



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
LAÍS CORREIA

**REDIMENSIONAMENTO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE
UMA INDÚSTRIA GRÁFICA NO SUL DE SANTA CATARINA**

Tubarão
2019



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
LAÍS CORREIA

**REDIMENSIONAMENTO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE
UMA INDÚSTRIA GRÁFICA NO SUL DE SANTA CATARINA**

Relatório Técnico/Científico apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Prof. Dr. Marcos Marcelino Mazzucco (Orientador)

Tubarão

2019

LAÍS CORREIA

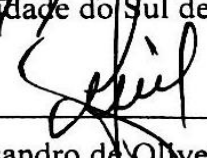
**REDIMENSIONAMENTO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
EFLUENTES DE UMA INDÚSTRIA GRÁFICA NO SUL DE SANTA
CATARINA**

Este relatório técnico/científico foi julgado adequado à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia Química da Universidade do Sul de Santa Catarina.

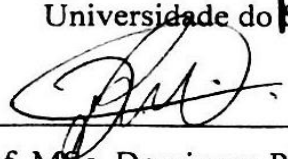
Tubarão, 29 de novembro de 2019.



Prof. Dr. Marcos Marcelino Mazzucco (Orientador)
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof. MSc. Alessandro de Oliveira Limas (Avaliador)
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof. MSc. Domingos Pignatell Marcon (Avaliador)
Universidade do Sul de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus por ter me mantido forte na caminhada universitária e, principalmente, durante este projeto de pesquisa.

Sou grata à minha família pelo apoio que me deram durante toda a minha vida. A todos os meus amigos do curso de graduação, principalmente: Jéssica Antunes, Shaymon Reis, Juliana Figueredo, Mileny Marques, Andreza Mariot e Stefany Zimmermann Machado, que compartilharam dos inúmeros desafios que enfrentamos, sempre com o espírito colaborativo.

Ao supervisor de estágio e professor Wilson Alano pelo profissionalismo, compreensão e pela grande atenção que se tornou essencial para que o projeto fosse concluído.

Ao Vicente, técnico de laboratório, pelo zelo aos materiais utilizados.

Meu reconhecimento e admiração pelo responsável da disciplina de estágio obrigatório, Gilson Rocha Reynaldo, por toda sua paciência, amizade, sabedoria e carinho ao decorrer da disciplina.

Deixo um agradecimento especial ao meu orientador pelo incentivo e pela dedicação do seu escasso tempo ao meu projeto de pesquisa.

Também quero agradecer à Universidade e a todos os professores do meu curso pela elevada qualidade do ensino oferecido.

RESUMO

Mesmo com o avanço das novas tecnologias digitais de informação e comunicação, as indústrias gráficas ainda se desenvolvem substancialmente no Brasil. Entretanto, existem normas reguladoras da emissão de efluentes que impactam diretamente neste setor industrial. Por isso, este estudo buscou determinar a possibilidade de adequação dos parâmetros de operação de uma estação de tratamento de efluentes industriais de uma gráfica no sul de Santa Catarina com o aprimoramento de processo existente, sempre em consonância com a legislação ambiental atual. Para tanto, elaborou-se um rigoroso planejamento, no sentido de perceber-se quais indicadores mais adequados às alterações pretendidas. A investigação realizada possuiu método de procedimento experimental, com abordagem qualitativa/indutiva e nível explicativo. Buscou-se na literatura, autores especialistas com obras consagradas na área para a fundamentação da pesquisa como Di Bernardo, Nunes, Von Sperling, entre outros, além das normas reguladoras apresentadas pela legislação em vigor. Observou-se que, a caracterização do efluente gerado na indústria gráfica investigada mostrou-se bastante variável em sua composição em função do tipo e demanda de cada sistema de impressão. Sobre as características físico-químicas do efluente, pode-se observar que apenas um parâmetro estava desregulado, o Potencial Hidrogeniônico. Para corrigi-lo, buscaram-se alternativas econômicas para sua adequação. Dentre elas está o dimensionamento do medidor de vazão que por meio da quantificação, foi possível ajustar as bombas dosadoras e evitar o desperdício de reagentes utilizados na estação de tratamento de efluentes compacta. A partir dos estudos realizados, as implementações estão sendo operacionalizadas dada a urgência do tratamento do descarte para a empresa. As alterações operacionais sugeridas e aceitas pela empresa geraram custos, porém, buscou-se sempre alternativas mais econômicas e que fossem satisfatórias para os da indústria. Na trajetória da pesquisa surgiram alguns resultados não presentes ou previstos pela literatura, logo, pela própria prática e experiência dos orientadores e acadêmica, desenvolveu-se a melhor adequação para a situação atual da estação de tratamento de efluentes da empresa. Finalmente, dentre as sugestões de temas futuros, estão os ensaios para caracterizar o efluente, a análise de eficiência para diferentes coagulantes, o estudo do potencial zeta na estação de tratamento de efluentes compacta e o reaproveitamento do efluente tratado para os sistemas de impressão.

Palavras-chave: Tratamento de efluentes; Estação de tratamento de efluentes compacta; Efluentes de indústria gráfica.

ABSTRACT

Even with the improvement of new digital information and communication technologies, the printing industries are still developing substantially in Brazil. However, there are rules governing the emission of effluents that directly impact this industrial sector. Therefore, this study target to determine the possibility of adjusting the operating parameters of an industrial wastewater treatment plant of a printing shop in southern Santa Catarina, with the existing process improvement, always in line with the current environmental legislation. Therefore, a rigorous planning was elaborated, in order to understand which indicators are more appropriate to the intended changes. The research carried out had experimental procedure method, with qualitative / inductive approach and explanatory level. We searched the literature for expert authors with well-known works in the area for the foundation of the research such as Di Bernardo, Nunes, Von Sperling, among others, besides the regulatory norms presented by the current legislation. It was observed that the characterization of the effluent in the printing industry investigated was quite variable in its composition as a function of the type and demand of each printing system. Regarding the physicochemical characteristics of the effluent, it can be observed that only one parameter was unregulated, the hydrogen potential. To correct it, economic alternatives were searched for its suitability. Among them is the flowmeter sizing which, through its quantification, was possible adjust the metering pumps and avoid the waste of reagents used in the compact wastewater treatment plant. From The carried out studies, the implementations are being operational by given the urgency of the disposal treatment for the company. The operational changes suggested and accepted by the company generated costs, however, always in search for more economical alternatives that were satisfactory to those of the industry. In the research trajectory some results not present or foreseen in the literature emerged, therefore, by the own practice and experience of the advisors and academic, the best fit for the current situation of the company's wastewater treatment plant was developed. Finally, suggestions for future themes include tests to characterize wastewater, efficiency analysis for different coagulants, study of zeta potential in compact wastewater treatment plant and reuse of treated effluent for printing systems.

Keywords: Wastewater treatment; Compact wastewater treatment plant; Wastewater from the printing industry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Principais sistemas de impressão da indústria gráfica.	15
Figura 2: Principais operações de pós-impressão.	16
Figura 3: Reações de ajuste de pH.	27
Figura 4: Reações de hidrólise a temperatura 25°C.	30
Figura 5: Ensaio de decantação.	33
Figura 6: Dimensões do tubo Venturi Clássico.	42
Figura 7: Medição pH inicial. Ensaio 19/09/2019.	51
Figura 8: Correção medição pH inicial. Ensaio 19/09/2019.	52
Figura 9: Equipamento <i>jar test</i> . Ensaio 19/09/2019.	52
Figura 10: Resultado decantação <i>jar test</i> I. Ensaio 19/09/2019.	52
Figura 11: Medição pH inicial. Ensaio 19/09/2019.	54
Figura 12: Correção medição pH inicial. Ensaio 19/09/2019.	54
Figura 13: Resultado decantação <i>jar test</i> II. Ensaio 19/09/2019.	55
Figura 14: Medição pH inicial. Ensaio 22/09/2019.	60
Figura 15: Correção pH inicial. Ensaio 22/09/2019.	61
Figura 16: Resultado ensaio para determinação de dosagem ótima de polímero catiônico. Ensaio 22/09/2019.	62
Figura 17: Resultado <i>jar test</i> III. Ensaio 22/09/2019.	63
Figura 18: Resultado <i>jar test</i> IV. Ensaio 22/09/2019.	64
Figura 19: Resultados <i>jar test</i> V. Ensaio 26/09/2019.	65
Figura 20: Resultados ensaio determinação polímero catiônico. Ensaio 26/09/2019.	66
Figura 21: Resultados ensaio determinação polímero aniônico. Ensaio 26/09/2019.	66
Figura 22: Ilustração ETE compacta com vista superior.	67
Figura 23: Manômetro do tipo U.	72
Figura 24: Manômetro tipo U inclinado.	72
Figura 25: Medidor de vazão.	75
Figura 26: Etapa mistura rápida e floculação ETE compacta.	76
Figura 27: Projeção chicanas na ETE compacta	76
Figura 28: Especificações tanque de correção de pH.	77
Figura 29: Tanque de correção final.	78
Figura 30: Projeto ETE compacta.	79

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Monitoramento do pH do efluente	50
Gráfico 2: Monitoramento sedimentação amostra 1.	57
Gráfico 3: Monitoramento sedimentação da amostra 2.....	57
Gráfico 4: Monitoramento sedimentação da amostra 3.....	58
Gráfico 5: Monitoramento sedimentação da amostra 4.....	58
Gráfico 6: Monitoramento sedimentação da amostra 5.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição Tinta <i>Offset</i>	18
Tabela 2: Composição Tinta Flexográfica.....	19
Tabela 3: Composição Tinta UV	19
Tabela 4: Padrões de lançamento de efluente nos corpos receptores.	36
Tabela 5: Parâmetros e seus limites para lançamento de efluente.....	37
Tabela 6: Propriedades do fluido a ser medido e tipos de medidores	41
Tabela 7: Considerações econômicas, vantagens e desvantagens de cada medidor.....	41
Tabela 8: Materiais utilizados no procedimento experimental.....	47
Tabela 9: Monitoramento pH.....	49
Tabela 10: <i>Jar test</i> I. Ensaio 19/09/2019.	51
Tabela 11: <i>Jar test</i> II. Ensaio 19/09/2019.....	53
Tabela 12: Monitoramento sedimentação da amostra 1. Ensaio 19/09/2019.	56
Tabela 13: Resumo do procedimento para determinação do tempo ótimo de agitação. Ensaio 19/09/2019.	59
Tabela 14: Resumo procedimento experimental. Ensaio 22/09/2019.	61
Tabela 15: Ensaio <i>jar test</i> III realizado 22/09/2019.	62
Tabela 16: Resumo <i>jar test</i> IV. Ensaio 22/09/2019.	63
Tabela 17: Resumo procedimento <i>jar test</i> V. Ensaio 26/09/2019.	64
Tabela 18: Resumo experimental na determinação de polímero catiônico. Ensaio 26/09/2019.	65
Tabela 19: Resumo experimental na determinação de polímero aniônico. Ensaio 26/09/2019.	66
Tabela 20: Resultados massa específica a 20°C. Ensaio 16/10/2019.	70
Tabela 21: Medições de vazão.....	70
Tabela 22: Tabela de leitura da altura do manômetro e vazão.	74
Tabela 23: Custos de materiais.....	79
Tabela 24: Modelos e propriedades Bombas EX.	80

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 JUSTIFICATIVA E PROBLEMA	12
1.2 HIPÓTESES PARCIAIS	13
1.3 OBJETIVOS	13
1.3.1 Geral.....	14
1.3.1.1 Específicos.....	14
1.4 RELEVÂNCIA AMBIENTAL, SOCIAL E CIENTÍFICA	14
2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	15
2.1 INDÚSTRIA GRÁFICA	15
2.1.1 Offset	16
2.1.2 Flexografia	17
2.1.3 Serigrafia.....	17
2.2 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE	18
2.2.1 Parâmetros das águas residuárias e efluentes	20
2.2.1.1 Matéria orgânica.....	20
2.2.1.1.1 <i>Demanda Bioquímica de Oxigênio-DBO</i>	20
2.2.1.1.2 <i>Demanda Química de Oxigênio- DQO</i>	21
2.2.1.2 Sólidos Totais	21
2.2.1.3 Potencial Hidrogeniônico	22
2.2.1.4 Cor.....	22
2.2.1.5 Turbidez.....	22
2.2.1.6 Compostos tóxicos.....	23
2.2.1.7 Nutrientes	23
2.3 ESTADO COLOIDAL	24
2.4 PROCESSOS QUE ENVOLVEM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE	24
2.4.1 Equalização	25
2.4.2 Correção de pH.....	26
2.4.3 Coagulação.....	27
2.4.3.1 Sulfato de Alumínio	29
2.4.3.2 Polieletrólitos.....	30

2.4.4 Floculação	31
2.4.5 Decantação	32
2.5 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO COMPACTA	34
2.6 LEGISLAÇÃO VIGENTE	34
2.6.1 CONAMA Resolução 430/11	35
2.6.2 IMA Lei 14.675/09	37
2.7 FATORES PARA MAXIMIZAR A EFICIÊNCIA OPERACIONAL E FINANCEIRA DE UMA ETE	38
2.7.1 Dosagem ótima.....	39
2.7.2 Medidor de vazão	40
2.7.3 Análise financeira.....	44
3 MATERIAL E MÉTODOS	45
3.1 PESQUISANDO CIENTIFICAMENTE	45
3.2 O ESTUDO REALIZADO	45
3.3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO	47
3.3.1 Materiais	47
3.3.2 Monitoramento do pH	48
3.3.3 Dosagem ótima de coagulante	48
3.3.4 Ensaio para determinar o tempo de agitação ótimo	48
3.3.5 Dosagem ótima de polímeros.....	49
3.4 ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	49
3.4.1 Monitoramento do pH	49
3.4.2 Dosagem ótima de coagulante	51
3.4.3 Ensaio para determinar o tempo ótimo de agitação	56
3.4.4 Dosagem ótima de polímeros.....	60
3.4.5 Redimensionamento da ETE compacta	67
3.4.5.1 Composição estrutural ETE compacta	67
3.4.5.2 Determinação massa específica e viscosidade do efluente.....	69
3.4.5.3 Determinação vazão do efluente	70
3.4.5.4 Dimensionamento de um medidor de vazão	71
3.4.5.5 Alterações mistura rápida e floculação.....	75
3.4.5.6 Dimensionamento tanque correção de pH.....	77
3.4.5.7 Levantamento de custos	78
3.4.6 Dosagens indicadas.....	80

4 CONCLUSÃO.....	83
REFERÊNCIAS.....	84
ANEXOS.....	87
ANEXO A – PROPRIEDADES FÍSICAS DA ÁGUA E FLUIDO MANOMÉTRICO..	88
ANEXO B – FICHA TÉCNICA TUBO ÁGUA FRIA AMANCO.	89
ANEXO C – RUGOSIDADE DOS TUBOS.....	90
ANEXO D – GRÁFICO DE MOODY.....	91

1 INTRODUÇÃO

A elevada quantidade de efluentes oriundos da atividade industrial ultimamente traz grandes preocupações ambientais, principalmente no que tange ao seu descarte inadequado, causando sérios problemas de contaminação ambiental e implicando na limitação de água potável do planeta. Uma vez que a água doce é um recurso natural finito, essas ações humanas irracionais antecipam a escassez de água para o consumo humano.

Dessa maneira, o tratamento dos efluentes e águas torna-se imprescindível, eliminando impurezas incorporadas que resultam em contaminação e poluição dos recursos hídricos. Para tanto, os profissionais da área de saneamento e químicos necessitam trabalhar de maneira conjunta inter-relacionando os aspectos influenciadores na potabilidade da água e descarte adequado através de tratamentos eficientes para o consumo direto ou indireto.

Nesse contexto, mediante análises e pesquisas o presente relatório está inserido e aplicado a uma estação de tratamento de efluentes (ETE) de uma gráfica. O estudo visa a compreensão e otimização do funcionamento da ETE e seus principais processos, respectivamente: coagulação, floculação e decantação. A coagulação consiste na adição de produto químico, conhecido como coagulante no efluente bruto e agitação para homogeneização da mistura; a floculação consiste na formação de flocos através da mistura lenta, na qual as partículas (coágulos) desestabilizadas se agrupam e formam moléculas maiores; e a decantação compreende a separação dos sólidos sedimentáveis no líquido.

Durante as análises buscou-se determinar alguns parâmetros da coagulação química e floculação para a utilização do Sulfato de Alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), Polímero Catiônico e Aniônico, os quais definirão a dosagem ótima de produtos químicos; realizou-se também um levantamento de custos para devidas alterações na ETE.

1.1 JUSTIFICATIVA E PROBLEMA

O intenso desenvolvimento populacional mundial nos últimos anos evidencia o crescimento dos setores industrial, pecuária, agrícola e serviço para abastecer a demanda progressiva e consumo indiscriminado. Assim, o aumento de despejos dos resíduos industriais, torna-se um dos principais causadores da poluição e contaminação dos recursos hídricos, como

também desequilibram os ecossistemas reduzindo a qualidade de vida e a longevidade humana, travando uma luta entre desenvolvimento versus degradação.

As águas residuais industriais e esgoto doméstico devem estar, obrigatoriamente, aptos, atendendo aos padrões exigidos legalmente para prevenir a poluição e a contaminação das águas e lençóis freáticos, evitando danos ao meio ambiente e à saúde pública. No entanto, é notória existência da imperícia relacionada às consequências do descarte inadequado dos resíduos, principalmente em micro e pequenos negócios.

As atividades industriais gráficas no Brasil encontram-se em desenvolvimento positivo em todo país, dentre as regiões, está a Região Sul. As normas e legislações pertinentes do setor por meio de indicadores apontam que não necessariamente são aplicáveis nas atuais indústrias gráficas brasileiras. A busca pela sustentabilidade nesse ramo é de grande relevância para o meio ambiente.

Nesse sentido, a questão central de nossa investigação: **é possível a adequação dos parâmetros de operação de uma estação de tratamento de efluentes industriais de uma gráfica no sul de Santa Catarina, aprimorando o processo existente sempre em consonância com a legislação ambiental atual, em estudo realizado em 2019?**

1.2 HIPÓTESES PARCIAIS

- a) O monitoramento do Potencial Hidrogeniônico do efluente trará eficiência no tratamento;
- b) O dimensionamento de um medidor de vazão para os afluentes da estação influenciará na dosagem dos reagentes;
- c) O *Jar Test* resultará na quantidade de reagentes utilizadas na ETE;
- d) O tempo de floculação implicará na adequação dos parâmetros.

1.3 OBJETIVOS

Neste tópico estão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos.

1.3.1 Geral

Adequar os parâmetros de operação de uma estação de tratamento de efluentes industriais de uma gráfica no sul de Santa Catarina, visando aprimorar o processo existente, sempre em consonância com a legislação ambiental atual.

1.3.1.1 Específicos

- a. Caracterizar o efluente gerado na indústria gráfica;
- b. Determinar as características físico-químicas adequadas para a operação da ETE;
- c. Dimensionar um medidor de vazão adequado para o efluente;
- d. Implementar ajustes na operação da ETE;
- e. Determinar os custos das implementações na indústria gráfica.

1.4 RELEVÂNCIA AMBIENTAL, SOCIAL E CIENTÍFICA

Mediante o desafio entre desenvolvimento versus degradação, o presente relatório busca a adoção de medidas de revitalização de uma estação de tratamento de efluentes gráficos para evitar a contaminação e poluição da rede pluvial do município, contribuindo para minimizar os efeitos da proclamação de água no Brasil, como também riscos de transmissão de doenças através da água contaminada.

Desse modo, os processos químicos são utilizados para atender às condições, exigências e padrões determinados pela legislação pertinente e possibilitando a consciência da importância da harmonia entre homem, meio ambiente e desenvolvimento. Fica então caracterizada a relevância do estudo para o meio ambiente e, conseqüentemente, para a sociedade, sempre a partir de dados científicos, rigorosamente analisados.

2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

Neste capítulo são abordados os principais tópicos para o embasamento teórico, os quais são aplicados no desenvolvimento do presente relatório.

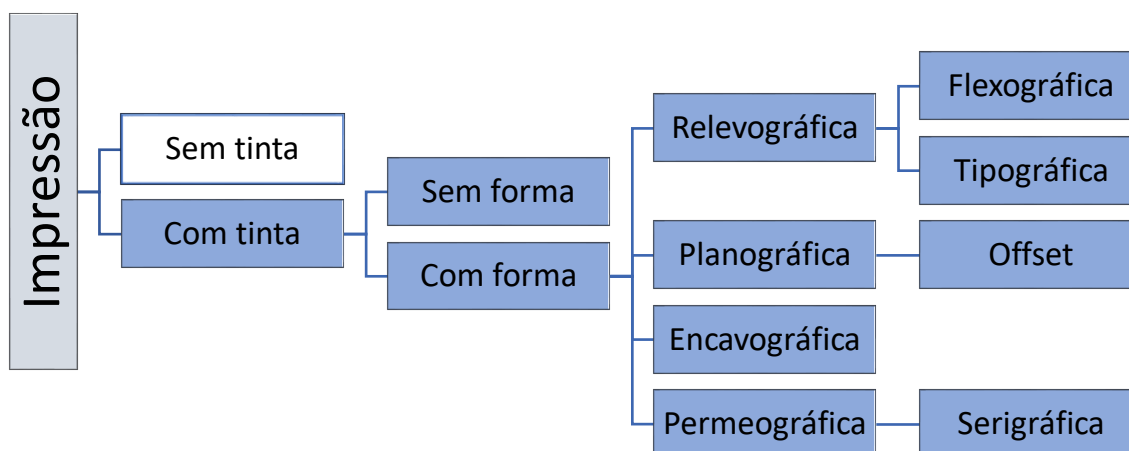
2.1 INDÚSTRIA GRÁFICA

Dentre os setores em constante desenvolvimento no país, encontra-se a indústria gráfica com elevado nível tecnológico, segmentada pela sua cadeia produtiva em insumos, editorial e gráfico. A indústria gráfica consolidou-se no Brasil em 1808, completando 211 anos em 2019 e sua produção engloba desde um adesivo até determinadas embalagens.

Os principais insumos são: papéis, produtos ainda sem impressão, empresas de embalagens e produtos utilizados nos processos. O segmento editorial é caracterizado pelos serviços prestados de editoração finalizada pela integração com a impressão. E, por fim, na impressão, encontramos uma série de sistemas com suas respectivas diferenças.

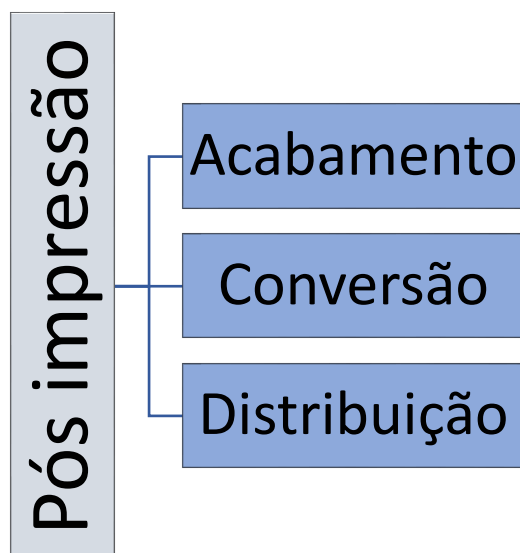
No conjunto de processos neste segmento, como mostra a Figura 1, os mais comuns são: offset, flexografia, serigrafia, fotogravura, tipográfica e digital.

Figura 1: Principais sistemas de impressão da indústria gráfica.



Em seguida, no pós-impressão, representada na Figura 2, estão as operações de acabamento, conversão e distribuição.

Figura 2: Principais operações de pós-impressão.



Fonte: Adaptado Barbosa *et al. apud* CETESB, 2009, p.19.

Os produtos do setor gráfico são muito diversificados, pois atendem a todas classes, estando presentes em ambientes educacionais, panfletagem em ruas, *outdoors* e, até mesmo, no gabinete parlamentar. Sendo assim, sua notória participação na economia nacional torna-se bastante significativa, “no Brasil, a indústria gráfica emprega mais de 200 mil pessoas, alocadas em aproximadamente 19 mil gráficas. O seu faturamento gira em torno de R\$ 23 bilhões. O setor participa com 1% do PIB nacional e quase 6% do total na indústria de transformação.” (BARBOSA *et al. apud* CETESB, 2009, p.15).

A seguir apresentamos o detalhamento dos processos utilizados na indústria gráfica em estudo.

2.1.1 Offset

Um dos principais sistemas, bastante utilizado atualmente de forma que suas vantagens consistem na elevada produção por possuir um alto custo de instalação inicial. O

sistema *Offset*, inglesa que em português significa “Fora do Lugar”, cuja essência compreende a repulsão entre água e gordura por meio do contato indireto.

