos: cloreto férrico, policloreto de alumínio (PAC) e um coagulante orgânico a base de EpiDMA. Os testes foram realizados em um jar test utilizando-se amostras de efluente coletadas em frigorífico de aves localizado no oeste do Paraná, e como floculante foi utilizado um polímero aniônico de cadeia extensa. Após o tratamento, o efluente clarificado foi analisado com relação à remoção de cor, turbidez, sólidos totais, pH e alcalinidade, seguindo as padronizações do Standard Methods (APHA). Foi construído um delineamento experimental do tipo composto central rotacional para cada teste, e utilizado o software Statistica para construção das superfícies de resposta e determinação dos pontos ótimos de dosagem. O ponto ótimo para o coagulante PAC foi utilizando 200 mg.L⁻¹ de coagulante e 2 mg.L⁻¹ de floculante, orgânico em dosagem de 140 mg.L⁻¹ e 2,3 mg.L⁻¹ de floculante, e, por fim, para o cloreto férrico 250 mg.L⁻¹ e 3 mg.L⁻¹ de floculante. De modo geral, os coagulantes testados apresentaram um bom desempenho de tratamento do efluente bruto nas dosagens ótimas, oferecendo alternativas que visam melhorar a composição do lodo, tornando o seu processo de combustão vantajoso ao sistema.

Palavras-chave: Tratamento de efluentes; Coagulação; Abatedouro de aves; Biomassa.

ABSTRACT

The treatment of effluents from slaughterhouses usually comprises three stages: physical, physical-chemical and biological. The physical-chemical treatment, with the action of coagulants and flocculants, consists of removing part of the organic load, oils and greases and suspended solids in effluent. The amount of solid phase generated is significant, and, according to the NBR 10004/2004 standard, it is characterized as solid waste that must be sent to industrial landfills, turning the process more expensive and causing environmental and social problems in the region. There is the possibility of exploring the energy potential of this by-product from its combustion in boilers. However, the use of ferric chloride, a common coagulant, can cause adversity in the burning of this residue due to the amount of metals in its composition. In fact, this research aims to present alternatives of different coagulants for the physical-chemical treatment of poultry slaughterhouse effluent. In this context, three different coagulating agents were considered: ferric chloride, polyaluminum chloride (PAC) and an organic coagulant based on EpiDMA. The tests were carried out in a jar test using effluent collected from a poultry slaughterhouse located in the west of Paraná state, and as flocculant an anionic polymer with a long chain was used. After treatment, the clarified was analyzed in terms of removal of color, turbidity, total solids, pH and alkalinity, following the standardizations of the Standard Methods (APHA). A rotational central composite experimental design was built for each test, and used in the Statistica software to build the response surfaces and determine the optimal dosing points. The optimal point for the PAC coagulant was using 200 mg.L⁻¹ of coagulant and 2 mg.L⁻¹ of flocculant, organic in a dosage of 140 mg.L⁻¹ and 2.3 mg.L⁻¹ of flocculant, and , finally, for ferric chloride 250 mg.L⁻¹ and 3 mg.L⁻¹ of flocculant. In general, the tested coagulants had a good performance in the treatment of raw effluent at optimal dosages, offering alternatives that aim to improve the composition of the sludge, making its combustion process beneficial to the system.

Keywords: Effluent treatment; Coagulation; Poultry slaughterhouse; Biomass.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: MAPA COM LOCALIZAÇÃO DE ABATEDOUROS DE AVES NO PARANÁ.....	20
FIGURA 2: DUPLA CAMADA ELÉTRICA.....	26
FIGURA 3: MECANISMO DE ADSORÇÃO-NEUTRALIZAÇÃO DA CARGA.....	27
FIGURA 4: MECANISMO DE VARREDURA.....	28
FIGURA 5: MECANISMO DE ADSORÇÃO E FORMAÇÃO DE PONTES.....	29
FIGURA 6: SÍNTESE DO COAGULANTE EPIDMA.....	31
FIGURA 7: PROCESSO DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO DOS COLOIDES EM SUSPENSÃO NO EFLUENTE.....	32
FIGURA 8: FLUXOGRAMA DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES....	35
FIGURA 9: JAR TEST UTILIZADO NOS ENSAIOS.....	36
FIGURA 10: FASE DE DECANTAÇÃO DOS ENSAIOS UTILIZANDO CLORETO FÉRRICO.....	40
FIGURA 11: PH - CLORETO FÉRRICO: (a) SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (b) GRÁFICO DE PARETO.....	41
FIGURA 12: ALCALINIDADE TOTAL - CLORETO FÉRRICO: (a) SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (b) GRÁFICO DE PARETO.....	41
FIGURA 13: REMOÇÃO DE COR - CLORETO FÉRRICO: (a) SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (b) GRÁFICO DE PARETO.....	42
FIGURA 14: REMOÇÃO DE TURBIDEZ - CLORETO FÉRRICO: (a) SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (b) GRÁFICO DE PARETO.....	43
FIGURA 15: REMOÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS - CLORETO FÉRRICO: (a) SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (b) GRÁFICO DE PARETO.....	44
FIGURA 16: FASE DE DECANTAÇÃO DOS ENSAIOS UTILIZANDO PAC.....	44
FIGURA 17: PH - PAC: (a) SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (b) GRÁFICO DE PARETO.....	45
FIGURA 18: ALCALINIDADE TOTAL - PAC: (a) SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (b) GRÁFICO DE PARETO.....	46
FIGURA 19: REMOÇÃO DE COR - PAC: (a) SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (b) GRÁFICO DE PARETO.....	47
FIGURA 20: REMOÇÃO DE TURBIDEZ - PAC: (a) SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (b) GRÁFICO DE PARETO.....	47

FIGURA 21: REMOÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS - PAC: (a) SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (b) GRÁFICO DE PARETO	48
FIGURA 22: FASE DE DECANTAÇÃO DOS ENSAIOS UTILIZANDO COAGULANTE ORGÂNICO.....	49
FIGURA 23: PH – 8100: (a) SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (b) GRÁFICO DE PARETO.....	50
FIGURA 24: ALCALINIDADE TOTAL - 8100: (a) SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (b) GRÁFICO DE PARETO	50
FIGURA 25: REMOÇÃO DE COR - 8100: (a) SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (b) GRÁFICO DE PARETO	51
FIGURA 26: REMOÇÃO DE TURBIDEZ - 8100: (a) SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (b) GRÁFICO DE PARETO	52
FIGURA 27: REMOÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS - PAC: (a) SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (b) GRÁFICO DE PARETO	52
FIGURA 28: GRÁFICO DE COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO ENTRE OS COAGULANTES (a) PH (b) ALCALINIDADE TOTAL	53
FIGURA 29: GRÁFICO DE COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO ENTRE OS COAGULANTES (a) REMOÇÃO DE TURBIDEZ (b) REMOÇÃO DE COR.....	54
FIGURA 30: GRÁFICO DE COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO DE REMOÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS ENTRE OS COAGULANTES	55

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: CARACTERÍSTICAS DE EFLUENTES DE DIFERENTES ABATEDOUROS AVÍCOLAS	21
TABELA 2: PARÂMETROS DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES AO CORPO HÍDRICO	24
TABELA 3: PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL UTILIZANDO CLORETO FÉRRICO 37	
TABELA 8: PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS OBTIDOS NOS TESTES COM CLORETO FÉRRICO	62
TABELA 9: ANOVA - TURBIDEZ CLORETO FÉRRICO.....	62
TABELA 10: ANOVA - COR CLORETO FÉRRICO.....	62
TABELA 11: ANOVA PH CLORETO FÉRRICO.....	63
TABELA 12: ANOVA - ALCALINIDADE TOTAL CLORETO FÉRRICO	63
TABELA 13: ANOVA - SÓLIDOS TOTAIS CLORETO FÉRRICO.....	63
TABELA 14: PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS OBTIDOS NOS TESTES COM PAC 64	
TABELA 15: ANOVA - TURBIDEZ PAC.....	64
TABELA 16: ANOVA - COR PAC.....	64
TABELA 17: ANOVA - PH PAC.....	65
TABELA 18: ANOVA - ALCALINIDADE TOTAL PAC	65
TABELA 19: ANOVA - SÓLIDOS TOTAIS PAC.....	65
TABELA 20: PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS OBTIDOS NOS TESTES COM COAGULANTE ORGÂNICO	66
TABELA 21: ANOVA - TURBIDEZ 8100	66
TABELA 22: ANOVA - COR 8100	66
TABELA 23: ANOVA - PH 8100	67
TABELA 24: ANOVA - ALCALINIDADE TOTAL 8100.....	67
TABELA 25: ANOVA - SÓLIDOS TOTAIS 8100	67

Lista de abreviaturas OU siglas

CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
PAC	- Policloreto de Alumínio
kg	- Quilograma
BEN	- Balanço Energético Nacional
pH	- Potencial Hidrogeniônico
DQO	- Demanda Química de Oxigênio
DBO	- Demanda Bioquímica de Oxigênio
mm	- Milímetro
ETE	- Estação de Tratamento de Efluente
g.cm ⁻³	- Grama por centímetro cúbico
EpiDMA	- Epicloroidrina Dimetilamina
LPB	- Laboratório de Produção de Biocombustíveis
L	- Litro
rpm	- Rotação por minuto
g	- Grama
ppm	- Partes Por Milhão
min	- Minutos
DCCR	- Delineamento Composto Central Rotacional
mg	- Miligrama
uC	- Unidade de Cor
nm	- Nanometro
PAC	- Policloreto de Alumínio
kg	- quilograma
ANOVA	- Análise de Variância
mg.L ⁻¹	- Miligrama por Litro

LISTA DE SÍMBOLOS

% - Porcentagem

™ - Marca comercial

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 JUSTIFICATIVA	17
1.2 OBJETIVOS	18
1.2.1 Objetivo geral	18
1.2.2 Objetivos específicos.....	19
2 REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1 ABATEDOURO DE AVES.....	20
2.2 EFLUENTE DE ABATEDOURO DE AVES	21
2.3 TRATAMENTO DE EFLUENTES NA INDÚSTRIA FRIGORIFICA	21
2.4 LEGISLAÇÃO E PARÂMETROS DE ENVIO DE EFLUENTES AO CORPO RECEPTOR	23
2.5 COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO	23
2.5.1 Compressão da dupla camada elétrica	25
2.5.2 Adsorção-neutralização da carga.....	26
2.5.3 Varredura	27
2.5.4 Adsorção e formação de pontes.....	28
2.6 COAGULANTES UTILIZADOS NO PROCESSO DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO	29
2.6.1 Cloreto férrico.....	29
2.6.2 Policloreto de alumínio –PAC.....	30
2.6.3 Coagulante orgânico a base de EpiDMA.....	30
2.7 FLOCULAÇÃO	31
2.8 LODO FLOTADO	32
3 MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1 LOCAL DO EXPERIMENTO	34
3.2 SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA OBJETO DE ESTUDO	34
3.3 COAGULANTES E FLOCULANTE UTILIZADOS NO TRATAMENTO FÍSICO- QUÍMICO.....	34
3.4 ENSAIOS DE COAGULAÇÃO, FLOCULAÇÃO E DECANTAÇÃO.....	35
3.5 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE BRUTO E CLARIFICADO	37
3.6 OBTENÇÃO DAS DOSAGENS ÓTIMAS.....	38

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE BRUTO	39
4.2 ENSAIOS UTILIZANDO COMO COAGULANTE O CLORETO FÉRRICO	39
4.3 ENSAIOS UTILIZANDO COMO COAGULANTE O PAC	44
4.4 ENSAIOS UTILIZANDO COAGULANTE ORGÂNICO	48
4.5 COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO ENTRE OS COAGULANTES TESTADOS	
52	
5 CONCLUSÃO	56
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	57
REFERÊNCIAS	58
APÊNDICE 1 – CLORETO FÉRRICO	62
APÊNDICE 2 – PAC	64
APÊNDICE 3 – COAGULANTE ORGÂNICO A BASE DE EPIDMA	66

1 INTRODUÇÃO

Em 2.020, foram produzidas cerca de 133,3 milhões de toneladas de carne de frango no mundo, e o Brasil colaborou com 14,4 milhões de toneladas produzidas em seu território. (Meat Market Review, 2021). O estado do Paraná tem grande participação no cenário avícola, sendo responsável pela produção de cerca de 35,51% do volume abatido em âmbito nacional, e o oeste paranaense responsável por 30,76% da produção de todo o estado. (SINDIAVIPAR, 2021). A indústria frigorífica de aves tem como principal insumo (utilidade) a água, sendo utilizados cerca de 20 a 30 litros de água por ave abatida. Essa água é utilizada para várias etapas do processo produtivo. (FAGNANI, 2017).

Nesse contexto, em 2.020 no Brasil a indústria frigorífica utilizou para o processamento destas aves cerca de 165,5 milhões de metros cúbicos de água. De acordo com a portaria 210 de 10 de novembro de 1998 (MAPA, 1998), o produto final obtido a partir da ave pode absorver até 6% de água em relação ao peso de sua carcaça. Haja vista, quase toda a parcela de água consumida se transforma em efluente.

Como o efluente dos abatedouros de aves possui alta carga orgânica, partículas sólidas, óleos e graxas e outros compostos, necessita de tratamento para posterior retorno ao corpo receptor. Haja vista, o CONAMA a partir da resolução nº 430 de 13 de março de 2011 (MMA, 2011), estabeleceu padrões para o lançamento de efluentes no corpo hídrico receptor.

O sistema de tratamento de efluentes, normalmente, é composto por três etapas: tratamento preliminar, primário e secundário. O tratamento preliminar é composto pelo gradeamento (peneiramento). O primário é composto pelo tanque de equalização e flotor físico-químico. O secundário emprega lagoas de estabilização, e, caso atenda aos parâmetros estabelecidos pela resolução nº 430/2011, o efluente poderá ser retornado ao corpo receptor.

O tratamento primário utiliza de agentes químicos, coagulantes e floculantes, para separação dos sólidos e efluentes clarificados, e possui como resultante o lodo flotado, também conhecido como borra, classificado a partir da lei nº 12305/2010 (BRASIL,2010), como classe II- A, sendo considerado não inerte, porém, biodegradável, devendo ter a destinação adequada com base na legislação vigente.

Visando melhorar a qualidade do tratamento de efluentes, várias combinações de agentes coagulantes e floculantes têm sido empregadas na indústria. Os mais utilizados são os sais de ferro, porém, o policloreto de alumínio (PAC) e os coagulantes orgânicos têm apresentado vantagens na sua utilização, desde eficiência de remoção, faixas de operação maiores, menor instabilidade no processo, menor formação de lodo, e menor concentração de íons metálicos no efluente clarificado do processo. (NARDI; FUZI; NERY, 2007).

No trabalho desenvolvido por Sena et al (2008), para cada metro cúbico de efluente tratado por flotação, foram gerados cerca de 0,87 kg de resíduo. Levando em consideração o volume de água consumido nos abatedouros, somente no Brasil são gerados em torno de 144 milhões de quilogramas desse resíduo. Anualmente, esse resíduo necessitaria de áreas disponíveis para compostagem ou aterros industriais com o volume de aproximadamente 30 estádios do Maracanã para destiná-los.

Uma das alternativas de destinação conforme a legislação é a queima desse resíduo em fornos e caldeiras como biomassa. Conforme o Balanço Energético Nacional – BEN (EPE, 2020), no ano de 2019 a Oferta Interna de Energia no Brasil foi composta por 53,8% proveniente de fontes não renováveis e 46,2% de fontes renováveis. Atualmente, a biomassa mais utilizada como fonte de energia nas indústrias alimentícias é o cavaco de eucalipto reflorestado. Esta é uma fonte de energia renovável, e para se tornar viável, deve ser produzida em larga escala. Entretanto, grande parte do solo está comprometida a produção de alimentos, limitando, desta forma, a área disponível para florestas energéticas. (VIRMOND, 2007).

A biomassa é utilizada como combustível em caldeiras de combustão direta. Esse processo consiste na conversão de energia química em calor, ocorrendo uma reação entre a composição da biomassa e oxigênio fornecido dentro das fornalhas. Devido à baixa eficiência da combustão direta, são utilizados grandes volumes de cavaco de eucalipto nas indústrias. (MARAFON et al, 2016).

1.1 JUSTIFICATIVA

Tendo em vista o desenvolvimento da indústria frigorífica, tem-se observado o aumento da demanda por água e, conseqüentemente, aumento na necessidade de

tratamento de efluentes. Nesse contexto, a avaliação dos processos de coagulação e floculação é necessária visando obter eficiência nesse processo, buscando melhores parâmetros de lançamento de efluentes e redução de custos para as indústrias.

Além disso, a utilização de coagulantes convencionais, como o cloreto férrico, pode impossibilitar o aproveitamento dessas águas residuais em sistemas de reuso devido aos limites máximos permitidos para parâmetros como cloretos e ferro estabelecidos pela portaria de consolidação nº 5 e portaria nº 888/2021 (BRASIL, 2011), dos padrões de potabilidade de água.

