



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
WILLIAN HENRIQUE JUVÊNCIO

**ADEQUAÇÃO DO PARÂMETRO SULFETO EM UMA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE EFLUENTES EM UMA LAVANDEIRA INDUSTRIAL**

Tubarão
2017



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
WILLIAN HENRIQUE JUVÊNCIO

**ADEQUAÇÃO DO PARÂMETRO SULFETO EM UMA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE EFLUENTES EM UMA LAVANDEIRA INDUSTRIAL**

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.

Orientador: Prof. Eng. Diogo Quirino Buss, Esp.

Coorientador: Prof. Eng. Jonathan Alexander Bork, Dr.

Tubarão

2017

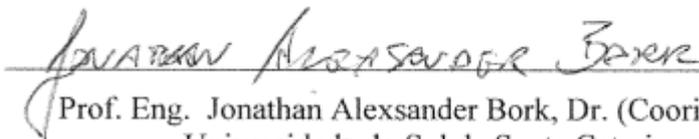
WILLIAN HENRIQUE JUVÊNIO

**ADEQUAÇÃO DO PARÂMETRO SULFETO EM UMA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE EFLUENTES EM UMA LAVANDEIRA INDUSTRIAL**

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.



Prof. Eng. Diogo Quirino Buss, Esp. (Orientador)
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof. Eng. Jonathan Alexander Bork, Dr. (Coorientador)
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof. Eng. Cesar Renato Alves da Rosa, MSc. (Avaliador)
Universidade do Sul de Santa Catarina

Aos meus pais, Mara e Braz, e minha namorada Caroline que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao grande Arquiteto do universo, onde permitiu que tudo acontecesse ao longo de minha vida, me mostrando que a vida é feita de desafios, e eles existem para ser superados;

Aos meus heróis, Mara e Braz, por me trazerem á este mundo, pelo amor, carinho, pelo incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço;

Á minha namorada Caroline, que também me deu suporte durante minha caminhada como acadêmico do curso, e que se Ele quiser, perdurará para todo sempre;

As amizades no ambiente acadêmico que construí durante esse capítulo de minha vida;

Á Diogo Quirino Buss, Jonathan Alexsander Bork e Gilson Rocha Reynaldo, pela transmissão de conhecimento e pela parceria durante esses anos na universidade;

Ao químico Rodrigo Juvêncio de Oliveira e a Felipe Juvêncio Limas, pela parceria nesse tempo de estágio e pela transmissão de conhecimento;

Á Universidade do Sul de Santa Catarina e seu corpo docente, demais professores, coordenadores que me instruíram nas disciplinas e nos demais obstáculos enfrentados em ambiente acadêmico;

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

“A persistência é o caminho do êxito.” (Charles Chaplin).

RESUMO

Esse trabalho apresenta um estudo realizado em uma lavanderia industrial no sul de Santa Catarina visando a decréscimo da emissão do parâmetro sulfeto ao fim do tratamento de efluentes, uma vez que o mesmo encontra-se acima do limite permitido pelo órgão regulamentador (Fundação do Meio Ambiente – FATMA). O estudo foi realizado através de coletas realizadas em alguns pontos da estação de tratamento de efluentes situada nas dependências da empresa, onde posteriormente foi possível fazer considerações em função dessas análises, bem como observações com o auxílio de bibliografias consagradas estudadas. O método analítico indicado foi o iodométrico, e as análises foram feitas no laboratório do Centro Tecnológico da Universidade do Sul de Santa Catarina, no polo da cidade de Tubarão. Conforme o objetivo principal destacado foi possível analisar que dentre os parâmetros a serem controlados, somente a emissão de sulfetos encontrava-se em excesso (média de concentração de sulfetos na saída da estação de tratamento nas coletas realizadas foi de 9,65 mg/L, onde o permitido é 1 mg/L). Assim, as principais causas levantadas foram, por meio de cálculos utilizados, um sistema de aeração ineficiente na lagoa de aeração, como também uma má homogeneização dos efluentes gerados no processo produtivo no tanque de homogeneização. Com isso, em comum acordo entre empresa e o autor deste, fez-se uma série de providências a serem realizadas objetivando a adequação do sulfeto. A adição de aeradores na lagoa de aeração foi uma delas, onde por meio do aproveitamento de equipamentos já pertencentes à empresa, tentou-se aumentar a taxa de aeração na lagoa. Os resultados das coletas realizadas após a alteração planejada mostraram-se insuficientes (média de 3,48 mg/L nas coletas realizadas), uma vez que os aeradores instalados realizavam a aeração de forma somente superficial, e não ao fundo da lagoa. Pelo custo-benefício, a atitude tomada após a falha no objetivo alcançado nessa etapa foi a de excluir o tanque de homogeneização, onde nele notou-se que havia um acréscimo na concentração de sulfetos naquele ponto, através da ação de microrganismos anaeróbios, responsáveis pela transformação de sulfitos e sulfatos em sulfeto. Com tal etapa concluída, novamente fez-se coletas para análises nos pontos restantes da estação de tratamento, onde se provou que com as duas etapas adicionadas foi possível o controle de maneira perfeita do sulfeto (média de 0,21 mg/L nas coletas realizadas), concluindo assim que houve êxito no decréscimo da emissão do parâmetro estabelecido.

Palavras-chave: Sulfeto. Lavanderia. Parâmetro.

ABSTRACT

This study presents an investigation carried out in an industrial laundry in the south of Santa Catarina aiming the reduction of the emission of the sulfide ion at the end of the treatment of effluents, once it is above the limit allowed by the Santa Catarina State regulatory agency (Environment Foundation - FATMA). The study was done through collections carried out at some points of the effluent treatment plant located in the company's premises, where it was later possible to make considerations based on these results of chemical analyzes, as well as observations with the aid of consecrated bibliographies. The analytical method used was the iodometric, and the chemical characterization were done in the laboratory of the Technological Center of the University of Southern Santa Catarina, at the pole of the city of Tubarão. According to the main objective, it was possible to analyze that among the parameters to be controlled, only the sulfide emission was in excess (mean sulfide concentration at the exit of the treatment plant in the collected samples was 9.65 mg / L, which is allowed is 1 mg / L). Thus, the main causes raised were, through calculations used, an inefficient aeration system in the aeration pond, as well as a poor homogenization of the effluents generated in the production process in the homogenization tank. With this, in agreement between company and the author of this one, a series of measures was made to be realized aiming at the adequacy of the sulfide. The addition of aerators in the aeration lagoon was one of them, where by means of the use of equipment already belonging to the company, an attempt increasing the aeration rate in the lagoon. The results of the collections after the planned alteration were insufficient (mean of 3.48 mg / L in the collected samples), since the aerators installed aerated only along the surface, not reaching the bottom of the lagoon. For the cost-benefit analysis, after the fail observed, the new method adopted, as a possible solution was the exclusion of the homogenization tank, noticed that there was an increase in the sulfide concentration at that point, through the action of anaerobic microorganisms responsible for transformation of sulphites and sulphates into sulphide. With this step completed, samples were collected again for analysis at the remaining points of the treatment plant, where it was proved that with the two steps added the perfect control of the sulfide was possible (average of 0.21 mg / L in the collections made). Thus, concluding that there was success in decreasing the emission of the parameter to be set.

Keywords: Sulphide. Laundry. Parameter.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Etapalização/Evolução gradual da qualidade do efluente	21
Figura 2: Tratamento Preliminar	22
Figura 3: Tanque de Equalização	23
Figura 4: Fluxograma do Processo geral da Empresa X	26
Figura 5: Tratamento Preliminar	27
Figura 6: Peneira Rotativa	27
Figura 7: Tanque de Homogeneização	28
Figura 8: Aerador XCEL AAX – 7,5 CV	28
Figura 9: Lagoa de Aeração.....	29
Figura 10: Tanque de equalização de efluentes (presença de sólidos em suspensão).	45
Figura 11: Peneira com cabo metálico	45
Figura 12: Modelos de agitadores	46
Figura 13: Representação ilustrativa da lagoa de aeração á época da análise (esq.) e com a nova proposta (dir.).....	47
Figura 14: Lagoa de Aeração com a adição dos splashes.....	51
Figura 15: Tanque de Homogeneização Excluso com as Alterações Realizadas.....	54

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Remoção de Sulfetos - Empresa X.....	43
Gráfico 2: Remoção de Sulfetos, após primeira modificação concluída.....	52
Gráfico 3: Comparativo entre os cenários apresentados.	52
Gráfico 4: Remoção de Sulfetos, após segunda modificação concluída:	54
Gráfico 5: Comparativo entre os cenários apresentados.	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais Sistemas de Tratamento de Esgotos á Nível Secundário.....	24
Tabela 3: Estados de Oxidação dos compostos á Base de Enxofre.....	30
Tabela 4: Efeitos da formação de sulfeto em biorreatores anaeróbios.....	31
Tabela 5: Fenômenos interagentes na produção ou consumo de oxigênio dissolvido.....	33
Tabela 2: Parâmetros máximos exigidos pela resolução CONAMA 430:.....	36
Tabela 6: Pontos de Coleta.....	39
Tabela 7: Eficiência de Remoção.....	40
Tabela 8: Relações sugeridas por Junchen (2001).....	41
Tabela 9: Nova campanha amostral com interrelações, de acordo com Junchen (2001)......	41
Tabela 10: Campanhas amostrais.....	42
Tabela 11: Previsão de Custos Primários.....	47
Tabela 12: Classificação das águas em função dos usos preponderantes, segundo a Resolução CONAMA 357/2005.	61

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 JUSTIFICATIVA E PROBLEMA	15
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 Objetivo Geral	16
1.2.1.1 Objetivos Específicos	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 EMPRESA X	17
2.2 ÁGUA.....	17
2.3 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES – CONCEITOS E INFORMAÇÕES.....	19
2.3.1 Tratamento Preliminar	21
2.3.2 Tratamento Primário	23
2.3.3 Tratamento Secundário	24
2.4 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES – EMPRESA X	25
2.5 ENXOFRE.....	29
2.5.1 Sulfeto	30
2.5.1.1 Remoção de Sulfetos	32
2.6 OXIGÊNIO DISSOLVIDO	33
2.6.1 Consumo de Oxigênio	34
2.6.2 Produção de Oxigênio	34
2.7 LEGISLAÇÃO VIGENTE	35
3 METODOLOGIA.....	37
3.1 PESQUISA METODOLÓGICA	37
3.2 A PESQUISA REALIZADA.....	37
3.3 POPULAÇÃO E AMOSTRA.....	38
3.4 DESCRIÇÃO DO PROCESSO.....	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4.1 AVERIGUAÇÃO DO PERCENTUAL DE REMOÇÃO DE POLUENTES E CAMPANHAS AMOSTRAIS	40
4.2 ESCOLHA DE METODOLOGIA DE TRATAMENTO	44
4.3 PROPOSIÇÃO DE SOLUCIONAMENTO DOS PROBLEMAS	45

4.4	CÁLCULOS.....	48
4.5	ALTERAÇÕES REALIZADAS.....	50
4.5.1	Adição De Aeradores	50
4.5.2	Exclusão do Tanque de Homogeneização	53
5	CONCLUSÃO.....	57
	REFERÊNCIAS.....	58
	APÊNCIDE A – LISTA DE REAGENTES UTILIZADOS NO SETOR PRODUTIVO DA EMPRESA X.....	60
	APÊNCIDE B – CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS EM FUNÇÃO DOS USOS PREPONDERANTES, SEGUNDO A RESOLUÇÃO CONAMA 357/2005	61
	ANEXO A – LAUDOS DE AMOSTRAS COLETADOS PELO AUTOR.....	64

1 INTRODUÇÃO

Sulfetos são compostos que apresentam dentre suas características um alto grau de solubilidade em líquidos, como álcool, éteres, aminas e água. Com odor característico semelhante á um ovo podre, apresenta-se em maior abundância na forma de sulfeto de hidrogênio (H_2S), embora quando em solução encontra-se em sua forma iônica (S^{-2}), conforme seu pH.

No ramo das lavadeiras industriais, trabalha-se com uma grande variedade de compostos e parâmetros que necessitam de um rigoroso controle em sua emissão aos corpos hídricos. Entre eles, além do próprio sulfeto, o controle de pH, sólidos sedimentáveis, nitratos, detergentes e da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) devem ser controlados diariamente de modo a não agredir de forma maciça o meio.

A empresa, chamada a partir deste ponto como "Empresa X", trata seus efluentes em sua estação de tratamento própria, localizada em suas dependências. Dentre todos os parâmetros previamente indicados através do órgão regulamentador á empresa, somente o parâmetro sulfeto encontra-se acima dos limites de descarte, sendo essa única e principal barreira encontrada pelos responsáveis á controlá-la.

Resultados obtidos após análises do efluente pós-tratamento indicam que a ETE implantada despeja efluentes líquidos no quesito DBO abaixo de 60 mg/L e também possui eficiência de remoção acima de 80%. Porém, de acordo com os responsáveis, e confirmado pelos laudos das análises, ocorre com dificuldade à remoção do parâmetro sulfetos, sendo este aproximadamente 800% acima do permitido para descarte.

Destaca-se que a estação de tratamento de efluentes utilizada conta com sistemas de gradeamento e peneira rotativa, tanques de equalização e lagoa de aeração, bem como tanques para tratamento físico-químico ao fim do processo. Nas observações iniciais, foi possível compreender também o fato de que alguns pontos da ETE da empresa poderiam atuar de maneira mais eficiente, conforme registrado em bibliografias consagradas, e assim será descrito com maior riqueza de detalhes durante este trabalho.

Diante da situação problema apresentada, o presente trabalho teve como norteadores a investigação das possíveis causas da alta concentração de sulfetos na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) da Empresa X, bem como a proposição de alterações possíveis e necessárias na ETE já existente, para aperfeiçoar e melhorar os parâmetros de emissão do referido composto, de modo a atender às legislações ambientais.

1.1 JUSTIFICATIVA E PROBLEMA

A utilização adequada dos recursos naturais disponíveis e garantia de uma boa qualidade ambiental para as futuras gerações, técnicas e metodologias vêm sendo estudadas, desenvolvidas e aprimoradas ao longo do tempo visando à remoção de contaminantes (tratamento) de efluentes industriais. Devido à necessidade de atendimento dos parâmetros legais para o lançamento destes, é necessário que as empresas geradoras destes realizem ações que visem a remoção de poluentes que contaminariam o ambiente.

Em lavanderias industriais, o tratamento de efluentes é bastante diversificado, apresentando, muitas vezes, diferentes técnicas para tratar águas residuárias com características semelhantes. Entretanto, em sua maioria de situações, todos estes efluentes líquidos e em solução são tratados de forma semelhante, o que acarreta em variações nos valores e percentuais legais de remoção. Segue assim o exemplo do íon sulfeto, onde sua toxicidade e seu forte odor torna a água indesejável para o abastecimento e demais usos, salvo quando este se encontra em concentrações muito baixas, próximas a 0 mg/L.

Considerando tal variabilidade das características do efluente bruto e aspectos e exigências legais a serem cumpridas, faz-se necessário analisar a real capacidade de remoção de contaminantes nos diferentes níveis de tratamento de efluentes implementado na indústria química, objeto de estudo.