O procedimento da impressão é composto por uma espécie de engrenagem de cilindros, compreendendo uma parte de tinta, cilindros de chapa e blanqueta, parte de molhagem e cilindro de pressão.

Inicia o processo colocando a figura sobre a parte de tinta, logo rotaciona o conjunto que entinta para o cilindro de chapa, onde é molhado por trás pela parte que fornece água e, posteriormente, gira a fim do contato com a figura entintada vindo de cima dele. Ao passar por essa etapa, com o auxílio de outro cilindro, responsável pela pressão necessária, junto com o papel inserido frontalmente ocorre a impressão desejada.

2.1.2 Flexografia

Outro processo de impressão bastante utilizado é a flexografia. Esta técnica caracteriza-se pela adoção de medidas tradicionais para a obtenção de resultados impressos. Sobre isso Barbosa (2009, p.22) nos diz que:

É um sistema de impressão direta que utiliza fôrmas flexíveis, feitas de borracha ou polímero, com as áreas de grafismo em alto-relevo. A impressão é realizada diretamente sobre o substrato utilizando tintas fluidas, voláteis e de secagem rápida, ou tinta do tipo ultravioleta (UV).

A flexografia é denominada relevográfica, justamente por essas áreas de alto-relevo. Assim, esse sistema possui inúmeras vantagens, como qualidade na impressão, custo reduzido, flexibilidade nos formatos, diferenciação, formas de aplicação e suportes.

2.1.3 Serigrafia

O processo de impressão serigrafia é também conhecido como *Silk-screen*, traduzido do inglês “Impressão a tela” é o sistema de impressão de texto ou gravura planográfica. Segundo Souza e Silva (2008, p.124), a impressão serigráfica:

Utiliza uma moldura e uma tela de tecido, plástico ou metal, permeável à tinta nas áreas de grafismo e impermeabilizada nas áreas de contragrafismo, sobre a qual a tinta

é espalhada e forçada por uma lâmina de borracha através das malhas abertas, para atingir o suporte.

Para tanto, esse tipo de impressão abrange uma grande gama de produtos numa diversificada utilização de materiais.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

Inicialmente para a caracterização dos efluentes precisamos definir que, efluentes são os resíduos da atividade do ser humano. No método convencional de geração de efluentes industriais, principalmente líquidos em que há necessidade de descarte ambiental, a caracterização se torna imprescindível.

Os efluentes oriundos da atividade gráfica baseiam-se na composição dos insumos químicos usados no processo, dentre eles estão: tintas (constituídas por resinas, pigmentos, verniz, solventes e produtos auxiliares como ceras e secantes), vernizes (proporciona brilho), adesivos (oferece aderência), solventes (utilizados para alterar a viscosidade ou a volatilidade dos demais insumos).

Cada sistema produtivo utiliza uma composição de tinta específica, assim veremos a composição da tinta offset (Tabela 1), flexográfica à base de água (Tabela 2) e tintas UV (Tabela 3).

Tabela 1: Composição Tinta *Offset*

Tinta Offset	Composição	Resinas	Ésteres (de Colofônia, maleicos ou alquídicos)
		Óleos	Vegetais à base de hidrocarbonetos alifáticos e minerais refinados
		Pigmentos	Orgânicos (amarelo e laranja benzidina, azul ftalocianina, vermelho rubi)
			Inorgânicos (negro de fumo, dióxido de titânio, sulfato de bário, cromato, molibdato de chumbo)
		Secantes	Naftenatos e octoanatos de zircônio, manganês e cobalto
		Ceras	À base de polietileno

Fonte: Adaptado Barbosa *et al. apud* CETESB, 2009, p.30.

Tabela 2: Composição Tinta Flexográfica

Tinta Flexográfica	Composição	Resinas	Colofônia saponificada, resinas, acrílicas e fumáricas
		Óleos	Vegetais à base de hidrocarbonetos alifáticos e minerais refinados
		Pigmentos	Orgânicos (amarelo e laranja benzidina, azul ftalocianina, vermelho naftol)
			Inorgânicos (negro de fumo, dióxido de titânio, sulfato de bário, cromato, molibdato de chumbo)
		Secantes	Glicóis, solução de amônia e água
		Ceras	À base de polietileno

Fonte: Adaptado BARBOSA *et al.* *apud* CETESB, 2009, p.30.

Tabela 3: Composição Tinta UV

Tinta UV	Composição	Oligômeros	Epóxi, poliéster e monômeros (solvente reativo)
		Pigmentos	Orgânicos e inorgânicos

Fonte: Adaptado Barbosa *et al.* *apud* CETESB, 2009, p.30.

A escolha dos produtos sobre sua composição é uma das alternativas que se tem para a implantação de uma consciência sustentável e que minimize custos e danos ao ambiente. Dessa forma, Barbosa (2009, p.30) nos diz que:

O uso de tintas, vernizes ou adesivos à base de água evidencia benefícios ambientais como a eliminação da necessidade do emprego de solventes para diluição e limpeza dos equipamentos, além de eliminar as emissões atmosféricas de Compostos Orgânicos Voláteis. No entanto, o emprego de insumos à base de água requer, na sua grande maioria, sistemas de tratamento de efluentes líquidos

A utilização de produtos desse âmbito traz vantagens ambientais, sendo menos agressivo ao meio ambiente, mas requer um processo para o tratamento para o volume líquido gerado na lavagem sistemas de impressão. Esses tipos de efluentes, geralmente, apresentam variação de parâmetros, como pH, DBO, cor e turbidez, sendo na maior parte da matéria particulada na água residuária é orgânica variando conforme a produtividade de determinado sistema de impressão. Por isso, existe a necessidade de monitoramento do efluente para formar

e acionar as etapas de tratamento de efluentes adequadas para obedecer aos parâmetros estabelecidos e exigidos na legislação aplicável.

2.2.1 Parâmetros das águas residuárias e efluentes

Os parâmetros das águas residuárias e efluentes indicam a qualidade do mesmo e direcionam para o tratamento adequado. A seguir veremos os principais parâmetros.

2.2.1.1 Matéria orgânica

A matéria orgânica é o principal parâmetro que gera a poluição ambiental, constituída por sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos. Nesse sentido, segundo Von Sperling (2004, p.38) ocorre por meio do:

Consumo do oxigênio dissolvido pelos microrganismos nos seus processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica. Os principais componentes são compostos de proteína (40 a 60%), carboidratos (25 a 50%), gordura e óleos (8 a 12%), além de surfactantes, fenóis, pesticidas e outros.

Assim, quando a matéria orgânica é muito elevada, o mais indicado é o tratamento biológico, visando a remoção dessa matéria orgânica dissolvida e em suspensão por meio da transformação em sólidos sedimentáveis e gases. Existe alguns métodos de quantificar a matéria orgânica, são eles Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Última de Oxigênio, Carbono Orgânico Total e Demanda Química de Oxigênio. Em seguida, veremos dois métodos mais comuns em tratamento de efluentes.

2.2.1.1.1 Demanda Bioquímica de Oxigênio-DBO

A DBO é um dos métodos indiretos de quantificação de matéria orgânica que consiste em uma “[...] quantidade de oxigênio requerida para estabilizar, através de processos bioquímicos, a matéria carbonácea.” (VON SPERLING, 2004, p.89). Logo, a quantificação começa com quanto existe de oxigênio dissolvido na amostra coletado no próprio dia e após 5

dias sob frasco fechado e incubada a 20°C, mede-se a nova concentração de oxigênio dissolvido no qual a diferença dessas concentrações é o oxigênio consumido para oxidação da matéria orgânica.

2.2.1.1.2 Demanda Química de Oxigênio- DQO

A DQO é o outro método indireto de quantificação de matéria orgânica que abordaremos no presente relatório. Consiste na quantificação de oxigênio consumido através da oxidação química da matéria orgânica. A principal diferença entre esses métodos, segundo Von Sperling (2004, p. 92) encontra-se:

[...] claramente na nomenclatura de ambos os testes. A DBO relaciona-se a uma oxidação bioquímica da matéria orgânica, realizada inteiramente por microrganismos. Já a DQO corresponde a uma oxidação química da matéria orgânica, obtida através de um forte oxidante (dicromato de potássio) em meio ácido.

Um dos pontos positivos relacionando a DQO com a DBO é o fator tempo. mais rápido, porém como a parte não biodegradável também reage faz com que estime a quantidade de oxigênio consumido no tratamento de forma excessiva.

2.2.1.2 Sólidos Totais

Os sólidos são formados pelos contaminantes da água, exceto gases dissolvidos. São classificados por tamanho e estado, como em suspensão (particulados) e dissolvidos (solúveis). Bem como, pelas características químicas, como voláteis (matéria orgânica) e fixos (matéria inorgânica). Além da classificação pela sedimentabilidade, “os sólidos sedimentáveis são aqueles que sejam capazes de sedimentar no período de 1 hora. O valor é expresso em mL/L, medido num recipiente denominado cone Imhoff. A fração que não sedimenta representa os sólidos não sedimentáveis. (*id ibid.*, p. 86).

Logo, os sólidos totais são o conjunto desses tipos e classes presentes no efluente ou em águas residuárias.

2.2.1.3 Potencial Hidrogeniônico

O Potencial Hidrogeniônico, também conhecido como pH é constituído por gases e sólidos dissolvidos. Ele “[...] representa a concentração de íons hidrogênio H^+ (em escala antilogarítima), dando indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água.” (*id ibid.*, p.28). O potencial varia entre 0 e 14, onde de 0 a 7 compreende condições ácidas; 7 compreende condições neutras; de 7 a 14 condições básicas. A quantificação é obtida através da Equação 1, descrita por Nunes (2018, p.50):

$$pH = -\log[H^+] \quad \text{Equação 1}$$

Geralmente condições extremas podem irritar os olhos e pele bem como afetam a vida aquática. Para efluentes, circunstâncias ácidas evidenciam potencial de corrosividade e agressividade nas tubulações e circunstâncias básicas evidenciam, possibilidade de incrustação.

2.2.1.4 Cor

A cor é responsável pela coloração da água “em função de substâncias dissolvidas de origem mineral e orgânicas, as águas apresentam maior ou menor intensidade de cor.” (NUNES, 2018, p.320). A origem natura da cor não apresenta risco direto a saúde, e a de origem industrial pode ou não apresentar toxicidade.

Existe uma diferença entre os resultados advindos deste parâmetro em que a “cor aparente pode estar incluída uma parcela devida a turbidez da água, quando esta é removida por centrifugação, obtém-se a cor verdadeira.” (VON SPERLING, 2004, p.28). Desse modo, a utilização mais frequente do parâmetro é na caracterização de águas de abastecimento.

2.2.1.5 Turbidez

A turbidez é um dos indicadores que norteiam o tratamento de águas e efluentes. E que “representa o grau de interferência com a passagem da luz através da água, conferindo uma aparência turva [...]” (VON SPERLING, 2004, p.26). Sua presença “[...]é devida presença de partículas em suspensão e em estado coloidal, as quais podem apresentar ampla faixa de tamanhos.” (DI BERNARDO, 2002, p.33). Desse modo, para avaliar a eficiência de remoção é

analisado a turbidez antes do tratamento e após. É possível realizar um ensaio para verificar qual dosagem ótima através do *jar test* de acordo com o tipo e composição do efluente.

2.2.1.6 Compostos tóxicos

Os compostos tóxicos estão presentes, muitas vezes nos efluentes e águas residuárias, com elevado fator de poluição atribuído e com consequências a saúde humana. Nesse sentido, Nunes (2018, p.92) nos diz que:

Nas águas residuárias industriais, as concentrações de compostos tóxicos, tais como: cianetos sulfetos e metais pesados como cromo, cobre, chumbo, níquel, cádmio, mercúrio etc., são encontrados em altas concentrações em alguns despejos industriais (galvanoplastia, por exemplo).

Sua caracterização e controle se fazem necessário e “estes devem ser constantemente monitorados, devido a seu potencial inibidor do desenvolvimento bacteriano” (SENAI, 1991, p.13). para evitar essas consequências e proteger os corpos receptores do efluente ou água residuária.

2.2.1.7 Nutrientes

O nitrogênio (oriundo de proteínas e ureia) e fósforo (oriundo de proteínas e detergentes sintéticos) são os principais nutrientes em relação ao crescimento dos microrganismos responsáveis pela degradação das águas residuárias. “Uma das grandes preocupações relativas é a eutrofização de corpos d’água receptores, considerando-se que os efluentes, mesmo tratados, podem carregar concentrações destes nutrientes” (NUNES, 2018, p.93). dessa forma contribuindo para o crescimento de algas e, conseqüentemente, para poluição ambiental.

2.3 ESTADO COLOIDAL

Os resíduos líquidos gerados na indústria gráfica pelos processos de impressão são encaminhados para a estação de tratamento de efluentes no próprio local sob forma de sistema coloidal. “O sistema coloidal é uma mistura heterogênea em que as partículas possuem diâmetros entre $1\text{m}\mu$ e 1μ , chamadas de micelas.” (NUNES, 2018, p. 27). Nesse sistema encontramos dois tipos de coloides, são eles: hidrófilos, onde as micelas possuem grande afinidade com o dispersante (água), solúveis e reversíveis apresentando dificuldade de coagular; e os hidrófobos, onde as micelas não possuem grande afinidade com o dispersante (água), irreversíveis e possuem carga elétrica positiva ou negativa.

Dentre as principais propriedades dos coloides podemos destacar:

Movimento Browniano: movimento desordenado das micelas, provocado pelo bombardeio das moléculas do dispersante; Carga das micelas: o coloide é um sistema constituído por uma fase dispersa (micela), uma camada compacta de cargas opostas à da micela e outra difusa no entorno com cargas com tendência a se igualar. O pH do meio exerce através dos íons H^+ e OH^- influência na carga das micelas. Geralmente, dispersões em água, cujo pH entre 5 e 10, possuem carga negativa. (NUNES, 2018, p.30).

As propriedades coloides permitem o conhecimento do funcionamento dos mesmos no efluente e como devemos reagir-los com o adequado tratamento e suas respectivas ações em cada etapa para desestabilizá-los. A desestabilização dos coloides, formando partículas maiores sedimentáveis é conhecido como processo de coagulação-floculação.

2.4 PROCESSOS QUE ENVOLVEM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE

Os processos e níveis de tratamento variam em função do processo industrial, podendo ser classificados em físicos, biológicos e químicos e nivelados em tratamento preliminar, primário, secundário e terciário ou avançado.

O efluente líquido em estudo é tratado físico-quimicamente, por meio de processos de coagulação-floculação que auxiliam na remoção de poluentes. Segundo Nunes (2018, p.77):

O tratamento físico-químico por coagulação-floculação difere muito pouco dos sistemas empregados no tratamento de água bruta para abastecimento público, e sua concepção básica consiste transformar em flocos, impurezas em estado coloidal, suspensões e posteriormente, removê-los em decantadores.

Nesse contexto podemos observar que esse tipo de tratamento é de suma importância vital relacionada à potabilidade da água, bem como ecológica ligada diretamente ao meio ambiente com padrões exigidos pela legislação. Existem duas concepções básicas do tratamento físico-químico: a precipitação química pela adição de coagulantes e a precipitação química pela variação de pH.

A precipitação pelo uso de coagulantes se dá pela reação para com a alcalinidade do efluente ou água residuária, no qual formam hidróxidos que reduz o potencial zeta a valores próximos de zero (ponto isoelétrico) desestabilizando os coloides.

Já a precipitação química pela variação de pH, onde a precipitação ocorre sem que haja a coagulação-floculação apenas com ajuste de pH. Apenas elevando o pH é possível precipitar metais pesados na forma de hidróxidos ou de carbonatos. Sempre é necessário pesquisar o pH ótimo em que a solubilidade do sólido é mínima e a precipitação é máxima. (NUNES,2018, p.78).

As estações de tratamento de efluentes geralmente englobam a concepção da precipitação química com adição de coagulante. Vejamos a seguir o detalhamento dos processos de uma ETE convencional e suas características, como também uma ETE compacta, contendo os pontos positivos e negativos.

2.4.1 Equalização

Os tanques de equalização são responsáveis pela regularização da vazão da estação e homogeneização do efluente para que não haja interferentes nas próximas etapas do tratamento. De acordo com Nunes (2018, p.136):

É praticamente impossível operar a estação sem ter a vazão regularizada, pois variações bruscas impossibilitam o funcionamento de tanques de correção de pH, floculadores e decantadores, provocando também cargas de choque em tanques de aeração de lodos ativados.

O controle do que entra e sai do tanque de equalização impacta o tratamento de efluentes nas etapas subsequentes, uma vez que tanques com níveis constantes são utilizados

apenas para homogeneizar e tanques com níveis variáveis são usados para regular a vazão e homogeneizar.

O lugar onde a etapa de equalização é construída, bem como o formato do tanque, são pontos relevantes para um eficiente procedimento. Geralmente os efluentes chegam ao tanque por gravidade e “[...] a localização do tanque de equalização pode ser em linha com as outras unidades de tratamento ou fora da linha (paralela a outras unidades de tratamento).” (LEME, 2019, p.220). Quanto ao formato do tanque, “[...] deverá ser, obrigatoriamente, de seção quadrada, se a agitação for através de um aerador de superfície e com profundidade útil de 3 a 5 metros.” (NUNES, 2018, p.137).

Assim, após tornar os parâmetros uniformes e com a regularização de vazão estabelecida, o efluente é encaminhado para o tanque de correção de pH.

2.4.2 Correção de pH

A etapa de correção de pH do efluente visa auxiliar no processo de floculação, onde após a homogeneização no tanque de equalização é necessário buscar o pH ótimo de coagulação para, assim, alterá-lo antes do desenrolar do processo de coagulação. O ponto ótimo de floculação é encontrado através dos ensaios de floculação, que possibilitam uma redução do uso de coagulante implicando na redução de custos.

Atualmente, para efluentes contendo alcalinidade é bastante utilizado ácido sulfúrico e gás carbônico para rebaixamento do pH. Sobre isso, Nunes (2018, p.149) nos diz que:

Para efluentes alcalinos contendo sulfetos, não é recomendável utilizar gás carbônico, devido à liberação de gás sulfídrico. Uma das soluções é utilizar sulfato ferroso e aeração para precipitar os sulfetos na forma de sulfeto de ferro e de hidróxido de ferro, como também rebaixar o pH ao mesmo tempo, através dos produtos de hidrólise do sulfato ferroso.

E para efluentes contendo acidez, os produtos mais utilizados são soda cáustica, carbonato de sódio, amoníaco e cal. “No caso da cal, o tempo de detenção é de 30 a 40 minutos, enquanto se for soda, o tempo de detenção é em torno de 20 minutos.” (*id. ibid.*).

Uma das reações de ajuste de pH para efluente ácido e alcalino são demonstradas a seguir, respectivamente conforme a Figura 3:

Figura 3: Reações de ajuste de pH.

Hidróxido de sódio com ácido clorídrico
$NaOH + HCl \rightarrow NaCl + H_2O$
Ácido sulfúrico com alcalinidade natural de bicarbonato de cálcio
$H_2SO_4 + Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaSO_4 + 2CO_2 + 2H_2O$

Fonte: Adaptado Nunes, 2018, p.150.

O conhecimento das características do efluente tornam as escolhas dos reagentes mais apropriadas como também eficientes para as empresas que visam seu tratamento. A correção de pH também é realizada ao fim do tratamento para que se atenda padrões da legislação vigente e efetuar o descarte no local adequado.

2.4.3 Coagulação

As partículas causadoras de cor e turbidez são chamadas de coloides, possuindo “uma faixa de tamanho de 1 nm (10^{-9}) a 0,1 nm (10^{-8}) e propriedades elétricas que criam uma força de repulsão que impede a aglomeração e a sedimentação.” (WIMMER, 2007, p.40). Para a modificação das propriedades, utilizam-se os processos de coagulação e floculação.

O processo de coagulação ocorre entre o coagulante e o efluente, segundo Nunes (2018, p.157):

A mistura do coagulante e o efluente provocam a hidrólização, polimerização e a reação com a alcalinidade, formando hidróxidos denominados gel, produzindo, na solução, íons positivos. Estes íons abalarão as cargas negativas dos coloides e sólidos em suspensão, diminuindo o potencial zeta próximo de zero, conhecido como ponto isoelétrico, possibilitando a aglomeração das partículas e, conseqüentemente, a formação de flocos.

A reação ocorre com o contato do coagulante e o efluente, constituindo uma espécie de pasta e baixando o pH de modo a alterar a estrutura do coloide e possibilitar a construção dos flocos. O processo é muito rápido, “[...] variando desde décimos de segundo a cerca de 100 segundos, dependendo das demais características.” (*id ibid*). A coagulação ocorre através de quatro mecanismos: compressão de camada difusa, adsorção e neutralização,

varredura, adsorção e formação de pontes num mesmo local, nos tanques de coagulação, onde deve estar acima da unidade de floculação em tanques específicos de mistura rápida.

Dessa forma, o mecanismo de compressão de camada difusa pode ser entendido e resumido como: “A introdução de um eletrólito indiferente em um sistema coloidal levará a aumento da densidade de cargas na camada difusa e diminuirá a “esfera” de influência de partículas, ocorrendo a coagulação por compressão da camada difusa.” (DI BERNARDO, 2002, p.83). Esses eletrólitos são responsáveis pela desestabilização através dos efeitos eletrostáticos do coloide e possibilitam sua união formando os conhecidos coágulos.

O mecanismo de adsorção e neutralização de cargas está baseado em substâncias que diferentes do mecanismo de compressão camada difusa, possuem características de adsorção. Sobre isso e sobre as diferenças entre os dois mecanismos Di Bernardo (2002, p.85) nos diz que:

i) as espécies absorvíveis são capazes de desestabilizar os coloides em dosagens muito inferiores as necessidades para a compressão da camada difusa; ii) a relação existente entre a concentração dos coloides e a quantidade necessária de espécies desestabilizantes por adsorção segue relação estequiométrica; iii) é possível ocorrer a reversão da carga superficial das partículas coloidais por meio da dosagem excessiva de espécies absorvíveis.

Então as características de adsorção de algumas substâncias implicam numa pequena dosagem e quando adicionada em alta dosagem resultam no oposto do objetivo, estabilizam os coloides e não se agregam.

Quanto ao mecanismo de varredura, fornece a formação unidades floculadas maiores, como hidróxidos precipitados que facilmente são sedimentadas. Assim com a coagulação na varredura e no mecanismo de adsorção-neutralização encontramos aspectos diferentes relevantes. Dessa forma, adaptado Di Bernardo *et al.* (1987 *apud* Di Bernardo (2002, p.86), conclui em seus estudos que:

i) a região de adsorção é caracterizada por valores de pH e dosagens de coagulantes bem menores que os da região da varredura; ii) a faixa de dosagem e pH da mistura que produz resultados satisfatórios é bem mais estreita na adsorção-neutralização; iii) as condições de mistura rápida e de floculação não são necessariamente as mesmas quando são diferentes os mecanismos.

Assim percebemos que a adsorção necessita de uma quantidade menor de coagulante, porém apresenta um menor faixa e pH para ocorrer a coagulação além de demonstrar que esses mecanismos agem independente do outro.

E o quarto mecanismo, adsorção e formação de pontes por meio da adição de polímeros, denominados polieletrólitos. “Há uma grande variedade de compostos naturais e sintéticos, caracterizados por grande cadeia molecular, que tem a propriedade de apresentar grupos com cadeia com carga ao longo da cadeia e é capaz de agir como coagulante eficiente.” (*id. ibid*).

Os mecanismos ocorrem simultaneamente e de maneira independente um do outro; com isso, o processo de coagulação se torna aplicável a várias fontes de efluentes, derivados das mais diversas produções com suas características específicas.

A seguir veremos os componentes químicos da etapa de coagulação utilizada na estação de tratamento em estudo.

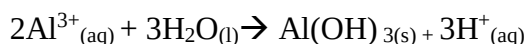
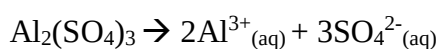
2.4.3.1 Sulfato de Alumínio

O coagulante mais famoso nos processos de águas residuárias é o sulfato de alumínio, sua fórmula química é $(Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O)$, em que “n” representa aproximadamente 14 a 18 moléculas de água de cristalização; é obtido através de hidrato de alumínio, mantendo-se um teor de água suficiente para impedir sua cristalização. Sobre isso Pavanelli (2001, p.30) nos diz que:

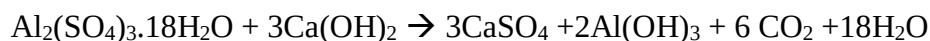
Quanto à composição química, é comercializado com 7 a 8% de alumina (Al_2O_3); com teores acima de 8,26%, o produto pode cristalizar. Na realidade este produto atinge 48,4% de concentração quando em forma sólida, devido a água de constituição presente nas moléculas do produto.