Ademais, o coagulante utilizado no tratamento físico-químico impacta na composição do lodo gerado. A possibilidade de aproveitamento energético desse resíduo, o tornando uma biomassa, diminui os custos agregados à destinação desse subproduto, reduzindo o consumo de combustíveis para fornalhas e, além disso, deixando de destinar o resíduo a compostagem ou aterros industriais.

A compostagem consiste no processo de decomposição biológica da fração orgânica biodegradável do resíduo. Nesse processo, o resíduo necessita ser destinado aos campos de compostagem e depositado no solo para estabilização da fração orgânica, utilizando grandes áreas de compostagem por um período de 90 a 180 dias. (FAGNANI, 2017). Devido ao alto valor da área cultivável no oeste paranaense, se torna oneroso para as empresas a destinação de grandes volumes do lodo do processo, tornando dispendioso a disposição e o transporte associado à destinação desse resíduo.

Portanto, o estudo do uso de diferentes coagulantes para o tratamento de efluentes de abatedouro de aves se torna uma alternativa viável economicamente tendo em vista o rigor imposto pela legislação nos parâmetros de lançamentos de efluentes, o elevado custo com o gerenciamento do resíduo desse processo e a possibilidade do aproveitamento energético do mesmo, bem como ambientalmente, reduzindo as áreas de compostagem ou aterros industriais sanitários e melhora na qualidade do efluente lançado nos corpos receptores hídricos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Identificar os pontos ótimos de dosagem de diferentes coagulantes e floculante visando-se maximizar a eficiência do tratamento de efluente de frigorífico de aves.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar o efluente bruto provindo de abatedouro de aves segundo os parâmetros de pH, cor, turbidez, alcalinidade e sólidos totais;
- Realizar ensaios de coagulação/floculação com os coagulantes cloreto férrico, PAC e orgânico em *jar test* através de delineamento experimental do tipo composto central rotacional;
- Analisar as amostras de efluente clarificado obtidas no tratamento de efluentes em bancada verificando a alteração de pH e alcalinidade;
- Avaliar o desempenho dos coagulantes com relação aos parâmetros de remoção de cor, turbidez e sólidos totais;
- Realizar teste estatístico para determinação de ponto ótimo de dosagem para cada coagulante.

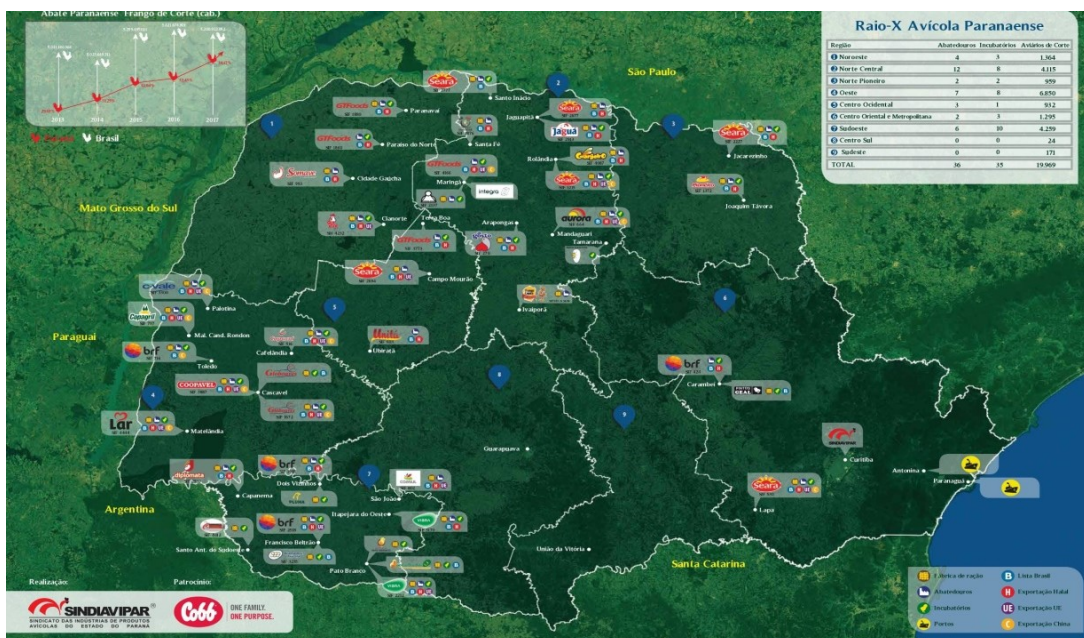
2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ABATEDOURO DE AVES

A indústria frigorífica no Brasil surgiu a partir do Plano Nacional da Pecuária, na década de 1960, devido à grande disponibilidade de grãos para nutrição animal, atrelado ao avanço tecnológico provocado pelo advento da transformação dos sistemas de refrigeração e, incorporando isso aos principais transportes no país, possibilitou a oferta de carne para todo o território nacional e internacional, elevando o país ao primeiro lugar entre os principais exportadores de carne do mundo. (MARQUES et al, 2017).

Segundo dados do Sindicato das Indústrias de Produtos Avícolas do Estado do Paraná (2021), o estado do Paraná tem grande participação na produção de carne de frango, sendo considerado um dos pilares da avicultura do Brasil, onde cerca de 38% de toda carne de frango produzida e exportada pelo país é produzida no Paraná. Conforme o mapa da avicultura paranaense (2018) na FIGURA 1, a região oeste do estado tem a maior concentração de aviários de corte. O abatedouro de aves objeto de estudo é responsável por abater em média 600 mil aves por dia.

FIGURA 1: MAPA COM LOCALIZAÇÃO DE ABATEDOUROS DE AVES NO PARANÁ



FONTE: Sindiaviapar (2018).

2.2 EFLUENTE DE ABATEDOURO DE AVES

São diversos os processos desempenhados na indústria produtora de carne de frango, incluindo: recepção da ave, insensibilização, sangria, escaldagem, depenagem, evisceração e separação das patas, lavagem, resfriamento, classificação, cortes, embalagem, congelamento e expedição.

Nesses processos, água é utilizada gerando, portanto, efluente. Efluente é a água residual proveniente das atividades industriais nos abatedouros de aves. Cada atividade possui uma função distinta, e essa relação faz com que varie a composição do efluente gerado em cada ponto.

Conforme Silva (2005), a água residual de uma indústria de frangos possui elementos como: sangue, penas, pele e gordura, possuindo uma elevada D.Q.O. (Demanda Química de Oxigênio), cor e turbidez. Portanto, o efluente líquido só pode ser lançado ao corpo hídrico receptor após passar por um processo de tratamento prévio, de modo a atender as resoluções dos órgãos ambientais fiscalizadores.

Para caracterizar o efluente de abatedouro de aves são utilizados vários parâmetros físico-químicos e biológicos. A TABELA 1 apresenta características de efluentes de diferentes abatedouros avícolas derivados de diferentes autores.

TABELA 1: CARACTERÍSTICAS DE EFLUENTES DE DIFERENTES ABATEDOUROS AVÍCOLAS

Parâmetro	Schoenhals (2006)	Damasceno et al (2009)	Franciozi (2020)
pH	6,70	6,40	6,15
Sólidos totais (g/L)	1,74	4,51	-
DQO (mg/L)	1.020,00	7.264,00	6.716,67
Óleos e graxas (mg/L)	430,00	2.900,00	-
Turbidez (UNT)	920,00	-	2.405,00

FONTE: Adaptado de Schoenhals (2006); Damasceno et al (2009); Franciozi (2020).

2.3 TRATAMENTO DE EFLUENTES NA INDÚSTRIA FRIGORÍFICA

O tratamento de efluentes pode ser dividido em quatro fases: preliminar, primário, secundário e terciário, sendo que a última fase não é comumente utilizada nas estações de tratamento de efluentes em abatedouros de aves. Uma planta não necessita de todas as fases de tratamento. Isso varia de acordo com a necessidade de remoção de carga orgânica, óleos e graxas, e outros contaminantes, visando

atender as características necessárias para dispor esse efluente no corpo receptor. (VON SPERLING, 2002).

O tratamento preliminar consiste no gradeamento, onde faz-se a utilização de grades, também chamadas de peneiras, para remoção dos sólidos grosseiros e finos inertes. Comumente são utilizadas no cenário de frigoríficos, peneiras rotativas com abertura de 0,5 a 0,75 mm. O tratamento preliminar tem como objetivo evitar entupimentos, obstruções e desgaste dos outros equipamentos da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) da indústria.

Após o gradeamento, o efluente é direcionado a um tanque de equalização, que tem como objetivo a homogeneização do efluente a ser destinado ao tratamento primário. Podem ser utilizados agitadores dentro dos tanques de equalização, visando homogeneizar a carga orgânica do efluente, fazendo que o processo seja mais estável.

O tratamento primário consiste no tratamento físico-químico do efluente, tendo como objetivo remover os sólidos flotáveis/decantáveis e óleos e graxas. (SCHATZMANN, 2009). Os sistemas mais utilizados são flotação e decantação, e o primeiro é mais utilizado nos sistemas de tratamento de efluentes em abatedouro de aves.

O tratamento físico-químico de efluentes utiliza coadjuvantes químicos para aumentar a eficiência da remoção das substâncias coloidais e sólidos em suspensão e dissolvidos, reduzindo o odor, cor, turbidez, teor de óleos e graxas, e, conseqüentemente, a DQO e DBO do efluente. (GOMES, 2010).

O sistema de flotação presente na etapa primária consiste em um tanque de flotação por ar dissolvido. Nesse sistema é injetado efluente com dosagem de coagulante e floculante. Esses agentes clarificam o efluente separando as partículas em suspensão e formando uma borra.

O processo normal a se ocorrer é a decantação da borra, porém, os tanques de flotação possuem entradas de ar dissolvido pressurizado para que ocorra o processo de flotação. Desta forma, a borra é direcionada para um tanque para posterior tratamento do lodo e o efluente clarificado é direcionado ao tratamento secundário.

A próxima etapa do tratamento de efluentes consiste no tratamento secundário predominando os mecanismos biológicos. O foco dessa fase do tratamento é a remoção de matéria orgânica e nutrientes. Os mecanismos biológicos

utilizados nessa etapa de tratamento podem se classificar em aeróbio e anaeróbio, onde os mecanismos biológicos empregados são dependentes de oxigênio para o primeiro, e não dependentes de oxigênio. (SCHATZMANN, 2009).

Quando o sistema de tratamento composto pelas etapas preliminar, primária e secundária não são suficientes para que o efluente tratado atenda as legislações estabelecidas para devolver o efluente ao corpo receptor hídrico, faz-se necessário a utilização de sistema terciário ou avançado.

Os processos de tratamento terciário promovem a remoção de contaminantes em forma de substâncias suspensas e dissolvidas que não foram removidas nos processos anteriores. (SCHATZMANN, 2009). Os processos de tratamento avançado variam conforme o componente que se deseja remover.

2.4 LEGISLAÇÃO E PARÂMETROS DE ENVIO DE EFLUENTES AO CORPO RECEPTOR

Com o objetivo de padronizar e estabelecer parâmetros para lançamento de efluentes, o CONAMA dispôs na resolução nº 430 de 2011 os limites quantitativos da composição do efluente a ser destinado ao corpo hídrico.

Além disso, a resolução ressalta a responsabilidade da fonte poluidora em tratar o volume de efluente gerado, somente podendo ser destinado aos corpos receptores após obedecer às condições e padrões estabelecidos na norma vigente.

Na TABELA 2 são apresentados os padrões estabelecidos de lançamento de efluentes. Cabe ressaltar que é possível ser acrescentado outros padrões devido a região localizada da estação de tratamento de efluentes da indústria, mediante fundamentação técnica imposta por órgãos ambientais do local.

A partir disso, fica clara a responsabilidade por parte das indústrias em controlar a qualidade do tratamento de efluentes, mantendo os parâmetros dentro dos requisitos exigidos pela legislação vigente. O correto tratamento de efluentes traz benefícios ambientais, econômicos e saúde pública.

2.5 COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO

A necessidade da utilização de coadjuvantes químicos advém das forças eletrostáticas repulsivas dos colóides originadas pelas cargas parciais negativas

dessas moléculas (maior parte proveniente de hidroxilas devido ao meio aquoso), ocasionando a repulsão desses e não permitindo eles sedimentarem. Dessa forma, os agentes químicos desestabilizam essas forças e as neutralizam, proporcionando a coagulação dessas partículas em suspensão. (GOMES, 2010).

TABELA 2: PARÂMETROS DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES AO CORPO HÍDRICO

Parâmetros	Valores máximos permitidos
pH	$5 \leq \text{pH} \leq 9$
Temperatura	40 °C
Materiais sedimentáveis	1 mL/L
Óleos minerais	20 mg/L
Óleos vegetais e gorduras animais	50 mg/L
Materiais flutuantes	0
DBO	Remoção de 60%
Arsênio total	0,5 mg/L
Bário total	5,0 mg/L
Boro total	5 mg/L
Cádmio total	0,2 mg/L
Chumbo total	0,5 mg/L
Cianeto total	1,0 mg/L
Cianeto livre	0,2 mg/L
Cobre dissolvido	1,0 mg/L
Cromo hexavalente	0,1 mg/L
Cromo trivalente	1,0 mg/L
Estanho total	4,0 mg/L
Ferro dissolvido	15,0 mg/L
Fluoreto total	10,0 mg/L
Manganês dissolvido	1,0 mg/L
Mercúrio total	0,01 mg/L
Níquel total	2,0 mg/L
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L
Prata total	0,1 mg/L
Selênio total	0,3 mg/L
Sulfeto	1,0 mg/L
Zinco total	5,0 mg/L

FONTE: Resolução nº 430/2011.

A coagulação química consiste nas reações e mecanismos que causam a desestabilização química de partículas coloidais formando partículas maiores através da floculação. (SCHATZMANN, 2009). Ou seja, a coagulação é utilizada quando as partículas do efluente possuem estabilidade suficiente para tornar o tratamento de efluente a partir de métodos físicos ineficazes, necessitando instabilizar o meio.

A coagulação acontece com a adição de um eletrólito catiônico, sendo os mais utilizados sais de ferro ou alumínio ou moléculas orgânicas catiônicas. Nesse contexto, a quantidade de coagulante a ser dosada e a eficiência desse processo

dependem da concentração de coloides (matéria orgânica em suspensão) a ser removida, tempo e gradiente de velocidade de mistura rápida, temperatura, alcalinidade, a cor, turbidez e pH. (SCHATZMANN, 2009). Esse eletrólito catiônico reduz as forças repulsivas permitindo a ação das forças atrativas de Van der Waals, promovendo a aglutinação das moléculas em suspensão aos cátions com ação coagulante. (CECHET, 2007).

Para ocorrer uma eficiente coagulação, é necessária a mistura rápida no meio líquido, ocasionando a dispersão dos produtos químicos e colisões entre as partículas. A coagulação ocorre de duas diferentes formas: pericinético, onde o potencial Zeta é reduzido a um nível abaixo das forças atrativas de Van der Waals, e ortocinético, onde as micelas aglomeram as partículas coloidais formando redes de precipitação. (LORA, 2001).

O potencial Zeta é utilizado para medição da magnitude de repulsão entre as partículas, indicando o potencial elétrico entre a superfície externa da camada compacta ao redor do coloide e a camada difusa (solução em que os coloides estão presentes). (PAVANELLI, 2001).

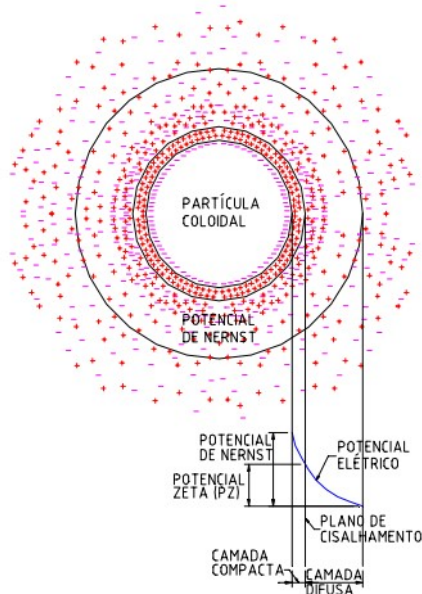
A coagulação possui diferentes mecanismos de desestabilização, dentre elas: compressão da dupla camada elétrica, adsorção-neutralização da carga, varredura e adsorção e formação de pontes. (CECHET, 2007).

2.5.1 Compressão da dupla camada elétrica

O mecanismo de coagulação denominado compressão da dupla camada elétrica parte do princípio da adição de íons de carga contrária para promover a desestabilização das partículas coloidais. Segundo Pavanelli (2001), quanto maior a carga do íon positivo, menor a quantidade requerida para ocorrer a coagulação. Na FIGURA 2 se encontra o esquema da dupla camada elétrica de um colóide.