O presente projeto foi idealizado devido à necessidade de otimização na remoção de poluentes em uma Estação de Tratamento de Efluentes (E.T.E.) em uma lavanderia industrial localizada no sul do estado de Santa Catarina. Através da análise dos laudos laboratoriais foi possível perceber que o principal problema em seu tratamento é na capacidade de remoção do parâmetro sulfeto. Analisando metodologias, teorias e referências bibliográficas consagradas serão aqui descritas e desenvolvidas propostas para melhoria de eficiência na remoção de sulfetos bem como a otimização do processo como um todo, procurando respeitar e aproveitar a infraestrutura já instalada.

A partir das informações levantadas, segue-se o seguinte questionamento: **É possível realizar alterações em uma estação de tratamento de efluentes, de modo a otimizar e melhorar sua eficiência na emissão final do parâmetro sulfeto, para adequá-la às legislações ambientais, em uma lavanderia industrial situada no sul de Santa Catarina em 2017?**

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

- Propor alterações e ajustar uma estação de tratamento de efluentes já existente, de modo a otimizar e melhorar sua eficiência na emissão final do parâmetro sulfeto visando adequá-la às legislações ambientais.

1.2.1.1 Objetivos Específicos

- a) Descrever como ocorre o funcionamento da estação de tratamento de efluentes situada na empresa de acordo com o projeto licenciado para o empreendimento.
- b) Analisar a variabilidade do parâmetro sulfeto nas análises químicas dos efluentes tratados identificando possíveis fontes de inadequação no tratamento desta substância.
- c) Apresentar como os órgãos regulamentadores apresentam em seus ofícios as formas de adequação aos parâmetros controlados no empreendimento.
- d) Desenvolver análises laboratoriais, e caso necessário arranjos experimentais e cálculos estatísticos, buscando possíveis soluções para o tratamento do parâmetro envolvido.
- e) Analisar de modo crítico as melhorias propostas, acompanhando suas respectivas alterações e possíveis divergências encontradas.
- f) Propor a adequação final ao atual sistema de tratamento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 EMPRESA X

A empresa objeto de estudo é uma lavanderia industrial situada na cidade de Laguna, e tendo seu início de atividades no ano de 1988 sendo uma empresa especializada em beneficiamento de peças confeccionadas e tingimentos.

Atuando com alto grau de eficiência em seus processos, procura investimentos contínuos na modernização dos componentes e na capacitação de seus funcionários. O tingimento dos tecidos pode ser dividido em dois tipos: através da lavagem, que é realizado geralmente por máquinas lavadoras ou a seco, ou de maneira artesanal manual, com o uso de pistolas com corantes de tecido, ou ainda através do uso de equipamentos mais sofisticados, como máquinas a laser.

Utiliza produtos biodegradáveis, possui um sistema de tratamento de seus efluentes visando deixá-la própria para descarte, efetua controles periódicos na emissão de gases nas caldeiras e assim respeitando normas ambientais.

2.2 ÁGUA

As fontes de energia, ela por sua vez tem-se como elemento fundamental à vida, é encontrada por várias fontes existentes na natureza, e pode ser consumida por todos os seres vivos, por meios diferentes. Para os seres humanos, como qualquer ser vivo heterotrófico, necessita de 3 fontes de energia primordiais para viver, são elas: o alimento, o ar e a água. Dessa necessidade existencial que o homem procurou estabelecer aglomerações e grupos próximos aos lugares em que é possível a captação da água. Uma vez que o mesmo não é encontrado de forma fácil se comparada ao ar (de forma uniforme) e o alimento (que pode ser fabricado de inúmeras maneiras).

De acordo com Leme (1982, p.21), “água é o elemento vital que se encontra presente em proporções elevadas na constituição de todos os seres vivos, inclusive no ser humano, onde atinge cerca de 75% de seu peso [...]”.

Através dos tempos, aprimorando tecnologias em constante desenvolvimento, o homem, concebeu, projetou e construiu complexos sistemas de engenharia de onde se

encarregou de utilizar-se água, e por consequência, devolvê-la de onde á retirou com as mesmas características nela encontrada primariamente.

Segundo Von Sperling (1996, p.15), os principais usos da água estão ligados á retirada da água de coleções hídricas, onde o abastecimento doméstico e industrial é associado “a um tratamento prévio da água, face aos seus requisitos de qualidade mais exigentes”.

A água utilizada na indústria em seu processo produtivo é utilizada principalmente como solvente em lavagens e em processos de resfriamento. Mesmo assim, não existe um requisito de qualidade de água genérico e igual para todas as indústrias, uma vez que cada uso específico apresenta especificidades. De acordo com Braga (2005), as indústrias que processam produtos farmacêuticos, alimentícios e de bebidas estão entre aquelas que precisam de qualidade elevada, enquanto que as utilizam para resfriamento devem usar água isenta de substâncias que possam causar incrustações e corrosão nas tubulações.

O emprego da água no abastecimento de um lugar deve possuir características de pureza, onde satisfazem uma série de regras que constituem condições de normalidade e potabilidade. Entende-se como água potável aquela que não contém germes patogênicos, não possui substâncias químicas tóxicas e é dotada de aspecto físico agradável, sem cor, cheiro ou sabor e cristalina sem turbidez. (LEME, 1982, p.23).

Das diversas variações dos componentes que possam estar presentes na água, e que podem alterar seu grau de pureza para uso doméstico e industrial, e potabilidade para uso humano, podem ser entendidos, de forma simplificada, de três modos. De acordo com Von Sperling (1996, p. 17), são eles:

- a) Características físicas. As impurezas enfocadas do ponto de vista físico estão associadas, em sua maior parte, aos sólidos presentes na água. Estes sólidos podem ser em suspensão, coloidais ou dissolvidos, dependendo do seu tamanho.
- b) Características químicas. As características químicas de uma água podem ser interpretadas através de uma das duas classificações: matéria orgânica ou inorgânica.
- c) Características biológicas. Os seres presentes na água podem ser vivos ou mortos. Dentre os seres vivos, têm-se os pertencentes aos reinos animal e vegetal, além dos protistas.

Atualmente, por resultado de crises hídricas encontradas em âmbito mundial, há uma tendência de aperfeiçoar o uso da água, equilibrando economia e eficiência, além de movimentar pesquisas que mostrem dizer para que e com o quê o ser humano tem restrito na água sua necessidade de uso.

2.3 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES – CONCEITOS E INFORMAÇÕES

Os sistemas de tratamento possuem a capacidade de controlar o nível de poluição e contaminação produzidas pelos corpos poluidores, sendo esses geralmente resultantes de atividade humana e animal. Segundo Von Sperling (1996), a água possui propriedades de solvente natural e capacidade de transportar partículas. Devido à sua abundância na natureza, a água é amplamente utilizada como um solvente natural.

Para um planejamento eficiente, entende-se a necessidade de encontrar e modelar um sistema de engenharia de controle ambiental, que consiga tratar um conjunto de parâmetros estabelecidos vindos de investigação do próprio efluente. Nunes (2004) mostra que os tratamentos de águas residuárias são constituídos por processos artificiais de depuração, adequação dos parâmetros e remoção de poluentes das águas residuárias, vindo a torná-las próprias ao lançamento e disposição final aos corpos receptores.

De acordo com os parâmetros a serem regulados em um sistema de tratamento, há a necessidade de instalação ou não de várias etapas, constituindo-se basicamente de processos químicos, físicos e biológicos. Leme (1982, p.230) exhibe de forma geral uma variedade de processos:

Os processos físicos empregados são: - *Gradeamento*, que remove do esgoto sólidos grosseiros em suspensão e corpos flutuantes que são retidos em grades formadas por barras metálicas paralelas e igualmente espaçadas; - *Mistura*, que é empregada em muitas fases do tratamento dos esgotos para misturar-lhes determinados produtos químicos, como, por exemplo, cloro ou hipocloritos, utilizados para produzir desinfecção; - *Floculação*, que consiste numa agitação adequada, produzida após terem sido adicionados ao esgoto determinados produtos químicos, a fim de aumentar a oportunidade para contatos entre partículas; - *Sedimentação*, que consiste na separação, nos esgotos, por ação da gravidade, de partículas mais pesadas que existem em suspensão; - *Flutuação*, que consiste na separação de sólidos muito leves, por meio de um aumento do empuxo que eles sofrem conseguido através da introdução de ar em forma de bolhas que a eles se juntam produzindo, no conjunto, um aumento de volume adequado; - *Elutriação*, que consiste na separação, numa mistura, de partículas de tamanhos diferentes, em frações mais ou menos homogêneas, através da sedimentação produzida numa corrente líquida; - *Filtração á vácuo*, que consiste na redução da água contida do lodo dos esgotos com o objetivo de aumentar a proporção de sólidos nele existentes, na faixa de 5 a 10%, para aproximadamente 30%, conseguindo-se uma massa úmida mais enriquecida e mais fácil de ser manipulada; - *Transferência de calor*, que consiste da transmissão de energia térmica produzida na digestão de lodo ou na introdução desta energia para secagem de lodo digerido; - *Secagem*, que consiste na redução da umidade do lodo de esgotos pela vaporização da água para o ar. Os processos químicos empregados são: - *Precipitação química*, que consiste na adição de produtos químicos aos esgotos, para melhorar a eficiência do tratamento como, por exemplo, na adição de oxigênio para o aumento da eficiência dos processos aeróbios; - *Adsorção*, que consiste na remoção de substâncias solúveis que se encontram em solução numa interface conveniente que pode ser entre um meio líquido e gasoso ou entre um meio líquido e um sólido; - *Desinfecção*, que consiste na destruição de

microrganismos patogênicos existentes nos esgotos através da ação química de uma substância desinfetante como, por exemplo, o cloro; - *Combustão*, que consiste na incineração do lodo dos esgotos, a fim de se promover uma redução de peso e volume, produzindo um resíduo inerte e sem odor.

Os requisitos a serem atingidos para o efluente são em função de legislação específica, conforme será detalhado com melhor clareza no item “2.4 - Legislação Vigente”. Para tal, há a necessidade de haver um nível adequado de remoção de poluentes no tratamento, tendo como objetivo adequar o efluente ao lançamento no corpo hídrico. Conforme Nunes (2004), as variações nos processos de tratamento de águas residuárias nas estações de tratamento de efluentes podem ser classificadas como: tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário (ou avançado, caso haja necessidade).

O tratamento preliminar objetiva somente a retirada de material particulado sólido grosseiro, visando diminuir a granulometria média do efluente. Tratando-se de uma etapa exclusivamente de mudanças físicas e não químicas, pode ser realizado através de operações envolvendo gradeamento e peneiras estáticas ou rotativas (já citadas anteriormente).

Já o tratamento primário tem como objetivo a remoção de sólidos sedimentáveis (normalmente através de tanques de sedimentação) e parte de matéria orgânica, principalmente Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO), parâmetros tradicionalmente mais utilizados, e tratam de forma indireta, o teor de matéria biológica e orgânica nos corpos d’água, demonstrando assim o potencial poluidor do efluente através da quantidade de oxigênio dissolvido (BRAGA, 2005).

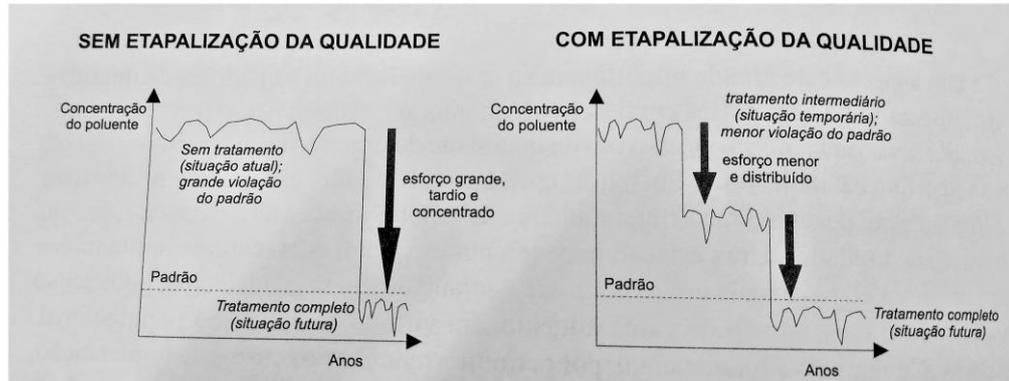
O tratamento secundário tem como predominância a remoção de matéria orgânica por mecanismos biológicos, inclusive alguns nutrientes, tais como fósforo e nitrogênio. Também devem retirar sólidos não sedimentáveis, ajudar no controle de DBO e DQO e microrganismos patógenos.

De uso e necessidade eventual, o tratamento terciário propõe também a remoção de matéria orgânica por tratamento biológico químico, tal como o tratamento secundário. Entretanto, não será o objeto de estudo nesse trabalho.

De modo a enfatizar a ideia de realizar um tratamento em etapas, Von Sperling mostra que a evolução gradual da qualidade do efluente tratado é algo que traz benefícios ambientais e financeiros às empresas. “Deve ser possível, em um grande número de situações, implantar-se em primeira etapa um processo menos eficiente, ou que remova um menor número de poluentes, para delegar para uma segunda etapa a evolução para um sistema mais

eficiente ou mais abrangente em termos de poluentes removidos.” (VON SPERLING, 2005, p.243).

Figura 1: Etapalização/Evolução gradual da qualidade do efluente



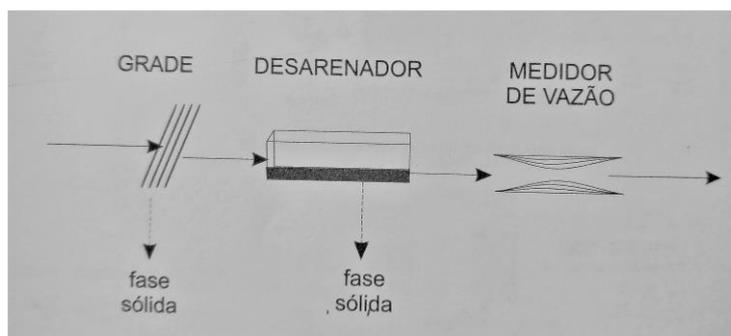
Fonte: Von Sperling, 2005, p.244.

Com um plano estratégico em mãos, e com as subsequentes etapas do processo para regularização, os órgãos ambientais poderiam abrir mão de prazos menores, visando um futuro (e não distante) maior taxa de regulamentação. Por questões financeiras, é de comum pensamento que, em tempos de crise hídrica e política, há o risco de que as etapas seguintes ao processo possam atrasar. Provém de o órgão regulamentador firmar contratos e compromissos afim de que não se use tais justificativas como uso comum.

2.3.1 Tratamento Preliminar

Como dito anteriormente, o tratamento preliminar destina-se á remoção de sólidos grosseiros e areia, sendo assim mecanismos de ordem física. Usualmente podem incluir uma unidade de medição de vazão (Ex.: Calha Parshall). A figura abaixo apresenta um fluxograma típico e simplificado do tratamento preliminar.

Figura 2: Tratamento Preliminar



Fonte: Von Sperling, 2005, p.264.