Dessa forma, percebemos que o estado e composição do sulfato implica na formação desejada dos produtos de hidrólise. E assim, torna-se necessário o cuidado relacionado aos fabricantes e fornecedores dos reagentes utilizados no tratamento.

Para ocorrer a formação de produtos de hidrólise do sulfato, é necessária a dissociação do sulfato de alumínio em meio aquoso e em seguida a reação com as hidroxilas presentes do meio. Nunes descreve essas reações como (2018, p.160):



Portanto, quando o sulfato é adicionado na água em circunstâncias alcalinas, forma-se o gel hidróxido insolúvel, pela seguinte reação descrita por Nunes (2018, p.159):



Nesse contexto, “[...]algumas espécies hidrolisadas poderão estar presentes para determinado valor de pH.” (PAVANELLI, 2001, p.31). Dentre essas espécies, destacam-se as mais comuns presentes na Figura 4.

Figura 4: Reações de hidrólise a temperatura 25°C.

Equações de hidrólise das espécies	Log k
$\text{Al}^{3+} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}(\text{OH})^{2+} + \text{H}^+$	-5,02
$2\text{Al}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_2^{4+} + 2\text{H}^+$	-6,27
$6\text{Al}^{3+} + 15\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}_2(\text{OH})_{15}^{3+} + 15\text{H}^+$	-47,00
$8\text{Al}^{3+} + 20\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}_6(\text{OH})_{20}^{5+} + 20\text{H}^+$	-68,70
$\text{Al}(\text{OH})_{3(p)} \rightarrow \text{Al}^{3+} + 3\text{OH}^-$	-32,34
$\text{Al}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_4^- + 4\text{H}^+$	-23,57

Fonte: Adaptado Di Bernardo, 2002, p.75.

Desse modo, o íon alumínio reage de diversas maneiras e forma compostos variados implicando um acompanhamento da eficiência, “[...] à medida que a complicada cinética do comportamento da hidrólise do íon alumínio envolve, em resumo, algumas reações pouco estáveis, espécies poliméricas e formação de precipitados transitórios.” (WIMMER, 2007, p.53). Portanto, a dosagem de sulfato, o Potencial Hidrogeniônico e todas as etapas do tratamento de efluente tem influência direta que maximiza ou minimiza a eficiência do mesmo.

2.4.3.2 Polieletrólitos

A utilização de produtos auxiliares em tratamento de efluente é bastante recomendada. São conhecidos como polímeros e sobre isso Wimmer (2007, p. 53) nos define como:

Polímeros são compostos de alto peso molecular os quais contém grupos adsorventes, que formam ligações entre partículas ou flocos com carga. A carga do floco é positiva

em condições ácidas e negativas em condições básicas, apresenta uma mistura de cargas numa faixa de pH 6,5 – 8,0.

Dessa maneira, os polímeros interagem com as cargas dos flocos para que se agreguem e possuam densidade suficiente para decantar. Quando o efluente possui características ácidas é indicado o uso de polieletrólito aniônico e para efluente com características básicas catiônico. “Os catiônicos absorvem coloides ou flocos negativos e aniônicos substituem os grupos aniônicos em uma partícula coloidal e permitem a ligação de hidrogênio entre o coloide e o polímero.” (WIMMER, 2007, p.54). A utilização de polímeros resolve empecilhos encontrados em grandes vazões e melhora eficiência do tratamento.

A utilização de polímeros também traz vantagens financeiras, “[...] o tipo de eletrólito adequado deverá ser pesquisado em laboratório e pode-se prever redução, no consumo de coagulante primário, de até 20%.” (NUNES, 2018, p.163). O efluente deve ser analisado com interação dos polímeros por meio de testes específicos, como *jar test*, para avaliar o tipo e quantidade de polímero para a devida conciliação e se beneficiar com a questão financeira.

2.4.4 Floculação

Após o efluente passar pela coagulação é encaminhado ao tanque de mistura lenta, “[...] cujo gradiente deverá estar entre 20 e 80 s⁻¹, para que ocorram choques e colisões entre as impurezas, que se aglomeram formando partículas maiores, denominadas flocos, que podem ser removidos por sedimentação, flotação ou filtração rápida.” (NUNES, 2018, p.162). A velocidade precisa estar menor para que ocorra o contato entre os coloides e se unam em unidades maiores para subsequente excisão.

Após o início da etapa rápida e subseqüentes etapa lenta desenvolve e encaminha os flocos para etapa posterior do tratamento de efluentes. “As reações químicas que se iniciam na unidade de mistura rápida possibilitam a aglomeração das impurezas presentes na água, formando os flocos na unidade de floculação.” (DI BERNARDO, 2003, p.148). Com a formação dos flocos, gradiente de velocidade e a necessidade da movimentação da mistura, Nunes (2018, p. 162) nos diz que:

[...] para haver formação de flocos grandes e com densidade suficiente para boa sedimentação, é necessário agitar cerca de 30 minutos, além de utilizar uma dosagem de coagulante adequada. Pequenas dosagens não chegam a atingir próximo do ponto

isoelétrico, enquanto altas dosagens podem reverter o sinal das cargas, reestabilizando-as, sendo ambas prejudiciais.

Erros de dosagens, falta de tempo e formato da movimentação dos flocos em formação levam o tratamento à baixa eficiência e, conseqüentemente, implicam questões financeiras. “Os flocculadores hidráulicos de chicanas, por resultarem em espaçamento muito próximo, trazem problemas construtivos e operacionais.” (DI BERNARDO, 2003, p.152).

A adição dos produtos ocorre de maneira muito rápida, mas para seu desenvolvimento e evitar quebra de flocos após a formação dos mesmos é preciso o cuidado do funcionamento das câmaras. “[...]para câmaras hidráulicas com chicanas, a seção horizontal deverá ser retangular, a velocidade deverá situar-se entre 0,15 e 0,45 m/s para evitar quebra de flocos, recomendando-se mantê-la e 0,30 m/s.” (NUNES,2018, p.163). A quebra de flocos é bastante inconveniente gerando diminuição da densidade e, muitas vezes finaliza o processo com a flotação ao invés da decantação.

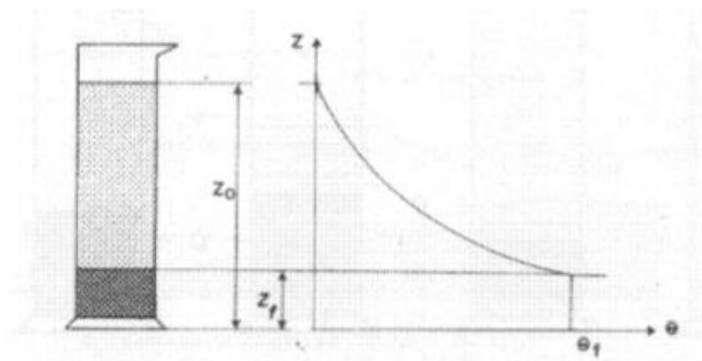
2.4.5 Decantação

A decantação é o processo que ocorre pela gravidade, separando os sólidos sedimentáveis contidos em um líquido. Para o cálculo da velocidade de decantação de um processo, é necessária a construção da curva de decantação de maneira que medindo o tempo *versus* altura da mistura origina a Equação 6, segundo Gomide (1980, p.47):

$$u = \frac{Z_o - Z_f}{\theta_f} \quad \text{Equação 6}$$

Onde " Z_o " é a altura inicial da mistura (cm), " Z_f " é a altura final do decantado (cm) e " θ " é o tempo (s). “Durante o ensaio de decantação mede-se a altura Z dos sólidos depositados no fundo do cilindro graduado em diversos instantes durante a decantação e traça-se a curva Z vs Θ .” (*id. ibid*). Dessa forma, elabora-se um gráfico com os dados obtidos, como ilustra a Figura 5.

Figura 5: Ensaio de decantação.



Fonte: Gomide, 1980, p.47.

Esse ensaio possibilita a análise sobre a velocidade de decantação e necessidade de produtos auxiliares para melhor floculação. O dimensionamento dos tanques de decantação varia conforme tipo e características do efluente. Nesse sentido, Nunes (2018, p.172) nos diz que:

Os decantadores são dimensionados em função das taxas de escoamento superficial. As taxas empregadas para efluentes industriais são bem menores que as empregadas em tratamento de água para abastecimento público. Geralmente situam-se entre 25 e 30 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ para decantadores secundários, que são os que recebem efluentes floculados.

Existem dois tipos de escoamento nos decantadores: horizontal, com profundidade relativamente pequena e comprimento muito grande em relação à largura; e vertical por meio da aplicação por baixo, cujo líquido efetua o movimento ascendente.

A altura poderá ser adotada e posteriormente verificar-se o tempo de detenção, excluindo a altura do lodo. O tempo de detenção de acordo com efluente “[...]deverá situar-se entre 1,5 a 3 horas”. (*id ibid.*, p.174). O que implica diretamente na questão de ser a melhor alternativa para o tratamento do efluente ou não.

Existem decantadores mecanizados e não mecanizados, onde “[...]nos decantadores não mecanizados, o fundo deverá formar, com a horizontal, ângulo de 60° e o diâmetro mínimo da tubulação de descarga de lodo deverá ser 150 mm.” (*id ibid.*). Com a formação do lodo, este é direcionado a uma caixa que deverá situar-se ao lado e, em seguida, recalcado para adensamento, filtros-prensa ou leitos de secagem.

E o sobrenadante do decantador é encaminhado para o tanque de ajuste de pH. “O ajuste de pH é realizado pela adição de soda cáustica ou ácido sulfúrico/clorídrico. O pH deve estar sempre de acordo com a legislação permitida.” (VALENZUELA, 1999, p.60). O pH dentro dos padrões é o fator que possibilita o descarte do efluente no meio-ambiente, nos corpos receptores.

2.5 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO COMPACTA

Atualmente uma nova visão sobre sustentabilidade vem ganhando forma e com ela novas maneiras de tratar os interferentes também. Uma das alternativas para efluentes gráficos são as estações de tratamento compactas. “As estações de tratamento compactas são utilizadas em médias e pequenas empresas, no qual pelos custos de instalação, operação, manutenção e por ocupar menor espaço”. (NUNES, 2018, p.85). Não são todos os empreendimentos que podem optar por essa alternativa, dependente então, do volume e características do efluente em questão.

O tratamento ocorre na mesma ordem: equalização, ajuste do pH, adição coagulante e polímero, floculação, decantação, filtro composto de brita, areia e leito de carvão e reservatório final para destinação apropriada. E a parte decantada é enviada para os leitos de secagem. Quando, secos, são destinados por empresa terceirizada para local adequado.

2.6 LEGISLAÇÃO VIGENTE

A legislação ambiental tem o objetivo de fazer a regulamentação, fiscalização e aplicar medidas cabíveis para punir as empresas e responsáveis que não zelum pelo meio ambiente de acordo com as leis e obrigações vigentes. No Brasil, a legislação é bastante ampla, constituída pela legislação federal, estaduais e municipais impondo requisitos e padrões de qualidade para o lançamento nos corpos receptores. “Os padrões nacionais são definidos por cada país, tem *status* e são baseados nas características específicas do país. Dependendo da estrutura política do país, padrões regionais podem também existir [...]”. (VON SPERLING, 2004, p.234). Geralmente, os padrões seguem uma ordem decrescente em níveis de maiores restrições: municipal, estadual, regional e nacional.

Existe três tipos de padrões ou diretrizes relacionadas à qualidade da água em corpos d'água e ao reuso de efluentes tratados, são eles: padrões de lançamento no corpo receptor, qualidade do corpo receptor e padrões ou diretrizes de qualidade para determinado uso de efluente tratado.

O estudo em questão aborda duas legislações principais: a Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011: Seções I e II e a Lei nº 14.675 de 13 de abril de 2009: art. 177.

2.6.1 CONAMA Resolução 430/11

A Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011 dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, que complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA. Para o lançamento do efluente nos corpos receptores devem atender aos limites máximos ou mínimos desta Resolução, sujeitos a multa e punições para empresa. Nesse sentido, das disposições gerais da Resolução 430/11, “[...]os efluentes não poderão conferir ao corpo receptor características de qualidade em desacordo com as metas obrigatórias progressivas, intermediárias e final, do seu enquadramento.” (CONAMA, p.1). O enquadramento do efluente tratado deve estar de acordo com as condições e padrões de lançamento.

De acordo com Art. 16 do CONAMA (2011, p.1):

Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedeçam às condições e padrões previstos neste artigo: I - condições de lançamento de efluentes: a) pH entre 5 a 9; [...] g) Demanda Bioquímica de Oxigênio: remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor. [...]

Quanto às exigências dos padrões de lançamento (II) presentes no Art. 16, seguem os parâmetros controlados e seus respectivos limites, conforme a Tabela 4.

Tabela 4: Padrões de lançamento de efluente nos corpos receptores.

Parâmetro	Valores máximos (mg/L)
Arsênio total	0,5
Bário total	5,0
Boro total	5,0
Cádmio total	0,2
Chumbo total	0,5
Cianeto total	1,0
Cianeto livre	0,2
Cobre dissolvido	1,0
Cromo hexavalente	0,1
Cromo trivalente	1,0
Estanho total	4,0
Ferro dissolvido	15,0
Fluoreto total	10,0
Manganês dissolvido	1,0
Mercúrio total	0,01
Níquel total	2,0
Nitrogênio amoniacal total	20,0
Prata total	0,1
Selênio total	0,30
Sulfeto	1,0
Zinco total	5,0

Fonte: Adaptado CONAMA, 2011, p.1.

Assim, regulamentando e monitorando os parâmetros, o efluente está apto ao lançamento e reduz ao mínimo as consequências da ação de poluentes no meio ambiente.

2.6.2 IMA Lei 14.675/09

A Lei nº 14.675, de 13 de abril de 2009 estabelece normas aplicáveis ao Estado de Santa Catarina, visando à proteção e à melhoria da qualidade ambiental no seu território. Engloba a política estadual do meio ambiente (princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos), a organização administrativa do sistema estadual do meio ambiente (órgãos do Sistema Estadual do Meio Ambiente), responsabilidade e deveres de cada órgão ambiental como também os conceitos ambientais.

O artigo 177 desta lei impõe que apenas se o efluente estiver de acordo com as condições padrões das normas federais e estaduais podem ser encaminhadas para os corpos receptores.

Dessa forma, segundo o Instituto do Meio Ambiente- IMA (2009, p.1):

Os efluentes somente podem ser lançados direta ou indiretamente nos corpos de água interiores, lagunas, estuários e na beira-mar quando obedecidas às condições previstas nas normas federais e as seguintes: I - pH entre 6,0 e 9,0; [...] III - ausência de materiais flutuantes visíveis; [...].

Quanto aos parâmetros e seus limites da legislação estadual estão dispostos na Tabela 5.

Tabela 5: Parâmetros e seus limites para lançamento de efluente.

Parâmetro	Valores máximos (mg/L)
Óleos vegetais e gorduras animais	30
Cromo hexavalente	0,1
Cobre total	0,5
Cádmio total	0,1
Mercúrio total	0,005
Níquel total	1,0
Zinco total	1,0
Arsênio total	0,1
Prata total	0,02
Selênio total	0,02
Manganês ⁺² solúvel	1,0

Fenóis	0,2
Substâncias tensoativas que reagem ao azul de metileno	2
Compostos organofosforados e carbamatos	0,1
Sulfeto de carbono, etileno	1
Outros compostos organoclorados	0,05

Fonte: Adaptado IMA, 2009, p.1.

2.7 FATORES PARA MAXIMIZAR A EFICIÊNCIA OPERACIONAL E FINANCEIRA DE UMA ETE

Uma das formas de maximizar a eficiência do tratamento é diminuir a quantidade de efluente gerado, consequentemente uma redução de consumo de água nos processos de impressão e lavagens de equipamentos. Dessa forma, a reutilização da água bem como “[...] procurar utilizar menores relações de banho possíveis, ou substituir equipamentos que trabalham com relações de banho muito altas por outros que permitam o trabalho com menores relações de banho. (SENAI, 1991, p.28). Além de buscar fornecedores com visão ambiental e diminuir os desperdícios de produtos químicos utilizados nos processos.

O controle assíduo de cada etapa de produção, como também na estação de tratamento reduz esses desperdícios, no qual “[...] com um trabalho organizado, podemos evitar problemas como derrames acidentais de produtos; problemas mecânicos nos equipamentos como furos, vazamentos em válvulas, etc.” (SENAI, 1991, p.29). Analisar redimensionamentos, quando necessário e investir em novas tecnologias.

Com o cuidado e a consciência da mínima utilização ainda que se prese pela reutilização, quando possível, são formas de executar o manejo de uma empresa com ambição sustentável e econômica. Para isso é necessárias ações como já citadas acima dentro da indústria e outras citadas a seguir na estação de tratamento.

2.7.1 Dosagem ótima

Um dos procedimentos para avaliar a eficiência é recorrer aos ensaios de floculação, conhecidos como *jar test* para simular o que ocorre na prática do tratamento. Nesse sentido Nunes (2018, p.82) nos diz que:

Analisa-se parâmetros (DBO, DBO, sólidos voláteis, etc.) do efluente bruto e do clarificado obtido no ensaio e, posteriormente, calcula-se a eficiência de remoção em percentagem. É recomendável efetuar cinco análises, sendo tolerável no mínimo três, para se tiver boa representação e confiabilidade dos resultados.

Contudo deve-se conhecer os produtos utilizados nos processos que irão gerar o efluente, tipo de produção e estimar a vazão em que se encontra a estação de tratamento para que torne os resultados dos ensaios aplicáveis ao mesmo.

Outro fator importante é padronizar o procedimento dos ensaios de *jar test* para evitar oscilações e erros operacionais e buscar os melhores resultados em questões financeiras e eficiência. A execução básica do ensaio consiste na distribuição da amostra em jarros com mesmo volume, ligar o equipamento e acertar a rotação para adição dos alcalinizante ou acidificante, após o contato e homogeneização adiciona-se os volumes pré-estabelecidos de coagulante na etapa rápida e, se necessário, o polímero. Em seguida, reduz a rotação para a formação e crescimento dos flocos na etapa lenta e desliga o equipamento, para obter-se a decantação.

Encerrado o tempo de decantação necessário, utilizam-se outros procedimentos adicionais para calcular a eficiência. Um deles, é o ensaio de filtração direta depois da sedimentação que segundo Di Bernardo (2002, p.125):

No ensaio de filtração direta, logo após a mistura rápida, deve ser iniciada a filtração da água coagulada em filtro de papel, geralmente Whatman 40, ou instalação de laboratório, constituída por seis filtros de areia. É recomendado que a filtração seja feita após 20 minutos de sedimentação.

Com o procedimento de filtração obtém-se uma maior facilidade na quantificação dos parâmetros e pode-se definir, assim, a eficiência utilizando a fórmula (E):

$$E = \frac{X - X'}{X} \quad \text{Equação 7}$$

Onde X é o parâmetro na forma bruta e X' é o parâmetro tratado. Através do resultado da eficiência, é permitido buscar alternativas para aumentá-la, caso esteja abaixo do

esperado. Como a alteração operacional, monitoramento e controle dos afluentes, produtos utilizados, dimensionamento e tipo de ETE.

2.7.2 Medidor de vazão

A quantificação da vazão do efluente é imprescindível para o seu tratamento, implicando nas dosagens de reagentes e consequentemente questões financeiras para indústria. Encontramos no mercado muitas possibilidades de medição de vazão, “[...] a maior parte dos medidores são projetados de modo a evidenciar uma queda de pressão que pode ser medida e relacionada à vazão.” (FOUST, 1982, p.491). A escolha pelo medidor mais adequado para o tratamento se dá através de fatores como número de Reynolds, necessidades de instalação da empresa e tipo de efluente.

O número de Reynolds (Re) é calculado através da fórmula descrita por Fox *et.al* (1934, p.36):

$$Re = \frac{\rho \cdot \vec{V} \cdot D}{\mu} \quad \text{Equação 8}$$

Onde “ $\vec{V}$ ” é velocidade média do fluido (m/s), “D” é diâmetro interno da tubulação, “ ρ ” é a massa específica (kg/m³) e “ μ ” é viscosidade absoluta (dinâmica) (Pa.s). “Esse número de Reynolds indica se o escoamento em tubo será laminar ou turbulento. Os escoamentos serão, geralmente, laminares para $Re \leq 2300$ e turbulentos para maiores valores.” (FOX *et.al*, 1934, p.36). Em resumo, Delmée (1989) descreve duas tabelas levando em consideração os principais aspectos para o dimensionamento do medidor de vazão e facilitando a escolha para adequação do tratamento.

A Tabela 6 demonstra as propriedades do fluido a ser medido e tipos de medidor mais utilizados no mercado.

Tabela 6: Propriedades do fluido a ser medido e tipos de medidores

Tipo de medidor	Propriedades do fluido a ser medido				
	Líquidos limpos	Líquidos Viscosos	Líquidos Sujos	Líquidos corrosivos	Limite mín. de Re
Placas de orifício concêntrico					
-Flange taps	Δ		*	Δ	>8000
-Corner taps	Δ			Δ	>5000
-Radius taps	Δ		*	Δ	>8000
-Vena contracta taps	Δ		*	Δ	>6000
-Pipe taps	Δ		*	Δ	>14000
Placas de orifício excêntrico	Θ		Δ	Δ	>10000
Placas de orifício segmental	Θ		Δ	Δ	>10000
Placas de orifício ¼ círculo	Δ	Δ	*	Δ	>250
Placas de orifício entrada cônica	Δ	Δ		Δ	>25
Bocal de vazão					
-ISA	Δ			Θ	>20000
-ASME	Δ			Θ	>6000
Tubo de Venturi					
-Clássico fundido	Δ		*	Θ	>40000
-Clássico usinado	Δ		*	Θ	>50000 [d]
-Clássico soldado	Δ		*	Θ	>80000
-Truncado	Δ		*	Θ	>80000
-Venturi-bocal	Δ				
Tubo de Pitot	Δ			Δ	>2000
LEGENDA Δ: Recomendado *: Aplicável quando a condição adversa é moderada e usando acessórios adequados Θ: Aplicável [d]: Re na seção de diâmetro d e não Re na seção de diâmetro D como nos outros casos.					

Fonte: Adaptado Delmée, 1989, p.7.

A Tabela 7 aborda as considerações econômicas, vantagens e inconvenientes de cada medidor mencionado.

Tabela 7: Considerações econômicas, vantagens e desvantagens de cada medidor

Tipo de medidor	Considerações econômicas			Principais vantagens	Principais inconvenientes
	Manutenção	Preço relativo	Perda de carga		
Placas de orifício concêntrico					
-Flange taps					
-Corner taps					
-Radius taps					
-Vena contracta taps					
-Pipe taps					
Placas de orifício excêntrico					
	Verificação periódica	Barato	Média	Facilidade de fabricação, existência de dados para larga faixa de aplicação e	Baixa largura de faixa, necessidade de elemento secundário e necessidade de

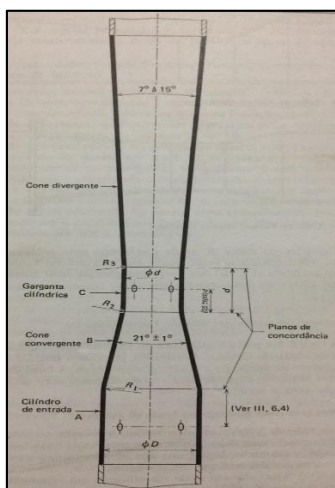
Placas de orifício segmental Placas de orifício ¼ círculo Placas de orifício entrada cônica				largamente aceitos	longos trechos retos
Bocal de vazão -ISA -ASME	Verifica- ção periódica	Médio	Média	Aplicação a fluidos erosivos	Usinagem mais elaborada que a placa de orifício
Tubo de Venturi -Clássico fundido -Clássico usinado -Clássico soldado -Truncado -Venturi-bocal	Verifica- ção periódica	Médio +	Baixa -	Baixa perda de carga e aplicação a fluidos erosivos	Custo de fabricação elevado
Tubo de Pitot	Verifica- ção periódica	Barato	Muito baixa	Facilidade de instalação	Baixa pressão operacional, difícil de medir e precisão medíocre

Fonte: Adaptado Delmée, 1989, p.8.

Embora o mercado de medidores mais tecnológicos seja amplo, a utilização dos medidores de vazão convencionais está na frente pela quantidade de dados e referências de materiais para cada tipo de fluido. Um dos mais utilizados no mercado para ampla faixa aplicação é o medidor de vazão do tipo Venturi, dentre os fatores está perda de carga e o custo inicial.” Uma perda de carga grande significa que o custo de operação do dispositivo é alto, pois consumirá boa quantidade de energia do fluido. Um alto custo inicial deve ser amortizado durante a vida útil do dispositivo.” (FOX *et.al*, 1934, p.381). Além de possuir uma baixa perda de carga comparado com placa de orifício ou bocais de vazão, esse tipo por ser muito liso não necessita de limpeza pela sua estrutura e seu alto custo inicial recompensa pelo tempo de utilização do mesmo.