A coagulação através de compressão da dupla camada elétrica ocorre a partir da redução do potencial elétrico Zeta, predominando as forças de Van der Waals no meio reacional. Portanto, ao adicionar íons de carga contrária, é promovida a neutralização do meio, fazendo com que os coloides se atraiam aos cátions provenientes dos coagulantes e sejam adsorvidos.

FIGURA 2: DUPLA CAMADA ELÉTRICA



FONTE: Pavanelli (2001).

2.5.2 Adsorção-neutralização da carga

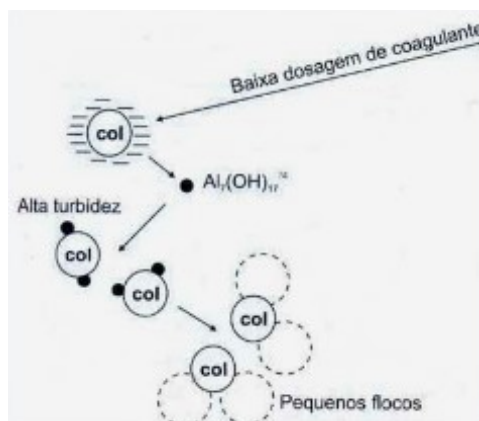
Segundo Pavanelli (2001), algumas espécies químicas são capazes de serem adsorvidas na superfície das partículas coloidais. Ao adicionar um coagulante, as cargas positivas do coagulante se adsorvem na superfície dos coloides promovendo a neutralização das cargas, e desestabilizando o meio.

Para Franciozi (2020), a neutralização pode ser considerada um mecanismo predominante da desestabilização, sendo possível estabelecer a relação estequiométrica entre a quantidade de coloides e dosagem ótima de coagulantes, pois, uma dosagem insuficiente de coagulante não seria suficiente para neutralizar as cargas elétricas, e a sobredosagem possibilitaria ao meio tornar-se positivamente carregado, reestabilizando os coloides, não deixando a coagulação das partículas ocorrer.

Segundo Pavanelli (2001), as principais diferenças entre os processos de adsorção-neutralização da carga e compressão da dupla camada elétrica são: o primeiro método de coagulação exige dosagens menores de coagulantes, é possível a reversão de carga superficial dos coloides e é possível otimizar as dosagens a

partir de relações estequiométricas. Na FIGURA 3 se encontra o mecanismo de adsorção-neutralização da carga.

FIGURA 3: MECANISMO DE ADSORÇÃO-NEUTRALIZAÇÃO DA CARGA



FONTE: Di Bernardo (2005).

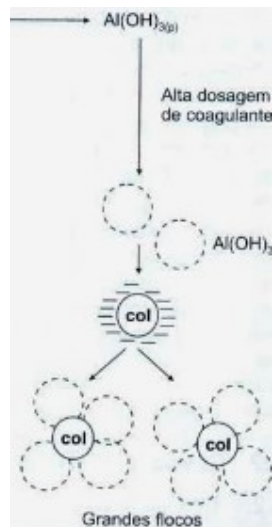
2.5.3 Varredura

Segundo Pavanelli (2001), conforme a quantidade de coagulante, pH e concentração do meio reacional, pode ocorrer a formação de precipitados como $Al(OH)_3$, $Fe(OH)_3$, entre outros, dependendo do coagulante utilizado.

O precipitado formado possui dimensão maior que a dos colóides suspensos no efluente, arrastando essas partículas em suspensão desenvolvendo maiores flocos, tendo uma rápida velocidade de decantação. O mecanismo não é dependente da neutralização das cargas dos colóides, tornando a dosagem ótima diferente da determinada no processo de adsorção-neutralização da carga. (FRANCIOZI, 2020). Na FIGURA 4 se encontra o mecanismo de varredura.

Dessa forma, como ocorre um arrasto das partículas coloidais pelo precipitado formado pelo coagulante, no final do processo é possível fazer a separação desse meio. (FRANCIOZI, 2020).

FIGURA 4: MECANISMO DE VARREDURA



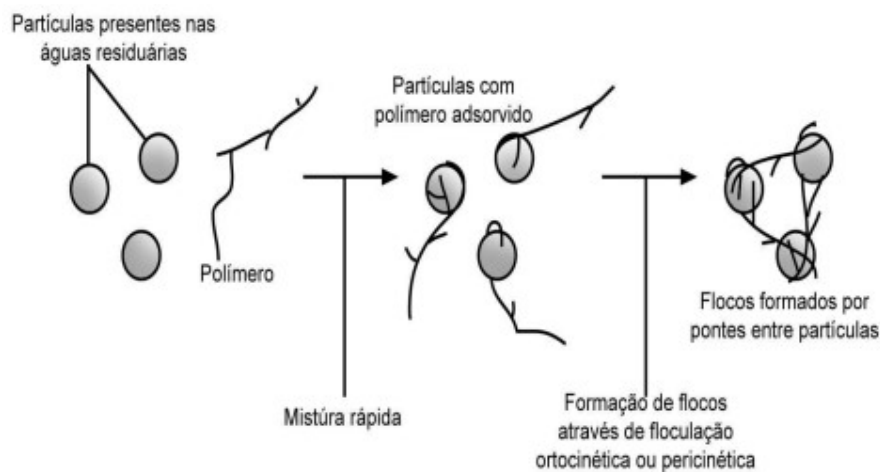
FONTE: Di Bernardo (2005).

2.5.4 Adsorção e formação de pontes

Segundo Lima (2007), a adsorção ocorre através de compostos orgânicos e inorgânicos caracterizados por grandes cadeias moleculares com sítios ionizáveis disponíveis para formarem pontes ou ligações entre os colóides. A carga final depende do tipo do composto utilizado, sendo possível empregar: polieletrólitos catiônicos, aniônicos e não iônicos, onde o saldo de carga do meio reacional poderá ser positivo, negativo ou neutro, respectivamente ao tipo do polieletrólito usado. Na FIGURA 5 encontra-se mecanismo de adsorção e formação de pontes.

Segundo Franciozi (2020), as interações entre as macromoléculas e os colóides promovem a aglomeração, formando pontes de hidrogênio a partir de forças de Van der Waals.

FIGURA 5: MECANISMO DE ADSORÇÃO E FORMAÇÃO DE PONTES



FONTE: Di Bernardo (2005).

2.6 COAGULANTES UTILIZADOS NO PROCESSO DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO

2.6.1 Cloreto férrico

O cloreto férrico é um coagulante amplamente utilizado no processo de coagulação em estação de tratamento de efluentes em frigoríficos, possuindo uma grande eficiência em remoção de DBO, DQO, turbidez, cor, sólidos suspensos e óleos e graxas presentes no efluente, e, além disso, atua com eficiência em uma ampla faixa de pH. (FAGNANI, 2017).

O cloreto férrico é um produto líquido marrom avermelhado normalmente comercializado a 40% com pH próximo de 2 e densidade aproximada de $1,40 \text{ g.cm}^{-3}$. Consiste em um sal inorgânico de ferro trivalente com fórmula química FeCl_3 . (FRANCIOZI, 2020).

A reação de hidrólise do cloreto férrico permite a formação de hidróxido de ferro, sendo este o responsável pela coagulação de partículas coloidais presentes no efluente. Na EQUAÇÃO 1 mostra-se a reação de hidrólise do cloreto férrico.



Como o hidróxido de ferro tem ação coagulante, ele reage com as partículas coloidais formando partículas maiores, que após o processo de floculação, se tornará o lodo. A utilização de sais metálicos agrega um alto teor de metais nesse resíduo, dificultando a disposição dele devido maiores riscos de contaminação. A partir dessa equação, é possível observar também a formação de ácido clorídrico. Essa redução de pH deve ser revertida com adição de bases para que quando o efluente se direcione ao tratamento secundário não inviabilize os mecanismos bacterianos. (SCHATZMANN, 2009).

2.6.2 Policloreto de alumínio – PAC

O coagulante policloreto de alumínio – PAC é um sal de alumínio prepolimerizado, de fórmula bruta $Al_n(OH)_mCl_{3*(n-m)}$ e este possui uma basicidade originária do grupo hidroxila. Em função dessa basicidade, durante a hidrólise o PAC libera uma quantidade de ácido consideravelmente inferior a liberada com a utilização de outros coagulantes convencionais, como o cloreto férrico. (PAVANELLI, 2001).

Devido a isto, o efluente clarificado do processo de tratamento por coagulação possui um pH muito maior, reduzindo drasticamente o consumo com alcalinizantes no processo secundário do tratamento de efluentes.

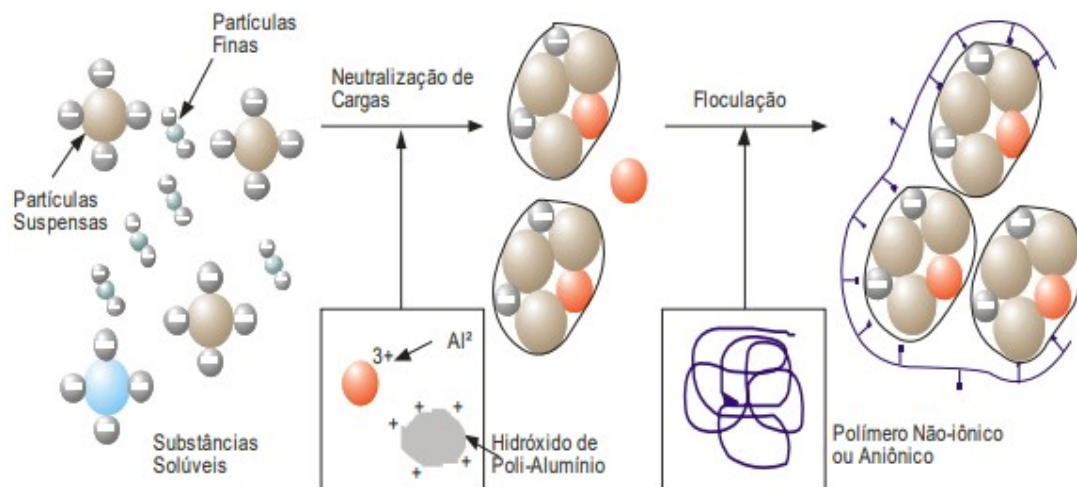
Devido ao estado prepolimerizado e às características de sua estrutura molecular condensada com pontes de hidrogênio entre os átomos de alumínio, o PAC apresenta melhores resultados no processo de floculação frente a outros coagulantes não prepolimerizados, devido a presença de maiores concentrações de elementos ativos alumina (Al_2O_3). Possui aspecto amarelo-âmbar claro e é comercializado em concentração de alumina em torno de 16%, com pH médio de 4 e densidade média de $1,4 \text{ g.cm}^{-3}$. (MAGNAN, 2010).

2.6.3 Coagulante orgânico a base de EpiDMA

Conforme Fagnani (2017), o emprego de polímeros catiônicos podem ser mais apropriado que o uso de sais de metais, e essa decisão depende da massa molar do coagulante, da densidade de carga, dosagem requerida, condições de mistura e do tamanho das partículas presentes na água.

Vanacôr (2005), os polímeros aniônicos desestabilizam as partículas aglutinando-as através da formação de pontes sobre os espaços causados pela repulsão.

FIGURA 7: PROCESSO DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO DOS COLOIDES EM SUSPENSÃO NO EFLUENTE



FONTE: Kemira (2003).

Após a formação das partículas maiores, o ar dissolvido permite o processo de flotação da borra, e através de pás, a borra é direcionada para um tanque e o efluente clarificado é direcionado para o tratamento secundário.

2.8 LODO FLOTADO

O lodo flotado é um resíduo proveniente da etapa primária do tratamento de efluentes da indústria. Essa separação do lodo e efluente possibilita grande remoção de sólidos em suspensão, matéria orgânica e óleos e graxas, tornando eficiente o tratamento secundário e possibilitando atender os parâmetros necessários para lançamento do efluente ao corpo hídrico receptor. (MELO et al, 2001).

O lodo constitui-se de aproximadamente 98% de água. Do restante, 70 a 80 % são classificados como material orgânico (sólidos, óleos e graxas) e os outros 20 a 30 % são componentes inorgânicos provenientes da dosagem de produtos químicos bem como da composição do efluente. Essa composição varia de acordo com a composição do efluente, tipo de tratamento, grau de estabilização e tipo de processo. (GIROTTO et al, 2018).

Os lodos gerados em ETEs são definidos pela norma NBR 10004/2004 como um resíduo sólido. Segundo esta norma, esse resíduo deve ser tratado e destinado a aterros sanitários industriais ou compostagem, tornando custoso o processo de tratamento de efluentes. (GIROTTTO et al, 2018).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

Os experimentos e análises laboratoriais do presente trabalho foram desenvolvidos na Universidade Federal do Paraná (UFPR), setor Palotina, no Laboratório de Produção de Biocombustíveis (LPB).

Os testes foram realizados nos dias 16 e 17 de julho de 2021. O LPB está localizado nas coordenadas geográficas: 24°17'41.2"S 53°50'26.9"W. A temperatura ambiente dos dias dos experimentos esteve estável, variando entre 20°C a 25°C no momento dos testes.

3.2 SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA OBJETO DE ESTUDO

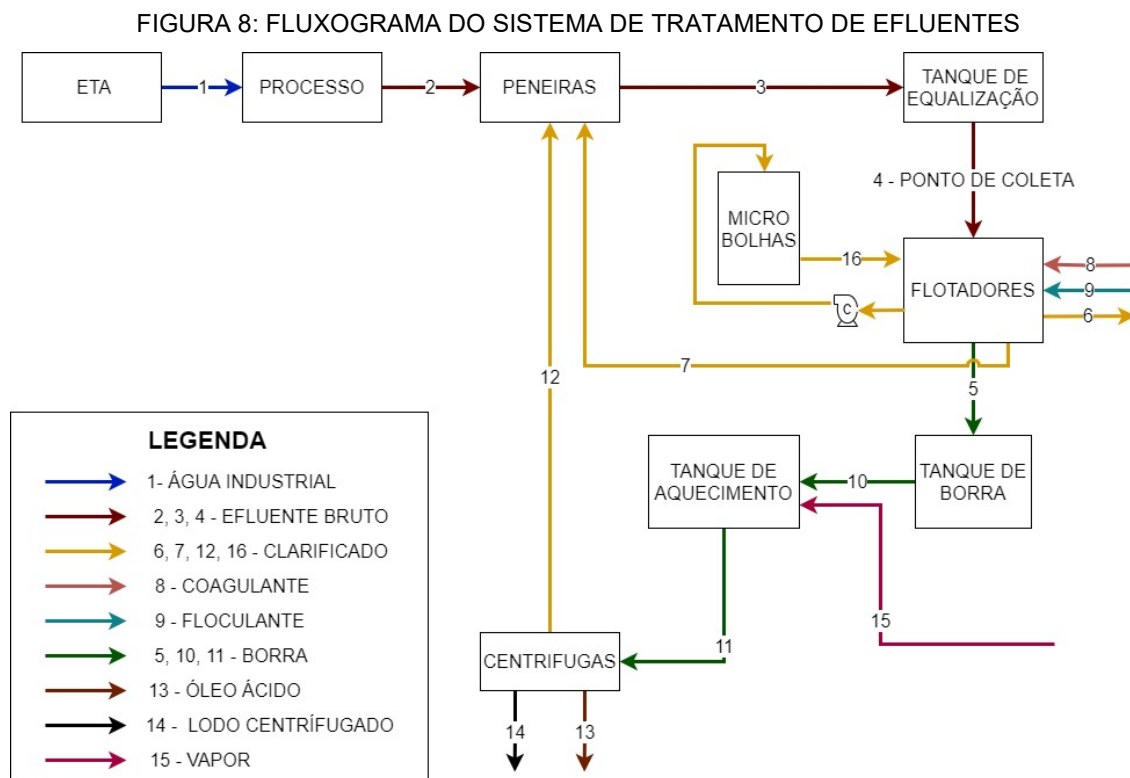
As amostras de efluente foram coletadas em um abatedouro de aves localizado na região oeste do Paraná. A agroindústria em questão abate, em média, 600 mil aves por dia e o sistema de tratamento de efluentes estudado trata 18.000 m³ por dia, e possui as etapas de tratamento preliminar, primário e secundário (lagoas de estabilização e lodo ativado). Na FIGURA 8, é apresentado o fluxograma simplificado do sistema de tratamento de efluentes do abatedouro objeto de estudo.

3.3 COAGULANTES E FLOCULANTE UTILIZADOS NO TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO

Foram utilizados três tipos de coagulantes e um floculante. Os coagulantes utilizados foram: cloreto férrico, policloreto de alumínio e coagulante orgânico Nalco™ 8100. O floculante utilizado foi um polímero aniônico de cadeia extensa com 0,026% de acrilamida. Os coagulantes e floculante utilizados foram fornecidos pelo abatedouro objeto de estudo e pela Nalco™.

Todos os coagulantes estavam em forma líquida e o polímero em forma granulada, sendo necessária sua diluição em água destilada na concentração de 0,15%, concentração utilizada na indústria objeto de estudo. Os coagulantes cloreto

férrico, PAC e Nalco™ 8100 estavam em concentração de 38% de FeCl_3 , 16% de Al_2O_3 , e 10% de coagulante orgânico, respectivamente.