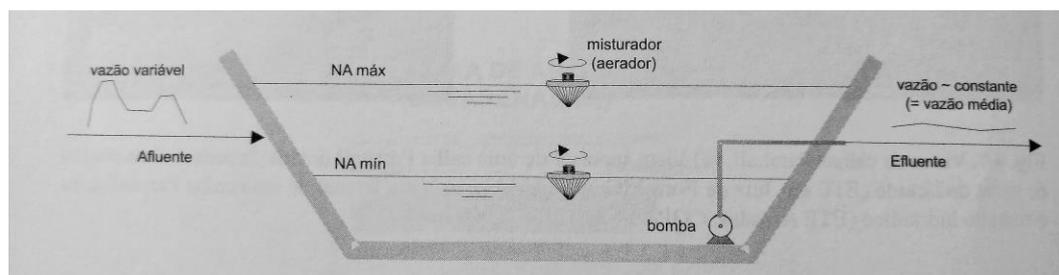
Como visto, as principais finalidades da remoção destes sólidos são voltados de modo a proteger e promover uma maior vida dos equipamentos que constituem da estação, tais como bombas e tubulações, e conseqüentemente aos corpos receptores ao final do processo.

Além deste sistema, o tratamento preliminar, de acordo com Leme (1982, p.239) “[...] podem incluir: decantação simples, precipitação química e decantação, digestão de lodos, secagem, disposição sobre o terreno, incineração ou afastamento de lodos resultantes, desinfecção e filtração através de filtros grosseiros”.

Em ETEs que tratam efluentes industriais, como o de objetivo deste estudo pode ser de necessidade a inclusão de um tanque de equalização após o tratamento preliminar. Como a vazão do efluente pode sofrer variações devido a sazonalidade do setor produtivo (e também com relação a demanda), é de grande valia haver ajustes na vazão, de modo a diminuir a variabilidade do efluente gerado, que posteriormente é levado ao tratamento primário. Dessa forma, a vazão é aproximadamente constante ao longo do tempo, com a vazão sendo levadas as próximas etapas do tratamento por meio de bombas ou por auxílio gravitacional. No entanto, têm-se como cuidado o impedimento da sedimentação de sólidos no fundo do tanque, para evitar decomposição anaeróbia e o indesejado aumento de microrganismos que acarretem em aumento da concentração de parâmetros controlados.

Outro recurso importante dos tanques de equalização são os misturadores, que podem até serem substituídos por aeradores, pois acrescentariam uma quantidade considerável de oxigênio ao líquido, tendo assim condições aeróbias.

Figura 3: Tanque de Equalização



Fonte: Von Sperling, 2005, p.268.

2.3.2 Tratamento Primário

Após o tratamento preliminar, ainda pode ser encontrados significativas quantidade de sólidos em suspensão não grosseiros, que podem ser parcialmente removidos em unidades de sedimentação. Por conseguinte, a remoção destes sólidos por processo simples implica na redução da carga de DBO que é levada ao tratamento secundário. De acordo com Von Sperling (2005, p.269), “a eficiência de sólidos em suspensão situa-se em torno de 60 a 70%, e a de DBO em torno de 25 a 35%”.

Através dos tanques de decantação, há o decréscimo destes valores, em função do efluente percorrer o tanque em velocidade lenta, onde a diferença de densidade entre o efluente e o sólido em suspensão sedimente gradualmente no fundo do tanque. Essa massa sólida, chamada de lodo primário, pode ser retirada em períodos pré-determinados em cada situação, de acordo com a composição química dos sólidos ali contidos, para também evitar anaerobiose, através de tubulações no fundo do tanque e/ou raspadores mecânicos que se encarregam de retirar o material sólido e leva-lo para uma filtro-prensa. Já os materiais que possuem densidade menor que o do efluente (por exemplo graxas e óleos) podem ser coletados e removidos do tanque para posterior tratamento. Em alguns casos, a eficiência do tratamento primário pode ser aumentada em função da adição de agentes coagulantes. Já em outros, tais produtos podem ser adicionados ao fim do processo, após os processos de aeração.

Há ainda outros sistemas de tratamentos secundário, que podem incluir a filtração biológica, onde utiliza-se biofiltros de baixa e alta capacidade, com o intuito de promover a aeração do efluente primário, a fim de introduzir oxigênio e manter a atividade aeróbia em constante funcionamento. (LEME, 1982).

2.3.3 Tratamento Secundário

Nessa etapa, geralmente tem a inclusão de tratamento biológico, uma vez que a degradação de poluentes orgânicos é intensificada, em intervalos de tempo menores quando comparados aos sistemas naturais. Assim, quando os tratamentos anteriores têm predominância física, os microrganismos entram como agentes reguladores através de reações bioquímicas.

Como visto em disciplinas de cunho biológico e ambiental, uma grande variedade de microrganismos podem fazer parte do processo: desde bactérias, a fungos e protozoários. Assim, a matéria orgânica ali presente se torna alimento para os seres, convertendo-o em CO₂, água e material celular. É importante salientar que, nas reações envolvendo seres microrganismos, é imprescindível o controle de pH, temperatura, tempo de contato, dentre outros.

Tabela 1: Principais Sistemas de Tratamento de Esgotos á Nível Secundário

Sistema de tratamento	Exemplos usuais
Lagoas de Estabilização	<ul style="list-style-type: none"> • Lagoa Facultativa • Lagoa Anaeróbia • Lagoa Aerada Facultativa • Lagoa de Decantação • Lagoa de Alta Taxa • Lagoas de Maturação
Disposição no Solo	<ul style="list-style-type: none"> • Infiltração Lenta • Infiltração Rápida • Infiltração Superficial • Escoamento Superficial • Terras Úmidas Construtivas
Sistemas Anaeróbios	<ul style="list-style-type: none"> • Filtro Anaeróbio • Reator Anaeróbio de Manta de Lodo de Fluxo Ascendente (UASB) • Reator anaeróbio – pós-tratamento
Lodos Ativados	<ul style="list-style-type: none"> • Lodo ativado convencional • Lodo ativado por aeração prolongada

	<ul style="list-style-type: none"> • Lodo ativado de fluxo intermitente • Lodo ativado com remoção biológica de nitrogênio e fósforo
Reatores Aeróbios com Biofilmes	<ul style="list-style-type: none"> • Filtro de Baixa Carga • Filtro de Alta Carga • Biofiltro Aerado Submerso • Biodisco

Fonte: Von Sperling, 2005.

Nunes (2012, p.61) retrata a importância do tratamento físico-químico, com o auxílio dos procedimentos de coagulação-floculação:

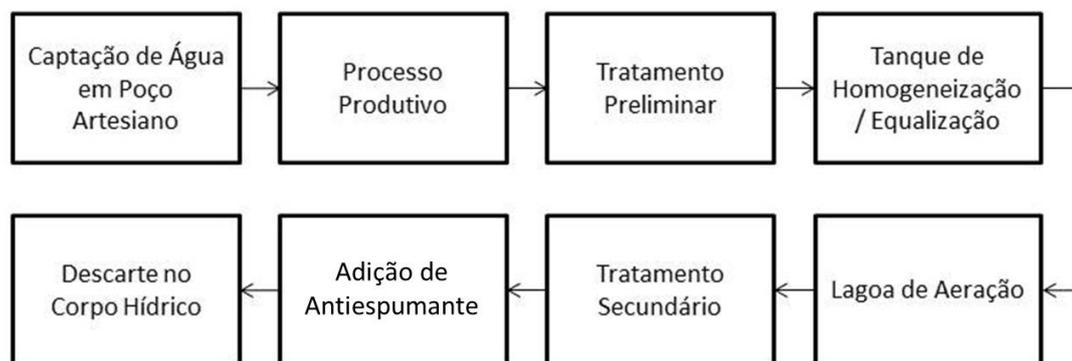
O tratamento físico-químico por coagulação-floculação de águas residuárias decorrentes dos processos industriais têm sido empregado, na maioria das vezes, a nível primário, precedendo tratamento biológico de depuração, objetivando reduzir a carga orgânica afluente, conseqüentemente, obtendo-se menores dimensões nestas unidades. [...] [Esse sistema] difere muito dos sistemas empregados no tratamento de água bruta para abastecimento, e sua concepção básica consiste transformar em flocos, impurezas em estado coloidal, suspensões, etc. e, posteriormente, removê-los em decantadores. Para se obter a floculação, lança-se mão de coagulantes químicos, como os sais de alumínio e de ferro, que reagem com a alcalinidade contida ou adicionada nas águas residuárias, formando hidróxidos que desestabilizam colóides, partículas em suspensão, etc, pela redução de seu potencial zeta a valores próximos de zero [...].

Outra vantagem associada ao tratamento físico-químico está associado ao fato de que não é necessário o seu funcionamento noturno, ou sem paradas, podendo assim tratar o efluente em somente em alguns turnos do dia. Uma estação operando das 6 às 18 horas, diminuiria consideravelmente custos ligados aos floculantes, ajustadores de pH, dentre outros. Para isso, é necessária a existência de um tanque de equalização antes desta etapa, acrescentando volume para o armazenamento e mistura do efluente enquanto a estação permanece parada.

2.4 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES – EMPRESA X

Para melhor compreensão de toda a cadeia processual realizada na empresa, foi realizado um fluxograma que descreve resumidamente as etapas, conforme segue abaixo:

Figura 4: Fluxograma do Processo geral da Empresa X



Fonte: Do Autor, 2017.

Primeiramente, a água utilizada no processo produtivo e passada á efluente na estação de tratamento são provenientes de poços artesianos, aos quais possuem bombas que realizam a captação da água e as levam a um tanque localizado próximo ao tanque do tratamento preliminar. O líquido armazenado sofre um processo de desmineralização por troca iônica, e assim segue até o setor produtivo.

Conforme citado acima, o efluente gerado pela empresa X prove principalmente do processo produtivo desenvolvido. O setor de maior geração de efluentes é o de lavação e tingimento, porém também é gerado efluente nas centrífugas, testadoras de tecidos, máquina piloto e condensador de vapor. Os reagentes utilizados nas máquinas lavadoras possuem diversas composições e usos destinados. Em sua maioria, eles são passados á empresas em seus nomes comerciais, e por questões éticas, suas composições não foram reveladas. De qualquer forma, os produtos utilizados foram descritos no Apêndice A ao final deste trabalho.

Posteriormente ao processo o efluente passa pelos processos de tratamento preliminar, homogeneização e vazão, tratamento secundário (através de uma lagoa de aeração), tratamento primário e adição de antiespumantes, conforme o fluxograma abaixo, e relatado posteriormente:

O tratamento Preliminar consiste na aplicação de dois processos unitários sequenciais que objetivam a remoção dos sólidos grosseiros presentes no efluente. O primeiro processo é composto de uma caixa de areia ao qual precipita os sólidos sedimentáveis presentes no efluente gerado, enquanto que o segundo processo é composto de peneira rotativa automática utilizada para retenção de sólidos grosseiros em suspensão no efluente.

Figura 5: Tratamento Preliminar



Fonte: Do Autor, 2017.

Figura 6: Peneira Rotativa



Fonte: Do Autor, 2017.

Posteriormente a esses dois processos ocorrem à equalização de vazão do efluente em um tanque específico. Este tanque é chamado de Tanque de Homogeneização, ou Tanque de Equalização. Na sequência, é levado à Lagoa de Aeração.

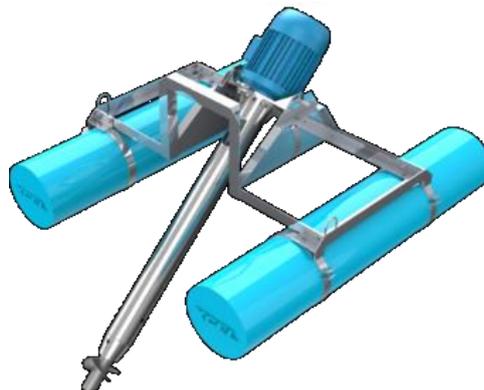
Figura 7: Tanque de Homogeneização



Fonte: Do Autor, 2017.

Composta por um tanque com capacidade volumétrica de aproximadamente 1200 m³ e um aerador de fluxo descendente da marca XCEL Equipamentos, modelo AAX – 7,5 CV, o tratamento secundário consiste na remoção de carga orgânica e inorgânica do efluente por processos oxidativos através da aeração forçada do efluente. Esse processo destina-se, principalmente, à remoção de DBO, sulfetos e macro nutrientes possivelmente presentes.

Figura 8: Aerador XCEL AAX – 7,5 CV



Fonte: XCEL Equipamentos, 2017.

Figura 9: Lagoa de Aeração



Fonte: Do Autor, 2017.

O Tratamento Secundário consiste na remoção dos sólidos suspensos no efluente por meio da correção do pH através do alcalinizante NaOH (Hidróxido de Sódio) e na adição de produtos químicos, policloreto de alumínio (PAC) e polímero catiônico, responsáveis pela coagulação/floculação/decantação dos flocos resultantes do processo. O processo de mistura do efluente e produtos é realizado em calhas com chicanas de fluxo horizontal e posteriormente decaem sobre os flocodecantadores.

Por fim, antes do descarte ao corpo hídrico, o efluente em fase final de tratamento é destinado a um tanque ao qual recebe uma pequena carga de antiespumante (tal composto não foi revelado a empresa, embora há constatação de não alteração química nos principais parâmetros que são levados em conta aos órgãos fiscalizadores).

2.5 ENXOFRE

Nos últimos tempos, os ecossistemas têm sofrido muito com as desregularidades sofridas pelos ciclos naturais dos principais nutrientes (nitrogênio, fósforo e enxofre), em função dos altos níveis de poluição a nível industrial e urbano. De acordo com Lens *et al.* (2000, p.1), “Quimicamente, o enxofre é uma das mais interessantes elementos; geoquimicamente é abundante, e bioquimicamente possui sua maior parcela. Sua complexidade é originada pelas várias formas de estados de oxidação [...] e hoje, após mais de 200 anos de pesquisas científicas resultados em uma alta gama de compostos que podem não ser facilmente encontrados na literatura”.

Na natureza, os sais de enxofre são os mais abundantes, sendo encontrados em águas salinas e salobras. Também é encontrado em rochas nas na forma de minerais sulfeto, sulfato e também em sua forma elementar. Sua variabilidade e suas possíveis transformações são complexas, se devendo ao fato que poder haver vários estados de oxidação, como na tabela abaixo:

Tabela 2: Estados de Oxidação dos compostos á Base de Enxofre

Classe de Compostos	Estado de Oxidação
Enxofre Orgânico (R-S)	-2
Sulfeto (H_2S , HS^- , S^{2-})	-2
Disulfanos (H_2S_2), Disulfetos (S_2^{2-}), Polissulfetos ($-S(Sn)S-$)	-1
Enxofre Elementar (S^0)	0
Diclorodisulfano (Cl-S-S-Cl)	1
DicloroEnxofre (SCl_2)	2
Tiosulfato ($S_2O_3^{2-}$)	2
Ditionito ($S_2O_4^{2-}$)	3
Dióxido de Enxofre (SO_2), Sulfito (SO_3^{2-})	4
Dithionatos ($S_2O_6^{2-}$) Sulfonatos (R- SO_3^{2-})	5
Trióxido de Enxofre (SO_3), Sulfato (SO_4^{2-})	6

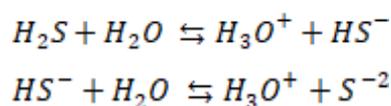
Fonte: Lens *et al.*, *apud* Schmidell, 2000, p.535.