Na figura a seguir mostra o modelo Venturi clássico e suas respectivas dimensões.

Figura 6: Dimensões do tubo Venturi Clássico.



Fonte: Delmée, 1982, p.243.

O funcionamento teórico do tubo Venturi, assim como os dos outros modelos, está associado diretamente a equação de Bernoulli com a perda de carga derivada pelas variações de área, acessórios e entradas. “A fim de se aplicar inteligentemente os dispositivos hidráulicos, é necessário fazer uso da equação de Bernoulli e do conhecimento adicional das características e coeficientes.” (GILES, 1978, p.200). Outro aspecto importante é a calibração do instrumento para a utilização operacional.

A equação de Bernoulli adaptada está descrita na Equação 9, conforme Fox *et.al* (1934):

$$\frac{(P_2 - P_1)}{\rho} + g \cdot (h_2 - h_1) + \left(\frac{v_2^2}{2} - \frac{v_1^2}{2} \right) + h_L = 0 \quad \text{Equação 9}$$

Onde temos o volume de controle englobando o ponto 1 fora da garganta e ponto 2 na garganta. Considerando o líquido incompressível, escoamento permanente e energia interna e pressão uniformes. Dessa forma, pela variação de pressão calculamos a velocidade 2 na garganta e encontramos a vazão pela relação:

$$Q_1 = Q_2 = A \cdot V \quad \text{Equação 10}$$

Considerando a vazão igual. Obtemos uma relação que, se área diminuir a velocidade aumenta e se, a área aumentar a velocidade diminui. Dessa forma, ainda precisamos estabelecer as fórmulas para perda de carga em regime laminar e turbulento, respectivamente. Segundo Fox (1934):

$$h_L = \left(\frac{64}{Re} \right) \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2} \quad \text{laminar} \quad \text{Equação 11}$$

$$h_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad \text{turbulento} \quad \text{Equação 12}$$

Onde o “*f*” é o fator de atrito.

Assim, por meio da rugosidade do tubo, número de Reynolds e o gráfico de Moody (disposto em Anexo D) podemos calcular o fator de atrito e obter o melhor dimensionamento do tubo Venturi.

Outro componente presente é o tubo em U, conhecido como manômetro que mede o diferencial de pressão gerado pela redução de diâmetro e que com a equação de Bernoulli obtemos a quantificação da vazão. Para isso é preciso escolher o líquido manométrico, “[...]deve ter a menor densidade relativa possível de modo a aumentar a sensibilidade. [...]deve ser seguro, imiscível, com o fluido cuja pressão se deseja medir e sofrer perda mínima por evaporação[...]

(FOX *et.al*, 1934, p.55). Fatores estes, que quando bem projetados geram uma confiabilidade e atendem aos objetivos propostos inicialmente.

Existem também variações de estilos de tubos em U de forma a buscar os melhores resultados, como tubo em U de poço, poço multitubos, inclinado e etc. O que vamos abordar é o tubo em U inclinado. “A sensibilidade aumenta rapidamente quando o ângulo de inclinação é reduzido para valores abaixo de 30°. Um limite prático é estabelecido em torno de 10°: o menisco torna-se indistinto e a leitura do nível torna-se difícil para ângulos menores.” (*id.ibid*). A inclinação do tubo o torna mais efetivo, mas que próximo a horizontal essa correção transforma-se em erros instrumentais pela dificuldade de leitura.

2.7.3 Análise financeira

A análise financeira é de extrema importância para o desenvolvimento da empresa, buscando sempre a mínima utilização de recursos e equipamentos que proporcionam baixos custos de manutenção e que possibilitem ampla faixa de utilização. Nesse sentido, “[...] o monitoramento dos fatos e dos resultados, bem como, do planejamento de novos fatos e resultados deve tornar-se uma ação gerencial estratégica constante do empresário.” (SEBRAE, p.1). Quando existe a alteração de funcionamento operacional, é preciso buscar alternativas de modo a contornar a situação e criar uma oportunidade de crescimento, por exemplo, o uso desordenado de produtos químicos numa estação de tratamento.

Dessa forma, o controle rigoroso das indústrias, por meio de planilhas e de pessoas especializadas para cada setor, torna-se principal ator da questão lucrativa. Partindo de uma visão sustentável, consciente e inovadora transformando a utilização de sistemas convencionais em novos sistemas que contribuem até mesmo para o marketing da empresa.

O levantamento de custos para as implementações na estação de tratamento de efluentes em estudo será realizada a partir dos resultados, colaborando para a máxima eficiência do mesmo com um menor custo-benefício.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Nas seções seguintes, apresentamos a relevância da investigação científica assim como todas as características do estudo realizado. O tipo de pesquisa, sua estrutura e os passos seguidos na direção da resposta à questão central ou hipótese de trabalho previamente determinada.

3.1 PESQUISANDO CIENTIFICAMENTE

A pesquisa científica é uma estratégia inquestionável de construção do conhecimento. Diferentemente dos meios tradicionais, a investigação transforma os envolvidos em protagonistas efetivos dessa construção, pois permite-lhes autonomia e emancipação intelectual. Demo (2007, p. 14) nos diz que “decisivo torna-se o reconhecimento de que o manejo e a produção do conhecimento são instrumentos primordiais da cidadania e da economia, levando a rever, radicalmente, a proposta educacional vigente, por ser absurdamente arcaica, inclusive na universidade.” Fica, pois, evidenciada a necessidade da busca de novas possibilidades onde, inexoravelmente, a pesquisa se insere.

O início da pesquisa foi fundado na elaboração e delimitação da questão central do estudo, chamado por Demo (2007, p. 45), de hipótese de trabalho que, segundo ele, constitui-se no “lançamento de um problema que se pretende atacar através de uma elaboração científica. Trata-se de algo hipotético, porque, a princípio, lidamos apenas com uma pretensão de trabalho e não sabemos se o problema tem a solução imaginada.”

A partir daí, foram definidas as hipóteses secundárias, o objetivo geral e os objetivos específicos, operacionais, que foram, compulsoriamente, alcançados.

3.2 O ESTUDO REALIZADO

Para a redefinição dos parâmetros de uma estação de efluentes, elaborou-se um planejamento, rigorosamente seguido, que permitiu à pesquisadora a percepção dos indicadores mais adequados às alterações pretendidas. Para isso, a investigação realizada foi caracterizada como experimental (procedimento), por isso, de abordagem quantitativa, sob nível explicativo.

As investigações realizadas à luz de procedimento experimental exigem da investigadora o isolamento do objeto da pesquisa para que não sofra interferências externas e, dessa forma, garantam a fidedignidade dos resultados obtidos.

A força básica da pesquisa experimental está no controle relativamente alto da situação experimental e consequentemente das possíveis variáveis independentes. Isto significa que as relações podem ser estudadas isoladas da cacofonia do mundo exterior; as relações “puras” podem ser estudadas. (KERLINGER, 2003, p. 127).

Dessa forma, após a determinação das hipóteses secundárias, foram definidas as variáveis independentes que permitiram a análise isenta no estudo das relações entre as mesmas. Estas definições delinearam também o método de abordagem, quantitativo, para a investigação realizada. Malhotra *et al.* (2001), deixa claro que, este tipo de pesquisa objetiva quantificar os dados para posterior generalização dos resultados das amostras. A coleta de dados deve ser adequadamente estruturada e a análise deve seguir o rigor estatístico.

O nível da pesquisa é exploratório, pois trata da determinação e manipulação de variáveis independentes. Assim descritas:

- VI_1: Dimensionamento do medidor de vazão;
- VI_2: Monitoramento do pH;
- VI_3: Tempo de floculação.

As variáveis, sob manipulação, permitiram a confirmação/refutação das hipóteses parciais. Os resultados são apresentados na seção de análise e discussão dos resultados.

As hipóteses parciais determinadas para a investigação, a partir da hipótese de trabalho foram:

- H1:** O monitoramento do Potencial Hidrogeniônico do efluente trará eficiência no tratamento;
- H2:** O dimensionamento de um medidor de vazão para os afluentes da estação influenciará na dosagem dos reagentes;
- H3:** O *Jar Test* resultará na quantidade de reagentes utilizadas na ETE;
- H4:** O tempo de floculação implicará na adequação dos parâmetros.

Contudo, houve dificuldades com questões de precisão por falta de equipamento, mas todas as hipóteses foram validadas. Conforme o procedimento experimental e dimensionamento a seguir.

3.3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO

A descrição do processo realizado no presente relatório baseia-se na utilização de reagentes, conforme a indicação do fabricante da ETE compacta e no conjunto de materiais e métodos para descrever o monitoramento do pH do efluente em questão, dosagens ótima de coagulante sulfato de alumínio, ensaio para determinar o tempo de agitação ótimo, bem como diferenças pela adição de auxiliares denominados polímeros.

3.3.1 Materiais

Os materiais utilizados nos ensaios são os mesmos disponíveis na estação e encontram-se listados na Tabela 8.

Tabela 8: Materiais utilizados no procedimento experimental

Quantidade	Material
5	Becker 600 mL
3	Becker 1 L
1	Becker 250 mL
4	Pipeta graduada 10 mL
1	Bastão de vidro
1	Equipamento <i>jar test</i>
-	Soda Cáustica 50% líquida
-	Sulfato de Alumínio líquido isento de Ferro líquido
-	Polímero Catiônico sólido
-	Polímero Aniônico sólido
-	Fita pH

Fonte: Desenvolvido pela autora, 2019.

A realização dos ensaios baseou-se na utilização dos próprios reagentes utilizados na ETE. O único reagente que foi dissolvido, foi o polímero aniônico. Seguindo o mesmo procedimento do catiônico, onde adiciona-se o polímero catiônico em um copo de 100 mL para 50 L. Dessa forma, em laboratório pesou-se o copo com polímero e encontrou-se a densidade

de 1,48 g/L. por meio do mesmo procedimento e regra de três obteve-se o a relação para o polímero aniônico.

3.3.2 Monitoramento do pH

Realizou-se o monitoramento do efluente, com a utilização de fita de pH, durante três meses, com amostras retiradas do reservatório da estação de tratamento compacta antes do início do processo de tratamento.

3.3.3 Dosagem ótima de coagulante

Inicialmente, coletou-se as amostras diretas no desague do reservatório da estação de tratamento e executou-se o procedimento *jar test* em até 24 horas após a coleta para a obtenção da dosagem ótima de coagulante na seguinte ordem:

Armazenou-se as amostras em frascos de polietileno; posteriormente com auxílio de uma proveta, mediu-se 5 amostras de 250 mL cada e transferiu-se para becker de 600 mL.

Com uso de uma pipeta graduada e fita de pH, adicionou-se soda cáustica 50% para correção do pH e em seguida com auxílio de um equipamento *jar test*, inseriu-se as amostras sob agitação a 120 rpm para homogeneização. Após a homogeneização, através de outra pipeta graduada, adicionou-se coagulante sulfato de alumínio sob etapa rápida, logo reduziu-se a velocidade para 20 rpm para a formação de flocos, permanecendo 20 minutos sob etapa lenta e, por fim, esperou-se 20 minutos para decantação.

3.3.4 Ensaio para determinar o tempo de agitação ótimo

Estabeleceu-se uma quantidade ótima de coagulante para todas as amostras, de maneira que se realizou o mesmo procedimento experimental de *jar test*, mas com tempos de 5 a 25 minutos respectivamente sob etapa lenta para a formação de flocos. Em seguida, com auxílio de uma régua mediu-se a sedimentação nos próximos 5 minutos subsequentes aos tempos de agitação para obter o melhor adensamento de sólidos da decantação.

3.3.5 Dosagem ótima de polímeros

Executou-se o mesmo procedimento *jar test* com dosagens pré-estabelecidas de coagulante sulfato de alumínio e adicionou-se quantidades de polímeros, aniônicos e catiônicos, de 0,2 a 0,6 mL, respectivamente nas amostras enumeradas de 1 a 5.

3.4 ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir dos procedimentos realizados foi possível fazer a análise dos resultados do monitoramento do pH do efluente em questão, dosagens ótimas de coagulante sulfato de alumínio, ensaio para determinar o tempo de agitação ótimo, bem como diferenças pela adição de auxiliares denominados polímeros.

3.4.1 Monitoramento do pH

O monitoramento do pH possibilita conhecer o comportamento do efluente conforme a variação de consumo de tintas e águas residuárias oriundas da lavagem dos equipamentos utilizados em cada processo de impressão da indústria em questão. Então, com o monitoramento obteve-se os seguintes dados mostrados na Tabela 9.

Tabela 9: Monitoramento pH

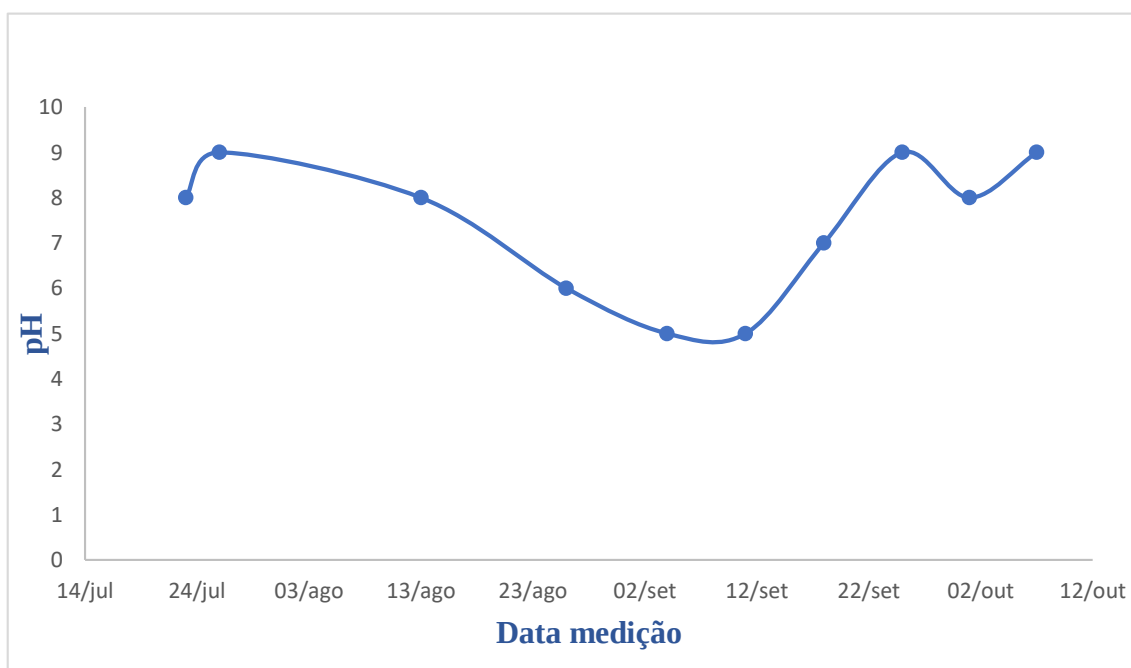
POTENCIAL HIDROGENIÔNICO DA ETE	
Data	Afluente
23/07	8
26/07	9
13/08	8
26/08	6
04/09	5
11/09	5

18/09	7
25/09	9
1/10	8
7/10	9

Fonte: Desenvolvido pela autora, 2019.

Por meio dos indicadores variáveis, elaborou-se o Gráfico 1 para melhor representar os dados.

Gráfico 1: Monitoramento do pH do efluente



Fonte: Desenvolvido pela autora, 2019.

Por meio dos dados, percebe-se a complexidade do efluente em questão, com uma grande variação de pH, abrangendo uma faixa de 5 a 9, ou seja, ora possui características ácidas ora características alcalinas. Esse aspecto do efluente gera ampla dificuldade, principalmente porque além da variação de pH, não se possui valores de vazão, implicando diretamente nas unidades de tratamento do mesmo, necessitando então do monitoramento antes e depois do tratamento e de algum medidor de vazão para corrigir e atingir o objetivo da estação de tratamento.

3.4.2 Dosagem ótima de coagulante

Com o intuito de determinar a dosagem ótima de coagulante, realizou-se o *jar test*, corrigindo o pH para 9,0, este recomendado pelo fabricante da ETE compacta, com as quantidades de sulfato de alumínio variando de 2 a 6 mL num primeiro momento, de acordo com a Tabela 10 e, em seguida, imagens de cada etapa.

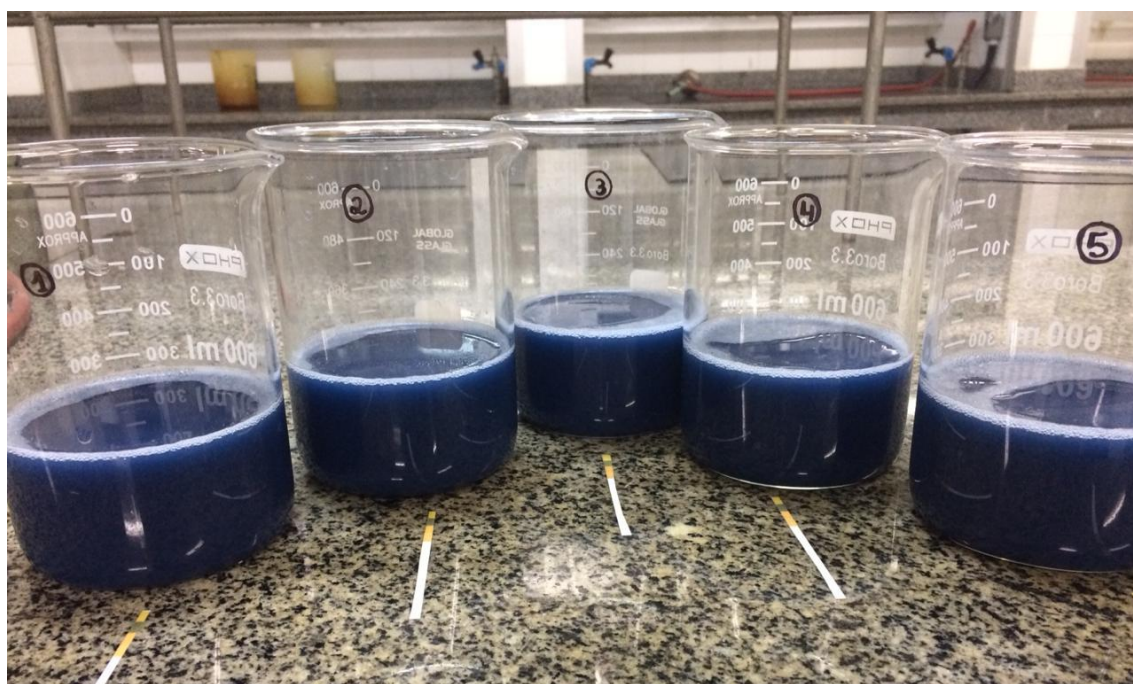
Tabela 10: *Jar test* I. Ensaio 19/09/2019.

Amostra	pH	NaOH (mL)	pH corrigido	Al ₂ (SO ₄) ₃ (mL)	pH final
1	6-7	0,4	9	2	6
2	6-7	0,4	9	3	5
3	6-7	0,4	9	4	5
4	6-7	0,4	9	5	5
5	6-7	0,4	9	6	5

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Inicialmente mediu-se o pH por da fita de pH ficando em torno de 6-7, conforme a Figura 7.

Figura 7: Medição pH inicial. Ensaio 19/09/2019.



Fonte: Desenvolvida pela autora, 2019.

Por meio do resultado obtido na medição, fez-se a correção de pH para 9 com aproximadamente 0,4 mL de soda cáustica, conforme a Figura 8.

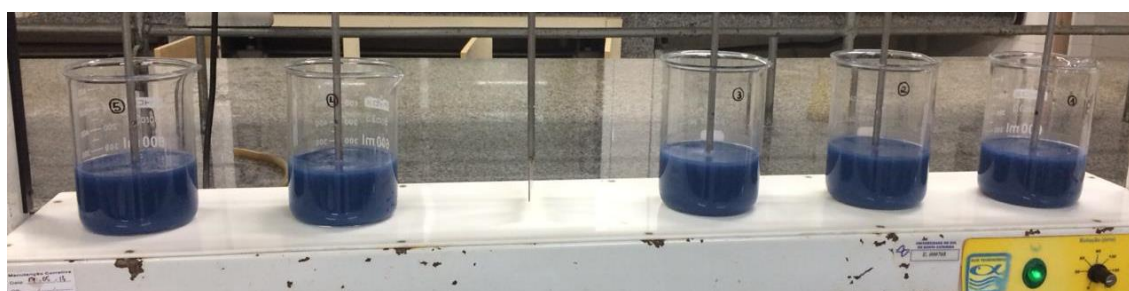
Figura 8: Correção medição pH inicial. Ensaio 19/09/2019.



Fonte: Desenvolvido pela autora, 2019.

Após corrigir o pH, as amostras são colocadas no equipamento *jar test*, sob etapa rápida, agitada a 120 rpm para adição de sulfato de alumínio, conforme a Figura 9.

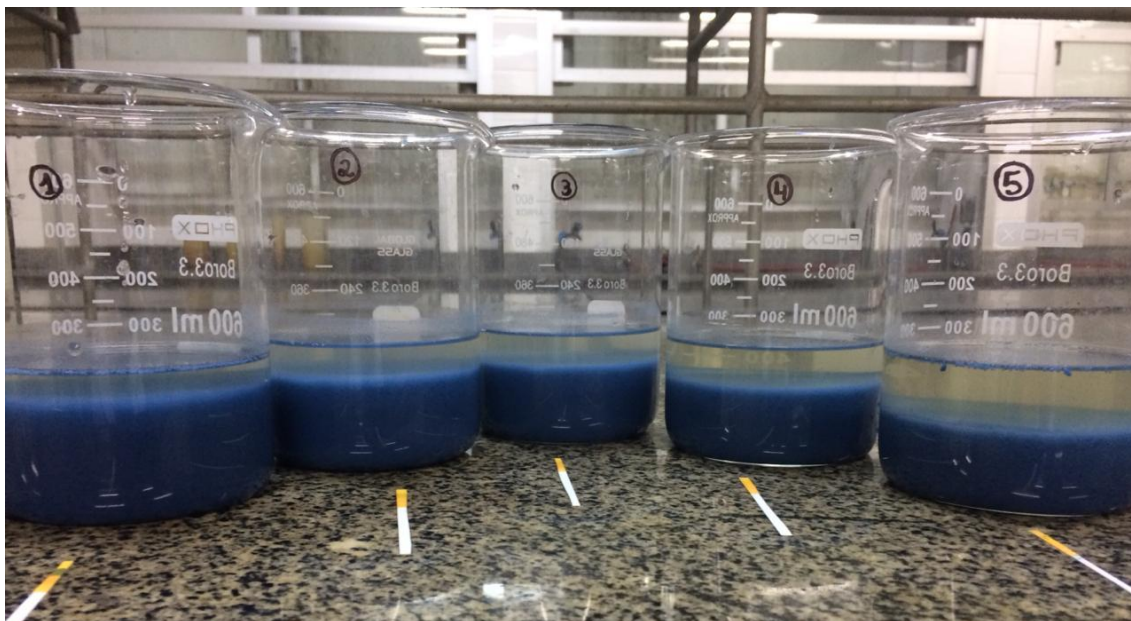
Figura 9: Equipamento *jar test*. Ensaio 19/09/2019.



Fonte: Desenvolvido pela autora, 2019.

Após a adição de sulfato de alumínio, altera-se a rotação para 20 rpm, a fim de realizar a etapa lenta para a floculação por 20 minutos e, posteriormente, o desligamento do equipamento para a decantação por 20 minutos. Assim, obteve-se o seguinte resultado conforme a Figura 10.

Figura 10: Resultado decantação *jar test* I. Ensaio 19/09/2019.



Fonte: Desenvolvido pela autora, 2019.

A partir dos resultados do primeiro ensaio, realizou-se um segundo ensaio com quantidades de sulfato de alumínio, variando de 6 a 10 mL de acordo com a Tabela 11 e em seguida imagens de cada etapa.