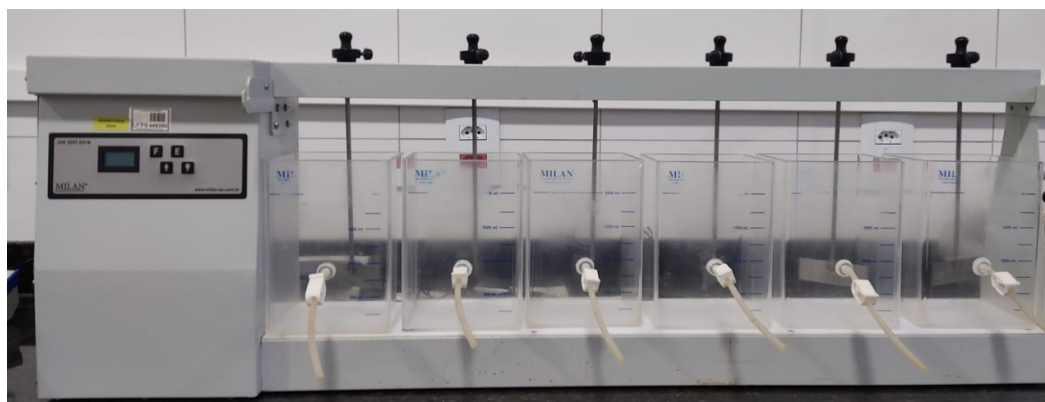
FONTE: A autora (2021).

Para o preparo da solução de polímero aniônico 0,15% foi adicionado 1 L de água destilada em um jarro de teste (*jar test*) com o auxílio de uma proveta de 1 L. Após, foi adicionado 0,15 g de polímero aniônico granulado e realizada agitação durante 30 minutos em velocidade de 80 rpm. Por fim, o volume preparado foi acondicionado em béquer e logo após empregado nos testes de coagulação.

3.4 ENSAIOS DE COAGULAÇÃO, FLOCULAÇÃO E DECANTAÇÃO

Os ensaios de coagulação, floculação e decantação foram realizados em *Jar test* da marca MILAN modelo 203 M com capacidade de tratamento de 12 L por batelada de ensaios, conforme FIGURA 9.

FIGURA 9: JAR TEST UTILIZADO NOS ENSAIOS



FONTE: A autora (2021).

As condições adotadas nos ensaios foram: tempo de coagulação (mistura rápida) de 2 min, tempo de floculação (mistura lenta) de 10 min e tempo de decantação de 10 min. As velocidades de agitação adotadas para as fases de mistura rápida e lenta foram de 100 e 40 rpm, respectivamente. Foi adotado um volume de 2 L de efluente por ensaio de jarro.

A concentração de coagulante e polímero utilizada nos ensaios foi determinada a partir de planejamento experimental utilizando a metodologia de Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) considerando dois fatores variáveis independentes (dosagens de coagulante e floculante). Para cada produto foi trabalhada uma faixa de dosagens, visando a determinação de um ponto ótimo em termos de qualidade do efluente clarificado produzido. Os parâmetros que determinarão a qualidade do efluente clarificado produzido serão: pH, alcalinidade total, remoção de cor, remoção de turbidez e remoção de sólidos totais. Essas serão as variáveis dependentes do delineamento experimental.

O planejamento experimental para o tratamento de efluentes é apresentado na TABELA 3. O planejamento experimental para o coagulante cloreto férrico teve a faixa de dosagem de 188 a 612 mg de produto por L de efluente bruto tratado. Considerando que o produto apresenta concentração de 38%, em cada quilograma de produto diluído existem 380 g de FeCl_3 e, conseqüentemente, 130,8 g de Fe^{3+} .

Os testes utilizando PAC tiveram a faixa de dosagem variando entre 98 a 452 mg de produto por L de efluente bruto tratado. O PAC utilizado tem concentração de 16% de alumina (Al_2O_3) e, portanto, em cada quilograma de produto PAC utilizado, há 160 g de Alumina.

Os testes utilizando o coagulante orgânico NALCO™ 8100 tiveram a faixa de dosagem variando entre 29 a 171 mg por L de efluente bruto tratado.

Após, foram coletados 500 mL de amostra de efluente clarificado de cada ensaio para posterior caracterização e cálculos de remoção. Também foi armazenado 500 mL de efluente bruto.

TABELA 3: PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL UTILIZANDO CLORETO FÉRRICO

ENSAIO	Coagulante codificado	Dosagem de cloreto férrico (mg/L)	Dosagem de PAC (mg/L)	Dosagem de 8100™ (mg/L)	Floculante codificado	Dosagem de floculante (mg/L)
1	-1	250	150	50	-1	1
2	-1	250	150	50	1	3
3	1	550	400	150	-1	1
4	1	550	400	150	1	3
5	-1,4142	188	98	29	0	2
6	1,4142	612	452	171	0	2
7	0	400	275	100	-1,4142	0,6
8	0	400	275	100	1,4142	3,4
9	0	400	275	100	0	2
10	0	400	275	100	0	2

Fonte: A autora (2021).

3.5 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE BRUTO E EFLUENTE CLARIFICADO

Os parâmetros físico-químicos analisados e as metodologias utilizadas estão listados na TABELA 4. Todas as análises foram realizadas em triplicata, com exceção de alcalinidade, que foi realizada em duplicata. As análises foram realizadas na mesma data da coleta.

TABELA 4: PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS ANALISADOS E METODOLOGIAS SEGUIDAS

Parâmetro	Metodologia	Referência
pH	Potenciometria	APHA, 2012.
Cor	Espectrofotometria	APHA, 2012.
Turbidez	Turbidimetria	APHA, 2012.
Alcalinidade	Titulometria	NBR 10230:1998.
Sólidos Totais	Termogravimetria	APHA, 2012.
Sólidos Fixos	Termogravimetria	APHA, 2012.
Sólidos Voláteis	Termogravimetria	APHA, 2012.

FONTE: A autora (2021).

3.6 OBTENÇÃO DAS DOSAGENS ÓTIMAS

Para determinar a influência de cada fator (concentração de coagulante e de floculante) foi utilizado o *software* Statistica, versão 8.0 (StatSoft, 2007), levando-se em consideração a eficiência dos tratamentos para remoção de cor, turbidez e sólidos totais, bem como os valores resultantes de pH e alcalinidade.

A eficiência de remoção de cor, turbidez e sólidos foi determinada a partir da EQUAÇÃO 2, onde $C_{inicial}$ representa a concentração inicial (efluente bruto) e C_{final} representa a concentração final (efluente clarificado) de cada amostra.

$$Eficiência (\%) = \frac{(C_{inicial} - C_{final}) \times 100}{C_{inicial}} \quad (2)$$

A partir do planejamento experimental DCCR, foram obtidas as superfícies de resposta, os gráficos de Pareto e realizada a análise de variância (ANOVA) para cada tratamento. Visando determinação das dosagens ótimas, foram identificadas as regiões de melhor eficiência de remoção, e valores próximos a neutralidade de pH e alcalinidade, e a partir disso, obtido o ponto ótimo para cada planejamento experimental.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE BRUTO

O efluente bruto foi coletado na indústria objeto de estudo e direcionado ao laboratório LPB para ser caracterizado quanto aos parâmetros físico-químicos, a fim de que não se modificasse suas características devido ao tempo de armazenamento a partir de reações fermentativas e outras.

Verifica-se na TABELA 5 os resultados obtidos a partir das análises do efluente bruto coletado.

TABELA 5: CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE BRUTO ESTUDADO

Parâmetro	Unidade de medida	Resultados
		Média ± Desvio Padrão
Ph	-	6,29 ± 0,03
Cor	uC	2.301,40 ± 215,09
Turbidez	UNT	623,00 ± 3,05
Alcalinidade	mg.L ⁻¹	259,00 ± 0,00
Sólidos Totais	mg.L ⁻¹	1,77 ± 0,07
Sólidos Fixos	mg.L ⁻¹	0,44 ± 0,05
Sólidos Voláteis	mg.L ⁻¹	1,33 ± 0,09

FONTE: A autora (2021).

A composição de efluentes de frigoríficos pode sofrer variação devido a diversos fatores atrelados ao processo, como: quantidade de água utilizada, temperatura, quantidade de gordura presente no animal abatido, entre outros. (FRANCIOZI, 2020).

Comparando a composição físico-química do efluente estudado com o efluente de outros abatedouros de aves obtidos na literatura (TABELA 1), os valores de pH e sólidos totais se encontram dentro das faixas estudadas. Entretanto, a turbidez das amostras coletadas se encontrou em uma faixa menor, o que pode ser explicado pela variabilidade do processo.

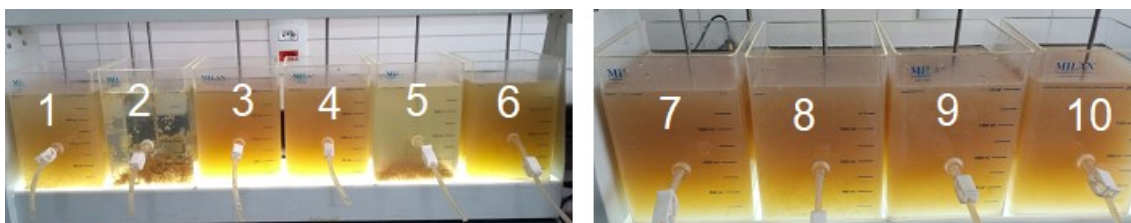
4.2 ENSAIOS UTILIZANDO COMO COAGULANTE O CLORETO FÉRRICO

Nesta seção estão apresentados os resultados obtidos nos ensaios utilizando como coagulante o cloreto férrico. Estão apresentadas as superfícies de

resposta e gráfico de Pareto para cada parâmetro físico-químico analisado, bem como o R^2 e a equação da superfície de resposta. No APÊNDICE 1, são apresentados os dados numéricos obtidos nas análises no LPB e as análises de variância para os resultados obtidos.

Na FIGURA 10 podem ser observados os ensaios em *jar test* descritos na TABELA 3 na fase de decantação utilizando como coagulante o cloreto férrico. A figura apresenta os 10 testes realizados em sequência, organizados de acordo com os ensaios 1 a 10 nos jarros de teste. Os testes com melhor eficiência foram o segundo e o quinto, que utilizaram 250 ppm de coagulante e 3 ppm de polímero, e 188 ppm de coagulante e 2 ppm de polímero, respectivamente.

FIGURA 10: FASE DE DECANTAÇÃO DOS ENSAIOS UTILIZANDO CLORETO FÉRRICO



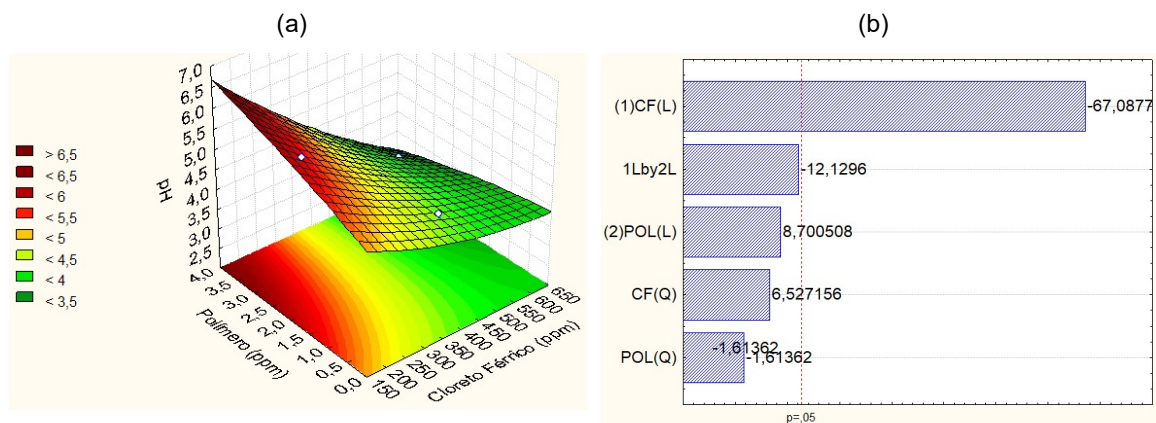
FONTE: A autora (2021).

Na FIGURA 11, estão apresentados os resultados de pH para cloreto férrico e o gráfico de Pareto. A partir dela, foi possível observar que, conforme Schatzmann (2009), quanto maior a dosagem de cloreto férrico no efluente, maior será a concentração de ácido clorídrico no efluente clarificado do processo, sendo essa dosagem proporcional a redução do pH. Considerando que um valor de pH mais próximo do obtido para o efluente bruto seria o ideal para direcionar o efluente para o tratamento secundário sem a necessidade de empregar alcalinizantes no processo, os melhores resultados foram obtidos para faixas de dosagens inferiores a 200 ppm de cloreto férrico, correspondendo aos ensaios 2 e 5. A partir do gráfico de Pareto obtido, pode-se concluir que apenas a dosagem de coagulante influenciou de forma estatisticamente significativa nos resultados.

Na FIGURA 12, encontra-se a superfície de resposta obtida para o parâmetro alcalinidade total. Os resultados obtidos demonstraram que para maiores dosagens de coagulante o meio reacional consumiu mais a alcalinidade do meio, ou seja, quanto maior a presença de ácido clorídrico no meio, que ocorre em maiores

dosagens de coagulante, menor será a alcalinidade, tendo relação direta com os resultados de pH.

FIGURA 11: PH - CLORETO FÉRRICO: (a) SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (b) GRÁFICO DE PARETO

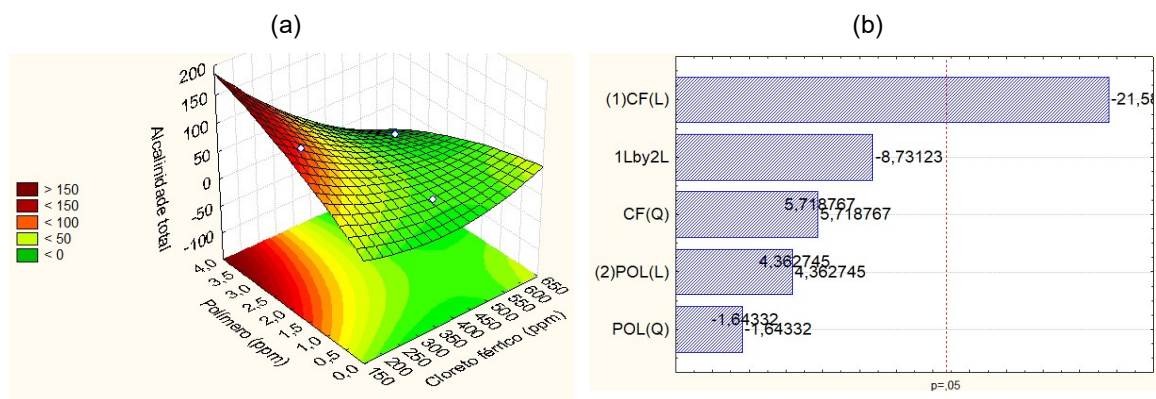


$$R^2 = 0,9717$$

$$PH = -0,005693COAG + 0,000004COAG^2 + 0,682311POL - 0,023125POL^2 - 0,001239COAG*POL + 5,819486$$

FONTE: A autora (2021).

FIGURA 12: ALCALINIDADE TOTAL - CLORETO FÉRRICO: (a) SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (b) GRÁFICO DE PARETO



$$R^2 = 0,8773$$

$$PH = -0,37642COAG + 0,00051COAG^2 + 69,73078POL - 3,29641POL^2 - 0,12482COAG*POL + 80,42077$$

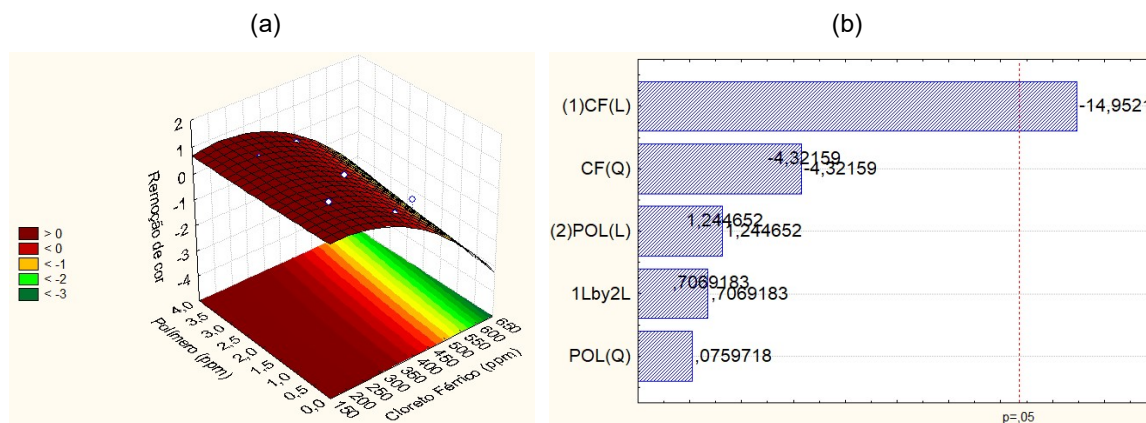
FONTE: A autora (2021).