Como citado anteriormente no corpo deste estudo, a solução-problema deste se dá através da diminuição da concentração do íon sulfeto no efluente da empresa X objetivando a adaptação á legislação vigente. Sendo assim, haverá a restrição dos dados apresentados somente para o objeto de estudo.

2.5.1 Sulfeto

Presente em maior abundância na forma de sulfeto de hidrogênio (H_2S), apresenta-se como um gás incolor, tendo odor característico semelhante a de um ovo podre, e apresenta um alto grau de solubilidade em líquidos, como álcool, éteres, aminas e água. Schmidell (2007) mostra que em ambientes aquáticos, a composição do H_2S é influenciada principalmente pelo pH, onde em sistemas com baixo valor ($pH < 3$), a forma predominante é

a forma não-ionizada H_2S , enquanto que com valores próximos ou superiores a 8, quase todo o sulfeto dissolvido apresenta-se na formas iônicas HS^- e S^{2-} , conforme equações abaixo:



Podem ser obtidos através da dessulfatação (redução de sulfatos a sulfetos), onde bactérias sulfo-redutoras, como as do gênero *desulphovibrio desulphurican* reduzem o sulfato a sulfeto. Tal reação é realizada somente em ambientes onde há a ausência total de oxigênio livre, onde as bactérias anaeróbias estritas conseguem sobreviver. O quadro a seguir mostra as vantagens e desvantagens na formação de sulfetos em biorreatores anaeróbios. Os dados nos mostram que, se houver uma crescente na concentração de sulfato, também há um aumento na proporção da concentração de matéria orgânica no meio, beneficiando assim a redução do sulfato á sulfeto:

Tabela 3: Efeitos da formação de sulfeto em biorreatores anaeróbios

Desvantagens	Vantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Eficiência de remoção de DQO reduzida devido á presença de H_2S no efluente; • Corrosão; • Acúmulo de materiais inertes no lodo; • Diminuição da disponibilidade de metais-traço para as bactérias (Ex.: CoS); • Menor formação de gás metano; • Baixa qualidade de biogás (necessidade de remoção de H_2S no biogás); • Mal cheiro; • Toxicidade potencial alta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Remoção de compostos oxidados do enxofre (sulfato, sulfeto, tiosulfato), advindos de águas residuárias orgânicas e inorgânicas; • Remoção de metais pesados; • Os metais precipitados (Ex.: FeS) são bons precursores para granulação; • Degradação e remoção de compostos xenobióticos; • Produção de alcalinidade para o combate á acidez de certos efluentes.

Fonte: Lens *et al.* apud Schmidell, 2000, p.540.

Schmidell (2007, p.536) revela que as “bactérias redutoras de sulfato (BRS) são consideradas organismos muito versáteis por serem capazes de utilizar uma grande variedade de substrato como, por exemplo, toda a cadeia de ácidos graxos voláteis, diversos ácidos

aromáticos, hidrogênio, diversos álcoois, açúcares, aminoácidos e outros compostos fenólicos”.

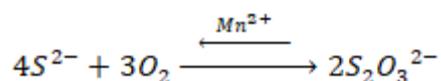
Quando em grandes concentrações nas estações de tratamento de efluentes, provoca a diminuição do oxigênio dissolvido devido sua ação redutora, além de impedir a floculação e devem ser removidos antes do sistema biológico. Sua remoção pode ocorrer de duas maneiras: precipitação ou oxidação (processo inverso de sua principal origem), sendo esta última a mais utilizada por vantagens econômicas.

2.5.1.1 Remoção de Sulfetos

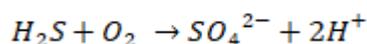
Como já citado antes, a maioria dos processos industriais utilizam-se de processos físico-químicos para a remoção de sulfetos. Especificamente para o sulfeto de hidrogênio, utiliza-se principalmente precipitação e oxidação, sendo esse ultimo com melhor custo-benefício. Janssen *et al.* (1999) revela que os processo conhecidos de oxidação podem variar desde aeração, cloração, tratamento com permanganato de potássio e peróxido de hidrogênio, etc.. Embora assim, tal citado no assunto anterior, todos estes acarretem na formação de enxofre elementar, passando dependendo da concentração dos reagentes oxidatórios a formar íons tiosulfato e sulfato como produto final.

Nunes (2012, p.175) mostra uma via de oxidação do sulfeto, e sua reação:

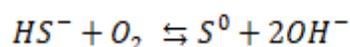
A oxidação de sulfeto a tiosulfato é efetuada através da introdução de ar em banhos residuais separados, onde poderá ser utilizado sal de manganês como catalisador. A quantidade de catalisador é de 0,15 KgMn²⁺/kgS²⁻ [...] e o tempo de reação é entre 8 a 10 horas. Para garantir completa oxidação, é recomendado usar a seguinte relação: 1,0kgS²⁻/kgO₂. Sem a utilização de calatizador, o tempo de reação fica entre 20 e 24 horas.



Uma grande quantidade de bactérias pode ser capaz também de oxidar sulfeto até enxofre elementar a sulfato. Bactérias não fotossintéticas podem crescer em ampla faixa de pH (entre 1 e 10,5) e de temperatura (de 4 a 95°C), onde Lens e Kuenen (2001) nos diz que utilizam-se do oxigênio molecular como o acceptor final de elétrons, como na reação abaixo:



Esse tipo de reação ocorre em estágios, onde o primeiro passo é a transformação do sulfeto de hidrogênio em enxofre elementar (S^0). Em situações onde ocorre o processo biológico, é de maior facilidade que a reação pare na formação de S^0 , uma vez que ele se encontra na forma coloidal, e assim tem fácil nível de separação do efluente. Para tal, é necessário que o agente limitante seja o oxigênio. Caso haja excesso dele, preferencialmente haverá a formação de íons sulfato, conforme descrito anteriormente. Essa reação pode ser realizada pela bactéria *T. denitrificans*, como segue:



2.6 OXIGÊNIO DISSOLVIDO

No tratamento de efluentes, um dos dados mais nocivos á poluição de um corpo receptor por matéria orgânica se dá pela queda nos níveis de oxigênio dissolvido, onde é geralmente causada pela respiração de microrganismos envolvidos de maneira direta ou indireta no processo. Von Sperling (2005, P. 142.) explica com precisão e simplicidade seus usos:

O oxigênio dissolvido tem sido utilizado tradicionalmente para a determinação do grau de poluição e de autodepuração em cursos d'água. A sua medição é simples, e o seu teor pode ser expresso em concentrações, quantificáveis e passíveis de modelagem matemática. As águas constituem ambientes bastante pobres em oxigênio, em virtude da baixa solubilidade deste. Enquanto no ar a sua concentração é da ordem de 270 mg/L, na água, nas condições normais de temperatura e pressão, a sua concentração se reduz aproximadamente a apenas 9 mg/L. Desta forma, qualquer consumo em maior quantidade traz sensíveis repercussões quanto ao teor de oxigênio dissolvido na massa líquida. No processo de auto depuração há um balanço entre as fontes de consumo e as fontes de produção de oxigênio. Quando a taxa de consumo é superior á taxa de produção, a concentração de oxigênio tende a decrescer, ocorrendo o inverso quando a taxa de consumo é inferior á taxa de produção.

Os meios de consumo e produção de oxigênio podem ser listados como na tabela abaixo:

Tabela 4: Fenômenos interagentes na produção ou consumo de oxigênio dissolvido

Consumo de Oxigênio	Produção de Oxigênio
Oxidação da matéria orgânica (respiração)	Reaeração atmosférica
Demanda bentônica	Fotossíntese
Nitrificação (oxidação da amônia)	

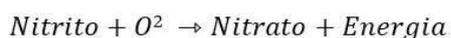
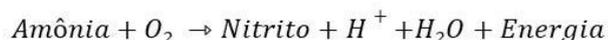
Fonte: Von Sperling, 2005, p. 143.

2.6.1 Consumo de Oxigênio

Conforme citado anteriormente, a matéria orgânica se apresenta na forma em suspensão ou dissolvida. Enquanto a primeira tende a sedimentar no corpo d'água, formando lodo de fundo, a segunda permanece na massa líquida. A oxidação desta matéria orgânica é o principal fator de consumo de oxigênio nos efluentes, geralmente através de bactérias heterotróficas aeróbias. Assim, na presença de oxigênio, convertem a matéria orgânica a compostos simples como água e gás carbônico, tendendo a ser reproduzir enquanto houver alimento (matéria orgânica) no meio em que vivem.

A matéria depositada no fundo dos reservatórios e tanques, formando o lodo de fundo, também necessita de conversão, em sua maioria em condições anaeróbias, em virtude da dificuldade de penetração de oxigênio na camada de lodo.

Outra forma de consumo de oxigênio se dá através das formas nitrogenadas, utilizando-se da amônia para converter tais compostos em nitratos, no fenômeno denominado nitrificação (VON SPERLING, 2005, p.144). Através do dióxido de carbono, microrganismos autótrofos quimiossintetizantes realizam oxidação a partir da amônia:



2.6.2 Produção de Oxigênio

A reaeração atmosférica é frequentemente o principal fator responsável pela introdução de oxigênio no meio líquido. A transferência dos gases é um fenômeno físico, onde moléculas de gases são introduzidas no líquido através da passagem pela sua interface. Quando há um déficit de oxigênio, os valores de oxigênio estão abaixo do padrão de saturação deste no líquido, havendo assim uma busca para a situação de equilíbrio, permitindo e facilitando uma maior absorção de oxigênio pela massa líquida.

Pode-se dizer que existem dois mecanismos onde há transferência de fase gasosa para uma líquida: difusão molecular e difusão turbulenta, onde esta última apresenta maior eficiência na transferência em função do tempo, uma vez que há um maior controle para evitar saturação localizada em uma parte do líquido.

Já a fotossíntese é o principal processo utilizado pelos seres autotróficos para a síntese de matéria orgânica, onde o processo se realiza somente em presença de energia luminosa, promovendo a conversão do dióxido de carbono em oxigênio. Esses seres, no cômputo geral, promovem um superávit de oxigênio a nível global, constituindo uma reserva de energia para os seres heterotróficos.

2.7 LEGISLAÇÃO VIGENTE

Os requisitos de qualidade nos mostram de forma geral e conceitual de que modo à qualidade é desejável para a água, provendo assim a necessidade de estabelecer padrões, de acordo com um amparo legal.

Tais padrões são geridos nas esferas nacional, estadual e municipal. Por Von Sperling (2005, p.234), “Os padrões nacionais são definidos por cada país, têm status de lei e são baseados nas características específicas do país. Dependendo da estrutura política do país, padrões regionais podem existir, para cada estado ou outra forma de divisão política.”. Dessa forma, constitui-se diferentes tipos de padrões ou diretrizes a serem seguidas, de interesse direto dentro da Engenharia Ambiental se tratando da qualidade da água em corpos d’água e também ao reuso de efluentes tratados. De acordo com Von Sperling (2005, p.235), podem ser distinguidos entre:

- Padrões de lançamento no corpo receptor;
- Padrões de qualidade do corpo receptor;
- Padrões ou diretrizes de qualidade para determinado uso do efluente tratado (Ex.: irrigação).

No Brasil, a resolução CONAMA 357 de 2005 (e complementada na resolução CONAMA 430, de 2011), mostra que as águas são divididas no território nacional entre águas doces (salinidade $\leq 0,05\%$), salobras (entre $0,05\%$ e $3,0\%$) e salinas (salinidade $\geq 3,0\%$). Também podem ser classificadas de acordo com os usos aos quais são previstos (veja tabela no Apêndice B).

Já o artigo nº22 da resolução CONAMA 430/2011, cita que:

O lançamento de esgotos sanitários por meio de emissários submarinos deve atender aos padrões da classe do corpo receptor, após o limite da zona de mistura e ao

padrão de balneabilidade, de acordo com as normas e legislação vigentes. Parágrafo único. Este lançamento deve ser precedido de tratamento que garanta o atendimento das seguintes condições e padrões específicos, sem prejuízo de outras exigências cabíveis: I - pH entre 5 e 9; II - temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura; III - após desarenação; IV - sólidos grosseiros e materiais flutuantes: virtualmente ausentes; e V - sólidos em suspensão totais: eficiência mínima de remoção de 20%, após desarenação.

De acordo com a portaria FATMA-017/02 de 18/04/02, através dos dados relacionados com a resolução CONAMA 430 de 13/05/2011, a empresa X deverá realizar e enviar o laudo da análise do efluente industrial à FATMA, com frequência trimestral, nos seguintes parâmetros:

- Efluente Bruto: DBO₅
- Efluente Tratado: DBO₅, pH, ABS, Sólidos Sedimentáveis, Sulfetos e Nitratos.

Tais parâmetros devem ser correlacionados com a referida resolução, que exige:

Tabela 5: Parâmetros máximos exigidos pela resolução CONAMA 430:

Parâmetro	Limite Máximo Permitido
pH	Entre 6,0 e 9,0
DBO ₅ , mg/L	Máximo 60mg/L ou 80% de remoção
Detergentes – ABS, mg/L	2,0 mg/L
Sólidos sedimentáveis, mL/L.h	1,0 mL/L.h
Sulfetos, mg/L	1,0 mg/L
Nitratos, mg/L	20 mg/L

Fonte: CONAMA, 2017.

3 METODOLOGIA

3.1 PESQUISA METODOLÓGICA

Na verdade, o planejamento e os cuidados com os critérios para o delineamento de uma pesquisa fazem parte da estrutura metodológica da mesma. Nesse sentido, esta investigação foi permeada por critérios de determinação de artigos resgatados de fontes primárias e secundárias para que pudessem garantir a fidedignidade dos resultados obtidos. Ao mesmo tempo a busca de respostas ao problema central de pesquisa foi planejada com a adoção de e controle de variáveis.

A pesquisa metodológica representa a garantia de estar em dia com o ímpeto inovador da ciência, definida como processo incessante inovador. Tudo o que a ciência apresenta tem como primeira exigência ser questionado, porque nasceu do questionamento e, por pura coerência científica, deve continuar servindo ao questionamento. (DEMO, 2012, p. 39).

Dessa forma, o questionamento constante e a análise das variáveis foram concretamente responsáveis para a definição dos resultados obtidos.

3.2 A PESQUISA REALIZADA

Para a investigação realizada determinou-se como método de abordagem a pesquisa quantitativa, de nível descritivo e, como método de procedimento o estudo experimental. Quantitativa, pois a resposta à hipótese de trabalho deu-se a partir da análise de variáveis determinadas pelos efluentes descartados (variáveis independentes) e pelos efluentes pós-tratamento que constituíram as variáveis dependentes. O tratamento destas variáveis possibilitou o resultado da investigação.

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).

Ao mesmo tempo, o nível descritivo da investigação é caracterizado tanto pelo razoável conhecimento do pesquisador sobre a temática estudada como também do estabelecimento de estudo das relações entre variáveis. Gil (1999, p. 44) nos diz que “As pesquisas deste tipo têm como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômenos ou o estabelecimento de relações entre variáveis”.

3.3 POPULAÇÃO E AMOSTRA

Os estudos preliminares para a realização desta investigação resultou em um criterioso planejamento. Após discussão com o Professor Orientador e empresa X, considerando-se a necessidade da adequação ao parâmetro sulfeto á legislação vigente, definiu-se então elaborar uma rota através de testes de forma a corrigir e adequar à emissão.