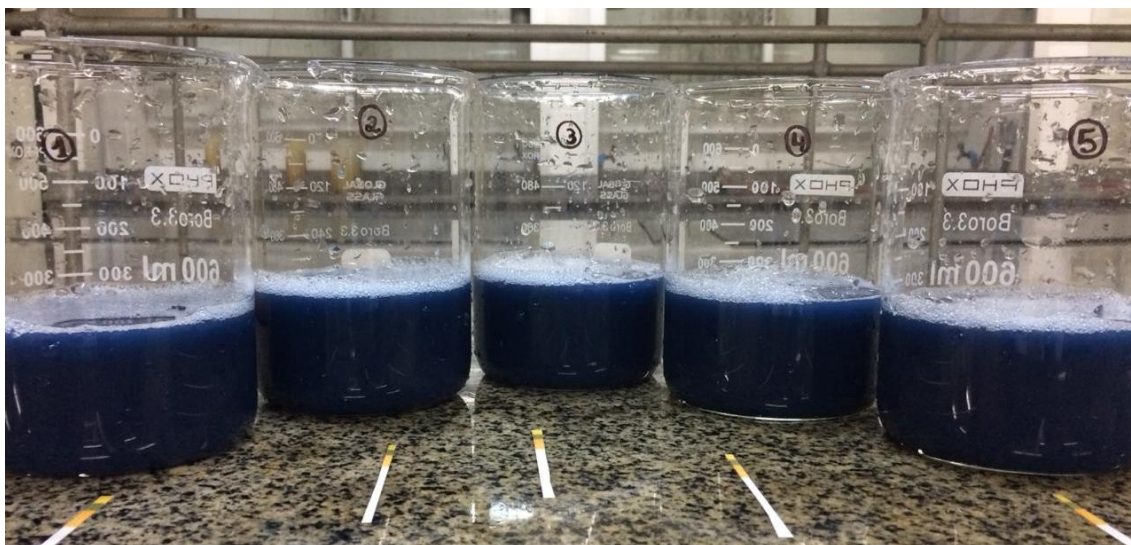
Tabela 11: Jar test II. Ensaio 19/09/2019.

Amostra	pH	NaOH (mL)	pH corrigido	Al ₂ (SO ₄) ₃ (mL)	pH final
1	6-7	0,3	9	6	5
2	6-7	0,3	9	7	4
3	6-7	0,3	9	8	4
4	6-7	0,3	9	9	4
5	6-7	0,3	9	10	4

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Dessa forma, inicialmente mediu-se o pH através da fita de pH, ficando em torno de 6-7, conforme a Figura 11.

Figura 11: Medição pH inicial. Ensaio 19/09/2019.



Fonte: Desenvolvido pela autora, 2019.

Por meio do resultado obtido na medição, fez-se a correção de pH para 9 com aproximadamente 0,3 mL de soda cáustica, conforme a Figura 12.

Figura 12: Correção medição pH inicial. Ensaio 19/09/2019.

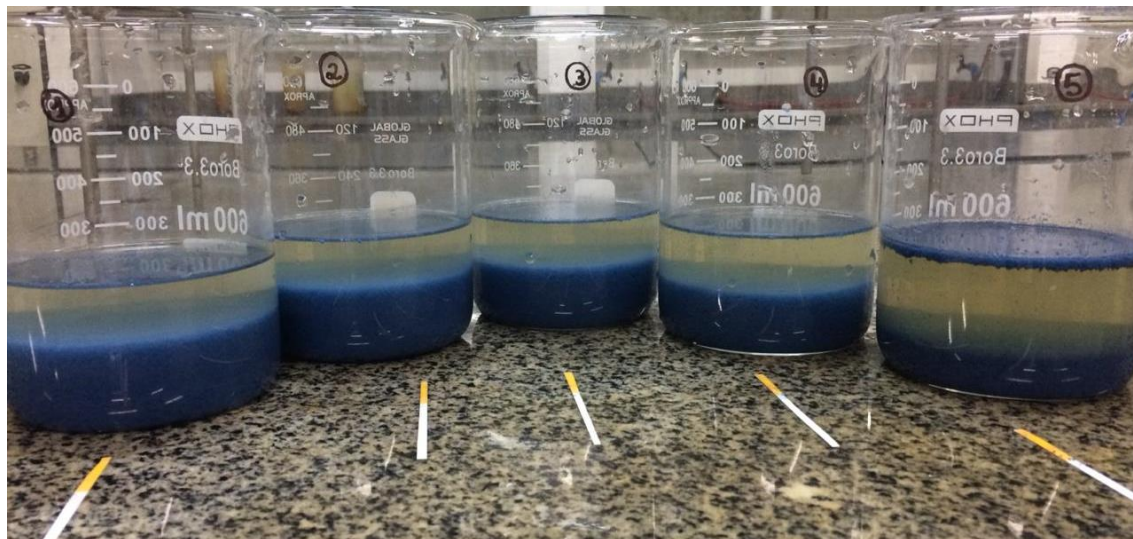


Fonte: Desenvolvido pela autora, 2019.

Após corrigir o pH, as amostras foram colocadas no equipamento *jar test*, sob etapa rápida, agitada a 120 rpm para adição de sulfato de alumínio. Após a adição, altera-se a rotação para 20 rpm, a fim da etapa lenta para a floculação por 20 minutos e, posteriormente, o

desligamento do equipamento para a decantação por 20 minutos. Assim, com o término do tempo, obteve-se o seguinte resultado, conforme a Figura 13.

Figura 13: Resultado decantação *jar test* II. Ensaio 19/09/2019.



Fonte: Desenvolvido pela autora, 2019.

Tendo em vista os resultados obtidos, percebeu-se que a amostra que mais se destacou, nos quesitos remoção de cor, turbidez e sólidos suspensos, foi a amostra de número 2 do primeiro ensaio, a qual recebeu 3 mL de sulfato de alumínio, justificado pela neutralização de carga dos colóides que possibilita a agregação dos mesmos, possibilitando a decantação. As amostras com menores quantidades de sulfato de alumínio se mostraram mais turvas visualmente e, as amostras com maiores quantidades de sulfato de alumínio, apresentaram flocos em suspensão.

O pH, por sua vez, conforme a crescente quantidade de sulfato adicionada, resultava em sobrenadante de caráter mais ácido, com variação de pH final entre 6 e 4, representando assim a formação dos produtos de hidrólise conforme a Figura 4 do referencial bibliográfico.

Cabe ressaltar que o fabricante, além de indicar o melhor pH de coagulação, também afirma que o efluente sai do filtro da estação de tratamento com pH entre 6,5 a 7,5. Com isso, percebemos problemas operacionais da ETE compacta que, por motivos de dimensionamento para outras condições de funcionamento, pelas mudanças da indústria nesses 10 anos que se passaram desde seu dimensionamento, de alterações e substituições dentro da ETE, comprometeram principalmente o parâmetro de pH, que de acordo com a legislação estadual, deverá estar entre 6 e 9 para possibilitar o descarte nos corpos hídricos.

Dessa forma, é notória a necessidade de se melhorar a homogeneização da correção do pH inicial, pois a adição da soda ocorre rapidamente sem a dispersão total do reagente, não

atingindo o pH ótimo desejado. Para isso, uma das alternativas é aumentar a área de contato da adição, com a imersão da mangueira de soda no efluente, além da diversa perfuração da mesma, construindo inúmeros furos para a passagem da soda.

3.4.3 Ensaio para determinar o tempo ótimo de agitação

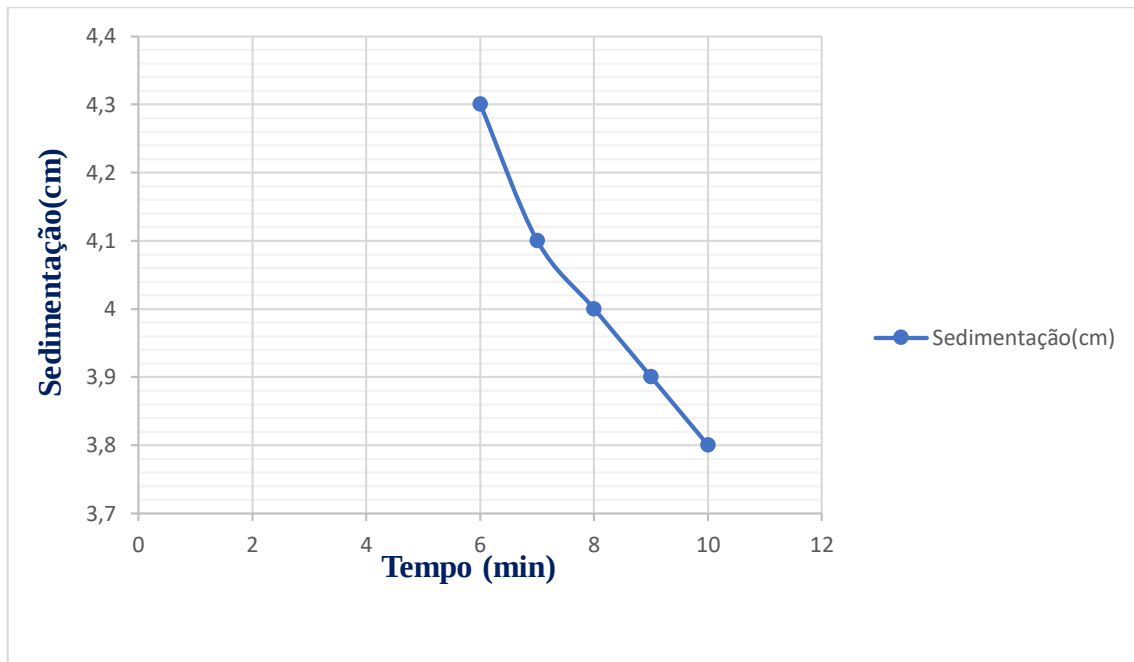
Com a mesma amostra, no mesmo dia e com o resultado de dosagem ótima (3 mL) determinada, buscou-se determinar o melhor tempo de agitação em decorrência dos flocos para evitar a quebra e a estabilização dos mesmos. Assim, fez-se o mesmo procedimento com as 5 amostras, realizou-se a medição do pH inicial, efetuou-se a correção do pH, passou-se para etapa rápida e na etapa lenta, variou-se o tempo de agitação para uma melhor eficiência do tratamento.

Estas amostras foram enumeradas de 1 a 5, compreendendo tempos de agitação de 5 a 25 minutos, respectivamente. Dessa forma, analisou-se os 5 minutos posteriores para analisar a velocidade de decantação, assim elaborou-se um gráfico de análise para cada uma, conforme as Tabelas de monitoramento e Gráficos de sedimentação a seguir.

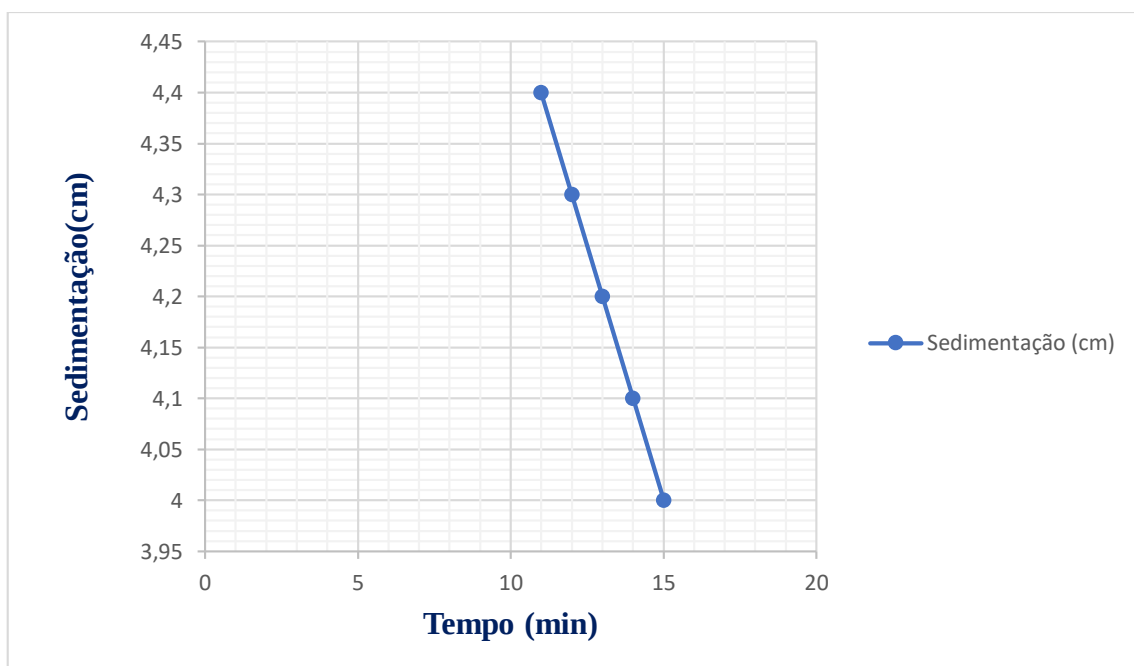
Tabela 12: Monitoramento sedimentação da amostra 1. Ensaio 19/09/2019.

1		2		3		4		5	
Tempo (min)	Sedimentação (cm)	Tempo (min)	Sedimentação (cm)	Tempo (min)	Sedimentação (cm)	Tempo (min)	Sedimentação (cm)	Tempo (min)	Sedimentação (cm)
5	4,3	11	4,4	16	4,3	21	4,2	26	4,2
7	4,1	12	4,3	17	4,2	22	4	27	4,1
8	4	13	4,2	18	4,2	23	3,9	28	4
9	3,9	14	4,1	19	4,1	24	3,8	29	3,9
10	3,8	15	4	20	4	25	3,6	30	3,8

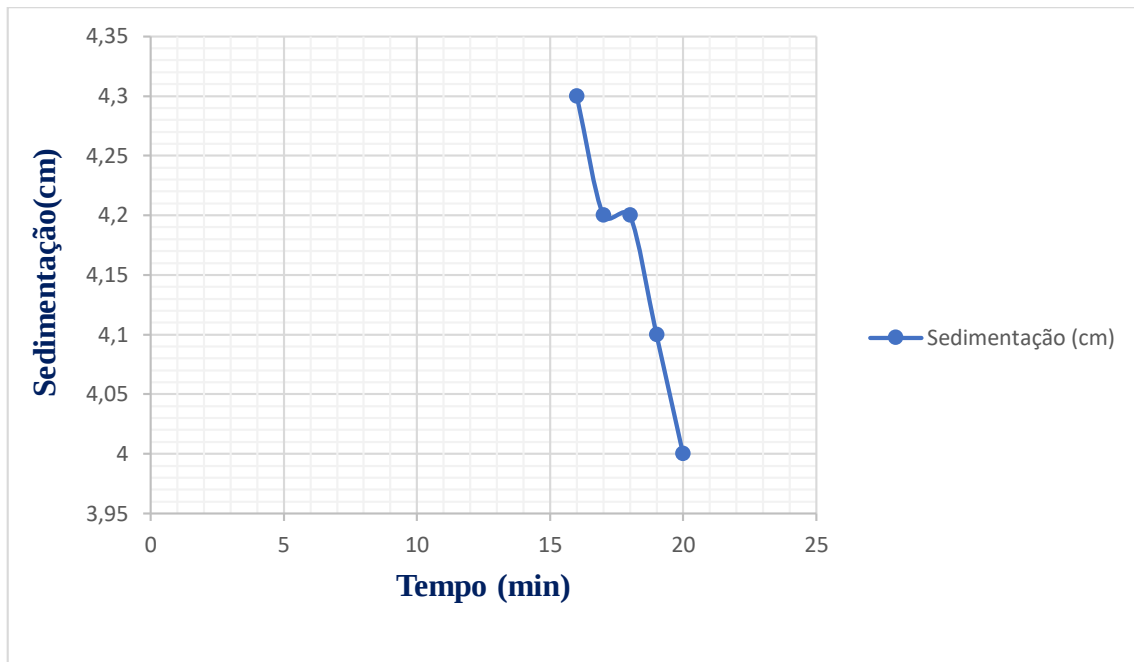
Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Gráfico 2: Monitoramento sedimentação amostra 1.

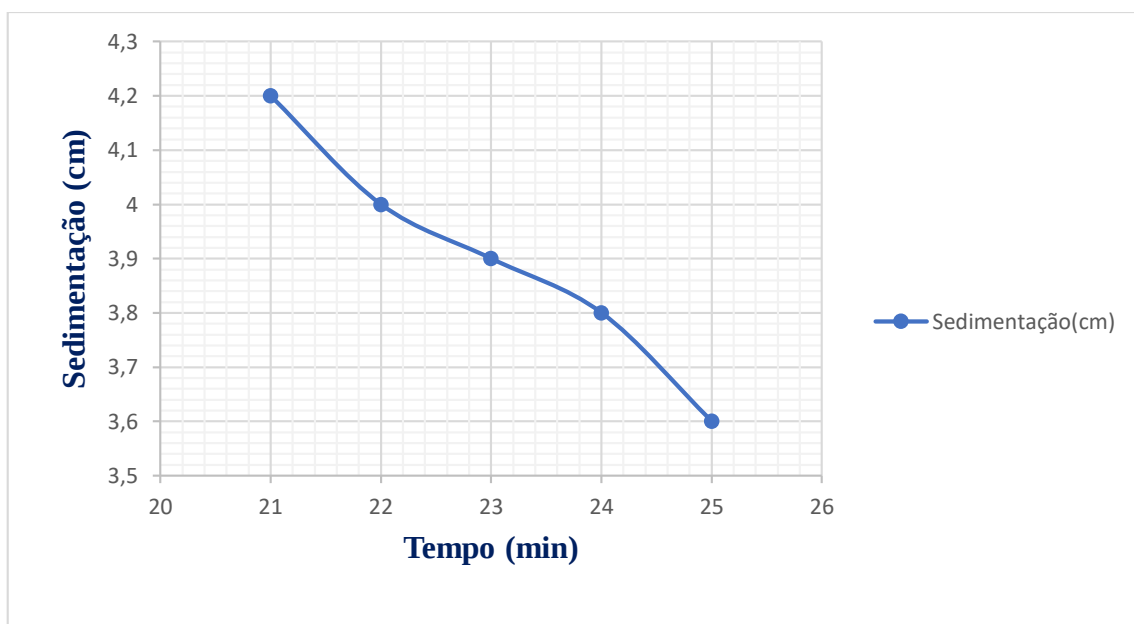
Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Gráfico 3: Monitoramento sedimentação da amostra 2.

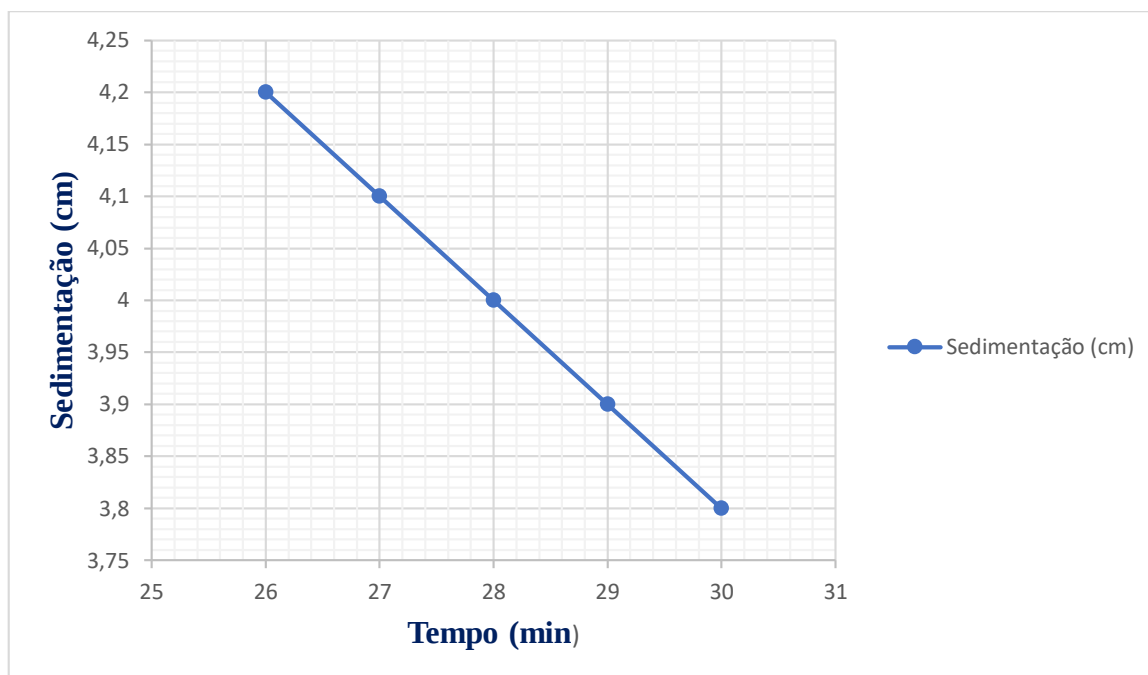
Fonte: Elaborado da autora, 2019.

Gráfico 4: Monitoramento sedimentação da amostra 3.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Gráfico 5: Monitoramento sedimentação da amostra 4.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Gráfico 6: Monitoramento sedimentação da amostra 5.

Fonte: Elaborado da autora, 2019.

E para finalizar obteve-se a altura final da compactação do decantado, como mostra a Tabela 13.

Tabela 13: Resumo do procedimento para determinação do tempo ótimo de agitação. Ensaio 19/09/2019.

Amostra	pH	NaOH (mL)	pH	Al ₂ (SO ₄) ₃ (mL)	pH	Tempo (min)	Decantado (cm)
1	6-7	6 gotas	9	3	5-6	5	2,8
2	6-7	6 gotas	9	3	5-6	10	2,8
3	6-7	6 gotas	9	3	5-6	15	2,7
4	6-7	6 gotas	9	3	5-6	20	2,7
5	6-7	6 gotas	9	3	5-6	25	2,7

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Por meio do ensaio, optou-se por padronizar os ensaios com 20 minutos de agitação lenta pela maior compactação dos componentes sedimentáveis, e assim calculou-se a velocidade de decantação conforme a equação 6.

$$v = \frac{H_o - H_f}{t} = \frac{(4,2 - 3,6)cm}{5 \text{ min}} = 0,12 \frac{cm}{min} \cdot \frac{1 m}{100 cm} \cdot \frac{1 min}{60 s} = 0,00002 \frac{m}{s}$$

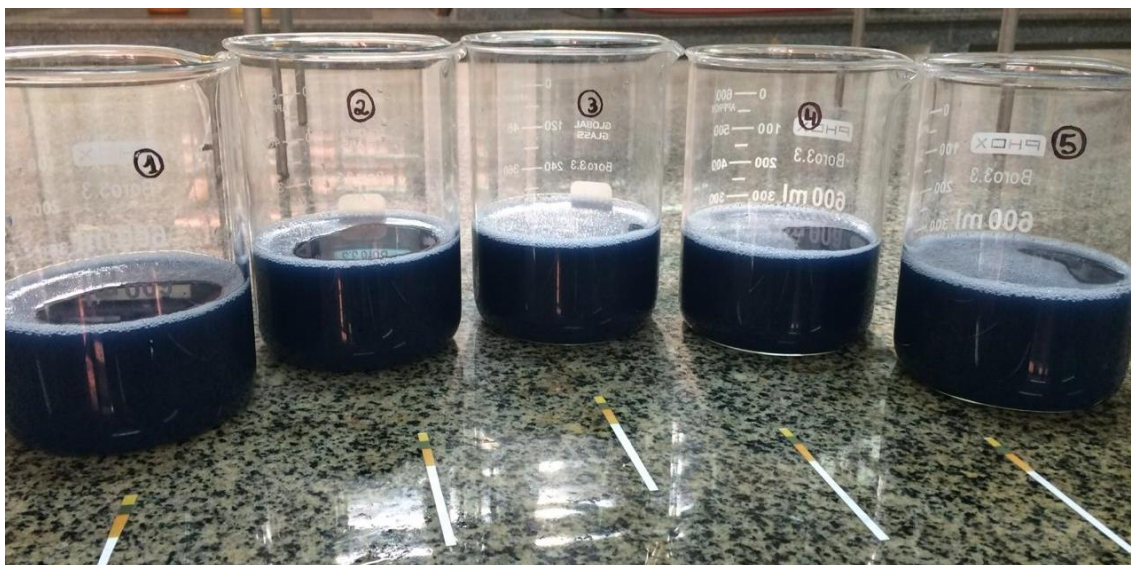
Os resultados do ensaio de decantação, conforme o embasamento teórico, não apresentaram dados satisfatórios pelo tempo de monitoramento ser relativamente baixo. Porém, por meio desse ensaio, percebeu-se a necessidade do aumento do tempo de mistura na ETE compacta, já que o efluente percorre caminhos preferenciais ao longo da canaleta de mistura, levando menos de 5 minutos de etapa lenta. Então, sugere-se a inserção de mais chicanas no início para aumentar o tempo de residência e melhorar o contato entre reagentes e efluente.

3.4.4 Dosagem ótima de polímeros

Com intuito de determinar e avaliar a necessidade da dosagem de polímero, coletou-se amostra da semana seguinte para a realização do ensaio de dosagem ótima. Assim fixados alguns determinantes, pelos ensaios anteriores temos: 5 amostras de 250 ml de efluente cada; 3 mL de sulfato de alumínio; Agitação rápida 120 rpm na adição de sulfato e polímero; 20 rpm na agitação lenta por 20 minutos e 20 minutos de decantação.