Abaixo na FIGURA 13 encontra-se a superfície de resposta e gráfico de Pareto obtidos para o parâmetro remoção de cor. Quanto maior a remoção de cor,

melhor o efluente clarificado obtido pelo processo físico-químico. O desempenho do cloreto férrico para remoção de cor foi satisfatório para dosagens abaixo de 400 ppm, obtendo os melhores resultados nos ensaios 1 e 5, sendo que para dosagens maiores foi configurada sobre dosagem. Acima desses valores, foram obtidos resultados de remoção de cor negativos, que podem ser explicados pela coloração marrom avermelhada do cloreto férrico que influenciou na cor do efluente e também pelo início do processo de coagulação que formou coágulos pequenos não decantáveis. Como a análise de cor foi realizada por espectrofotometria, esses coágulos dificultaram a análise a partir de espectros. A partir do gráfico de Pareto, por sua vez, foi possível observar que apenas o termo linear de dosagem de coagulante foi estatisticamente significativo.

Os resultados obtidos corroboram com Schoenhals (2006), em que os autores obtiveram eficiência de remoção de cor para o coagulante cloreto férrico em até 98%. Para o presente estudo, a maior remoção foi de 91%.

FIGURA 13: REMOÇÃO DE COR - CLORETO FÉRRICO: (a) SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (b) GRÁFICO DE PARETO



$$R^2 = 0,95571$$

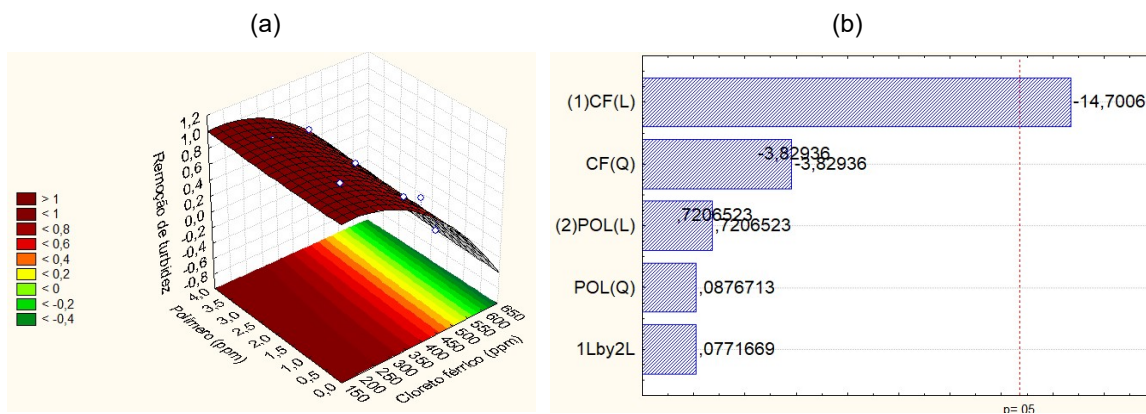
$$PH = 0,006464COAG - 0,000018COAG^2 - 0,130574POL + 0,007197POL^2 + 0,000477COAG*POL + 0,251533$$

FONTE: A autora (2021).

Abaixo na FIGURA 14 encontra-se a superfície de resposta e gráfico de Pareto obtida para o parâmetro remoção de turbidez. Observa-se que a remoção de turbidez obteve resultados lineares com a remoção de cor, com resultados satisfatórios para dosagens inferiores a 400 ppm de cloreto férrico, em que a

dosagem de flocculante também não impactou nos resultados, como observado no gráfico de Pareto. O melhor resultado obtido foi 98% de remoção de turbidez, no ensaio 2.

FIGURA 14: REMOÇÃO DE TURBIDEZ - CLORETO FÉRRICO: (a) SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (b) GRÁFICO DE PARETO



$$R^2 = 0,93176$$

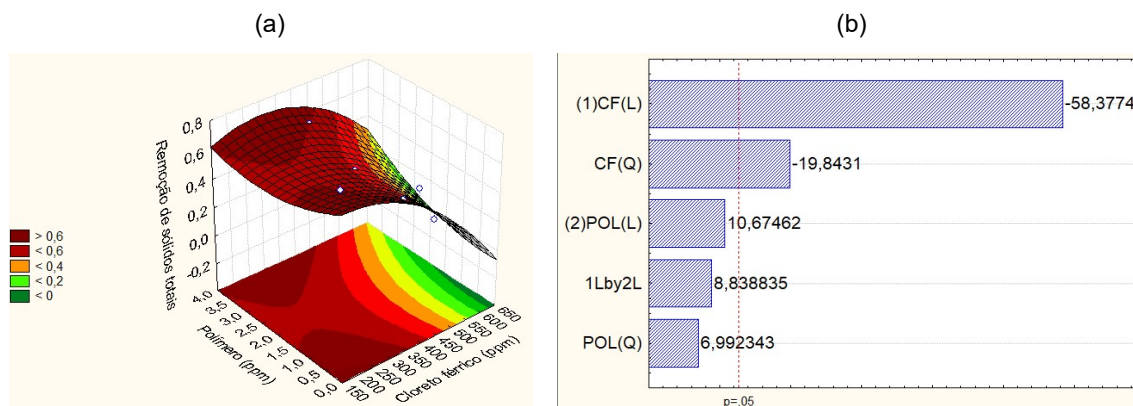
$$PH = 0,00248COAG - 0,00001COAG^2 - 0,00105POL + 0,00356POL^2 + 0,00002COAG*POL + 0,72102$$

FONTE: A autora (2021).

Abaixo na FIGURA 15 encontra-se a superfície de resposta e gráfico de Pareto obtidos para o parâmetro remoção de sólidos totais. Foram obtidos resultados de remoção acima de 60%, corroborando com o trabalho de Schoenhals (2006), onde foram obtidos resultados de remoção de sólidos totais de até 61%.

Os melhores resultados foram na faixa de dosagem de coagulante inferiores a 350 ppm, configurando sobredosagem a partir desse valor. A dosagem de flocculante não exerceu influencia estatisticamente significativa, embora visualmente fosse possível observar flocos maiores com o aumento da dosagem de polímero.

FIGURA 15: REMOÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS - CLORETO FÉRRICO: (a) SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (b) GRÁFICO DE PARETO



$$R^2 = 0,94849$$

$$PH = 0,001097COAG - 0,000003COAG^2 - 0,173426POL + 0,026890POL^2 + 0,000242COAG*POL + 0,649197$$

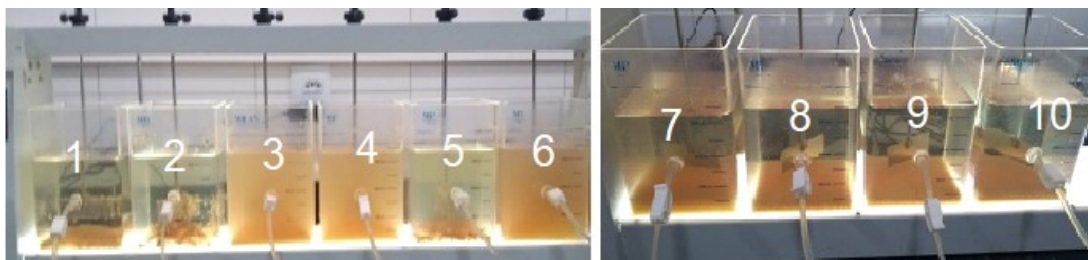
FONTE: A autora (2021).

4.3 ENSAIOS UTILIZANDO COMO COAGULANTE O PAC

Abaixo estão apresentados os resultados obtidos nos ensaios utilizando como coagulante o PAC. Estão apresentadas as superfícies de resposta e gráfico de Pareto para cada parâmetro físico-químico analisado, bem como o R^2 e a equação da superfície de resposta. No APÊNDICE 2, são apresentados os dados numéricos obtidos nas análises no LPB e as análises de variância para os resultados obtidos.

Na FIGURA 16 podem ser observados os ensaios em *jar test* descritos na TABELA 3 na fase de decantação utilizando como coagulante o PAC.

FIGURA 16: FASE DE DECANTAÇÃO DOS ENSAIOS UTILIZANDO PAC



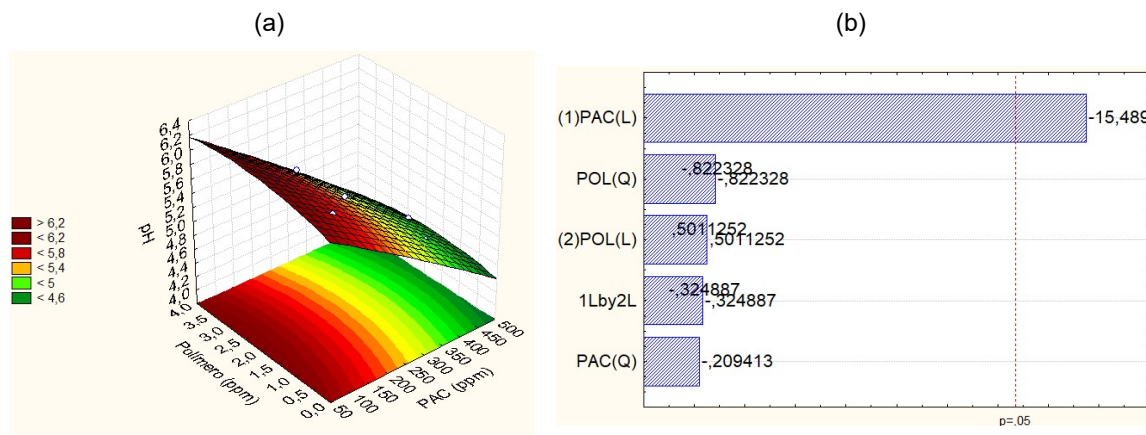
FONTE: A autora (2021).

A figura apresenta os 10 testes realizados, organizados em sequência crescente de 1 a 10 nos jarros de teste. Os testes de coagulação e floculação com este coagulante tiveram um ótimo desempenho, não ocorrendo a clarificação do efluente apenas nos testes 3, 4 e 6, para os quais configurou-se sobredosagem.

Na FIGURA 17 encontra-se a superfície de resposta e o gráfico de Pareto obtidos para o parâmetro pH. Corroborando com Pavanelli (2001), foi observado que o pH reduziu menos para as mesmas concentrações de coagulante com relação ao cloreto férrico, explicado pela hidroxila presente na formulação química do PAC. Visando eliminar a necessidade de alcalinizantes, os melhores resultados obtidos foram para dosagens de PAC inferiores a 200 ppm, sendo obtidos os melhores resultados nos ensaios 1, 2 e 5. Conforme gráfico de Pareto, somente o termo linear de dosagem de coagulante impactou estatisticamente nos resultados.

Na FIGURA 18 encontra-se a superfície de resposta e gráfico de Pareto obtidos para o parâmetro alcalinidade total. Os resultados obtidos para alcalinidade total seguiram os resultados de pH, em que, quanto menor a dosagem de coagulante, melhores os resultados obtidos, devido a menor concentração de consumidores de alcalinidade no meio, como por exemplo o ácido clorídrico formado pela presença de cloro na composição do coagulante.

FIGURA 17: PH - PAC: (a) SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (b) GRÁFICO DE PARETO



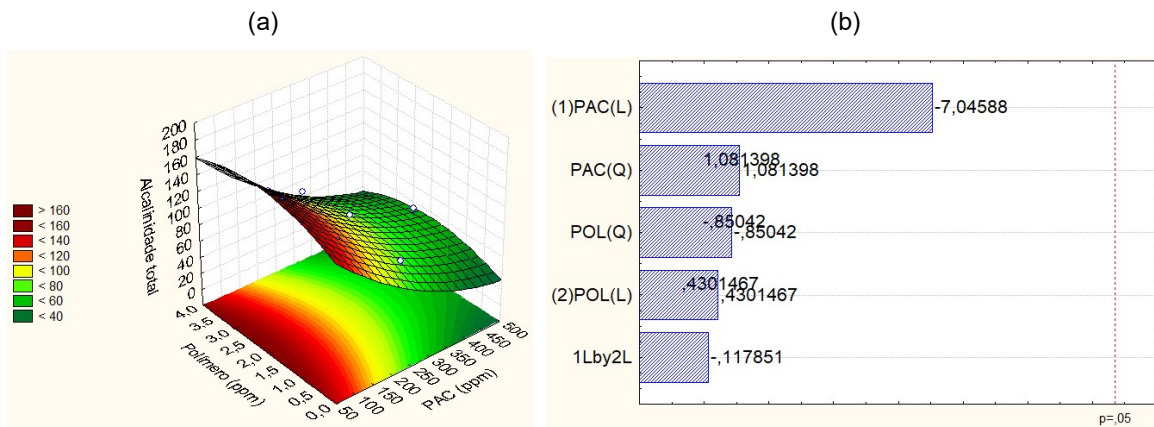
$$R^2 = 0,99187$$

$$PH = -0,003293COAG - 0,000001COAG^2 + 0,180785POL - 0,033542POL^2 - 0,000113COAG*POL + 6,180272$$

FONTE: A autora (2021).

Haja vista, observando a tabela de resultados no APÊNDICE 2, os resultados não obtiveram redução significativa de alcalinidade acima da dosagem de 200 ppm de PAC, apesar de não demonstrar significância estatística para as dosagens de coagulante e floculante.

FIGURA 18: ALCALINIDADE TOTAL - PAC: (a) SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (b) GRÁFICO DE PARETO



$$R^2 = 0,91357$$

$$PH = -0,4939COAG + 0,0004COAG^2 + 25,1431POL - 5,3402POL^2 - 0,0063COAG*POL + 169,2937$$

FONTE: A autora (2021).

Abaixo na FIGURA 19 encontra-se a superfície de resposta e gráfico de Pareto obtidos para o parâmetro remoção de cor. Foi possível observar a presença de ponto ótimo para remoção de cor para a dosagem de PAC em torno de 200 ppm e floculante 2 ppm. Os ensaios 5, 9 e 10 foram os ensaios com melhor remoção, com resultados de 96 %, 93 %, e 92 %, respectivamente.

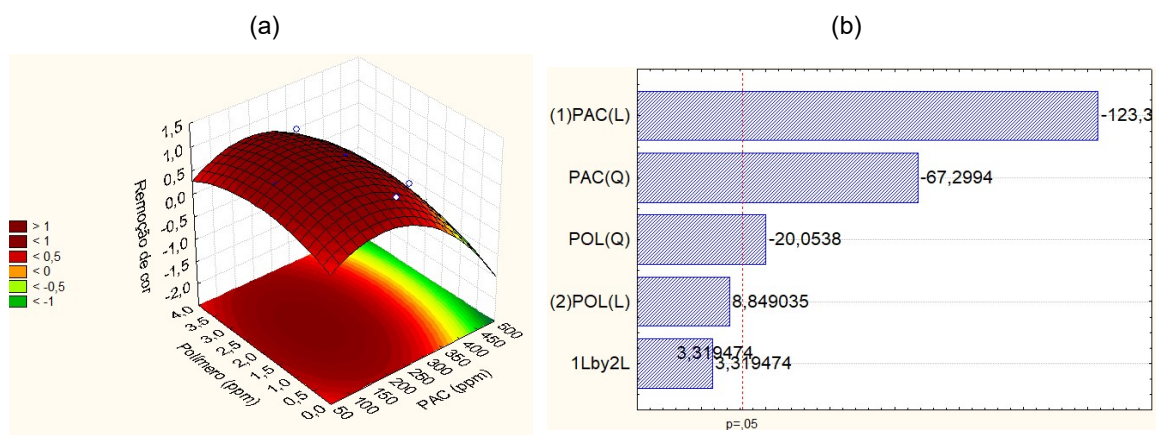
Os resultados da presente pesquisa corroboram com os encontrados pelo estudo de Werberich (2017), utilizando PAC no tratamento de efluente de frigoríficos, foram obtidas remoções de cor e turbidez de até 96% e 98%, respectivamente.

Na FIGURA 20 encontra-se a superfície de resposta e gráfico de Pareto obtidos para o parâmetro remoção de turbidez. Os resultados de turbidez seguiram o mesmo padrão do parâmetro cor, observando-se ponto ótimo de dosagem em torno de 200 ppm de PAC e 2 ppm de floculante. Os ensaios 1 e 2 obtiveram 99 % de remoção de turbidez, demonstrando alta eficiência do processo.

Na FIGURA 21 encontra-se a superfície de resposta e gráfico de Pareto obtidos para o parâmetro remoção de sólidos totais. A melhor remoção de sólidos

totais foi encontrada no teste 10, com a região ótima de dosagem em torno de 250 ppm de PAC e 2 ppm de floculante, apesar de não demonstrar significância estatística a dosagem de polímero.