Dessa forma, a população é constituída pela totalidade das lavadeiras industriais do Estado de Santa Catarina e, como amostra, intencional, definiu-se uma lavanderia industrial do sul do estado em questão para a aplicação do estudo e elaboração do solucionamento.

3.4 DESCRIÇÃO DO PROCESSO

Conforme citado no item “1.1 - Jutificativa e Problema”, foram realizados uma série de testes e observações que nos permitiram fazer um planejamento em etapas, para qual seria a melhor rota a fim de promover a redução da concentração final de sulfeto no efluente. Tais experimentos variaram desde observações á olho nu, notando a qualidade da água residuárias e indícios de irregularidades no tratamento da ETE da empresa X; bem como coletas em pontos específicos da estação para comparar tais comportamentos e assim distinguir o que ou qual medida deve ser aplicada.

Partindo do princípio, deve-se lembrar das etapas de tratamento que regem a ETE:

- Captação de água por poço artesiano;
- Uso da água no processo produtivo, tornando-a resíduo;
- Tratamento preliminar (caixa de areia e peneira rotativa);
- Tanque de equalização;
- Lagoa de aeração;
- Tratamento Secundário (físico-químico);
- Descarte no corpo hídrico.

Dessa forma, foram determinados entre o químico responsável e o presente escritor deste, quais seriam os pontos de coletar a se realizar de forma a compreender o comportamento de cada etapa, e seus benefícios/malefícios ao resultado final.

Tabela 6: Pontos de Coleta

Ponto de Coleta	Localização
P01	Entrada do Tratamento Preliminar
P02	Entrada no Tanque de Equalização
P03	Entrada da Lagoa de Aeração
P04	Saída da Lagoa de Aeração
P05	Saída do Tratamento Secundário

Fonte: Empresa X e Autor, 2017.

As coletas foram realizadas em frascos de 1L esterilizados de uso restrito ao Laboratório de Análises e Prestação de Serviço – Unisul (Tubarão), aos quais foram enviados e seus resultados recebidos em laudos individuais. O método de determinação é o iodométrico. Essa metodologia utiliza-se acetato de zinco para precipitar o sulfeto, formando sulfeto de zinco (ZnS). Após sucessivas lavagens, sofre redução com uma solução em excesso de iodo (I_2) em meio ácido, com posterior titulação com tiosulfato de sódio ($Na_2S_2O_3$).

A partir desta etapa, os resultados são interpretados em comum acordo entre empresa e estagiário, e através de novas metodologias, teorias e referências bibliográficas consagradas, propostas para a melhoria da eficiência na remoção de sulfetos serão mostradas procurando aproveitar de alguma forma a infraestrutura já instalada atualmente.

De acordo com o cronograma estabelecido, conforme as alterações irão sendo realizadas, novas coletas continuam sendo realizadas e analisadas de forma e comparar as novas alterações sugeridas e seu respectivo comportamento. Tais alterações serão realizadas até o momento em que o parâmetro esteja controlado dentro da legislação vigente, encontrando assim um consenso entre os custos de implantação de tais etapas e a certificação de manter a estação de tratamento de forma correta.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 AVERIGUAÇÃO DO PERCENTUAL DE REMOÇÃO DE POLUENTES E CAMPANHAS AMOSTRAIS

Para início dos trabalhos, foi solicitada a empresa as análises físico-químicas de controle de eficiência de remoção de poluentes da estação de tratamento de efluentes (ETE). Neste primeiro momento, foram averiguadas as condições atuais da ETE bem como o nível de eficiência no tratamento. A tabela abaixo discriminada abaixo resume todos os resultados encaminhados pela empresa X, sendo eles:

Tabela 7: Eficiência de Remoção

Data	Parâmetro	P01	P05	Remoção (%)
01/07/2016	DBO ₅ (mg/L)	120,60	8,00	93,37
14/09/2016	DBO ₅ (mg/L)	60,00	4,00	93,33

Fonte: Empresa X, 2017.

De acordo com as análises realizadas, o índice geral de remoção de carga orgânica em termos de DBO₅ está bastante satisfatório, alcançando um valor médio de aproximadamente 93%. Segundo o artigo 19 do Decreto Estadual nº 14.250/1981 de que trata dos padrões de lançamento de efluentes, em sua subseção IV, inciso XIV determina que o padrão de lançamento para efluentes para o parâmetro DBO₅, é de 60 mg/L ou eficiência de 80% de remoção.

Como podemos observar nos resultados obtidos, a ETE implantada despeja efluentes líquidos abaixo de 60 mg/L e também possui eficiência de remoção acima de 80%. Porém, de acordo como mencionado pelos responsáveis, a ETE instalada estava com dificuldade de operação para remoção do parâmetro sulfetos.

A partir de então, verificou-se se os métodos empregados no interior da planta são compatíveis com metodologias consagradas. As escolhas das metodologias geralmente são de acordo com os aspectos técnicos e também sobre a biodegradabilidade do efluente. Conforme visto anteriormente a metodologia proposta deve ser de fácil adaptação, atender demanda atual e apresentar suficiente flexibilidade devida á variações futuras ao qual a unidade pode

ser imposta, uma vez que existem variações no processo produtivo e conseqüentemente na qualidade do efluente bruto.

Existe uma série de discussões sobre a biodegradabilidade do efluente e isto implica diretamente no método de tratamento utilizado para adequação do efluente líquido. Junchen (2001) trata que quando a relação DQO/DBO for pequena, significa que a amostra é facilmente degradável pela ação de microrganismos. Quanto mais essa relação se afastar de 1, significa maior é a quantidade de compostos resistentes a degradação.

Tabela 8: Relações sugeridas por Junchen (2001)

DBO/DQO > 0,6	Tratamento por processos biológicos
0,2 < DBO/DQO < 0,6	Tratamento biológico possível
DBO/DQO < 0,2	Tratamento biológico muito difícil

Fonte: Junchen, 2001.

A partir de então, realizou-se uma campanha amostral para verificação dos níveis de biodegradabilidade e presença de sulfetos na água através dos parâmetros DBO₅, DQO e sulfetos, bem como suas interrelações, conforme especificado na tabela abaixo:

Tabela 9: Nova campanha amostral com interrelações, de acordo com Junchen (2001).

Data	Parâmetro	P01	P05	Remoção (%)
20/02/2017	DBO ₅ (mg/L)	150,90	12,00	92,05
	DQO (mg/L)	1,18	1,08	8,47
	Sulfetos	59,10	7,60	87,14
Junchen Relação DBO/DQO		127,90	11,11	---
		Tratamento por Processo Biológico		

Fonte: Centro Tecnológico Unisul (Centec), 2017.

Verificando as relações e resultados expressos na Tabela 8, observamos que a eficiência na remoção de DBO continua dentro dos limites aceitáveis e permitidos nas legislações aplicáveis, e que as relações encontradas orientaram que o sistema de tratamento implantado seja através de processos biológicos, o que já ocorre na planta de tratamento (lagoa de aeração e mistura completa).

É possível verificar também, que a análise apresentou o resultado de 7,60 mg/L para o parâmetro sulfeto, estando este, muito acima do limite preconizado por legislação

aplicável, que é de 1,0mg/L. Então, fez-se necessário o acompanhamento do efluente para a problemática de remoção para o parâmetro sulfetos.

Iniciados os trabalhos para a investigação na remoção de sulfetos, foram realizadas mais quatro campanhas amostrais verificadoras dos percentuais de remoção de sulfetos no efluente. Nessas campanhas amostrais, subdividiu-se as análises para sulfetos, nos diferentes níveis de tratamento implementados na planta. Isso permitirá a análise real da eficiência na remoção de sulfetos para cada processo implementado, bem como possibilitar a tomada de decisões para melhoria dos processos.

A tabela apresentada abaixo demonstra todos os resultados obtidos através das quatro campanhas amostrais complementares realizadas com seus respectivos percentuais de remoção, sendo os resultados.

Tabela 10: Campanhas amostrais

Data	Parâmetro	P01	P02	(%)	P03	(%)	P04	(%)	P05	(%)
C.A. 02 (13/03/2017)	Sulfetos (mg/L)	12,20	25,90	-112,30	14,60	43,63	12,90	11,64	6,10	52,71
C.A. 03 (17/03/2017)	Sulfetos (mg/L)	9,90	14,80	-49,49	8,40	43,24	6,30	25,00	1,70	73,02
C.A. 04 (27/03/2017)	Sulfetos (mg/L)	25,30	38,00	-50,20	19,00	50,00	16,90	11,05	7,40	56,21
C.A. 05 (11/04/2017)	Sulfetos (mg/L)	18,00	5,40	70,00	5,30	1,85	7,20	-35,85	23,40	-225,00

P01 → Entrada da ETE;

P04 → Saída da aeração.

P02 → Tanque de equalização.

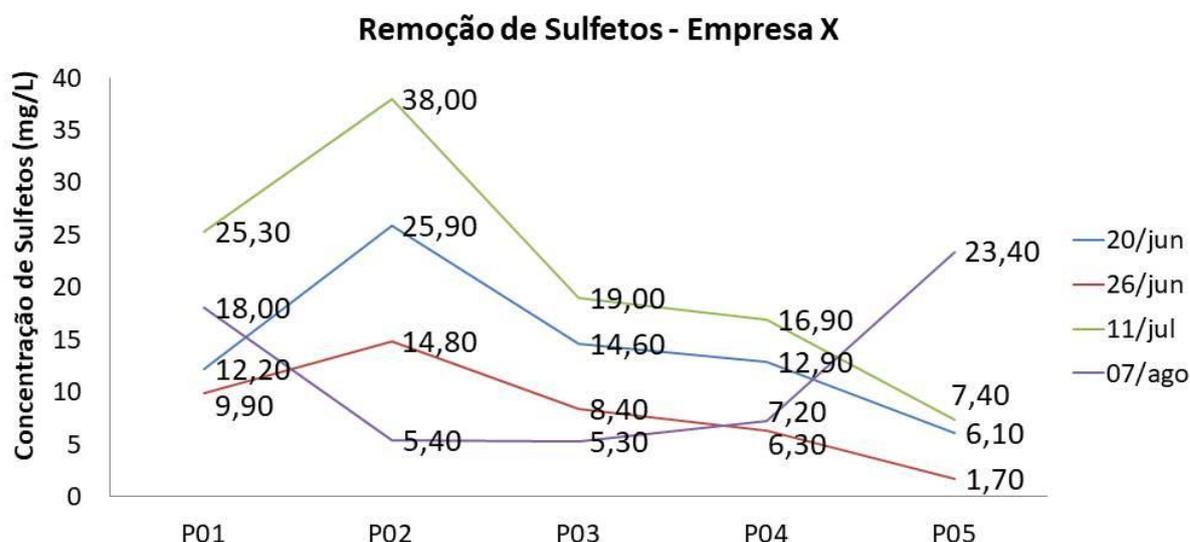
P05 → Após tratamento físico-químico.

P03 → Entrada da aeração.

Fonte: Centro Tecnológico Unisul (Centec), 2017.

A exceção dos valores apresentados na campanha amostral número 05, todos os resultados apresentaram uma uniformidade nos percentuais de remoção de efluentes. Os gráficos abaixo representam as curvas em percentual de remoção do contaminante sulfeto no efluente.

Gráfico 1: Remoção de Sulfetos - Empresa X



Fonte: Do Autor, 2017.

Com tais resultados, observando a tendência do comportamento do parâmetro sulfeto nos pontos de coleta, admitiu-se que a coleta do dia 11 de abril, por apresentar um padrão de comportamento diferente quando comparado aos demais, teve seus resultados negligenciados. Tal resultado também foi excluído das análises estatísticas uma vez que houve uma anormalidade da vazão do polímero coagulante na etapa de tratamento físico-químico, devido a um defeito na bomba.

A partir dos dados apresentados, é possível verificar a ineficiência de remoção geral do sulfeto no sistema de tratamento instalado. É possível verificar também, um acréscimo na concentração de sulfetos no efluente em relação ao P01 (entrada da ETE) e P02 (tanque de homogeneização). Isto se deve ao fato de este tanque possuir capacidade volumétrica relativamente alta, ocasionando alta detenção hidráulica do efluente e baixa homogeneização do mesmo.

Nesta situação o tanque de equalização de vazão cria uma condição de deposição de matéria orgânica e ausência de oxigênio, propiciando o processo de anaerobiose. Neste processo as bactérias do gênero *Desulphovibrio desulphurican* promovem a redução do sulfato a sulfeto aumentando ainda mais a concentração deste poluente no meio aquoso.

É possível verificar também, uma concentração diferente de sulfeto em diferentes pontos do tanque de aeração. Isso se deve a um problema de aeração encontrado na lagoa, devido à baixa potência do aerador, bem como do alcance superficial do aerador instalado ser menor que a extensão da lagoa.

4.2 ESCOLHA DE METODOLOGIA DE TRATAMENTO

As metodologias de tratamento a serem executadas foram selecionadas de acordo com proposições e observações realizadas. São estas:

- O efluente não obedece a uma conformidade e padrão, alterando suas características conforme o processo produtivo. Isto acarreta em maior necessidade de flexibilidade no tratamento de efluentes, assim como em uma maior margem de remoção de poluentes (eficiência de processo);
- O tanque de equalização tem a função de apenas equalizar a vazão, quando deveria atuar na homogeneização do efluente. Isto é, deveria atuar como um tanque de mistura completa do efluente, para que este saia com uma característica uniforme aos processos seguintes;
- Por possuir capacidade volumétrica relativamente alta, ocasionar detenção hidráulica do efluente e não homogeneizar o efluente, o tanque de equalização de vazão cria uma condição de deposição de matéria orgânica e ausência de oxigênio, propiciando o processo de anaerobiose. Neste processo as bactérias do gênero *Desulphovibrio desulphurican* promovem a redução do sulfato a sulfeto aumentando ainda mais a concentração deste poluente no meio.
- Na lagoa, foi identificado problema na aeração do efluente. Isto, conforme dimensionado (memorial de cálculo), não é só em função da potência do aerador ser menor que a necessária, mas também ao alcance superficial deste ser menor que a extensão da lagoa, o qual acaba oxigenando apenas uma parte da lagoa;
- Resíduos flutuantes no tanque de equalização (figura abaixo). Não foi possível determinar com exatidão o motivo de estarem ali, visto que a peneira rotativa estava em funcionamento e estava retirando materiais com essa característica. De todo modo, é necessário que os sólidos em suspensão sejam previamente removidos no tratamento preliminar de forma a evitar que materiais os flutuantes possam danificar bombas e equipamentos hidráulicos;

Figura 10: Tanque de equalização de efluentes (presença de sólidos em suspensão).



Fonte: Do Autor, 2017.

4.3 PROPOSIÇÃO DE SOLUCIONAMENTO DOS PROBLEMAS

A fim de evitar a passagem de sólidos em suspensão no efluente para os processos seguintes ao tratamento preliminar, é possível a adoção de medidas simples na operação. Uma delas é a compra de uma peneira (comumente utilizadas em piscinas, conforme a figura abaixo) onde o operador realiza manualmente a limpeza deste tanque. Os sólidos retirados devem ter a mesma destinação daqueles da peneira.

Figura 11: Peneira com cabo metálico



Fonte: Aqualine Brasil, 2017.