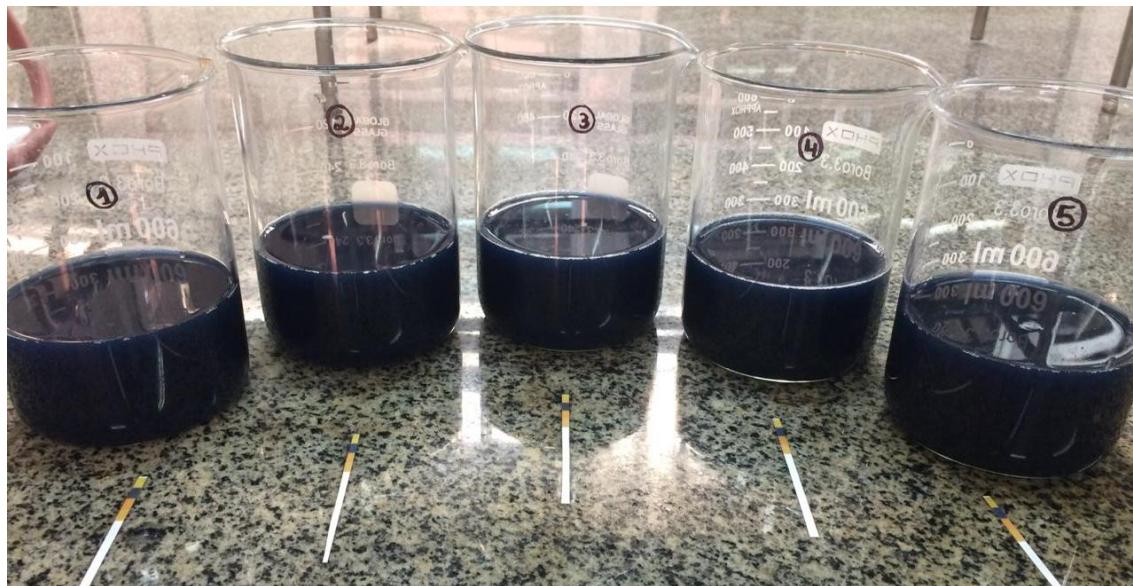
Executou-se o mesmo procedimento experimental: Medição pH inicial (Figura 14), correção para 9 com adição de soda (Figura 15), mesma quantidade de sulfato de alumínio nas amostras, variação de polímero catiônico de 0,1 a 0,5 mL.

Figura 14: Medição pH inicial. Ensaio 22/09/2019.



Fonte: Desenvolvido pela autora, 2019.

Figura 15: Correção pH inicial. Ensaio 22/09/2019.



Fonte: Desenvolvido pela autora, 2019.

Dessa forma, para melhor apresentação elaborou-se uma tabela com o resumo do procedimento experimental, como mostra a seguir.

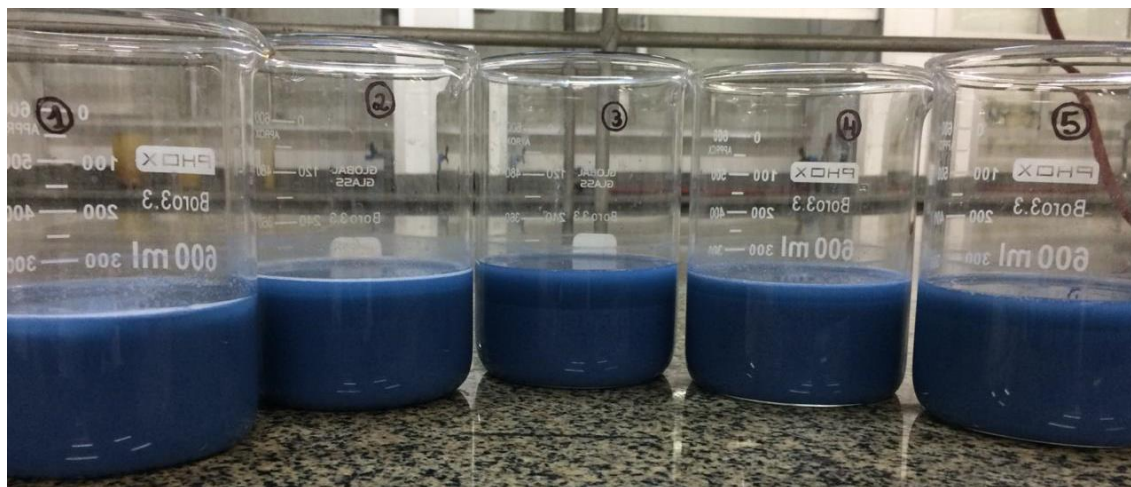
Tabela 14: Resumo procedimento experimental. Ensaio 22/09/2019.

Amostra	pH inicial	NaOH (mL)	pH corrigido	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (mL)	Polímero Catiônico (mL)	pH final
1	8	0,3	9	3	0,1	6
2	8	0,3	9	3	0,2	6
3	8	0,3	9	3	0,3	6
4	8	0,3	9	3	0,4	6
5	8	0,3	9	3	0,5	6

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Assim, após o tempo de decantação obteve-se o seguinte resultado apresentado na Figura 16.

Figura 16: Resultado ensaio para determinação de dosagem ótima de polímero catiônico. Ensaio 22/09/2019.



Fonte: Desenvolvido a autora, 2019.

Com base nos resultados, percebeu-se que além do pH, existe variação da composição do efluente em questão, de maneira que ocorreu a sedimentação, mas a cor e turbidez permaneceram. Assim, na busca incessante pela melhor dosagem, optou-se por iniciar o procedimento de *jar test* III para determinação da dosagem de sulfato de alumínio na nova amostra.

Seguiu-se novamente a tabela com resumo do procedimento, no primeiro momento com 5 amostras de 250 ml de efluente cada, variando a quantidade de sulfato de 0 a 5 mL, agitação rápida 120 rpm na adição de sulfato, 20 rpm na agitação lenta por 20 min e 20 min decantação.

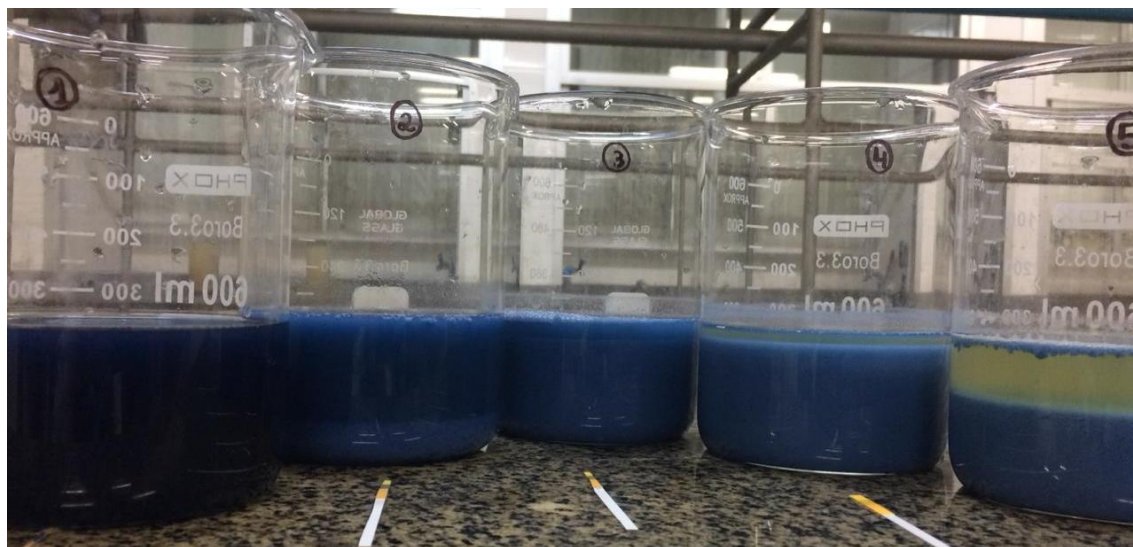
Tabela 15: Ensaio *jar test* III realizado 22/09/2019.

Amostra	pH inicial	NaOH (mL)	pH corrigido	Al ₂ (SO ₄) ₃ (mL)	pH final
1	8	0,3	9	0	9
2	8	0,3	9	2	8
3	8	0,3	9	3	6
4	8	0,3	9	4	5
5	8	0,3	9	5	5

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Após o tempo de decantação, obtiveram-se os resultados, conforme a figura a seguir.

Figura 17: Resultado *jar test* III. Ensaio 22/09/2019.



Fonte: Desenvolvido pela autora, 2019.

Em um segundo momento, variou-se a quantidade de sulfato de alumínio de 6 a 10 mL, conforme o resumo a seguir na Tabela 16.

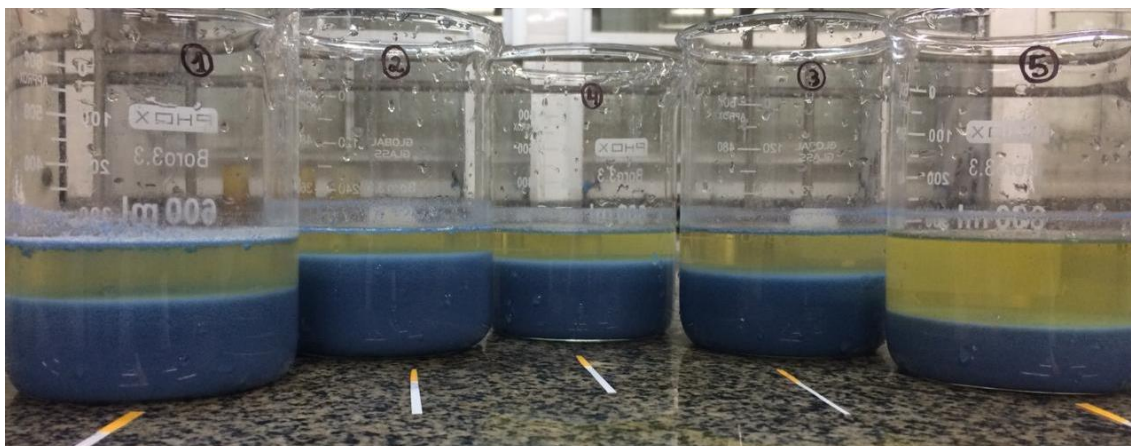
Tabela 16: Resumo *jar test* IV. Ensaio 22/09/2019.

Amostra	pH inicial	NaOH (mL)	pH corrigido	Al ₂ (SO ₄) ₃ (mL)	pH final
1	8	6 gotas	9	6	4
2	8	6 gotas	9	7	4
3	8	6 gotas	9	8	4
4	8	6 gotas	9	9	4
5	8	6 gotas	9	10	4

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Após o tempo de decantação, obtiveram-se os resultados, conforme Figura 18.

Figura 18: Resultado *jar test* IV. Ensaio 22/09/2019.



Fonte: Desenvolvido pela autora, 2019.

Com base nos resultados do *jar test* III e IV, a melhor aparência encontrou-se com 10 mL de sulfato de alumínio. A cor azul foi retirada, puxando o amarelo e pH final em torno de 4. Com tamanha variação, percebeu-se a necessidade do *jar test* a cada ensaio para a possível determinação dos reagentes.

Desse modo, pela inconstância do efluente, decidiu-se realizar ensaios com tipos de polímeros diferentes, catiônico e aniônico, para analisar a existência de diferenças e realizar a escolha do melhor tipo para a ETE compacta.

Assim, executou-se o mesmo procedimento, cujo resumo é apresentado na Tabela 18, variando a quantidade de sulfato de alumínio de 3 a 7 mL, 5 amostras de 250 ml de efluente cada, agitação rápida 120 rpm na adição de sulfato, 20 rpm na agitação lenta por 20 minutos e 20 minutos de decantação.

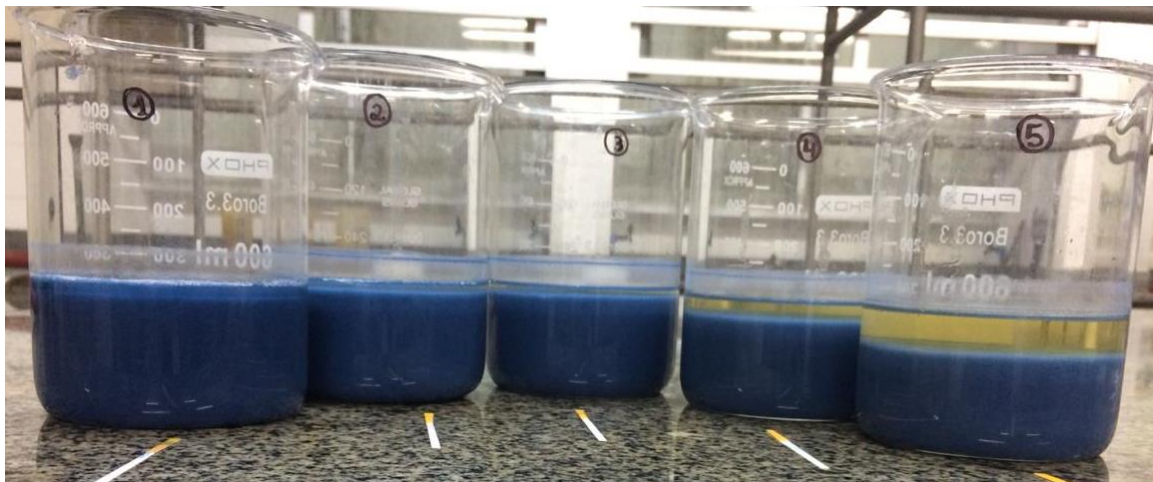
Tabela 17: Resumo procedimento *jar test* V. Ensaio 26/09/2019.

Amostra	pH inicial	NaOH (mL)	pH corrigido	Al ₂ (SO ₄) ₃ (mL)	pH final
1	8	0,3	9	3	6
2	8	0,3	9	4	5
3	8	0,3	9	5	5
4	8	0,3	9	6	4
5	8	0,3	9	7	4

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Após o tempo de decantação, obtiveram-se os resultados conforme a Figura 19.

Figura 19: Resultados *jar test* V. Ensaio 26/09/2019.



Fonte: Desenvolvido pela autora, 2019.

De acordo com os resultados obtidos, optou-se pela amostra 3 com 5 mL de sulfato de alumínio, no intuito de demonstrar a diferença entre a utilização do polímero catiônico e aniônico. Então, realizou-se o procedimento de acordo com a Tabela 18.

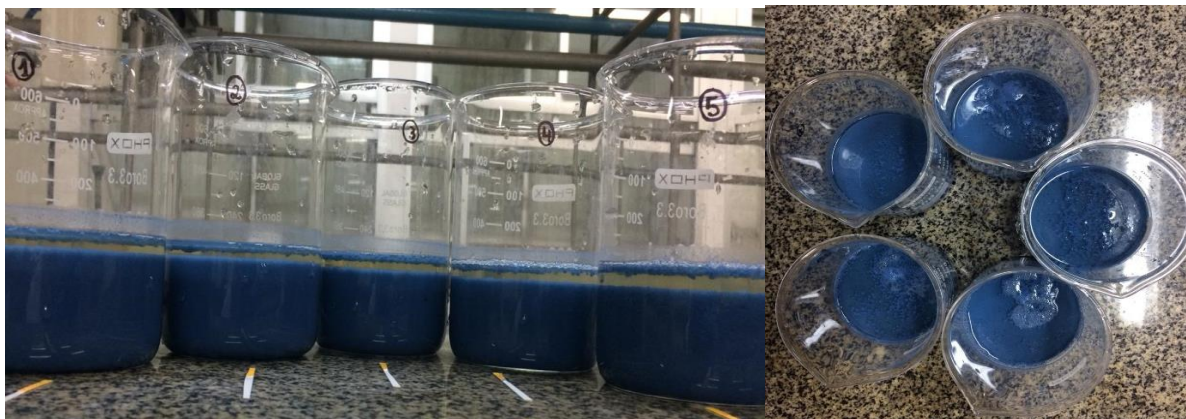
Tabela 18: Resumo experimental na determinação de polímero catiônico. Ensaio 26/09/2019.

Amostra	pH inicial	NaOH (mL)	pH corrigido	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (mL)	Polietrólito catiônico (mL)	pH final
1	8	0,3	9	5	0,2 mL	5
2	8	0,3	9	5	0,3 mL	5
3	8	0,3	9	5	0,4 mL	5
4	8	0,3	9	5	0,5 mL	5
5	8	0,3	9	5	0,6 mL	5

Fonte: elaborada pela autora, 2019.

Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 20.

Figura 20: Resultados ensaio determinação polímero catiônico. Ensaio 26/09/2019.



Fonte: Desenvolvido pela autora, 2019.

Em seguida realizou-se o procedimento de acordo com a Tabela 19.

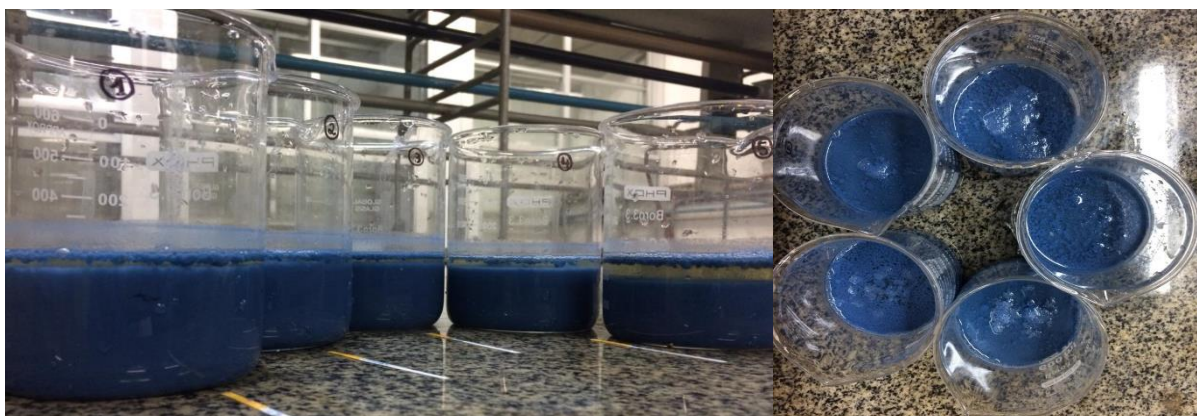
Tabela 19: Resumo experimental na determinação de polímero aniônico. Ensaio 26/09/2019.

Amostra	pH inicial	NaOH (mL)	pH corrigido	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (mL)	Polietrólito aniônico (mL)	pH final
1	7	6 gotas	9	5	0,2 mL	5
2	7	6 gotas	9	5	0,3 mL	5
3	7	6gotas	9	5	0,4 mL	5
4	7	6 gotas	9	5	0,5 mL	5
5	7	6 gotas	9	5	0,6 mL	5

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 21.

Figura 21: Resultados ensaio determinação polímero aniônico. Ensaio 26/09/2019.



Fonte: Desenvolvido pela autora, 2019.

Ambos apresentaram resultados negativos, tanto catiônico quanto aniônico originaram flotação.

3.4.5 Redimensionamento da ETE compacta

Por meio dos resultados obtidos em laboratório, observou-se uma discrepância em relação aos resultados obtidos na prática. Então, além da necessidade do dimensionamento do medidor de vazão, apresentaram-se necessidades de alterações na etapa rápida e de floculação, correção de pH ao final do tratamento. Outros ajustes também foram efetuados para adequação da mesma, como imersão da mangueira de soda cáustica no efluente com a diversa perfuração para garantir a homogeneização, bem como a realização da medição do pH no início e após o tratamento de cada batelada.

3.4.5.1 Composição estrutural ETE compacta

A estação de tratamento compacta em questão (ilustrada na Figura 22) é composta por: um tanque de equalização; um reservatório de efluente bruto; floculador em canaleta com chicanas; um tanque de decantação com uma barreira para impedir que sólidos em suspensão, porventura, passem para o filtro; um filtro com fluxo descendente constituído de pedra, areia e carvão ativado; um tanque de armazenamento e destinação do efluente tratado; dois leitos de secagem, uma bomba de recalque do efluente bruto; uma bomba para vazão do efluente; quatro bombas dosadoras disponíveis (soda cáustica, sulfato de alumínio, polímero catiônico e soda cáustica), mas atualmente utilizam-se três (soda cáustica, sulfato de alumínio e polímero catiônico).

Figura 22: Ilustração ETE compacta com vista superior.

m³ (317,9 L). Subtraindo deste valor o volume ocupado pelas chicanas, que é igual a 0,00195 m³, chega-se a 0,31595 m³ (315,95 L), aproximadamente.

- ✓ Tanque de decantação: O tanque de decantação tem formato retangular com o fundo arredondado e uma barreira para sobrenadantes. Então, dividiu-se a peça em um paralelepípedo e dois triângulos retângulos colocando o cateto adjacente maior para compensar o volume na parte arredondada. Assim, o paralelepípedo possui 1,76 m de largura, 0,7 metros de altura e 4,2 metros de comprimento, volume aproximado 5,1744 m³ (5174,4 L); cada triângulo retângulo então possui 0,9 m de base, 0,8 metros de altura e 4,2 metros de comprimento, com volume cerca de 3,024 m³ (3024 L) cada; a barreira possui 1,76 metros de comprimento, 0,003 m de espessura e 0,2 metros de largura com volume 0,001056 m³ (1,056 L); e subtraindo volume do filtro (0,528 m³), reservatório (0,6 m³) e barreira volume (0,001056 m³) apresenta um volume total de decantação de 10,09334 m³ (10093,34 L).
- ✓ Filtro: O filtro possui 1,76 metros de largura, 0,5 metros de comprimento e 0,6 metros de profundidade livre com volume em torno de 0,528 m³ (528 L).
- ✓ Tanque de armazenamento do efluente tratado: O tanque possui 0,58 metros de comprimento, 0,58 metros de largura e 0,6 metros de profundidade com volume cerca de 0,20184 m³ (201,84 L).
- ✓ Leitos de secagem: Cada leito de secagem possui 1,74 metros de comprimento, 1,2 metros de largura e 1,3 metros de profundidade com volume aproximado de 2,7144 m³ (2714,4 L) cada, cada tanque de armazenamento de líquido possui 1,74 metros de comprimento, 0,3 metros de largura e 1,3 metros de profundidade com volume aproximado de 0,6786 m³ (678,6 L) cada.

3.4.5.2 Determinação massa específica e viscosidade do efluente

A determinação da massa específica do efluente (ρ) em g/mL foi obtida através da técnica de picnometria, sob a respectiva relação:

$$\rho_{\text{efluente}} = \frac{m_{\text{com picn.}} - m_{\text{pic}}}{V_{\text{pic.}}}$$

Onde “ $m_{\text{com picn.}}$ ” é a massa do efluente com o picnômetro (gramas), “ m_{pic} ” é a massa do picnômetro (gramas) e “ $V_{\text{pic.}}$ ” é o volume (mL).

Dessa forma, mediu-se o picnômetro de 25 mL numa balança com quatro casas decimais e em seguida preencheu-se com amostra do efluente 5 vezes, conforme a Tabela 20.

Tabela 20: Resultados massa específica a 20°C. Ensaio 16/10/2019.

Amostra	Massa com picnômetro (g)	Massa efluente (g)	Massa específica(g/mL)
1	50,7266	25,2059	1,008236
2	50,6824	25,1617	1,006468
3	50,7289	25,2082	1,008328
4	50,7559	25,2352	1,009400
5	50,7406	25,2199	1,008796
	Massa picnômetro: 25, 5207 g		Média: 1,00824 g/mL Desvio: ±0,00109

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Assim, o valor adotado pela média aritmética dos resultados é $1,00824 \pm 0,00109$ g/mL.

3.4.5.3 Determinação vazão do efluente

A quantificação da vazão para base de cálculo para os dimensionamentos foi obtida por meio da medição com uma proveta graduada 2000 mL de determinado volume e tempo, conforme os resultados expostos na Tabela 20.

Tabela 21: Medições de vazão.

Amostra	Volume (mL)	Tempo (s)	Q (L/s)
1	640	1,46	0,4383
2	1000	2,06	0,4854
3	990	2,25	0,44
4	1020	2,52	0,4047
5	870	1,92	0,4531
		Média	0,4443
		Desvio padrão	±0,02910

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Dessa forma, o valor adotado pela média aritmética dos resultados é 0,4443 L/s (1,5994 m³/h).

3.4.5.4 Dimensionamento de um medidor de vazão

O dimensionamento do medidor de vazão está baseado no conceito do Tubo Venturi, porém por apresentar pouco espaço com a sua construção optou-se pela geração de uma depressão no diâmetro da tubulação, e pelo mesmo princípio de Bernoulli calcula-se a velocidade e relaciona com a vazão. De maneira que se fez necessário a calibração com rotâmetro para a criação de uma escala.