FIGURA 19: REMOÇÃO DE COR - PAC: (a) SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (b) GRÁFICO DE PARETO

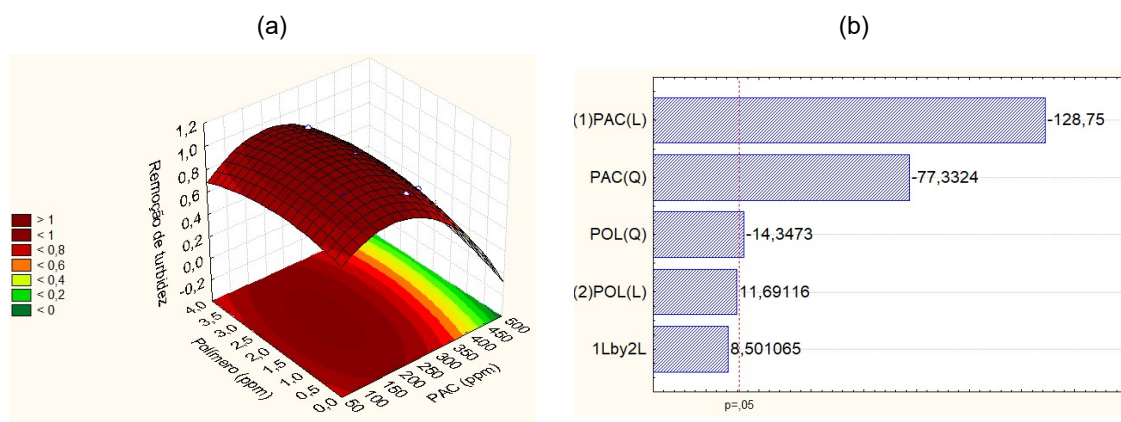


$$R^2 = 0,9581$$

$$PH = 0,00769COAG - 0,00002COAG^2 + 0,38860POL - 0,09852POL^2 - 0,0063COAG*POL + 0,00014$$

FONTE: A autora (2021).

FIGURA 20: REMOÇÃO DE TURBIDEZ - PAC: (a) SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (b) GRÁFICO DE PARETO



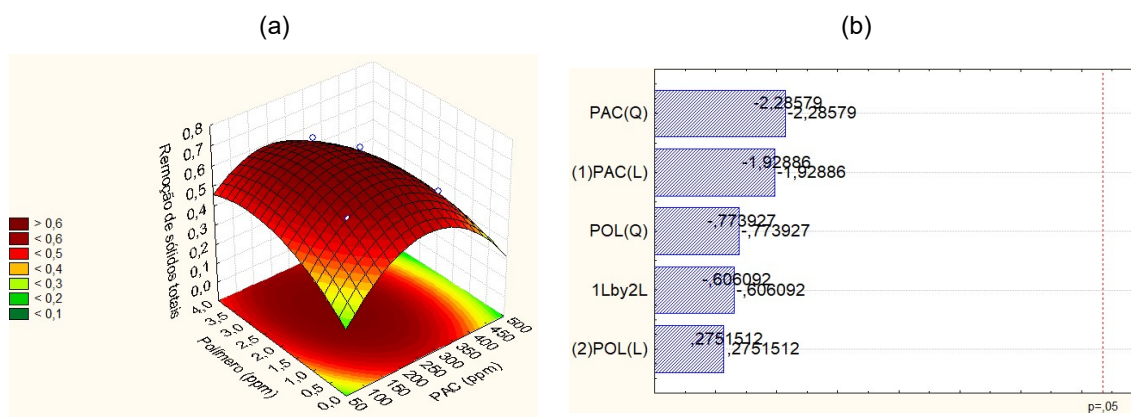
$$R^2 = 0,98898$$

$$PH = 0,00356COAG - 0,00001COAG^2 + 0,09153POL - 0,02840POL^2 + 0,00014COAG*POL + 0,589944$$

FONTE: A autora (2021).

Conforme o estudo de Schoenhals (2006), foram encontrados resultados de remoção de sólidos totais de até 65% utilizando o coagulante PAC no tratamento do efluente. Nesta pesquisa, foi encontrado resultado superior a 70% de remoção de sólidos totais, sendo considerado um processo de clarificação mais eficiente em termos desse parâmetro.

FIGURA 21: REMOÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS - PAC: (a) SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (b) GRÁFICO DE PARETO



$$R^2 = 0,88558$$

$$PH = 0,003196COAG - 0,000006COAG^2 + 0,190957POL - 0,031250POL^2 - 0,000209COAG*POL + 0,091595$$

FONTE: A autora (2021).

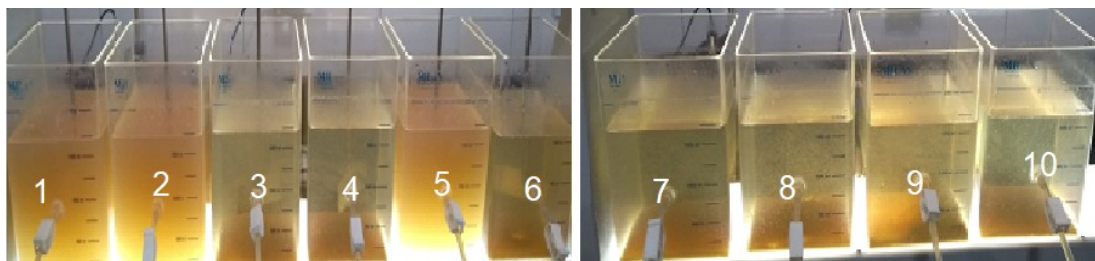
4.4 ENSAIOS UTILIZANDO COAGULANTE ORGÂNICO

Abaixo estão apresentados os resultados obtidos nos ensaios utilizando o coagulante orgânico a base de EpiDMA. Estão apresentadas as superfícies de resposta e gráfico de Pareto para cada parâmetro físico-químico analisado, bem como o R^2 e a equação da superfície de resposta. No APÊNDICE 3, são apresentados os dados numéricos obtidos nas análises no LPB e as análises de variância para os resultados obtidos.

Na FIGURA 22 podem ser observados os ensaios em *jar test* descritos na TABELA 3 na fase de decantação utilizando o coagulante orgânico a base de EpiDMA. A figura apresenta os 10 testes realizados em sequência, organizados em sequência crescente de 1 a 10 nos jarros de teste. Os testes de coagulação e

floculação com este flocculante tiveram um ótimo desempenho, não ocorrendo clarificação do efluente nos testes 1, 2 e 5, configurando-se subdosagem.

FIGURA 22: FASE DE DECANTAÇÃO DOS ENSAIOS UTILIZANDO COAGULANTE ORGÂNICO



FONTE: A autora (2021).

Na FIGURA 23 encontra-se a superfície de resposta e gráfico de Pareto obtidos para o parâmetro pH. A dosagem de coagulante orgânico Nalco™ 8100 gerou a basificação do efluente clarificado, sendo que isso pode ser explicado pela composição da molécula EpiDMA, que possui hidroxilas em suas ramificações. (BRAGANÇA, 2008). De acordo com o gráfico de Pareto, apenas o termo linear representou significância estatística para os resultados.

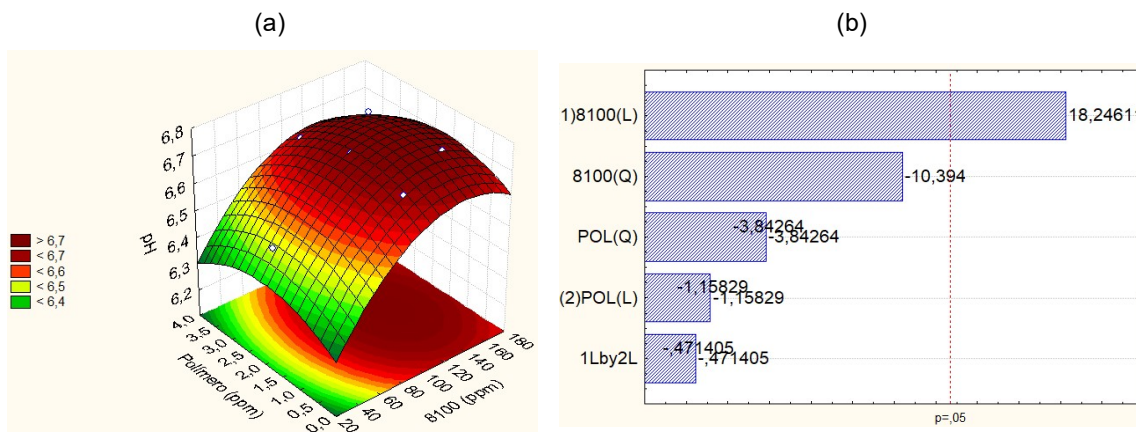
Na FIGURA 24 encontra-se a superfície de resposta obtida para o parâmetro alcalinidade total. A alcalinidade total das amostras de efluente clarificado não teve grande variação, ocorrendo uma leve diminuição com relação à alcalinidade do efluente bruto. Conforme o gráfico de Pareto, como os resultados foram muito próximos, nenhum termo foi representativo para as análises.

Na FIGURA 25 encontra-se a superfície de resposta e gráfico de Pareto obtida para o parâmetro remoção de cor. Os melhores resultados foram encontrados nos ensaios 4 e 8, com remoção de 75% e 69%. É possível observar que com menores dosagens de coagulante foi possível obter bons resultados de remoção, entretanto, devido as características do processo de coagulação a partir de orgânicos, forma-se coágulos menores, sendo necessária a adição de flocculantes. Esse fato pode ser comprovado pelo gráfico de Pareto, onde a dosagem de coagulante e flocculante foram significativas em termos estatísticos.

De acordo com a pesquisa de Ferrari (2015), foram obtidos resultados de remoção de cor e turbidez de até 95% e 98%, respectivamente, em faixas de dosagem de 200 ppm. Os resultados máximos obtidos na presente pesquisa foram

de 75% no ensaio 4, utilizando 150 ppm de coagulante e 3 ppm de floculante. O resultado inferior pode ser explicado com a menor dosagem aplicada para o coagulante nesse caso.

FIGURA 23: PH – 8100: (a) SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (b) GRÁFICO DE PARETO

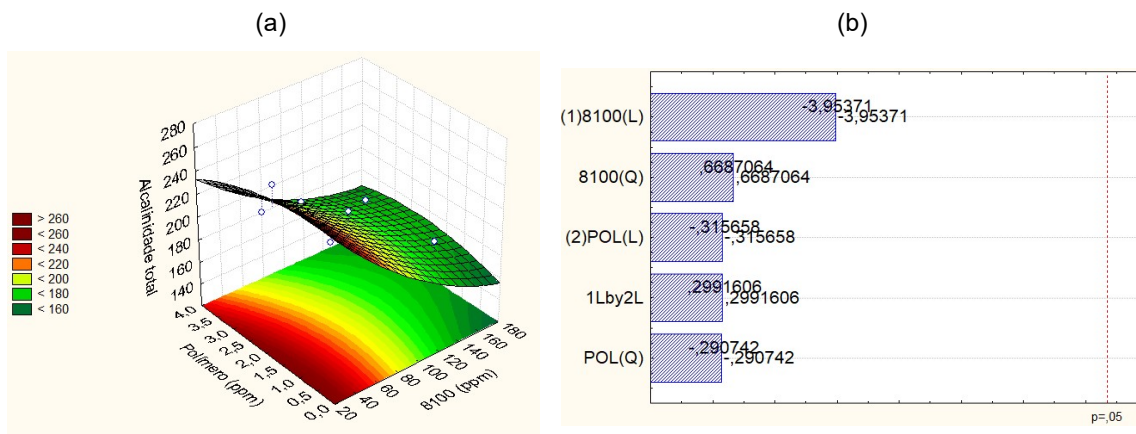


$$R^2 = 0,90984$$

$$PH = 0,00746COAG - 0,00003COAG^2 + 0,10254POL - 0,02542POL^2 - 0,00007COAG*POL + 6,16579$$

FONTE: A autora (2021).

FIGURA 24: ALCALINIDADE TOTAL - 8100: (a) SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (b) GRÁFICO DE PARETO

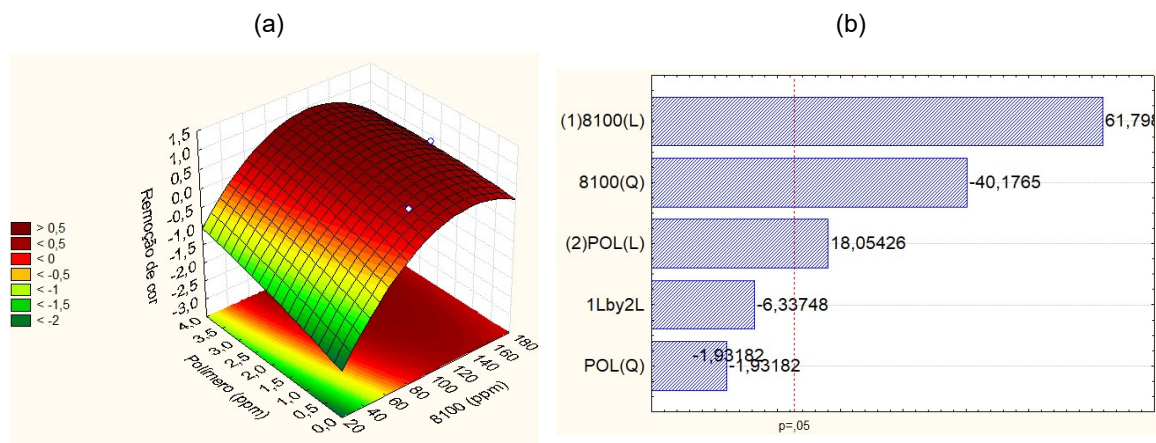


$$R^2 = 0,84884$$

$$PH = -1,1434COAG + 0,0024COAG^2 + 2,5825POL - 2,6371POL^2 - 0,0580COAG*POL + 282,1749$$

FONTE: A autora (2021).

FIGURA 25: REMOÇÃO DE COR - 8100: (a) SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (b) GRÁFICO DE PARETO



$$R^2 = 0,9655$$

$$PH = 0,0543COAG - 0,0002COAG^2 + 0,4290POL - 0,0237POL^2 - 0,0017COAG*POL - 3,2654$$

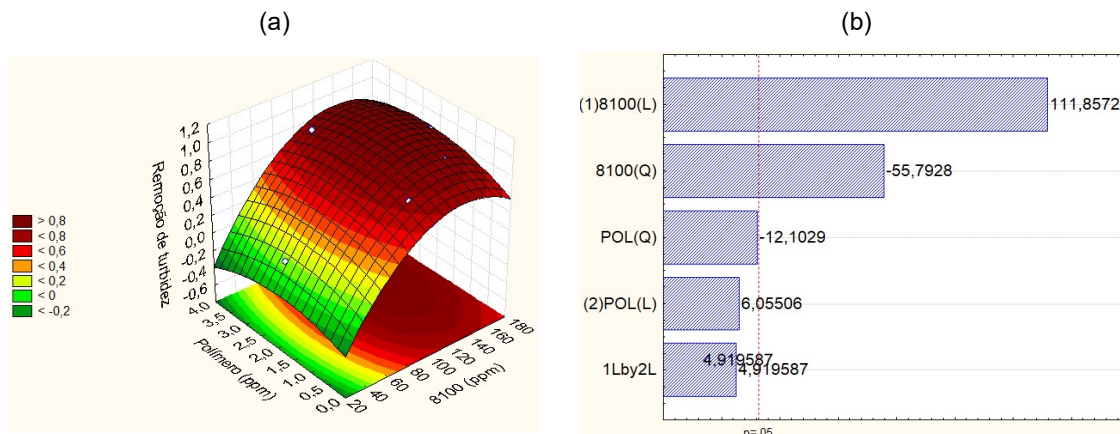
FONTE: A autora (2021).

Na FIGURA 26 encontra-se a superfície de resposta e gráfico de Pareto obtidos para o parâmetro remoção de turbidez. Os resultados acompanharam o parâmetro cor, em que as melhores faixas de dosagem de coagulante foram entre 120 a 170 ppm, e de floculante entre 1,5 e 3,5 ppm. Foram observadas remoções de turbidez de até 90% (ensaios 4 e 8), representando um bom desempenho do coagulante orgânico com relação a este parâmetro.

Na FIGURA 27 encontra-se a superfície de resposta e gráfico de Pareto obtidos para o parâmetro remoção de sólidos totais. A maior remoção de sólidos totais (53%) ocorreu para o ensaio 6, onde ocorreu a maior dosagem de coagulante e de floculante. A partir do gráfico de Pareto é possível observar que as dosagens de coagulante e floculante não exerceram influência estaticamente significativa em relação a este parâmetro

A partir de Cardoso (2003) foi observado que para faixas de pH de 6,55, utilizando coagulantes orgânicos é possível obter resultados de turbidez satisfatórios (em torno de 3 UNT). O autor também destaca a capacidade de gerar menos lodo no processo. Isso é considerado uma vantagem, reduzindo na fonte o problema de geração deste resíduo.