Para que aconteça uma homogeneização mais eficiente no tanque de equalização, o proposto aqui é a instalação de um agitador conforme a figura abaixo. Este equipamento

provocaria o efeito desejado, que é deixar o efluente de saída com uma maior consistência em suas características ao longo do tempo. Além da melhor homogeneização do efluente, um agitador instalado no tanque de equalização propiciaria na inibição de deposição de sólidos e matéria orgânica no fundo do tanque (inibindo redução de sulfato a sulfeto) e auxiliaria na oxigenação do efluente.

Figura 12: Modelos de agitadores



Fonte: Google Imagens, 2017.

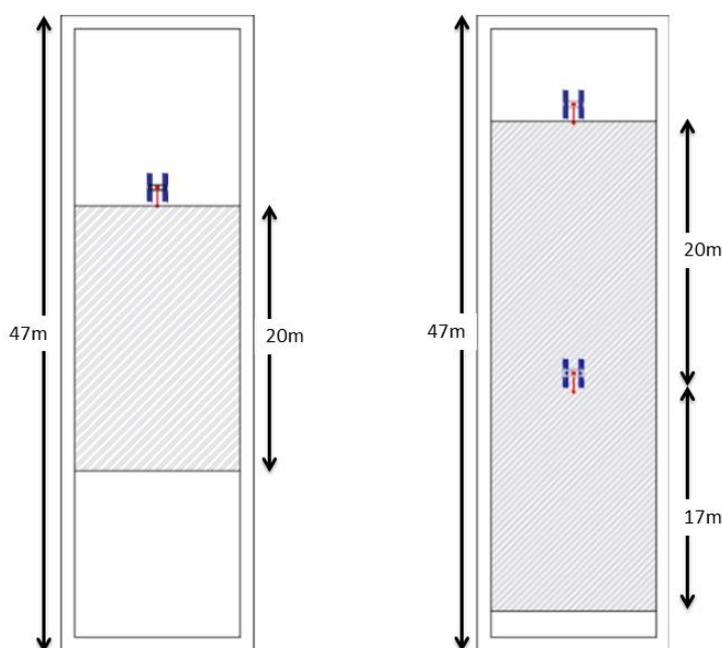
Em relação à lagoa de aeração, os motivos para sua baixa eficiência na remoção de sulfeto podem variar. Os principais são a insuficiência ou má distribuição da oxigenação e a falta de limpeza do aerador e da lagoa.

A limpeza do aerador acontece na tubulação acoplada ao motor, a qual é ligada a hélice. Esta tubulação é oca e em seu interior pode ocorrer o acúmulo de sólidos, impedindo a operação satisfatória do equipamento. Enquanto isso, a limpeza da lagoa se refere a remoção do lodo acumulado no fundo. Este lodo acumulado pode dar início ao processo de anaerobiose, aumentando a concentração de sulfetos no meio.

Outra solução possível, conforme memorial de cálculo descrito ao final deste estudo seria uma aeração mais eficiente, sendo necessária a adição de um aerador para completar o potencial requerido para realizar a oxigenação. A necessidade de um aerador adicional não é tão somente pela necessidade de uma maior potência, mas também pelo diâmetro em que atua na mistura. Isto quer dizer que eles devem ser posicionados de maneira a atenderem a maior área possível da lagoa de aeração.

De acordo com as medidas aferidas pela empresa, a lagoa conta com cerca de 1200 m³ de volume, com comprimento de 47 metros, e largura de 15 metros. Dessa forma, de acordo com os cálculos aferidos ao final deste, a empresa fornecedora do aerador já instalado demonstra que o diâmetro máximo que o equipamento opere com boa aeração é de 20 metros. Com um novo aerador, na potência requerida, tal equipamento opera com uma faixa de 17 metros de diâmetro (também de acordo com a fabricante). A representação ilustrativa segue abaixo:

Figura 13: Representação ilustrativa da lagoa de aeração á época da análise (esq.) e com a nova proposta (dir.)



Fonte: Do Autor, 2017.

Através de pesquisa de mercado, avaliando a necessidade da empresa de conseguir otimizar o seu processo o quanto antes, e aliando o custo para implantação, segue tabela abaixo destacando os equipamentos necessários, bem como seus respectivos preços:

Tabela 11: Previsão de Custos Primários

Equipamento	Custo previsto (fonte)
Peneira com cabo metálico	R\$ 58,00 (Lojas Americanas)
Agitador com pás de Aço Agimix	R\$ 1680,00 (Agimix Equipamentos)
Aerador XCEL 3 HP	R\$ 6500,00 (XCEL Equipamentos)

TOTAL	R\$ 8238,00
-------	-------------

Fonte: Do Autor, 2017.

O cálculo da potência requerida no aerador segue na seção “Cálculos” ao fim deste projeto.

4.4 CÁLCULOS

Nos parâmetros de cálculo, de acordo com o visto no projeto, foi considerado a necessidade de calcular a potência (HP) requerida na adição de aerador(es) na lagoa de aeração, de modo a solucionar o problema. Segue os parâmetros de projeto:

- Vazão diária de efluentes: 250 m³/dia;
- Jornada de Trabalho: 5 às 24 horas = 18 horas/dia;
- Regime de trabalho do aerador: 6 às 21 horas = 13 horas/dia;
- Cc média de S⁻²: 19,00 mg/L (P03 – Entrada da lagoa de aeração, de acordo com C.A.);
- Cc média de S⁻²: 38,00 mg/L (P02 – Tanque de Homogeneização, de acordo com C.A.);
- Cc média de DBO₅: 150,9 mg/L (P01 – Entrada da ETE);
- 1 cv = 0,745 kW = 1HP;
- Tempo de detenção Hídrica da lagoa de aeração: 4 dias (52 horas);
- Taxa de conversão do aerador de fluxo ascendente marca XCEL (7,5 HP) = 1,2 kg/CV/h (dado de acordo com a fabricante);
- Taxa de conversão de O₂ = 10%;
- Carga de DBO₅ na planta:

$$Carga\ de\ DBO_5 = Q \times Cc$$

$$Carga\ de\ DBO_5 = \frac{250m^3}{dia} * \frac{150,9mg}{L} * \frac{kg}{10^3 \cdot 10^3mg} * \frac{1000L}{m^3} = 37,725 \frac{kg\ DBO_5}{dia}$$

- Carga estimada de S⁻² na planta:

$$\text{Carga de } S^{-2} = Q \times Cc$$

$$\begin{aligned} \text{Carga de } S^{-2} (\text{entrada tanque aeração}) &= \frac{250\text{m}^3}{\text{dia}} * \frac{19\text{mg}}{\text{L}} * \frac{\text{kg}}{10^3 \cdot 10^3 \text{mg}} * \frac{1000\text{L}}{\text{m}^3} \\ &= 4,75 \frac{\text{kg } S^{-2}}{\text{dia}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Carga de } S^{-2} (\text{tanque homogeneização}) &= \frac{250\text{m}^3}{\text{dia}} * \frac{38\text{mg}}{\text{L}} * \frac{\text{kg}}{10^3 \cdot 10^3 \text{mg}} * \frac{1000\text{L}}{\text{m}^3} \\ &= 9,50 \frac{\text{kg } S^{-2}}{\text{dia}} \end{aligned}$$

- Carga de Potência dos Aeradores:

$$EO_{\text{padrão}} = \text{Eficiência de Oxigenação padrão} \left(\frac{\text{kg } O_2}{\text{kWh}} \right)$$

$$EO_{\text{campo}} = \text{Eficiência de Oxigenação de campo} (50\%, \text{ de acordo com a fabricante})$$

$$RE = \text{Requisitos Energéticos (KW)}$$

$$RO = \text{Requisitos de oxigênio (kg } O_2/\text{d)}$$

$$EO_{\text{padrão}} = 1,2 \text{kg} \frac{\text{kg } O_2}{\text{kWh}}$$

$$EO_{\text{campo}} = 0,5 * EO_{\text{padrão}}$$

$$EO_{\text{campo}} = 0,5 * 1,2 \frac{\text{kg } O_2}{\text{kWh}} = 0,6 \frac{\text{kg } O_2}{\text{kWh}}$$

$$RO = \frac{a * Q * (X_0 - X)}{1000}$$

$$RO(S^{-2}) = \frac{1,0 * 250 * (19 - 0,5)}{1000} = 4,625 \frac{\text{kg } O_2}{\text{d}}$$

$$RO(DBO_5) = \frac{1,4 * 250 * (150,9 - 0)}{1000} = 52,815 \frac{\text{kg } O_2}{\text{d}}$$

$$RE = \frac{RO}{t * EO_{\text{campo}}}$$

$$RE(S^{-2}) = \frac{4,625}{13 * 0,5} = 0,711 \text{ kW} = 0,9914 \text{ HP}$$

$$RE(DBO_5) = \frac{52,815}{13 * 0,7} = 5,803 \text{ kW} = 7,789 \text{ HP}$$

$$RE_{total} = 0,9914 \text{ HP} + 7,789 \text{ HP} = 8,7804 \text{ HP}$$

$$RE_{instalada} = 7,5 \text{ HP}$$

$$RE_{faltante} = 8,7804 \text{ HP} - 7,5 \text{ HP} = 1,2804 \text{ HP}$$

De acordo com Nunes (2012), e a partir desses cálculos, foi verificado que se torna necessário à instalação de um aerador, com aproximadamente 1,3 HP de potência real. De acordo com o mercado, pode-se optar por equipamentos com 2 ou até 3 HP, considerando a eficiência nominal de cada equipamento.

4.5 ALTERAÇÕES REALIZADAS

A partir desse item, serão descritos os procedimentos e alterações realizadas na empresa X de modo a aumentar a eficiência de remoção do parâmetro sulfeto. Cada etapa ocorrerá de forma única e separada, uma vez que só será necessário a etapa posterior caso o procedimento realizado não haja como medida mitigadora suficiente.

4.5.1 Adição De Aeradores

Nessa etapa, foram levados em consideração os cálculos realizados no item “4.4 – Cálculos” onde foram levados em consideração os poderes oxidativos e redutivos da DBO e do parâmetro sulfeto. É de suma importância aqui citar que, alguns outros parâmetros não foram levados em consideração para este cálculo, uma vez que seus valores e resultados são considerados negligenciáveis frente á DBO, ou seja, alteram muito pouco a potência total requerida.

Um dado de importante valia, e que pode alterar o panorama, é o fato de que, há alguns anos atrás, a empresa X utilizava como método de aeração dois aeradores, com potência de 2 HP cada, mas que possuem um funcionamento e usos diferentes quando comparado ao aerador usado atualmente. Enquanto o aerador XCEL é um modelo de ar difuso, onde ele utiliza do vácuo que a hélice no fundo da lagoa produz para propagar com

melhor eficiência o ar retirado da superfície, os aeradores tipo “splash” produzem uma movimentação maior do efluente, porém de maneira superficial, não atuando assim no efluente localizado mais ao fundo da lagoa. Ambos foram adquiridos em uma época onde a aquicultura e piscicultura eram mais difundidos na cidade, e por questões biológicas envolvendo seres vivos cultivados em cativeiro na época, muitos equipamentos destes foram sendo destinados em outros ramos. Sendo assim, esses aeradores, após a substituição pelo atualmente usado, foram retirados na lagoa e permaneceram sem uso, até o momento. Dessa forma, foram dispostos nas extremidades contrárias da lagoa, em uma tentativa de movimentar com melhor eficiência o efluente, e conseqüentemente, melhorar a aeração, como mostra a figura abaixo:

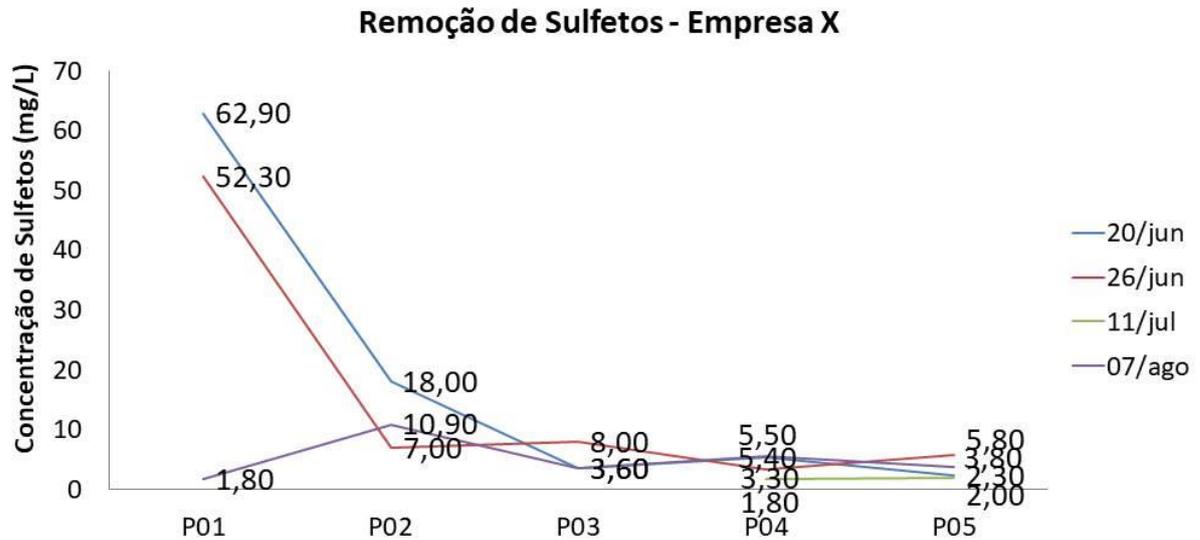
Figura 14: Lagoa de Aeração com a adição dos splashes



Fonte: Do Autor, 2017.

Com a nova disposição dos equipamentos, aguardou-se o período de tempo espacial da estação para que todo o efluente já contido no sistema fosse tratado já com alteração adaptada. Assim, após esse período (cerca de 9 dias), pôde-se realizar algumas coletas do efluente bruto e tratado com o intuito de comparar os valores apresentados antes, com os novos valores. Uma vez que se têm uma sequência de coletas realizadas anteriormente, pode-se obter de maneira relativamente fácil um comparativo mostrando qual o percentual médio de melhora do parâmetro.

Gráfico 2: Remoção de Sulfetos, após primeira modificação concluída.

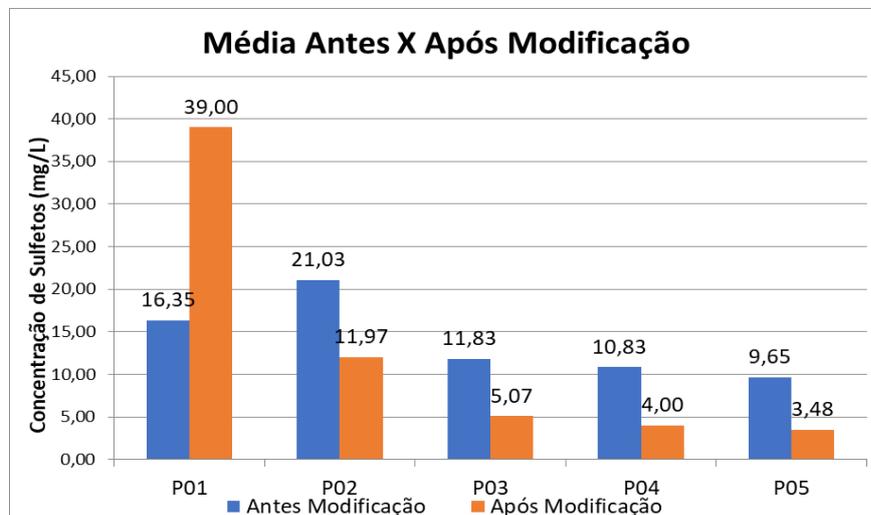


Fonte: Do Autor, 2017.