Precisamos levar em consideração as propriedades do fluido, onde o efluente em questão apresenta-se como líquido sujo, pouco viscoso, característica ora ácida ora básica e número de Reynolds (Re) calculado através da Equação 8:

$$Re = \frac{\rho \cdot \vec{V} \cdot D}{\mu}$$

A tubulação Amanco PVC 1 ¼" possui diâmetro externo 40 mm (R=0,02m), espessura 2,4 mm (conforme o Anexo B), então obtemos um diâmetro interno de 35,2 mm (r=0,0176m), a massa específica a 20°C do efluente é 1008,24 kg/m³ e a viscosidade adotou-se a da água a 20°C.

- Velocidade de escoamento:

$$Q = A \cdot V \therefore V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi \cdot r^2} = \frac{0,0004443 \text{ m}^3/\text{s}}{3,14 \cdot 0,0176^2 \text{ m}^2} = \mathbf{0,4567 \frac{m}{s}}$$

- Número de Reynolds:

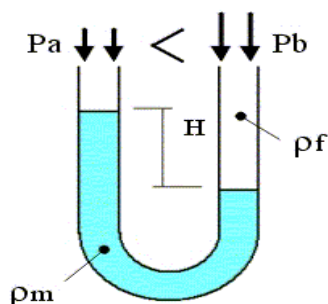
$$Re = \frac{1008,24 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,4567 \frac{m}{s} \cdot 0,0352 \text{ m}}{993 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot s} = \mathbf{16322,5628}$$

Então, caracterizando um sistema turbulento.

O dimensionamento do medidor de vazão tem como princípio o medidor de vazão tipo Venturi, onde por um estrangulamento na tubulação (ilustrado na Figura 23) gera um diferencial de pressão pelo estreitamento do diâmetro, aumentado assim a velocidade e cai a pressão, que move o fluido manométrico, o qual relacionamos com a vazão pela fórmula de Bernoulli. Como mostra a equação do diferencial de pressão em um manômetro do tipo U (ilustrado na Figura 23), a seguir conforme Unicamp:

$$P_b - P_a = (\rho_{man} - \rho_{fluido}) \cdot g \cdot H \quad \text{Equação 13}$$

Figura 23: Manômetro do tipo U.



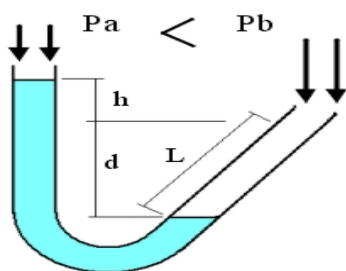
Fonte: Unicamp, p.1

Outro teste na construção no medidor foi calcular a altura do manômetro com o tubo em U inclinado para uma melhor sensibilidade. A equação que representa esse tipo de manômetro (ilustrado na Figura 24) está descrita a seguir:

$$P_b - P_a = (\rho_{man} - \rho_{fluido}) \cdot g \cdot H$$

$$H = L \cdot \sin\theta + h \quad \text{Equação 14}$$

Figura 24: Manômetro tipo U inclinado.



Fonte: Unicamp, p.1.

A partir do estrangulamento e da vazão de referência, elaborou-se uma Tabela de Escala com os dois tubos para facilitar o monitoramento e operação da ETE, conforme o procedimento a seguir.

Inicialmente por meio da união da Equação do manômetro e da Equação de Bernoulli, calculou-se a altura do fluido manométrico em função da vazão ótima obtida pelo ensaio anteriormente descrito e adotou-se as seguintes hipóteses:

- ✓ Fluido manométrico: querosene e suas propriedades através da interpolação e conversão de dados (conforme anexo A);
- ✓ Perda de carga obtida através da relação de Moody;
- ✓ Massa específica do efluente adotada pelo ensaio realizado ($\rho=1008,24 \text{ kg/m}^3$);
- ✓ Vazão constante, por ser um fluido incompressível ($\rho = \text{cte}$);
- ✓ Diâmetro da tubulação Amanco utilizado na ETE 40 mm com 2,4 mm de espessura (conforme anexo B);
- ✓ Diâmetro da garganta utilizado a tubulação Amanco 20 mm com 1,5 mm de espessura (conforme anexo B);
- ✓ Distância de 0,2 m (200 mm) adotada entre Ponto 1 e Ponto 2;
- ✓ Ângulo de inclinação adotada 15° .

Então temos que para o tubo U:

$$h_{\text{fluido manom.}} = - \left\{ \frac{-(Q^2 \cdot \left[\left(\frac{1}{A_2} \right)^2 - \left(\frac{1}{A_1} \right)^2 \right])}{2} - h_L - g \cdot (h_{\text{tub}}) \right\} \cdot \left(\frac{\rho_{\text{efluente}}}{(\rho_{\text{fluido manom.}} \cdot g)} \right)$$

E para o tubo U inclinado, a partir da altura encontrada anteriormente:

$$L = \frac{h_{\text{fluido manom.}}}{\text{sen} \left(15^\circ * \frac{\pi \text{ rad}}{180^\circ} \right)}$$

O cálculo da área 1 e área 2, como:

$$A_1 = \pi \cdot \frac{D_i}{4} = \pi \cdot \frac{(0,0352 \text{ m})^2}{4} = 0,0009731 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \pi \cdot \frac{D_i}{4} = \pi \cdot \frac{(0,017 \text{ m})^2}{4} = 0,0002269 \text{ m}^2$$

A perda de carga por meio da tubulação através da rugosidade do PVC é 0,01 mm (conforme anexo C), a rugosidade relativa de 0,00058823 (e/D) e Reynolds $1,6 \cdot 10^4$. Dessa forma, obteve-se o fator de atrito pelo gráfico de Moody (conforme anexo D) equivalendo 0,0146 aproximadamente, e assim, encontrou-se a perda de carga:

$$h_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$$h_L = 0,0146 \, m \cdot \frac{3m}{0,352 \, m} \cdot \frac{(0,4567 \, m/s)^2}{2,9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,0013228$$

Posteriormente, calculou-se a altura manométrica para a vazão ótima adotada no tubo U:

$$h_{fluido \, manom.} = - \left\{ \frac{-(Q^2 \cdot \left[\left(\frac{1}{A_2} \right)^2 - \left(\frac{1}{A_1} \right)^2 \right])}{2} - h_L - g \cdot (h_{tub}) \right\} \cdot \left(\frac{\rho_{efluente}}{\rho_{fluido \, manom.} \cdot g} \right)$$

$$h_{fluido \, manom.} = - \left\{ \frac{-(0,4443 \times 10^{-3})^2 \cdot \left[\left(\frac{1}{2,269 \times 10^{-4}} \right)^2 - \left(\frac{1}{9,73 \times 10^{-4}} \right)^2 \right]}{2} - 0,001323 - 9,81 \cdot (0,2) \right\} \cdot \left(\frac{1008,24}{767 \cdot 9,81} \right)$$

$$h_{fluido \, manométrico} = 0,5060 \, m = 50,60 \, cm$$

E para o tubo U inclinado, a partir da altura encontrada anteriormente:

$$L = \frac{0,5060m}{\sin(15^\circ * \frac{\pi \, rad}{180^\circ})} = 1,955 \, m = 195,5 \, cm$$

E então, elaborou-se uma tabela de escala para a verificação da vazão por meio da altura do fluido manométrico no tipo U e tipo U inclinado, demonstrada na Tabela 22.

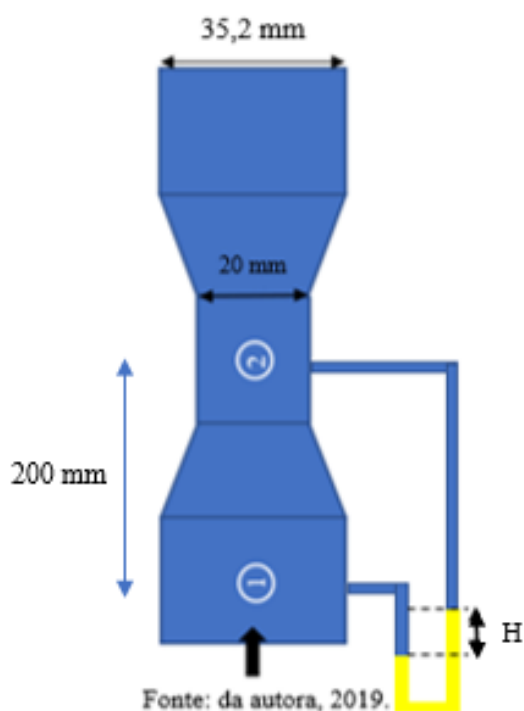
Tabela 22: Tabela de leitura da altura do manômetro e vazão.

Q (m³/h)	Q (L/min)	Q (m³/s)	v ₁ (m/s)	v ₂ (m/s)	h _{manômetro} (m)	h _{manômetro} (cm)	L (cm)
0,40	6,67	1,11E-04	0,114	0,490	0,28	27,83	107,51
0,80	13,33	2,22E-04	0,228	0,979	0,32	32,38	125,11
1,20	20,00	3,33E-04	0,343	1,469	0,40	39,97	154,44
1,60	26,67	4,44E-04	0,457	1,958	0,51	50,60	195,50
2,00	33,33	5,56E-04	0,571	2,448	0,64	64,26	248,29
2,40	40,00	6,67E-04	0,685	2,937	0,81	80,96	312,81
2,80	46,67	7,78E-04	0,799	3,427	1,01	100,70	389,07
3,20	53,33	8,89E-04	0,913	3,916	1,23	123,47	477,05
3,60	60,00	1,00E-03	1,028	4,406	1,49	149,28	576,77
4,00	66,67	1,11E-03	1,142	4,895	1,78	178,12	688,22

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Por meio da Tabela 22 percebemos que o manômetro tipo U é a melhor opção para a ETE compacta, já que apresenta menor altura de escala. Em questões de sensibilidade, o tubo em U inclinado apresenta pontos positivos a esse quesito, mas a escolha do fluido manométrico com uma menor densidade relativa visa equilibrar esse fator pela escolha do tubo em U convencional (ilustrado na Figura 25).

Figura 25: Medidor de vazão



Assim, a escala próxima ao medidor de vazão possibilita qualquer pessoa a controlar o tratamento, de maneira que por meio da vazão é necessário ajustar as bombas dosadoras.

3.4.5.5 Alterações mistura rápida e floculação

A etapa de mistura rápida da ETE compacta ocorre, atualmente, por meio do bombeamento com mangueiras onde são lançados na primeira chicana soda 50%; na próxima chicana sulfato e na outra, polímero catiônico, representada na Figura 26.

Figura 26: Etapa mistura rápida e floculação ETE compacta.



Legenda

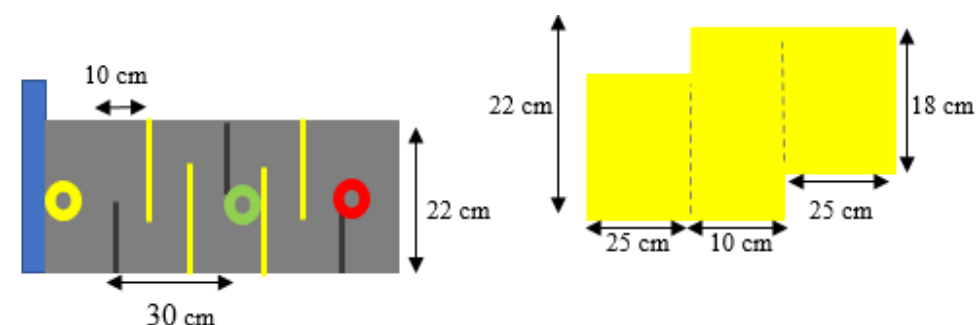
- Adição de soda 50%
- Adição sulfato de alumínio
- Adição de polímero catiônico

Fonte: Desenvolvido pela autora, 2019.

Por meio da realização do tratamento do efluente no período de estudo, observou-se que a correção do pH ocasionado pela adição de soda é bastante inconstante não possuindo homogeneização e, em seguida, são adicionados sulfato e polímero. Percebeu-se também a existência de zona morta em todas as chicanas, implicando em caminhos preferenciais os quais diminuem significativamente o tempo de residência para floculação na canaleta.

Logo, com intuito da homogeneização inicial e o aumento do contato entre reagentes e efluente, buscou-se a projeção de mais quatro chicanas iniciais (ilustrado na Figura 27) como também, alterou-se o espaçamento entre a adição de reagentes e perfurou-se e afogou-se a mangueira de soda no efluente.

Figura 27: Projeção chicanas na ETE compacta



Legenda

- Adição de soda 50%
- Adição de sulfato de alumínio
- Adição de polímero catiônico

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

As chicanas adicionais são de alumínio, possuem 25 cm de altura, 18 cm de comprimento e 2 mm de espessura cada uma. A inserção delas no início na canaleta possibilitou a diminuição de espaço entre elas, de 30 cm passou para 10 cm de espaçamento, homogeneizando melhor e melhorando a floculação.

3.4.5.6 Dimensionamento tanque correção de pH

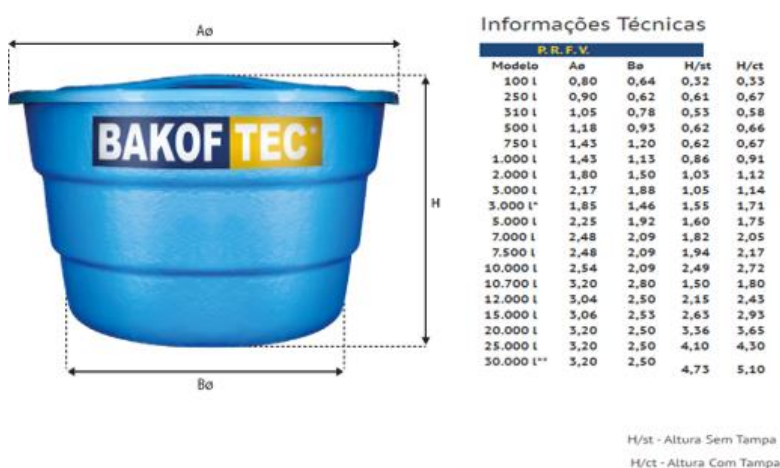
O dimensionamento do tanque de correção de pH final leva em consideração o tempo de residência do efluente e a vazão. Para isso, com nossa base de cálculo sendo a vazão do ensaio e o tempo de residência para soda, conforme Nunes (2018) temos:

$$t = \frac{V}{Q} \therefore V = t \cdot Q$$

$$V = 20 \text{ min.} \cdot \left(\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right) \cdot 0,000444 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0,5328 \text{ m}^3$$

O volume do tanque necessário é 532,8 L considerando uma perspectiva de aumento de operação adotamos o volume do tanque de 1000 L. De modo que suas especificações são representadas na Figura 28.

Figura 28: Especificações tanque de correção de pH.

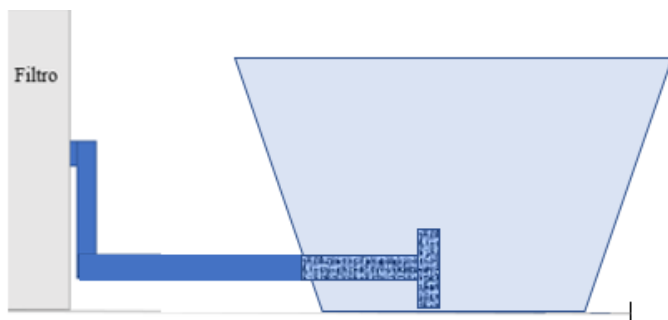


Fonte: Bakof, p.1.

O efluente vindo do filtro por uma tubulação de diâmetro externo 40 mm (conforme anexo B), espessura 2,4 mm e diâmetro interno de 35,2 mm será adicionado ao tanque de

correção final através de um “T” perfurado para sua agitação no interior do tanque, conforme Figura 29.

Figura 29: Tanque de correção final

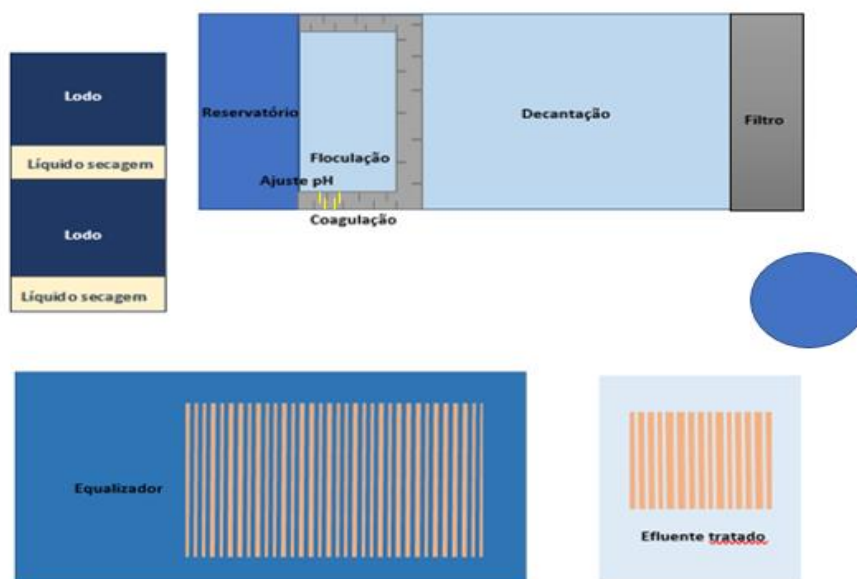


Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Por meio do monitoramento do pH, se necessário a correção, a dosagem de soda será realizada pela bomba disponível na estação e levará em consideração as dosagens realizadas em laboratório, caracterizado por 0,3 mL de soda 50% para 250 mL de efluente. Dessa forma, após a correção o efluente é encaminhado para o tanque onde destina a rede pluvial com pH entre 6 e 9 conforme a legislação.

3.4.5.7 Levantamento de custos

Após as alterações realizadas na ETE compacta, como o monitoramento do pH, medição de vazão, adequação das dosagens de reagente e a correção de pH final, se necessário, ela ficará conforme a Figura 30.

Figura 30: Projeto ETE compacta.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

O levantamento dos custos gerados pelas alterações na ETE compacta está disposto na Tabela 23.

Tabela 23: Custos de materiais

QUANTIDADE	MATERIAL	PREÇO UNITÁRIO (R\$)	PREÇO TOTAL (R\$)
1	Tanque Bakof 1000L	337,60	337,60
1	Tubo PVC Amanco 6m 40 mm	59,90	59,90
1	Tubo PVC Amanco 3m 20 mm	9,50	9,50
2	Caps soldável 40mm Amanco	3,70	7,40
1	Chapa de alumínio 0,5 m ² + mão de obra	200,00	200,00
4	Curva 90° soldável 40mm Amanco	11,30	45,20
2	Bucha de Redução Amanco Soldável, 40 x 20 mm	2,59	5,18
1	Mangueira para Nível Cristal de 1/4" - Ibira	2,5 por metro	7,50
1	PHmetro portátil	-	300,00

	Querosene	-	12,50
	Papel, régua, plastificação		20,00
		Total: R\$	1.004,78

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

O custo total apresentado é de aproximadamente R\$1.000 reais, valor que será investido para as alterações e adequações da estação de tratamento de efluentes compacta, proporcionando prorrogação da vida útil do equipamento para a empresa.

3.4.6 Dosagens indicadas

Na estação de tratamento existe 4 bombas, uma para cada reagente, onde apenas a de sulfato de alumínio é de menor potência. De acordo com a Tabela 24.

Tabela 24: Modelos e propriedades Bombas EX.

Modelo	Vazão	Pressão (bar)	Vol/inj (ml/inj)	Freq. (Inj/min)	Válvula de Injeção	Consumo (W)
EX00504	0 – 500 mL	4	0,083	100	SIM	30
EX0107	0 – 1 L	7	0,16	100	SIM	
EX0507	0 – 5 L	7	0,83	100	SIM	
EX0310	0 – 3 L	10	0,5	100	SIM	
EX0704	0 – 7 L	4	1,16	100	SIM	
EX0114	0 – 1 L	14	0,16	100	SIM	
EX1201	0 – 12 L	1	1,66	120	SIM	
EX2000	0 – 20 L	0	2,77	120	NÃO	

Fonte: Exatta, p.1.

As bombas de sulfato de alumínio e soda são do modelo EX2000 e a de polímero é do modelo EX0507, originando assim, duas relações de dosagens para controlar a frequência de cada bomba.

$$Q_{EX2} = V.F = \frac{2,77 \text{ ml}}{\text{inj}} \cdot \frac{120 \text{ inj}}{\text{min}} = \frac{332,4 \text{ ml}}{\text{min}}$$

$$Q_{EX0507} = V.F = \frac{0,83 \text{ ml}}{\text{inj}} \cdot \frac{100 \text{ inj}}{\text{min}} = \frac{83 \text{ ml}}{\text{min}}$$

Assim, para as dosagens é necessário estabelecer as quantidades de soda, sulfato de alumínio e polímero catiônico para melhor adequar o tratamento. Dentre os ensaios e operação da ETE, obtiveram-se apenas faixas adequadas mas não valores fixos, então para correção inicial 0,3 a 0,4 mL de soda, adição sulfato entre 3 a 5 mL, adição de polímero apenas na prática operacional apresenta significado positivo entre 1 a 2 mL, e a adição final, atualmente não é realizada na ETE mas é imprescindível sua correção, ficando entre 0,2 a 0,3 mL de soda. Por exemplo:

- Correção pH inicial:

Em 250 mL de efluente utilizou-se 0,3 mL de soda, logo, para 1 L utiliza-se 1,2 mL. Então temos que:

$$Q_{NaOH} = \frac{1,2 \cdot 10^{-3} \left(\frac{L}{min}\right)}{1 \left(L/min\right)} \cdot Q_{efluente} \left(\frac{L}{min}\right)$$

$$F = \frac{Q_{NaOH} \left(\frac{L}{min}\right)}{0,3324 \left(\frac{L}{min}\right)} = F \cdot \frac{120}{100} = F_{bomba}$$

- Adição sulfato de alumínio:

Em 250 mL de efluente utilizou-se 3 mL de sulfato de alumínio, logo, para 1 L utiliza-se 12 mL. Então temos que:

$$Q_{sulfato} = \frac{12 \cdot 10^{-3} \left(\frac{L}{min}\right)}{1 \left(L/min\right)} \cdot Q_{efluente} \left(\frac{L}{min}\right)$$

$$F = \frac{Q_{sulfato} \left(\frac{L}{min}\right)}{0,3324 \left(\frac{L}{min}\right)} = F \cdot \frac{120}{100} = F_{bomba}$$

- Adição polímero catiônico:

Em 250 mL de efluente utilizou-se 1 mL de polímero, logo, para 1 L utiliza-se 4 mL. Então temos que:

$$Q_{sulfato} = \frac{4 \cdot 10^{-3} \left(\frac{L}{min}\right)}{1 \left(L/min\right)} \cdot Q_{efluente} \left(\frac{L}{min}\right)$$

$$F = \frac{Q_{sulfato}(\frac{L}{min})}{0,083(\frac{L}{min})} = F_{bomba}$$

- Correção final:

Em 250 mL de efluente utilizou-se 0,2 mL de soda, logo, para 1 L utiliza-se 0,8 mL. Então temos que:

$$Q_{NaOH} = \frac{0,8 \cdot 10^{-3}(\frac{L}{min})}{1 (L/min)} \cdot Q_{efluente}(\frac{L}{min})$$

$$F = \frac{Q_{NaOH}(\frac{L}{min})}{0,3324(\frac{L}{min})} = F \cdot \frac{120}{100} = F_{bomba}$$

Com a adequação das frequências de dosagens possibilita uma redução no uso de reagentes e torna o tratamento mais eficaz impactando consequentemente na relação de despesas para a empresa.

4 CONCLUSÃO

A caracterização do efluente gerado na indústria gráfica foi obtida por meio do senso geral de gráficas brasileiras, mostrando-se bastante variável sua composição pelo fato do tipo e demanda de cada sistema de impressão.

Quanto o estudo das características físico-químicas de operação da ETE, pode-se observar que apenas um parâmetro estava fora dos limites, o Potencial Hidrogeniônico. Para corrigi-lo, buscou-se alternativas econômicas para sua adequação.

Dentre as alternativas, está o dimensionamento de um medidor de vazão que por meio da sua quantificação foi possível ajustar as bombas dosadoras e evitar o desperdício de reagentes utilizados na ETE compacta.

As implementações estão sendo construídas pela urgente necessidade de tratamento e descarte adequado para a empresa. A realização das alterações operacionais na estação gerou custos, porém pela sua necessidade, buscaram-se sempre alternativas mais econômicas e que fossem satisfatórias para os objetivos.