FIGURA 26: REMOÇÃO DE TURBIDEZ - 8100: (a) SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (b) GRÁFICO DE PARETO

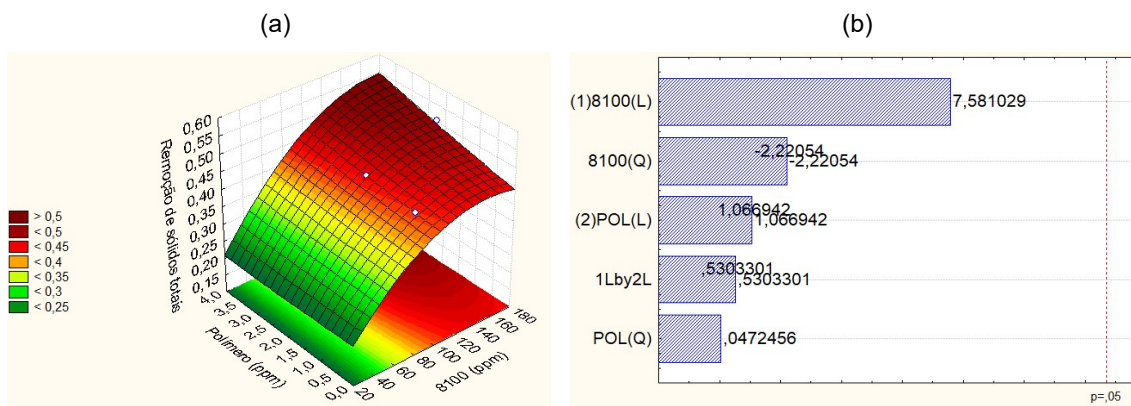


$$R^2 = 0,93667$$

$$PH = 0,0222COAG - 0,0001COAG^2 + 0,1584POL - 0,0451POL^2 + 0,0004COAG*POL - 0,7449$$

FONTE: A autora (2021).

FIGURA 27: REMOÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS - PAC: (a) SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (b) GRÁFICO DE PARETO



$$R^2 = 0,93071$$

$$PH = 0,00415COAG - 0,00001COAG^2 - 0,000794POL + 0,00073POL^2 - 0,00017COAG*POL + 0,13609$$

FONTE: A autora (2021).

4.5 COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO ENTRE OS COAGULANTES TESTADOS

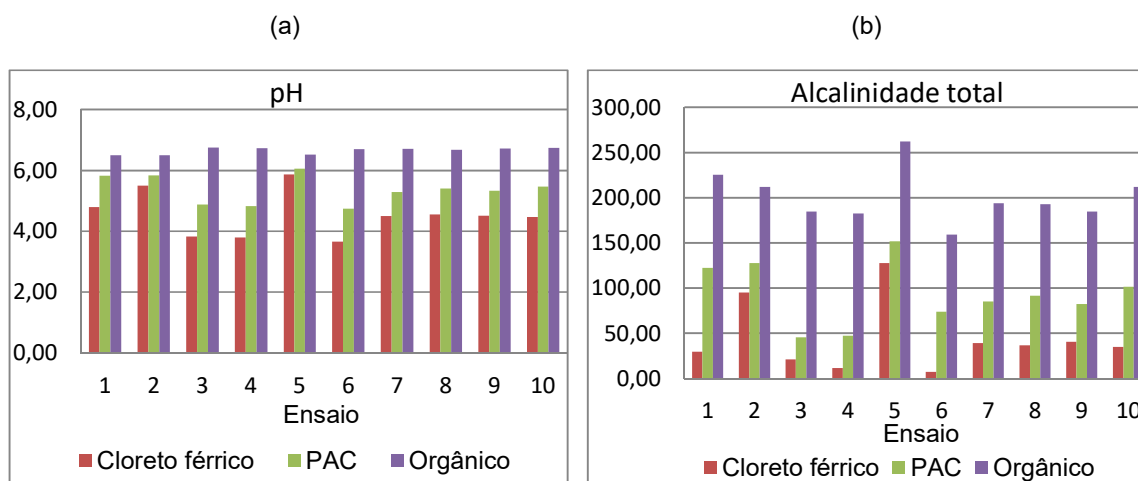
Na FIGURA 28 é possível observar um comparativo de desempenho de pH e alcalinidade total no tratamento físico-químico com os três coagulantes distintos. A partir do gráfico fica claro que o coagulante orgânico teve o melhor desempenho para as análises de pH e alcalinidade total, tendo resultados de pH mais próximos a neutralidade. É possível observar também que para os mesmos ensaios, o cloreto

férrico tornou o efluente clarificado do processo mais ácido do que o coagulante PAC.

A partir disso é possível observar que em termos de alcalinidade total e pH o coagulante orgânico teve o melhor desempenho. Isso pode ser explicado pelo fato dos coagulantes orgânicos não terem elementos que permitam a formação de substâncias ácidas no meio.

Além do coagulante orgânico, nos pontos de menores dosagens, o coagulante PAC manteve o pH estável (ensaios 1,2 e 5). A redução de alcalinidade total foi significativa para o PAC em relação ao efluente bruto, e isso ocorre devido a presença de íons cloretos que formam ácido clorídrico em meio aquoso, consumindo a alcalinidade do meio. O coagulante cloreto férrico teve os resultados de menor pH e menor alcalinidade total em todos os ensaios, demonstrando a necessidade de correção posterior do pH do efluente clarificado.

FIGURA 28: GRÁFICO DE COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO ENTRE OS COAGULANTES (a) PH (b) ALCALINIDADE TOTAL

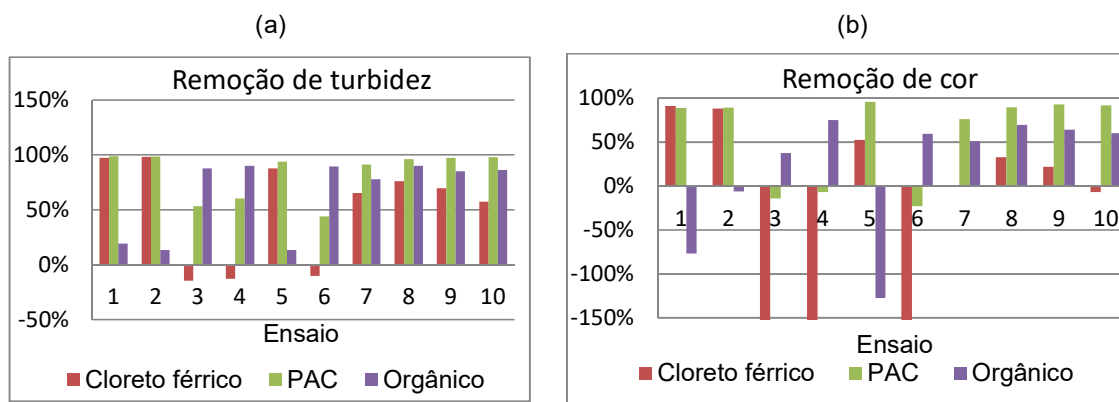


FONTE: A autora (2021).

A partir do FIGURA 29, é possível observar o gráfico desempenho dos coagulantes cloreto férrico, PAC e orgânico na remoção de turbidez e cor. É possível observar que nos pontos de maior dosagem, o coagulante orgânico teve melhor desempenho enquanto que para PAC e cloreto férrico foi configurada sobre dosagem, não tendo êxito no tratamento físico-químico do efluente.

A partir desse gráfico, também pode ser observado que o coagulante PAC teve os melhores resultados de remoção de turbidez e cor frente aos outros coagulantes testados. O coagulante orgânico teve um desempenho superior ao cloreto férrico nos pontos centrais do delineamento experimental. A partir disso, fica claro que os coagulantes PAC e orgânico são alternativas viáveis na substituição do cloreto férrico.

FIGURA 29: GRÁFICO DE COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO ENTRE OS COAGULANTES (a) REMOÇÃO DE TURBIDEZ (b) REMOÇÃO DE COR



FONTE: A autora (2021).

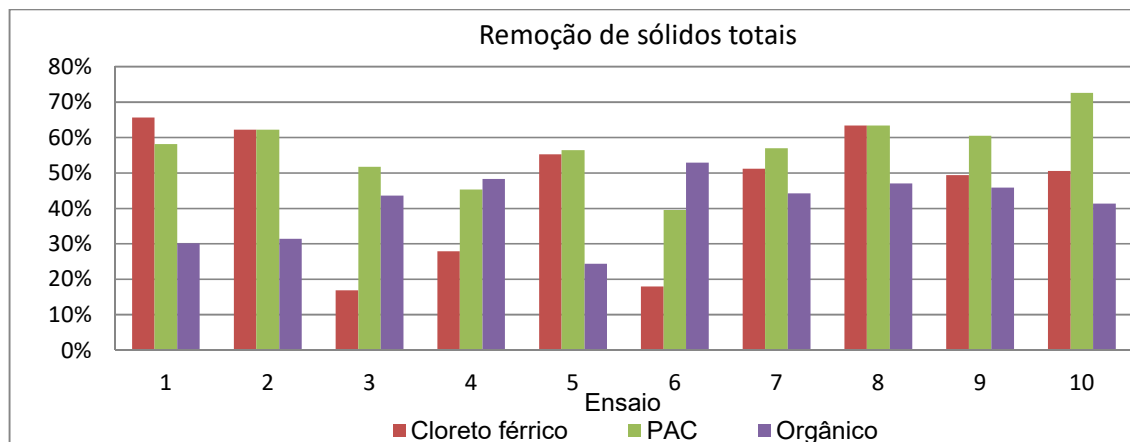
Na FIGURA 30 se encontra o comparativo de desempenho dos coagulantes em relação à remoção de sólidos totais nas amostras. Foi possível observar que o coagulante que obteve melhor desempenho foi o PAC, com 73 % de remoção de sólidos totais.

Também foi possível observar que existe o mesmo comportamento entre os coagulantes PAC e cloreto férrico. Nos pontos de menor dosagem (1, 2 e 5) obteve-se um bom desempenho na remoção de sólidos totais, e nos pontos de maior dosagem (3, 4 e 6), configurados como sobre dosagem, o coagulante cloreto férrico não conseguiu remoção além de 30 % e PAC em torno de 50 %.

O coagulante orgânico, assim como nos resultados de remoção de turbidez e cor, obteve bom desempenho nos pontos de maior dosagem. Entretanto, conforme FRANCIOZI (2020), os coagulantes orgânicos geram menos lodo do processo físico-químico. Haja vista, conseqüentemente retiram menos sólidos totais do efluente bruto, o que não necessariamente se vincula como uma desvantagem quando

relacionado com o aproveitamento energético do lodo, pois, apesar da menor disponibilidade, os volumes gerados ainda necessitariam de destinação apropriada.

FIGURA 30: GRÁFICO DE COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO DE REMOÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS ENTRE OS COAGULANTES



FONTE: A autora (2021).

Tendo em vista os resultados de desempenho dos três coagulantes testados, que os coagulantes PAC e Nalco™ 8100 são vantajosos ao sistema e podem ser utilizados como alternativas ao coagulante utilizado atualmente, cloreto férrico.

Além disso, conclui-se que, observando a tabela 3, foram dosados volumes menores de coagulante nos testes utilizando Nalco™ 8100. Isso pode implicar em várias vantagens ao processo, desde: bombas dosadoras menores, menor tempo operacional com relação a manuseio de químicos, custo com transporte, dentre outros.

5 CONCLUSÃO

Os sais de ferro são os coagulantes mais empregados atualmente nos processos de tratamento de efluentes industriais. Entretanto, sua utilização cria diversas desvantagens ao sistema, dentre elas: redução de pH do efluente clarificado e necessidade de utilização de alcalinizantes para o tratamento secundário, grande concentração de metais presentes no lodo gerado tornando-o um resíduo não biodegradável, corrosão de equipamentos, etc.

Através disso, surge a necessidade de substituir este coagulante por alternativas benéficas ao processo. Diante disso, o estudo caracterizou o efluente clarificado do processo de tratamento utilizando como coagulante o cloreto férrico, PAC e coagulante orgânico a base de EpiDMA.

Foram determinadas as dosagens ótimas para emprego dos distintos coagulantes e polímero, dentre elas: 200 mg.L⁻¹ de coagulante PAC e 2 mg.L⁻¹ de floculante, 140 mg.L⁻¹ de coagulante orgânico e 2,3 mg.L⁻¹ de floculante, e, por fim, 250 mg.L⁻¹ de cloreto férrico e 3 mg.L⁻¹ de floculante.

Através das análises físico-químicas realizadas, foi concluído que para o parâmetro de pH o coagulante orgânico causou leve basificação do meio, o PAC causou redução do pH devido aos cloretos presentes em sua composição, porém redução não tão expressiva como nos testes utilizando cloreto férrico, configurando o coagulante orgânico como melhor opção para o tratamento do efluente bruto. Os resultados de alcalinidade total foram correspondentes ao de pH, comprovando os fatos observados.

Quanto aos parâmetros turbidez e cor, o melhor resultado obtido foi utilizando o coagulante PAC (99% de remoção de turbidez e 96% de remoção de cor, no ponto ótimo), seguido do cloreto férrico (98% de remoção de turbidez e 91% de remoção de cor, no ponto ótimo) e coagulante orgânico (90% de remoção de turbidez e 75% de remoção de cor, no ponto ótimo). Entretanto, como se obteve bons resultados para todos os processos, todos os coagulantes testados foram considerados eficientes.

Com relação ao parâmetro sólidos totais, o coagulante PAC teve o melhor desempenho (73% de remoção de sólidos totais no ponto ótimo), seguido do cloreto férrico (66% de remoção de sólidos totais no ponto ótimo) e coagulante orgânico (53% de remoção de sólidos totais no ponto ótimo). Entretanto, devido à capacidade

dos coagulantes orgânicos em gerarem menor quantidade de lodo, é explicada a menor quantidade de sólidos removidos no tratamento utilizando o coagulante a base de EpiDMA.

Deste modo, com base nos resultados obtidos, é possível concluir que os coagulantes PAC e orgânicos a base de EpiDMA são alternativas viáveis para substituição do cloreto férrico como coagulante nos tratamentos físico-químicos de tratamento de efluentes de abatedouros de aves.

Além disso, a utilização de coagulantes orgânicos reduz a concentração de íons metálicos no lodo gerado no processo de tratamento. Visando o aproveitamento energético desse resíduo, menores concentrações de metais e cloretos no lodo são fatores chave para minimizar problemas com corrosão e emissões ocasionadas pela queima deste resíduo em fornalhas.

Tendo em vista a estabilidade no pH utilizando coagulantes orgânicos, dispensando o uso de alcalinizantes no processo secundários de tratamento de efluentes, ótimos resultados de remoção de turbidez e cor, menores volumes de dosagem e a possibilidade de menor geração de lodo, o coagulante orgânico é sugerido como substituto ao cloreto férrico.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando que este trabalho faz parte de um projeto de pesquisa que inclui mais etapas de estudo, ressalta-se a necessidade da realização de pesquisas incluindo:

- Caracterização da composição de metais presentes no efluente clarificado do processo;
- Encontrar pontos máximos de remoção de cor, turbidez e sólidos;
- Caracterização da composição da biomassa obtida a partir das dosagens ótimas estabelecidas com relação ao PCI, análise elementar, composição das cinzas e metais presentes na biomassa;
- Avaliar outros tipos de coagulantes orgânicos;
- Avaliar outros tipos de floculantes.

REFERÊNCIAS

BRAGANÇA, Ana Cristiana Calil Ramos. **Avaliação de reagentes alternativos para substituição da cal em sistema de bombeamento de longa distância de polpa de minério de ferro.** Disponível em: < https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/MAPO-7R5LBR/1/ana_cristina_calil_ramos_bragan_a.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2021.

BRASIL. **Ministério da Agricultura e do Abastecimento.** Portaria nº 210 de 10 de novembro de 1998. Disponível em: < https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Portaria-210_000h19kjan02wx7ha0e2uuw60rmjy11.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2021

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021. Procedimento de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União.** Disponível em: < [https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562#:~:text=1%C2%BA%20Esta%20Portaria%20disp%C3%B5e%20sobre,A](https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562#:~:text=1%C2%BA%20Esta%20Portaria%20disp%C3%B5e%20sobre,Art) rt>. Acesso em: 15 ago. 2021

BRASIL. **Congresso nacional.** Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 09 ago. 2021

CECCHET, Juliana. **Avaliação do desempenho de flotação por ar dissolvido no tratamento de efluente de refinaria de óleo de soja.** 2007. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2007.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. **Ministério do Meio Ambiente.** Disponível em: < http://www.adasa.df.gov.br/images/stories/anexos/8Legislacao/Res_CONAMA/Resolucao_CONAMA_430_2011.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2021.

DI BERNARDO, A. S. **Influência das condições de aplicação de polímeros catiônicos na eficiência da floculação.** São Carlos. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – USP.