Assim como nos resultados coletados inicialmente, a partir dos valores apresentados no gráfico 2, chegou-se á conclusão que se deve negligenciar a coleta do dia 11 de julho (apresentada em verde no gráfico), uma vez que o mecanismo de análise utilizado pelo laboratório responsável pelos resultados, não conseguiu analisar quantitativamente as amostras P01, P02 E P03. Sendo assim, por haver outras três coletas realizadas e analisadas de forma completa, os resultados podem ser avaliados e discutidos.

Para melhor compreensão dos dados e melhor poder analítico das amostras, optou-se por realizar uma média aritmética de cada ponto de coleta:

Gráfico 3: Comparativo entre os cenários apresentados.



Fonte: Do Autor, 2017.

Com o gráfico 3 exposto, obteve-se melhor compreensão dos dados coletados, uma vez que as campanhas amostrais realizadas não tiveram contabilização das coletas com resultados que diferiram do comportamento das demais.

Assim, pôde-se chegar a algumas conclusões: primeiramente, o ponto de coleta P01, por representar a entrada do efluente na estação de tratamento, encontra-se no lugar onde há as maiores variações de condição e qualidade do efluente gerado no processo fabril dentro da empresa X. Também deve-se lembrar que não há qualquer tipo de equalização de efluente nessa etapa, servindo apenas como tratamento primário. No ponto de coleta P02, notou-se um comportamento semelhante das duas campanhas amostrais, sendo resultado mais uma vez da existência de condições anaeróbias dentro do tanque de equalização. Os demais pontos mantiveram seu comportamento típico.

No entanto, uma vez a ideia de aumentar a aeração na lagoa de aeração (pontos de coleta P03 e P04) não resultou em avanços significativos nos resultados finais (ponto de coleta P05), onde este último não alcançou em nenhuma das coletas realizadas o valor desejado de 1mg/L. Isso se deve ao fato de que, como citado anteriormente os aeradores tipo “splash” produzem uma movimentação maior do efluente, porém de maneira superficial, não atuando assim no efluente localizado mais ao fundo da lagoa. Dessa forma, por motivos financeiros (uma vez que a empresa já possuía o equipamento não adequado) não foi possível obter o resultado desejado.

A partir deste ponto, em comum acordo entre o autor deste e os responsáveis técnicos e administrativos da empresa X, optou-se pela exclusão do tanque de homogeneização. Tal etapa na estação de tratamento demonstrou nas campanhas amostrais um aumento da concentração de sulfeto devido à presença de microrganismos anaeróbios, e a possibilidade de não adaptação de um agitador mecânico no tanque (veja item “4.3 – Proposição de Solucionamento dos Problemas” e figura 8), a ideia sequencial passou pela exclusão do tanque.

4.5.2 Exclusão do Tanque de Homogeneização

Conforme justificando anteriormente, a exclusão do Tanque de Homogeneização acarretaria, em primeira vista, a queda da concentração de sulfeto ao final da ETE. Essa tentativa de ajuste se deu através da passagem de tubulações ligando a saída da peneira rotativa que se encontrava primariamente antes do Tanque de Homogeneização até a entrada

da Lagoa de Aeração. Essa ligação foi facilitada através do aproveitamento da tubulação que se encontra na saída do Tanque de Homogeneização, e, por conseguinte levando o efluente até a lagoa, de modo a diminuir os custos de implantação.

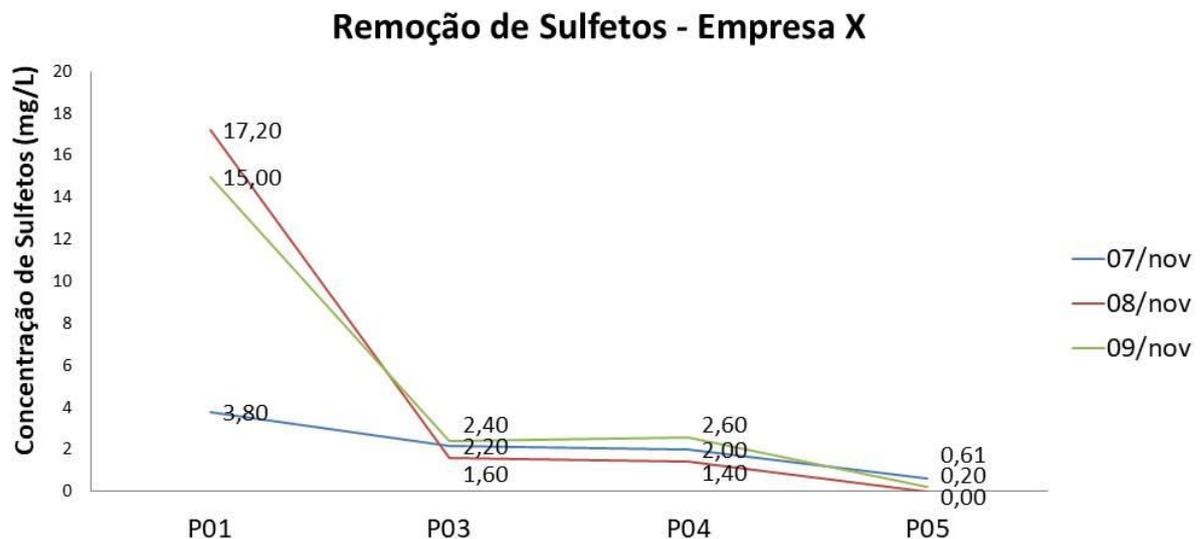
Figura 15: Tanque de Homogeneização Excluído com as Alterações Realizadas.



Fonte: Do autor, 2017.

Tal qual foi realizado quando houve a adição dos aeradores, foi aguardado o período de tempo espacial da estação para que todo o efluente já contido no sistema fosse tratado já com alteração adaptada, e após alguns dias, pudesse ser realizada uma nova bateria de coletas dos efluentes bruta (P01, P03 e P04) e tratada (P05). É interessante ressaltar que, uma vez que o P02 era realizado no tanque excluído, essa coleta não será realizada.

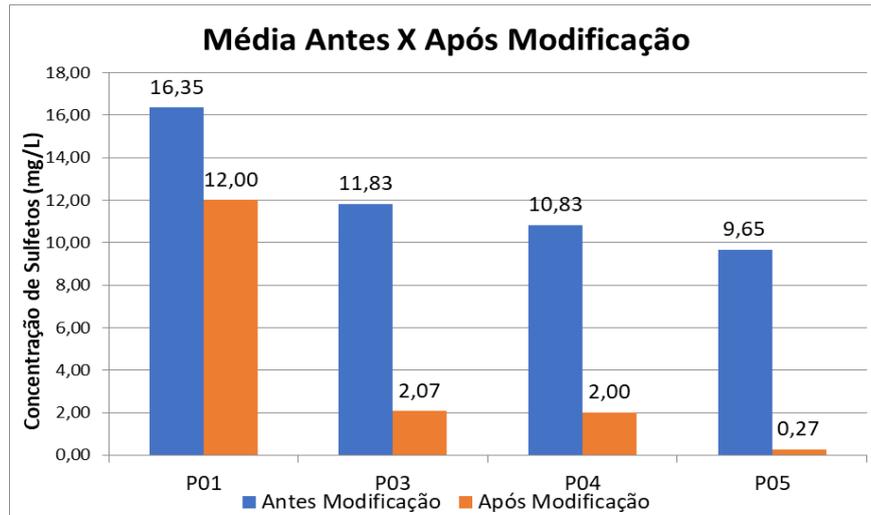
Gráfico 4: Remoção de Sulfetos, após segunda modificação concluída:



Fonte: Do autor, 2017

Da mesma forma, para melhor compreensão, será mostrado abaixo um novo gráfico, desta vez com as médias aritméticas dos resultados analisados, comparando o cenário antes de quaisquer modificação realizada na estação, frente a atual.

Gráfico 5: Comparativo entre os cenários apresentados.



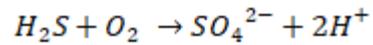
Fonte: Do autor, 2017.

Diferente dos resultados mostrados anteriormente quando houve a adição dos aeradores, a nova modificação trouxe resultados além do esperado. É bom salientar que, o cenário atual conta com as modificação anterior inclusa, ou seja, além da exclusão do tanque de homogeneização, a lagoa de aeração conta com o aerador principal, juntamente com os dois aeradores tipo “splash”, conforme desmonstrado no subitem anterior.

As amostras dos pontos P03 e P04 demonstraram significativa queda, que pode ser explicada em função da não passagem pelo Tanque de Homogeneização.

Desta forma, verificou-se que, conforme o estudo de Lens e Kuenen (2001), em situações onde há excesso de oxigênio, ausência de um cenário anaeróbio facilita a conversão de sulfeto á sulfato. No entanto, uma vez que a empresa trabalha com uma ampla gama de produtos e compostos no setor produtivo (lavação e tingimento), notou-se que há uma certa quantidade de produtos que possuem cálcio em sua composição. Desta forma, com o aumento da concentração de sulfato no efluente final, e o não tratamento da concentração de cálcio, ocorre uma situação de formação de incrustação e possível entupimento futuro nas tubulações da estação de tratamento advindos da formação de sulfato de cálcio. Embora tal ideia

necessite de uma maior fundamentação teórica e prática, que será acompanhada com maior riqueza de detalhes após a conclusão do atual estudo.



Conforme as observações realizadas no item “4.2 – Escolha da Metodologia de Tratamento”, que atestaram uma situação anaeróbia no Tanque de Homogeneização (embora não laboratorialmente), confirma a tese de que a falta desta operação unitária trouxe benefícios aos resultados do parâmetro sulfeto no descarte do efluente ao corpo hídrico.

5 CONCLUSÃO

Através dos resultados alcançados ao longo deste, pode-se afirmar com absoluta certeza de que houve êxito no alcance do objetivo principal, no aumento da retenção do parâmetro sulfeto ao longo da estação de tratamento da empresa X.

Considerando as coletas realizadas no primeiro momento, observou-se através das análises quantitativas e observações feitas em função do respectivo comportamento, que, através da não conformidade do efluente resultante de uma má agitação nos tanques, ocasionou variações bruscas nos valores apresentados. A partir destas análises, as proposições foram levadas á empresa procurando agregar um melhor custo-benefício e respeitando a infraestrutura. No entanto, em comum acordo entre o autor deste e a empresa, optou-se por realizar testes analíticos após cada modificação realizada, uma vez que dessa forma acarretaria em um menor custo final, embora aumentasse o tempo de solucionamento deste.

Com a adição dos aeradores tipo splash, apesar de as análises mostrarem um decréscimo significativo na emissão líquida de sulfetos, não houve o resultado esperado, uma vez que tal equipamento não atua em prol de uma aeração total no efluente, e somente de maneira superficial. Visto que tal investimento não foi suficiente, optou-se pela exclusão do tanque de homogeneização, onde embora possua tal nomenclatura, não atuava de forma a homogeneizar as características físico-químicas do efluente, e somente a vazão. Entretanto, com a implantação de tal medida, acrescido pelos aeradores instalados, houve de maneira satisfatória a obtenção do tão esperado decréscimo a ponto de adequar á legislação. Conforme notado, com ponto de maior influência no aumento da concentração de sulfetos sendo excluídos, os resultados apresentaram normalidade.

Apesar do êxito, fica como sugestão a construção de um laboratório próprio de análises. Com tal investimento, seria possível uma maior frequência nos testes, e assim conseguir controlar a eficiência da estação de tratamento, mantendo-a adequada as exigências dos órgãos fiscalizadores. Também é de grande valia atestar a condição da possível formação de sulfeto de cálcio nas tubulações da estação de tratamento, advindos do aumento da concentração de sulfato através da oxidação de sulfeto, conforme descrito anteriormente. Outro ponto a ser analisado é a realização de coletas na estação com a não utilização dos aeradores que foram adicionados á lagoa de aeração, utilizando-se como base somente a exclusão do tanque de homogeneização como parâmetro de alteração ao cenário encontrado primariamente.

REFERÊNCIAS

- AGIMIX. *Agitadores Industriais*. Disponível em: < <https://www.agimix.com.br/agitadores>>. Acesso em: 20/09/2017
- BRAGA, B. *et al.* **Introdução à Engenharia Ambiental** – 2ª Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº357, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional.
- DEMO, Pedro. **Pesquisa e construção de conhecimento: metodologia científica no caminho de Habermas**. 7. ed. Rio de Janeiro: Tempo brasileiro, 2012.
- FATMA – Fundação do Meio Ambiente. Portaria nº017/02, de 18 de abril de 2002. Estabelece os Limites Máximos de Toxicidade Aguda para efluentes de diferentes origens e dá outras providências.
- GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999, 206 p.
- GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA. Decreto nº 14.250, de 5 de junho de 1981. Regulamenta dispositivos da Lei nº 5.793, de 15 de outubro de 1980, referentes à proteção e à melhoria da qualidade ambiental.
- JANSSEN A. J. H., Lettinga, G., Keizer, A. **Removal of hydrogen sulphide from wastewater and waste gases by biological conversion to elemental sulphur colloidal and interfacial aspects of biologically produced sulphur particles**. Colloids and Surfaces: Physicochemical and Engineering Aspects, v.151. p. 391-397. 1999.
- JUNCHEN, C. R. **Reuso de efluentes tratados, das agroindústrias de leite e carne, sobre a produção da cultura de alface (*Lactuca sativa* L.) fertirrigada**. Cascavel - PR, 2001. 115 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
- 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, F. P. **Engenharia do saneamento**. – Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 1982.

LENS, P. N. L., Hulshof, L.P. **Environmental Technologies to Treat Sulfur Pollution. London: Principles and Engineering.** IWA Publishing. v. 1. 2000.

LENS, P. N. L., Kuenen, J. **The biological sulfur cycle: novel opportunities for environmental biotechnology.** Water Sci. Technol. v. 44. 2001.

LOJAS AMERICANAS. *Peneira com cabo metálico.* Disponível em:

<[https://www.americanas.com.br/produto/12606087/peneira-com-armacao-metalica-sodramar?](https://www.americanas.com.br/produto/12606087/peneira-com-armacao-metalica-sodramar?WT.srch=1&epar=bp_pl_00_go_pla_rlsa_novos_gmv&gclid=CjwKCAjwu7LOBRBZEiwAQtfbGPPvWbnHk7cLm6uciQ8rFTdRpUdfB826WhhXHSGtWWQjNCSJFm6VtBoCmwQQAvD_BwE&opn=YSMESP&sellerId=7247209000101)

[WT.srch=1&epar=bp_pl_00_go_pla_rlsa_novos_gmv&gclid=CjwKCAjwu7LOBRBZEiwAQtfbGPPvWbnHk7cLm6uciQ8rFTdRpUdfB826WhhXHSGtWWQjNCSJFm6VtBoCmwQQAvD_BwE&opn=YSMESP&sellerId=7247209000101](https://www.americanas.com.br/produto/12606087/peneira-com-armacao-metalica-sodramar?WT.srch=1&epar=bp_pl_00_go_pla_rlsa_novos_gmv&gclid=CjwKCAjwu7LOBRBZEiwAQtfbGPPvWbnHk7cLm6uciQ8rFTdRpUdfB826WhhXHSGtWWQjNCSJFm6VtBoCmwQQAvD_BwE&opn=YSMESP&sellerId=7247209000101)>. Acesso em 15/09/2017

NUNES, J. A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais.** 4. Ed. Aracaju, SE: J. Andrade, 2004. 298 p.