À medida que o presente trabalho foi se desenvolvendo, foram surgindo muitos resultados que não estavam presentes na literatura, logo, pela própria prática e experiência dos orientadores e acadêmica desenvolveu-se a melhor adequação para a situação atual da estação de tratamento de efluentes da empresa.

Dentre as sugestões de temas futuros, estão os ensaios para caracterizar o efluente, a análise de eficiência para diferentes coagulantes, o estudo do potencial zeta na ETE compacta e o reaproveitamento do efluente tratado para os sistemas de impressão.

REFERÊNCIAS

AMANCO. **Ficha técnica tubos água fria**. Disponível em <http://amancowavin.com.br/produtos/predial/agua-fria/amanco-soldavel/tubo-de-pvc>. Acesso:17-10-2019.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. Washington, DC: APHA, 2012. xxxviii, 68, 104, 112, 194, 78, 155, 61, 179, 224, 175, [6], 31 p. ISBN 9780875530130.

BAKOF. **Tanques Bakof Tec Engenharia**. Disponível em <http://www.bakof.com.br>. Acesso 24-10-2019.

BARBOSA, Daniele de O. et al. **Guia técnico ambiental da indústria gráfica**. 2.ed. São Paulo: CETESB; SINDIGRAF, 2009. 59 p.: il. col.; 21 cm. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/producao_limpa/documentos.asp. ISBN 978-85-61405-10-6. Acesso em: 2019-08-28.

DELMÉE, Gérard J. **Manual de medição de vazão**. 2. ed. São Paulo: E. Blücher, 1989. 476 p.

DI BERNARDO, Luiz. **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta**. Rio de Janeiro: ABES/RJ, 2003. xiv, 480 p. ISBN 8586552690.
DI BERNARDO, Luiz. **Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos: Rima, 2002. ix, 237 p. ISBN 8586552313.

DEMO, Pedro. **Pesquisa e construção de conhecimento: metodologia científica no caminho de Habermas**. 7. ed. Rio de Janeiro: Tempo brasileiro, 2012.

EXATTA. Bombas Exatta, precisão e dosagem. Disponível em <http://www.exatta.ind.br/>. Acesso 24-10-2019.

FOUST, Alan S.; WENZEL, Leonard A. **Princípios das operações unitárias**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1982. 670 p. ISBN 9788521610380.

GILES, Ranald V. **Mecânica dos fluidos e hidráulica**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978. 400 p.

GOMIDE, Reynaldo. **Operações Unitárias**. 3.v. São Paulo: R. Gomide, 1980. 199 p.

IMA. Instituto do Meio Ambiente. **Lei 14.675/09: Condições e Padrões do lançamento de efluentes**. Disponível em <http://www.ima.sc.gov.br/index.php/o-instituto/legislacao>. Acesso: 03-10-2019.

KERLINGER, Fred Nichols. **Metodologia da pesquisa em ciências sociais: um tratamento conceitual**. 9. ed. Tradução: Helena Mendes Rotundo. São Paulo: EPU, 2003. 378 p.

LEME, Edson José de Arruda. **Manual prático de tratamento de águas residuárias**. 2. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2019. 599p. ISBN 9788576003472.

MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

MATUCHEVSKI, Karine. **Desempenho ambiental: estudo de caso em uma indústria gráfica**. 2007. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

NUNES, José Alves. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. 7. ed. rev. e atual. Portugal: J. Andrade; CHIADO, 2018. 401 p. ISBN 9789895247325.

OTTAWAY, James Henry. **Bioquímica da poluição**. São Paulo: EPU, 1982. 74 p.

PORTO, Rodrigo de Melo. **Hidráulica básica**. 4. ed. São Carlos: EESC-USP, 2006. 540 p. ISBN: 85-7656-0844

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº430/11**. Condições e Padrões do lançamento de efluentes. Disponível em <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso: 03-10-2019.

SANTOS; NEVES; NASCIMENTO, Marko Alexandre Lisboa dos Aniceh Farah, Roberto Alcarria do. UNESP - Universidade Estadual Paulista; Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação; Pós-Graduação em Desenho Industrial. **Graphica 2007: VII International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design**. XVIII Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico realizado na Universidade Federal do Paraná. 7 p. ISBN do Livro de Resumos: 978-85-61172-00-8. Disponível em http://www.exatas.ufpr.br/portal/docs_degraf/artigos_graphica/SIMETRIAS.pdf. Acesso: 7-10-19

SEBRAE. **Análise financeira**. Disponível em <http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/pr/artigos/como-fazer-uma-analise-financeira,d6b1288acc58d510VgnVCM1000004c00210aRCRD>. Acesso: 03-10-2019.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. **Controle e gerenciamento dos sistemas de tratamento de efluentes industriais**. Porto Alegre: SENAI-RS, 1991. 31 p.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. **A indústria e os efluentes industriais**. Porto Alegre: SENAI-RS, 1991. 18 p.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. **Orientações básicas para tratamento de efluentes de curtume**. Porto Alegre: SENAI-RS, 1991. 40 p.

SEWELL, Granville H. **Administração e controle da qualidade ambiental**. São Paulo: EPU, 1978. xii, 295 p. ISBN 8512490101.

SOUZA; SILVA, Iracema Pinto de, Maclovio Corrêa da. **Um manual de gestão ambiental para as indústrias gráficas: conhecimento socialmente produzido**. Revista Gestão Industrial: Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR Campus Ponta Grossa -

Paraná - Brasil ISSN 1808-0448 / v. 04, n. 01: p. 116-130, 2008 D.O.I.: 10.3895/S1808-04482008000100008.

PAVANELLI, Gerson. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada.** 2001. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001. Doi: 10.11606/D.18.2001.tde-21012003-084719. Acesso em: 2019-08-28.

UNICAMP, Fem. **Unitec. Medidores de vazão.** Disponível em <http://www.fem.unicamp.br/~instrumentacao/pressao/manometro02.html>. Acesso em: 30-10-2019.

VALENZUELA, Júlio. **Tratamento de efluentes em indústrias galvanotécnicas.** São Paulo: Páginas & Letras, 1999. xvi, 126 p. ISBN 8586508098.

VAZ, Luiz Gustavo de Lima et al. **Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia.** Eclet. Quím., São Paulo, v. 35, n. 4, p. 45-54, 2010. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-46702010000400006>. Acesso em: 28 agosto 2019.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2004. 472 p.: il. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; v.1) ISBN 8570411146.

WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Wastewater sampling for process and quality control.** Alexandria, 1996. 194 p. (Manual of practice. Operations and maintenance.). ISBN 1572780371.

WELTY, James R. et al. **Fundamentals of momentum, heat, and mass transfer.** 4th ed. New York: John Wiley & Sons, c2001. xii, 759 p. ISBN 0471381497.

WIMMER, Ana Christina Souza. **Aplicação do processo eletrolítico no tratamento de efluentes de uma indústria petroquímica.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) - Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. Doi: <https://doi.org/10.17771/PUCRio.acad.11608>. Acesso em: 2019-09-01.

ANEXOS

ANEXO A – Propriedades físicas da água e fluido manométrico.

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg × K)	$\mu \times 10^6$ (Pa × s)	$\nu \times 10^6$ (m ² /s)	k (W/m × K)	$\alpha \times 10^6$ (m ² /s)	Pr	$g\beta\rho^2/\mu^2 \times 10^{-9}$ (1/K · m ³)
Water								
273	999,3	4226	1794	1.795	0.558	0.132	13.6	
293	998.2	4182	993	0.995	0.597	0.143	6.96	2.035
313	992.2	4175	658	0.663	0.633	0.153	4.33	8.833
333	983.2	4181	472	0.480	0.658	0.160	3.00	22.75
353	971.8	4194	352	0.362	0.673	0.165	2.57	46.68
373	958.4	4211	278	0.290	0.682	0.169	1.72	85.09
473	862.8	4501	139	0.161	0.665	0.171	0.94	517.2
573	712.5	5694	92.2	0.129	0.564	0.139	0.93	1766.0

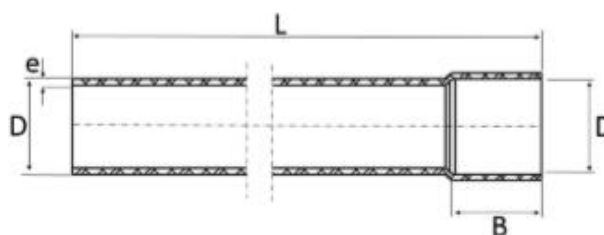
T (°F)	ρ (lb _m /ft ³)	c_p (Btu/lb _m °F)	$\mu \times 10^5$ (lb _m /ft s)	$\nu \times 10^5$ (ft ² /s)	k (Btu/h ft °F)	$\alpha \times 10^3$ (ft ² /h)	Pr	$\beta \times 10^3$ (1/°F)	$g\beta\rho^2/\mu^2$ (1/°F · ft ³)
Kerosene									
30	48.8	0.456	800	16.4	0.0809	3.63	163		
60	48.1	0.474	600	12.5	0.0805	3.53	127	0.58	120
80	47.6	0.491	490	10.3	0.0800	3.42	108	0.48	146
100	47.2	0.505	420	8.90	0.0797	3.35	95.7	0.47	192
150	46.1	0.540	320	6.83	0.0788	3.16	77.9		

Fonte: WELTY,2001, p.686.

ANEXO B – Ficha técnica tubo água fria Amanco.



FICHA TÉCNICA



BITOLA	B	D	e	L
20	32	20	1,5	3000/6000
25	32	25	1,7	3000/6000
32	32	32	2,1	3000/6000
40	40	40	2,4	3000/6000
50	50	50	3	3000/6000
60	60	60	3,3	3000/6000
75	70	75	4,2	3000/6000
85	76	85	4,7	3000/6000
110	91	110	6,1	3000/6000

* medidas aproximadas em milímetros (mm)

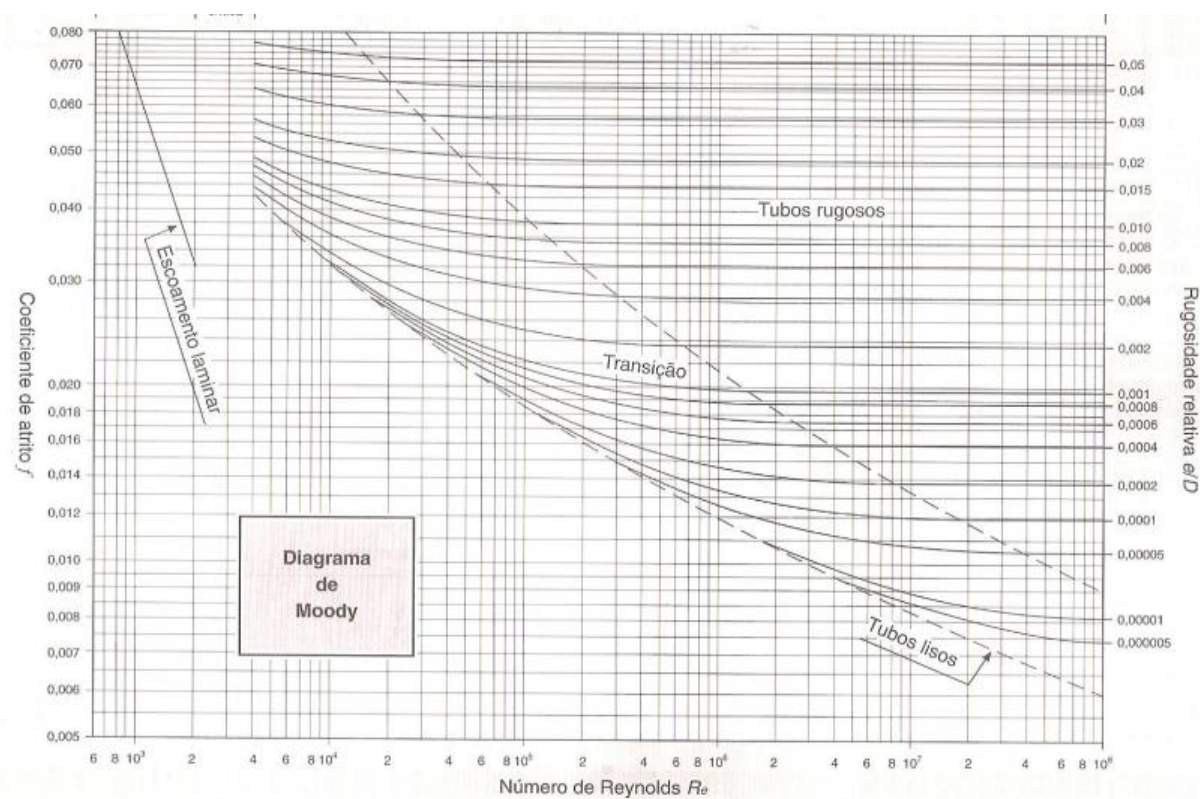
Fonte: Amanco,p.1.

ANEXO C – Rugosidade dos Tubos.

Material	ε (mm) Rugosidade absoluta equivalente
Aço comercial novo	0,045
Aço laminado novo	0,04 a 0,10
Aço soldado novo	0,05 a 0,10
Aço soldado limpo, usado	0,15 a 0,20
Aço soldado moderadamente oxidado	0,4
Aço soldado revestido de cimento centrifugado	0,10
Aço laminado revestido de asfalto	0,05
Aço rebitado novo	1 a 3
Aço rebitado em uso	6
Aço galvanizado, com costura	0,15 a 0,20
Aço galvanizado, sem costura	0,06 a 0,15
Ferro forjado	0,05
Ferro fundido novo	0,25 a 0,50
Ferro fundido com leve oxidação	0,30
Ferro fundido velho	3 a 5
Ferro fundido centrifugado	0,05
Ferro fundido em uso com cimento centrifugado	0,10
Ferro fundido com revestimento asfáltico	0,12 a 0,20
Ferro fundido oxidado	1 a 1,5
Cimento amianto novo	0,025
Concreto centrifugado novo	0,16
Concreto armado liso, vários anos de uso	0,20 a 0,30
Concreto com acabamento normal	1 a 3
Concreto protendido Freyssinet	0,04
Cobre, latão, aço revestido de epoxi, PVC, plásticos em geral, tubos extrudados	0,0015 a 0,010

Fonte: Porto, 2006, p.49.

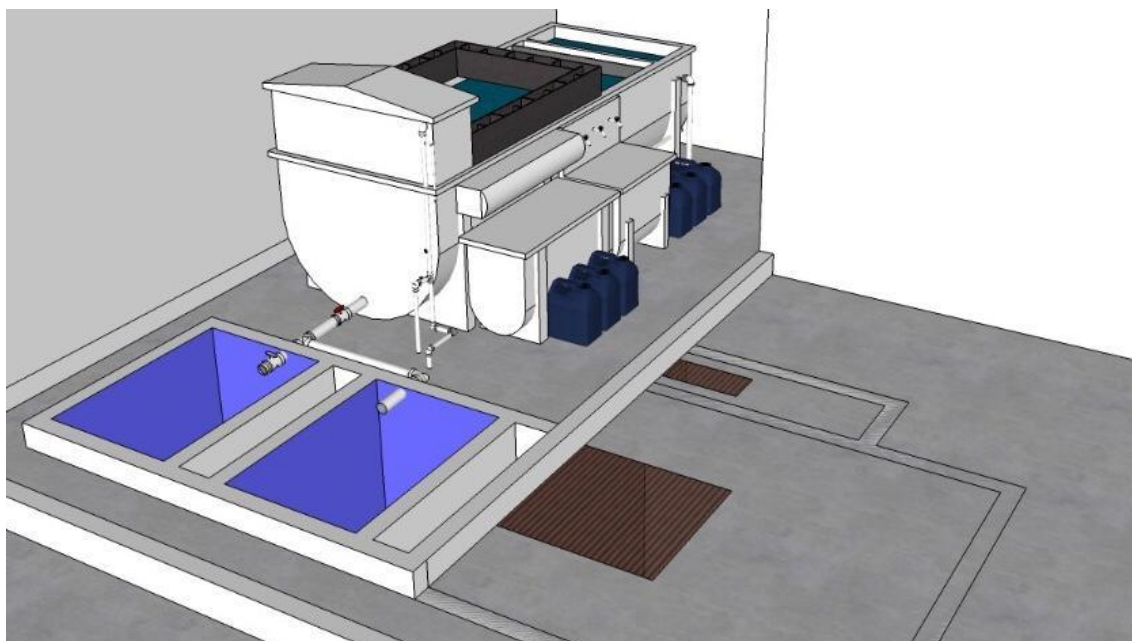
ANEXO D – Gráfico de Moody.



Fonte: Fox, 1934, p.351.

APÊNDICES

APÊNDICE A- Imagem ilustrativa projeto 3D da estação de tratamento compacta inicial.



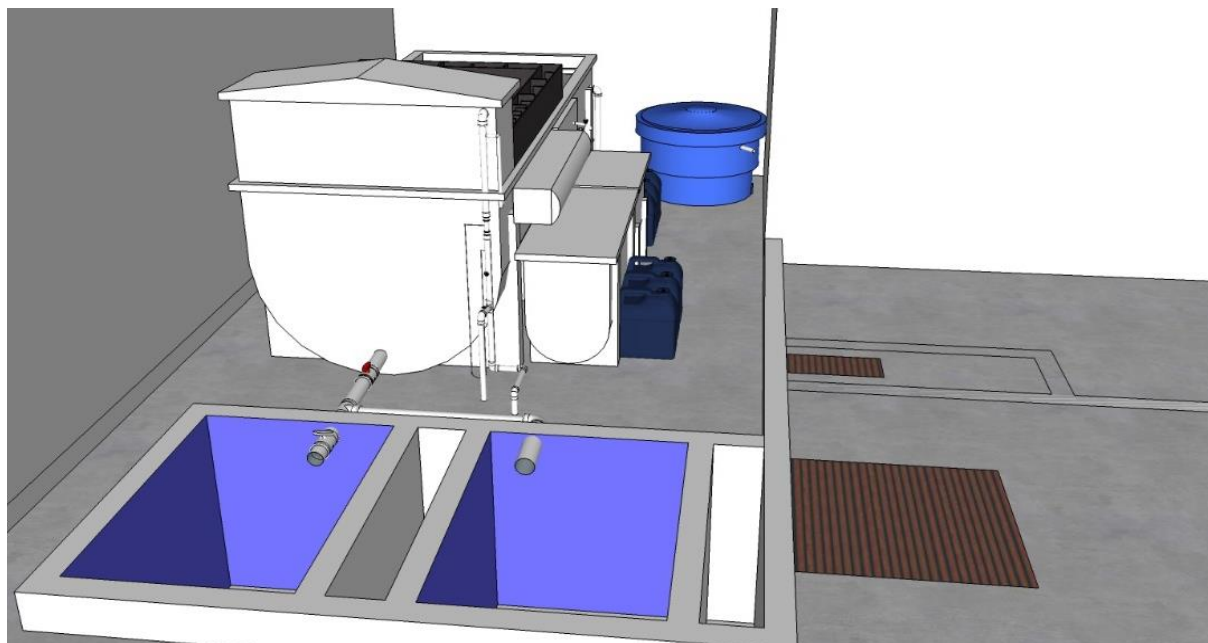
Fonte: Figueredo, 2019.

APÊNDICE B- Imagem ilustrativa vista superior projeto 3D da estação de tratamento compacta inicial.



Fonte: Figueredo, 2019.

APÊNDICE C- Imagem ilustrativa projeto 3D da estação de tratamento compacta após as alterações.



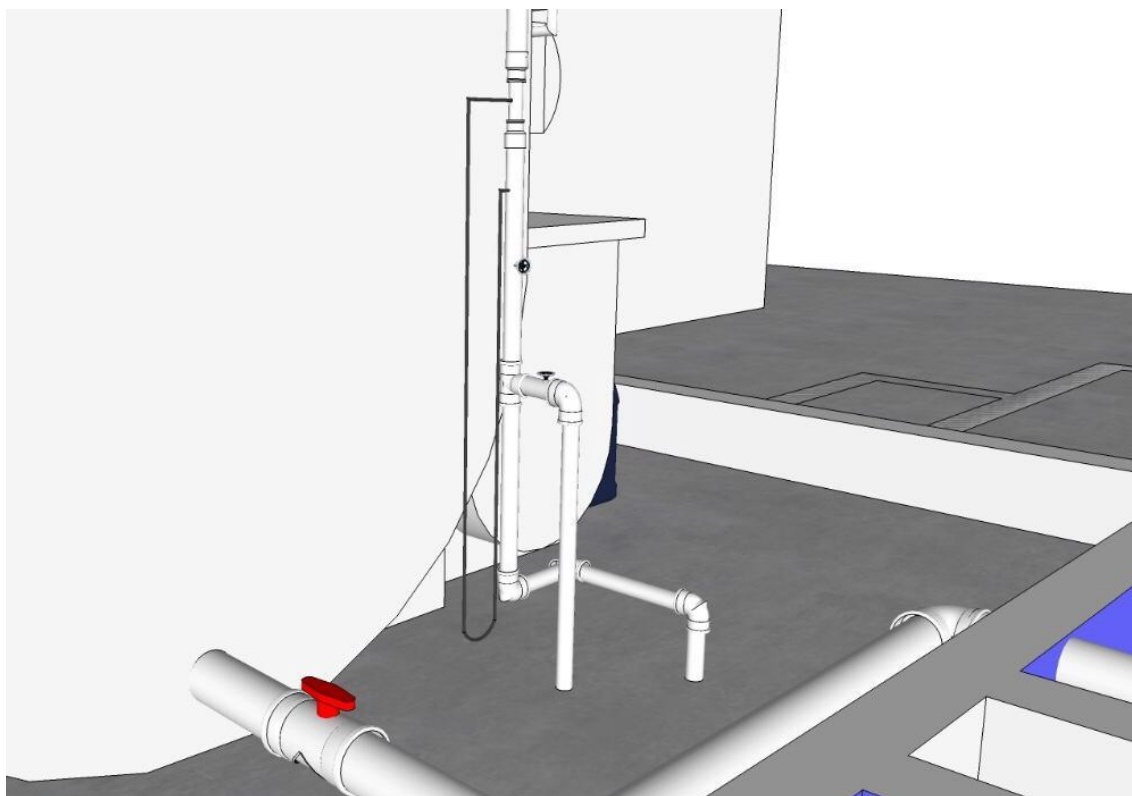
Fonte: Figueredo, 2019.

APÊNDICE D- Imagem ilustrativa vista superior projeto 3D da estação de tratamento compacta inicial após as alterações.



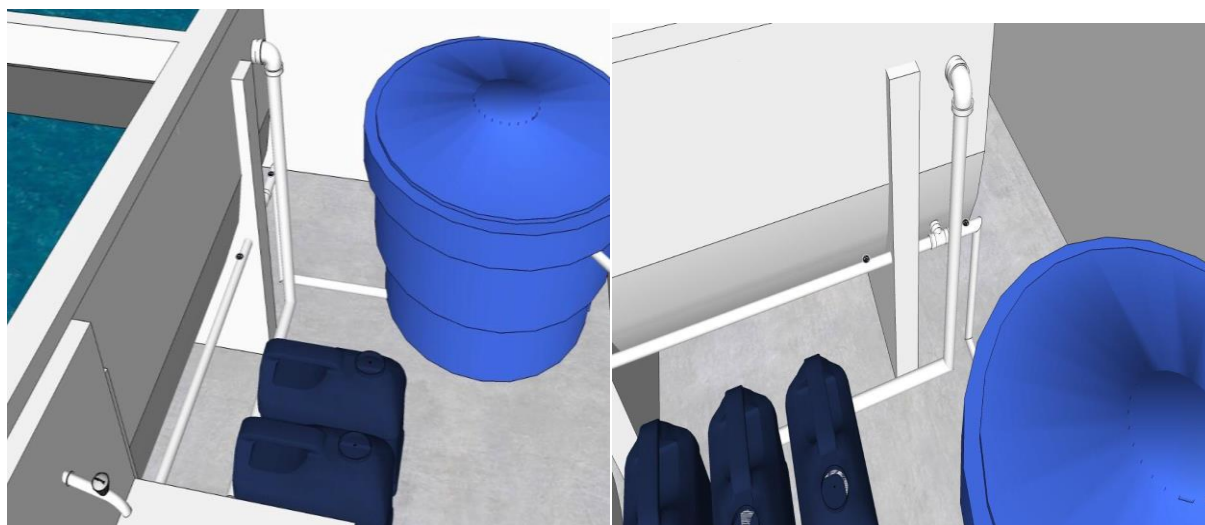
Fonte: Figueredo, 2019.

APÊNDICE E- Imagem ilustrativa medidor de vazão projetado.



Fonte: Figueredo, 2019.

APÊNDICE F- Imagem ilustrativa tanque de ajuste pH final projetado.



Fonte: Figueredo, 2019.