EPE. **Balanco energético nacional de 2020.** Disponível em: < https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020_sp.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2021

FABRETI, A. A. **Pós-tratamento de efluente de lagoa de estabilização através de processo físico-químico.** Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo : s.n., 2006. p. 159

FAGNANI, Kátia Cristina. **Comparação do potencial energético do lodo gerado no tratamento físico-químico de efluentes provenientes do abate de aves**

utilizando diferentes coagulantes. 2017. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Tecnologia em Bioprodutos Agroindustriais, Universidade Federal do Paraná, Palotina, 2017.

FAO – USA. **Meat Market review**: overview of global meat market developments in 2020. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/cb3700en/cb3700en.pdf>>. Acesso em: 09 ago. 2021.

FERRARI, C. T. da R. R. **Uso de coagulantes naturais para o tratamento de efluente da indústria de alimentos**. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2160/1/MD_PPGTA_M_Ferrari%2C%20Crislaine%20Trevisan%20da%20Rocha%20Ribeiro_2015.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2021.

FRANCIOZI, S. A. **Uso de diferentes coagulantes no tratamento de efluente de abatedouro bovino e análise do potencial energético do lodo gerado**. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/67331/R%20-%20D%20-%20SARA%20ARRUDA%20FRANCIOZI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 09 ago. 2021.

GIROTTO, Angélica Trindade et al. **Secagem de lodos de efluentes industriais para queima na caldeira como biomassa na geração de energia e redução de custos com a destinação dos resíduos**. Anais de Engenharia de Produção - Uceff, Chapecó, v. 2, n. 1, p. 175-190, jan. 2018.

GOMES, Bárbara Maria Fritzen. **Pré-Tratamento Físico-Químico de Efluentes Industriais de um Abatedouro de Bovinos**. 2010. 77 f. TCC (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2010.

KEMIRA. **About water treatment**. Kemira, 2003.

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 – RJ. 2007.

LORA, E. S. **Prevenção e controle da poluição nos setores energético, industrial e transporte**. Brasília, DF: ANEEL, 2001.

MAGNAN, R. B. **Análise da viabilidade técnica e financeira da substituição do coagulante cloreto férrico por policloreto de alumínio durante o processo físico-químico no tratamento de efluente de abatedouro avícola**. Disponível em: <<http://usuarios.upf.br/~engeamb/TCCs/2010-2/RAFAEL%20MAGNAN.pdf>>. Acesso em: 09 ago. 2021.

MARAFON, A. C. et al. **Uso da biomassa para geração de energia**. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/155329/1/Doc-211.pdf>>. Acesso em: 16 março 2021.

MARQUES, T. R. et al. **Indústria frigorífica no Brasil: uma análise exploratória da concentração espacial**. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/163063/1/8062.pdf>>. Acesso em: 16 março 2021.

MELO, W.J., Marques, M.O.; Melo, V.P. **O uso agrícola do bio sólido e a suas propriedades do solo**. In: Bio sólido na agricultura. Cap. 12. Sabesp, Escola Politécnica – USP, ESALQ-USP/Nupegel, UNESP – Jaboticabal. São Paulo, 2001.

METCALF e EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 4 th. New York: McGraw-Hill, 2003.

NARDI, I. R.; FUZY, T. P.; NERY, V. D. **Performance evaluation and operating strategies of dissolved-air flotation system treating poultry slaughterhouse wastewater**. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344907001577>>. Acesso em: 09 ago. 2021.

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 Carlo. São Carlos – SP. 2001.

SCHOENHALS, M. **Avaliação da eficiência do processo de flotação aplicado ao tratamento primário de efluentes de abatedouro avícola**. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/88890/224900.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 20 ago. 2021.

SENA, R. F. et al. **Biofuel application of biomass obtained from a meat industry wastewater plant through the flotation process – a case study**. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344907001590>>. Acesso em: 09 ago. 2021.

SILVA, H. L. B. da. **Uso de membranas micropososas no tratamento de efluentes de um frigorífico de abate de aves**. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/101881/223540.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 09 ago. 2021.

SINDIAVIPAR. **Mapa da avicultura paranaense**. Disponível em: <<https://sindiavipar.com.br/mapa-da-avicultura/>>. Acesso em: 16 março 2021.

VANACÔR, R. N. **Avaliação do coagulante orgânico veta organic utilizado em uma estação de tratamento de água para abastecimento público**. Disponível em: < <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/6900/000492016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 09 ago. 2021.

VIRMOND, E. **Aproveitamento do lodo de tratamento primário de efluentes de um frigorífico como fonte de energia**. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/90825/244733.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> . Acesso em: 09 ago. 2021.

VON SPERLING, M. **Lodos Ativados**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1997. p. 416.

WERBERICH, T. **Diferente tipos de coagulantes no tratamento de efluente de frigorífico**. Disponível em: < <https://bdm.ufmt.br/bitstream/1/1272/1/TCC-2017-TALITA%20WERBERICH.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2021.

APÊNDICE 1 – CLORETO FÉRRICO

TABELA 4: PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS OBTIDOS NOS TESTES COM CLORETO FÉRRICO

Teste	Resultados						
	pH	Cor (%)	Turbidez (%)	Alcalinidade total	ST(%)	STF (%)	STV (%)
1	4,79	91	97	29,54	66	49	72
2	5,50	88	98	94,94	62	16	79
3	3,82	-182	-15	21,10	17	0	23
4	3,79	-156	-13	11,60	28	20	31
5	5,87	53	88	127,64	55	16	69
6	3,65	-188	-10	7,38	18	-11	29
7	4,50	-1	65	39,03	51	16	63
8	4,55	33	76	36,92	63	36	73
9	4,51	22	70	40,88	49	2	66
10	4,47	-7	57	34,81	51	31	57

FONTE: A autora (2021).

TABELA 5: ANOVA - TURBIDEZ CLORETO FÉRRICO

Fator	SS	Graus de liberdade	MS	F	p
CF (L)	1,632852	1	1,632852	216,1069	0,043239
CF (Q)	0,110797	1	0,110797	14,6640	0,162616
Pol (L)	0,003924	1	0,003924	0,5193	0,602461
Pol (Q)	0,000058	1	0,000058	0,0077	0,944329
1L * 2L	0,000045	1	0,000045	0,0060	0,950971
Lack of fit	0,122458	3	0,040819	5,4024	0,303942
Erro puro	0,007556	1	0,007556		
Total SS	1,905296	9			

FONTE: A autora (2021).

TABELA 6: ANOVA - COR CLORETO FÉRRICO

Fator	SS	Graus de liberdade	MS	F	p
CF (L)	9,17242	1	9,172417	223,5645	0,042514
CF (Q)	0,76625	1	0,766245	18,6761	0,144764
Pol (L)	0,06356	1	0,063559	1,5492	0,430885
Pol (Q)	0,00024	1	0,000237	0,0058	0,951728
1L * 2L	0,02050	1	0,020503	0,4997	0,608253
Lack of fit	0,43207	3	0,144022	3,5103	0,369461
Erro puro	0,04103	1	0,041028		
Total SS	10,68266	9			

FONTE: A autora (2021).

TABELA 7: ANOVA PH CLORETO FÉRRICO

Fator	SS	Graus de liberdade	MS	F	p
CF (L)	4,225714	1	4,225714	4500,761	0,009489
CF (Q)	0,040000	1	0,040000	42,604	0,096781
Pol (L)	0,071073	1	0,071073	75,699	0,072851
Pol (Q)	0,002445	1	0,002445	2,604	0,353195
1L * 2L	0,138136	1	0,138136	147,127	0,052366
Lack of fit	0,130031	3	0,043344	46,165	0,107674
Erro puro	0,000939	1	0,000939		
Total SS	4,628271	9			

FONTE: A autora (2021).

TABELA 8: ANOVA - ALCALINIDADE TOTAL CLORETO FÉRRICO

Fator	SS	Graus de liberdade	MS	F	p
CF (L)	8569,75	1	8569,749	465,8854	0,029473
CF (Q)	601,58	1	601,581	32,7043	0,110207
Pol (L)	350,11	1	350,113	19,0335	0,143444
Pol (Q)	49,67	1	49,675	2,7005	0,348016
1L * 2L	1402,30	1	1402,297	76,2344	0,072597
Lack of fit	1561,48	3	520,494	28,2961	0,137119
Erro puro	18,39	1	18,395		
Total SS	12881,33	9			

FONTE: A autora (2021).

TABELA 9: ANOVA - SÓLIDOS TOTAIS CLORETO FÉRRICO

Fator	SS	Graus de liberdade	MS	F	p
CF (L)	0,230390	1	0,230390	3407,923	0,010904
CF (Q)	0,026619	1	0,026619	393,750	0,032056
Pol (L)	0,007703	1	0,007703	113,948	0,059465
Pol (Q)	0,003305	1	0,003305	48,893	0,090432
1L * 2L	0,005282	1	0,005282	78,125	0,071720
Lack of fit	0,015676	3	0,005225	77,293	0,083374
Erro puro	0,000068	1	0,000068		
Total SS	0,305625	9			

FONTE: A autora (2021).

APÊNDICE 2 – PAC

TABELA 10: PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS OBTIDOS NOS TESTES COM PAC

Teste	Resultados						
	pH	Cor (%)	Turbidez (%)	Alcalinidade total	ST(%)	STF (%)	STV (%)
1	5,83	89	99	122,36	58	27	69
2	5,84	89	99	127,64	62	27	74
3	4,88	-14	53	45,36	52	29	60
4	4,83	-7	60	47,47	45	20	55
5	6,05	96	94	151,90	56	27	67
6	4,74	-23	44	73,84	40	33	42
7	5,29	76	91	85,44	57	29	68
8	5,40	89	96	91,77	63	76	59
9	5,34	93	97	82,28	60	33	70
10	5,46	92	98	101,27	73	78	71

FONTE: A autora (2021).

TABELA 11: ANOVA - TURBIDEZ PAC

Fator	SS	Graus de liberdade	MS	F	p
PAC (L)	0,296995	1	0,296995	16576,44	0,004945
PAC (Q)	0,107147	1	0,107147	5980,30	0,008232
Pol (L)	0,002449	1	0,002449	136,68	0,054321
Pol (Q)	0,003688	1	0,003688	205,84	0,044300
1L * 2L	0,001295	1	0,001295	72,27	0,074544
Lack of fit	0,004614	3	0,001538	85,84	0,079137
Erro puro	0,000018	1	0,000018		
Total SS	0,420272	9			

FONTE: A autora (2021).

TABELA 12: ANOVA - COR PAC

Fator	SS	Graus de liberdade	MS	F	p
PAC (L)	1,678949	1	1,678949	15216,05	0,005161
PAC (Q)	0,499755	1	0,499755	4529,20	0,009459
Pol (L)	0,008640	1	0,008640	78,31	0,071638
Pol (Q)	0,044374	1	0,044374	402,16	0,031719
1L * 2L	0,001216	1	0,001216	11,02	0,186278
Lack of fit	0,096068	3	0,032023	290,22	0,043118
Erro puro	0,000110	1	0,000110		
Total SS	2,295179	9			

FONTE: A autora (2021).

TABELA 13: ANOVA - PH PAC

Fator	SS	Graus de liberdade	MS	F	p
PAC (L)	1,824687	1	1,824687	239,9150	0,041044
PAC (Q)	0,000334	1	0,000334	0,0439	0,868583
Pol (L)	0,001910	1	0,001910	0,2511	0,704260
Pol (Q)	0,005143	1	0,005143	0,6762	0,561873
1L * 2L	0,000803	1	0,000803	0,1056	0,800019
Lack of fit	0,007421	3	0,002474	0,3252	0,822197
Erro puro	0,007606	1	0,007606		
Total SS	1,847760	9			

FONTE: A autora (2021).

TABELA 14: ANOVA - ALCALINIDADE TOTAL PAC

Fator	SS	Graus de liberdade	MS	F	p
PAC (L)	8948,89	1	8948,892	49,64447	0,089754
PAC (Q)	210,80	1	210,800	1,16942	0,475116
Pol (L)	33,35	1	33,353	0,18503	0,741391
Pol (Q)	130,37	1	130,366	0,72321	0,551350
1L * 2L	2,50	1	2,504	0,01389	0,925318
Lack of fit	725,76	3	241,921	1,34207	0,548485
Erro puro	180,26	1	180,260		
Total SS	10482,76	9			

FONTE: A autora (2021).

TABELA 15: ANOVA - SÓLIDOS TOTAIS PAC

Fator	SS	Graus de liberdade	MS	F	p
PAC (L)	0,027730	1	0,027730	3,720508	0,304489
PAC (Q)	0,038942	1	0,038942	5,224814	0,262541
Pol (L)	0,000564	1	0,000564	0,075708	0,829063
Pol (Q)	0,004464	1	0,004464	0,598963	0,580697
1L * 2L	0,002738	1	0,002738	0,367347	0,653114
Lack of fit	0,001637	3	0,000546	0,073219	0,965618
Erro puro	0,007453	1	0,007453		
Total SS	0,079452	9			

FONTE: A autora (2021).

APÊNDICE 3 – COAGULANTE ORGÂNICO A BASE DE EPIDMA

TABELA 16: PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS OBTIDOS NOS TESTES COM COAGULANTE ORGÂNICO

Teste	Resultados						
	pH	Cor (%)	Turbidez (%)	Alcalinidade total	ST(%)	STF (%)	STV (%)
1	6,50	-77	19	225,74	30	27	32
2	6,50	-6	14	212,03	31	33	23
3	6,74	37	88	184,60	44	36	46
4	6,73	75	90	182,49	48	20	58
5	6,52	-127	13	262,66	24	24	24
6	6,69	59	89	159,28	53	69	47
7	6,70	51	78	194,09	44	40	46
8	6,68	69	90	193,04	47	44	48
9	6,72	64	85	184,60	46	40	47
10	6,74	60	86	212,03	41	16	50

FONTE: A autora (2021).

TABELA 17: ANOVA - TURBIDEZ 8100

Fator	SS	Graus de liberdade	MS	F	p
8100 (L)	0,795637	1	0,795637	12512,03	0,005691
8100 (Q)	0,197944	1	0,197944	3112,83	0,011409
Pol (L)	0,002331	1	0,002331	36,66	0,104198
Pol (Q)	0,009315	1	0,009315	146,48	0,052481
1L * 2L	0,001539	1	0,001539	24,20	0,127666
Lack of fit	0,068116	3	0,022705	357,06	0,038879
Erro puro	0,000064	1	0,000064		
Total SS	1,076493	9			

FONTE: A autora (2021).

TABELA 18: ANOVA - COR 8100

Fator	SS	Graus de liberdade	MS	F	p
8100 (L)	2,633689	1	2,633689	3818,994	0,010301
8100 (Q)	1,113167	1	1,113167	1614,154	0,015842
Pol (L)	0,224789	1	0,224789	325,956	0,035225
Pol (Q)	0,002574	1	0,002574	3,732	0,304091
1L * 2L	0,027698	1	0,027698	40,164	0,099632
Lack of fit	0,149254	3	0,049751	72,142	0,086282
Erro puro	0,000690	1	0,000690		
Total SS	4,346701	9			

FONTE: A autora (2021).

TABELA 19: ANOVA - PH 8100

Fator	SS	Graus de liberdade	MS	F	p
8100 (L)	0,066584	1	0,066584	332,9205	0,034856
8100 (Q)	0,021607	1	0,021607	108,0357	0,061061
Pol (L)	0,000268	1	0,000268	1,3416	0,453393
Pol (Q)	0,002953	1	0,002953	14,7659	0,162078
1L * 2L	0,000044	1	0,000044	0,2222	0,719562
Lack of fit	0,008675	3	0,002892	14,4589	0,190411
Erro puro	0,000200	1	0,000200		
Total SS	0,097471	9			

FONTE: A autora (2021).

TABELA 20: ANOVA - ALCALINIDADE TOTAL 8100

Fator	SS	Graus de liberdade	MS	F	p
8100 (L)	5879,084	1	5879,084	15,63182	0,157711
8100 (Q)	168,179	1	168,179	0,44717	0,624768
Pol (L)	37,474	1	37,474	0,09964	0,805348
Pol (Q)	31,792	1	31,792	0,08453	0,819874
1L * 2L	33,66	1	33,66	0,0895	0,814943
Lack of fit	740,806	3	246,935	0,65657	0,69498
Erro puro	376,097	1	376,097		
Total SS	7388,862	9			

FONTE: A autora (2021).

TABELA 21: ANOVA - SÓLIDOS TOTAIS 8100

Fator	SS	Graus de liberdade	MS	F	p
8100 (L)	0,062165	1	0,062165	57,472	0,083493
8100 (Q)	0,005333	1	0,005333	4,9308	0,269378
Pol (L)	0,001231	1	0,001231	1,13836	0,479389
Pol (Q)	0,000002	1	0,000002	0,00223	0,969945
1L * 2L	0,000304	1	0,000304	0,28125	0,689574
Lack of fit	0,004157	3	0,001386	1,28092	0,558001

Erro puro	0,001082	1	0,001082	
Total SS	0,075595	9		

FONTE: A autora (2021).