NUNES, J. A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais.** 6. Ed. Aracaju, SE: J. Andrade, 2012. 315 p.

SCHMIDELL, W. *et al.*, (2007). **Tratamento biológico de águas residuárias.** Florianópolis, Tribo da Ilha. 720p. 2007.

VON SPERLING, M. **Introdução á qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** – 2. Ed. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 452 p. v.1. 1996.

VON SPERLING, M. **Introdução á qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** – 3. Ed. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 452 p. v.1. 2005.

XCEL Equipamentos. *Aerador de Fluxo Descendente.* Disponível em: < <http://www.xcel.com.br/produtos/aeracao/aerador+de+fluxo+descendente.php?idioma=>>>. Acesso em: 25/09/2017.

APÊNCIDE A – Lista de Reagentes utilizados no setor produtivo da Empresa X

- Ácido Acético
- Ácido Oxálico
- Antimigrante Unno
- Auxiliar de Tingimento Álcali Colordye Al-B
- Catiofix ED
- Catiofix M
- Cloreto de Sódio
- Coraclean AC
- Corafide PS
- Coraflex
- Corapan LV
- Corasperse PP
- Coravan CM
- Coravan FE
- Corperm H
- Corrix UD
- Desengomante BT
- Hidrossulfito
- Hidróxido de Sódio
- Hipoclorito de Sódio
- Metabissulfito de Sódio
- Metassilicato de Sódio
- Neutralizante CLP
- Peróxido de Hidrogênio
- Persulfato de Sódio
- Protetor de Zipers Protector LF
- Sequestrante Coravan TAK

APÊNCIDE B – Classificação das águas em função dos usos preponderantes, segundo a Resolução CONAMA 357/2005

Tabela 12: Classificação das águas em função dos usos preponderantes, segundo a Resolução CONAMA 357/2005.

Tipo de Água	Classe	Usos Específicos
Doce	Classe Especial	<ul style="list-style-type: none"> • Abastecimento humano, com desinfecção; • Preservação do equilíbrio natural das comunidades e ambientes aquáticos dentro ou fora de área de proteção integral.
	Classe 1	<ul style="list-style-type: none"> • Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; • Á proteção das comunidades aquáticas • Á recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho; • Á irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; • Á proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas;
	Classe 2	<ul style="list-style-type: none"> • Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; • Á proteção das comunidades aquáticas; • Á recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000; • Á irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; • Á aquicultura e à atividade de pesca.
	Classe 3	<ul style="list-style-type: none"> • Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; • Á irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;

		<ul style="list-style-type: none"> • À pesca amadora; • À recreação de contato secundário; • À dessedentação de animais.
	Classe 4	<ul style="list-style-type: none"> • À navegação; • À harmonia paisagística.
Águas Salinas	Classe Especial	<ul style="list-style-type: none"> • À preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral; • À preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.
	Classe 1	<ul style="list-style-type: none"> • À recreação de contato primário, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000; • À proteção das comunidades aquáticas; • À aquicultura e à atividade de pesca.
	Classe 2	<ul style="list-style-type: none"> • À pesca amadora; • À recreação de contato secundário.
	Classe 3	<ul style="list-style-type: none"> • À navegação; • À harmonia paisagística.
Salobras	Classe Especial	<ul style="list-style-type: none"> • À preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral; • À preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.
	Classe 1	<ul style="list-style-type: none"> • À recreação de contato primário, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000; • À proteção das comunidades aquáticas; • À aquicultura e à atividade de pesca; • Ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado; • À irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película • À irrigação de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto.

	Classe 2	<ul style="list-style-type: none">• Á pesca amadora;• Á recreação de contato secundário.
	Classe 3	<ul style="list-style-type: none">• Á navegação;• Á harmonia paisagística.

Fonte: CONAMA, 2017 (adaptado).

ANEXO A – Laudos de Amostras Coletados pelo Autor

Amostrador: Willian Henrique Juvêncio.				
Data de Entrada no Laboratório: 20/06/2017			Data de Início dos ensaios: 20/06/2017	
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: EFLUENTE – P01				
Análise	Resultado	Metodologia	Limite Máximo Permitido	Limite de Quantificação
Sulfetos, mg/L.	62,9	Iodométrico	1,0 mg/L.	0,2 mg/L.
Amostrador: Willian Henrique Juvêncio.				
Data de Entrada no Laboratório: 20/06/2017			Data de Início dos ensaios: 20/06/2017	
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: EFLUENTE – P02				
Análise	Resultado	Metodologia	Limite Máximo Permitido	Limite de Quantificação
Sulfetos, mg/L.	18,0	Iodométrico	1,0 mg/L.	0,2 mg/L.
Amostrador: Willian Henrique Juvêncio.				
Data de Entrada no Laboratório: 20/06/2017			Data de Início dos ensaios: 20/06/2017	
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: EFLUENTE – P03				
Análise	Resultado	Metodologia	Limite Máximo Permitido	Limite de Quantificação
Sulfetos, mg/L.	3,6	Iodométrico	1,0 mg/L.	0,2 mg/L.
Amostrador: Willian Henrique Juvêncio.				
Data de Entrada no Laboratório: 20/06/2017			Data de Início dos ensaios: 20/06/2017	
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: EFLUENTE – P04				
Análise	Resultado	Metodologia	Limite Máximo Permitido	Limite de Quantificação
Sulfetos, mg/L.	5,4	Iodométrico	1,0 mg/L.	0,2 mg/L.
Amostrador: Willian Henrique Juvêncio.				
Data de Entrada no Laboratório: 20/06/2017			Data de Início dos ensaios: 20/06/2017	
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: EFLUENTE – P05				
Análise	Resultado	Metodologia	Limite Máximo Permitido	Limite de Quantificação
Sulfetos, mg/L.	2,3	Iodométrico	1,0 mg/L.	0,2 mg/L.
Data de Entrada no Laboratório: 26/06/2017			Data de Início dos ensaios: 26/06/2017	
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: EFLUENTE – P01				
Análise	Resultado	Metodologia	Limite Máximo Permitido	Limite de Quantificação
Sulfetos, mg/L.	52,3	Iodométrico	1,0 mg/L.	0,2 mg/L.
Data de Entrada no Laboratório: 26/06/2017			Data de Início dos ensaios: 26/06/2017	
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: EFLUENTE – P02				
Análise	Resultado	Metodologia	Limite Máximo Permitido	Limite de Quantificação
Sulfetos, mg/L.	7,0	Iodométrico	1,0 mg/L.	0,2 mg/L.
Data de Entrada no Laboratório: 26/06/2017			Data de Início dos ensaios: 26/06/2017	
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: EFLUENTE – P03				
Análise	Resultado	Metodologia	Limite Máximo Permitido	Limite de Quantificação
Sulfetos, mg/L.	8,0	Iodométrico	1,0 mg/L.	0,2 mg/L.
Data de Entrada no Laboratório: 26/06/2017			Data de Início dos ensaios: 26/06/2017	
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: EFLUENTE – P04				
Análise	Resultado	Metodologia	Limite Máximo Permitido	Limite de Quantificação
Sulfetos, mg/L.	3,6	Iodométrico	1,0 mg/L.	0,2 mg/L.

Data de Entrada no Laboratório: 26/06/2017		Data de Início dos ensaios: 26/06/2017		
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: EFLUENTE – P05				
Análise	Resultado	Metodologia	Limite Máximo Permitido	Limite de Quantificação
Sulfetos, mg/L	5,8	Iodométrico	1,0 mg/L	0,2 mg/L
Data de Entrada no Laboratório: 11/07/2017		Data de Início dos ensaios: 11/07/2017		
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: EFLUENTE – P04				
Análise	Resultado	Metodologia	Limite Máximo Permitido	Limite de Quantificação
Sulfetos, mg/L	1,8	Iodométrico	1,0 mg/L	0,2 mg/L
Data de Entrada no Laboratório: 11/07/2017		Data de Início dos ensaios: 11/07/2017		
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: EFLUENTE – P05				
Análise	Resultado	Metodologia	Limite Máximo Permitido	Limite de Quantificação
Sulfetos, mg/L	2,0	Iodométrico	1,0 mg/L	0,2 mg/L
Amostrador: Willian Henrique Juvêncio.				
Data de Entrada no Laboratório: 07/08/2017		Data de Início dos ensaios: 07/08/2017		
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: EFLUENTE – P01				
Análise	Resultado	Metodologia	Limite Máximo Permitido	Limite de Quantificação
Sulfetos, mg/L	1,8	Iodométrico	1,0 mg/L	0,2 mg/L
Amostrador: Willian Henrique Juvêncio.				
Data de Entrada no Laboratório: 07/08/2017		Data de Início dos ensaios: 07/08/2017		
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: EFLUENTE – P02				
Análise	Resultado	Metodologia	Limite Máximo Permitido	Limite de Quantificação
Sulfetos, mg/L	10,9	Iodométrico	1,0 mg/L	0,2 mg/L
Amostrador: Willian Henrique Juvêncio.				
Data de Entrada no Laboratório: 07/08/2017		Data de Início dos ensaios: 07/08/2017		
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: EFLUENTE – P03				
Análise	Resultado	Metodologia	Limite Máximo Permitido	Limite de Quantificação
Sulfetos, mg/L	3,6	Iodométrico	1,0 mg/L	0,2 mg/L
Amostrador: Willian Henrique Juvêncio.				
Data de Entrada no Laboratório: 07/08/2017		Data de Início dos ensaios: 07/08/2017		
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: EFLUENTE – P04				
Análise	Resultado	Metodologia	Limite Máximo Permitido	Limite de Quantificação
Sulfetos, mg/L	5,5	Iodométrico	1,0 mg/L	0,2 mg/L
Amostrador: Willian Henrique Juvêncio.				
Data de Entrada no Laboratório: 07/08/2017		Data de Início dos ensaios: 07/08/2017		
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: EFLUENTE – P05				
Análise	Resultado	Metodologia	Limite Máximo Permitido	Limite de Quantificação
Sulfetos, mg/L	3,8	Iodométrico	1,0 mg/L	0,2 mg/L
Amostrador: Willian Henrique Juvêncio.				
Data de Entrada no Laboratório: 07/11/2017		Data de Início dos ensaios: 07/11/2017		
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: EFLUENTE – P01				
Análise	Resultado	Metodologia	Limite Máximo Permitido	Limite de Quantificação
Sulfetos, mg/L	3,8	Iodométrico	1,0 mg/L	0,2 mg/L

Amostrador: Willian Henrique Juvêncio.				
Data de Entrada no Laboratório: 07/11/2017			Data de Início dos ensaios: 07/11/2017	
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: EFLUENTE – P03				
Análise	Resultado	Metodologia	Limite Máximo Permitido	Limite de Quantificação
Sulfetos, mg/L	2,2	Iodométrico	1,0 mg/L	0,2 mg/L

Amostrador: Willian Henrique Juvêncio.				
Data de Entrada no Laboratório: 07/11/2017			Data de Início dos ensaios: 07/11/2017	
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: EFLUENTE – P04				
Análise	Resultado	Metodologia	Limite Máximo Permitido	Limite de Quantificação
Sulfetos, mg/L	2,0	Iodométrico	1,0 mg/L	0,2 mg/L

Amostrador: Willian Henrique Juvêncio.				
Data de Entrada no Laboratório: 07/11/2017			Data de Início dos ensaios: 07/11/2017	
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: EFLUENTE – P05				
Análise	Resultado	Metodologia	Limite Máximo Permitido	Limite de Quantificação
Sulfetos, mg/L	0,61	Iodométrico	1,0 mg/L	0,2 mg/L

Amostrador: Willian Henrique Juvêncio.				
Data de Entrada no Laboratório: 08/11/2017			Data de Início dos ensaios: 08/11/2017	
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: EFLUENTE – P01				
Análise	Resultado	Metodologia	Limite Máximo Permitido	Limite de Quantificação
Sulfetos, mg/L	17,2	Iodométrico	1,0 mg/L	0,2 mg/L

Amostrador: Willian Henrique Juvêncio.				
Data de Entrada no Laboratório: 08/11/2017			Data de Início dos ensaios: 08/11/2017	
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: EFLUENTE – P03				
Análise	Resultado	Metodologia	Limite Máximo Permitido	Limite de Quantificação
Sulfetos, mg/L	1,6	Iodométrico	1,0 mg/L	0,2 mg/L

Amostrador: Willian Henrique Juvêncio.				
Data de Entrada no Laboratório: 08/11/2017			Data de Início dos ensaios: 08/11/2017	
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: EFLUENTE BRUTO				
Análise	Resultado	Metodologia	Limite de Quantificação	
Sulfetos, mg/L	1,4	Iodométrico	0,2 mg/L	

Amostrador: Willian Henrique Juvêncio.				
Data de Entrada no Laboratório: 08/11/2017			Data de Início dos ensaios: 08/11/2017	
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: EFLUENTE TRATADO				
Análise	Resultado	Metodologia	Limite Máximo Permitido	Limite de Quantificação
Sulfetos, mg/L	Não Detectado	Iodométrico	1,0 mg/L	0,2 mg/L

Amostrador: Willian Henrique Juvêncio.				
Data de Entrada no Laboratório: 09/11/2017			Data de Início dos ensaios: 09/11/2017	
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: EFLUENTE – P01				
Análise	Resultado	Metodologia	Limite Máximo Permitido	Limite de Quantificação
Sulfetos, mg/L	15,0	Iodométrico	1,0 mg/L	0,2 mg/L

Amostrador: Willian Henrique Juvêncio.				
Data de Entrada no Laboratório: 09/11/2017			Data de Início dos ensaios: 09/11/2017	
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: EFLUENTE – P03				
Análise	Resultado	Metodologia	Limite Máximo Permitido	Limite de Quantificação
Sulfetos, mg/L	2,4	Iodométrico	1,0 mg/L	0,2 mg/L

Amostrador: Willian Henrique Juvêncio.				
Data de Entrada no Laboratório: 09/11/2017			Data de Início dos ensaios: 09/11/2017	
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: EFLUENTE – P04				
Análise	Resultado	Metodologia	Limite Máximo Permitido	Limite de Quantificação
Sulfetos, mg/L	2,6	Iodométrico	1,0 mg/L	0,2 mg/L

Amostrador: Willian Henrique Juvêncio.				
Data de Entrada no Laboratório: 09/11/2017			Data de Início dos ensaios: 09/11/2017	
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: EFLUENTE – P05				
Análise	Resultado	Metodologia	Limite Máximo Permitido	Limite de Quantificação
Sulfetos, mg/L	0,20	Iodométrico	1,0 mg/L	0,2 mg/L