



UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

BRUNO COMELLI ZAPELINI

**PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS
ORIUNDOS DE UMA INDÚSTRIA QUÍMICA CONSTITUÍDA POR PLANTA
INDUSTRIAL MULTIPROPÓSITO**

CRICIÚMA, 2016.

BRUNO COMELLI ZAPELINI

**PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS
ORIUNDOS DE UMA INDÚSTRIA QUÍMICA CONSTITUÍDA POR PLANTA
INDUSTRIAL MULTIPROPÓSITO**

Trabalho de Conclusão do Curso, apresentado para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental no Curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador: Prof. M. Sc. Nadja Zim Alexandre

CRICIÚMA, 2016.

BRUNO COMELLI ZAPELINI

**PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS
ORIUNDOS DE UMA INDÚSTRIA QUÍMICA CONSTITUÍDA POR PLANTA
INDUSTRIAL MULTIPROPÓSITO**

Trabalho de Conclusão do Curso, apresentado para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental no Curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com linha de pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Professora Nadja Zim Alexandre – Mestre – Orientadora

Professor José Alfredo Dallarmi da Costa – Mestre – UNESC

Professora Marta Valéria Guimarães de Souza Hoffmann – Mestre - UNESC

*Aos meus pais Sergio ZomerZapelini e Josani
Maria ComelliZapelini, meu irmão Diego
ComelliZapelini, bases de minha vida.
À minha namorada Andiará Joaquim, motivadora
e exemplo de determinação e caráter.*

AGRADECIMENTOS

Á minha família, namorada e familiares pelo apoio incondicional.

Á empresa objeto de estudo apoiadora de meu trabalho.

Aos amigos e colegas de trabalho Adriano Meneghel e Rafael Martinhago pelo esforço e ajuda que sempre me deram.

Á minha orientadora NadjaZim Alexandre, pela dedicação, clareza e disponibilidade.

EPÍGRAFE

*“O descontentamento é o primeiro passo na evolução de um homem ou de uma nação”.
(Oscar Wilde).*

RESUMO

Ao decorrer dos anos, a evolução dos mecanismos legais de controlar ambiental em decorrência do aumento da degradação ambiental tornaram necessárias às adoções de medidas de controle ambiental por parte de atividades industriais de diversos ramos. As medidas de controle citadas se aplicam à proteção dos meios bióticos e abióticos, e dentro de uma indústria, podem estar relacionadas dentre muitas atividades, às emissões atmosféricas, transporte de produtos, resíduos sólidos e efluentes líquidos, sempre objetivando a minimização, compensação e/ou mitigação dos impactos ambientais causados em decorrências das atividades exercidas. Este trabalho teve como proposta à caracterização do efluente gerado em uma indústria química composta por planta multipropósito, a fim de verificar a capacidade atual de remoção de sólidos e carga orgânica do sistema de tratamento de efluentes. Além disso, foi avaliada a necessidade de aplicação de novas etapas de tratamento de efluentes que visem à redução na utilização de produtos químicos, bem como otimizar a eficiência em remoção de sólidos sedimentáveis e substituição da etapa do processo de aeração do efluente industrial visando incrementar a capacidade de remoção de matéria-orgânica em termos de DBO do efluente. Para esse trabalho foram determinados os parâmetros: DBO, DQO, sólidos sedimentáveis, sólidos totais, sólidos suspensos totais, sólidos fixos totais, sólidos suspensos fixos, sólidos voláteis totais e sólidos suspensos voláteis. Foi estabelecido estratégias para práticas aplicáveis ao empreendimento que objetivaram a redução de custos e aumenta de eficiência no processo de tratamento de efluentes. Neste trabalho foi constatado que é viável a instalação de um pré-decantador na planta de tratamento, e que este ocasionará na redução de utilização de produtos químicos na ordem de 4,6 mL de Policloreto de alumínio e 25,0 mL de polímero catiônico para cada 1 litro de efluente tratado. Com base nos testes laboratoriais, foi possível verificar que a adoção da pré-decantação poderá ter uma redução de custos com produtos para tratamento de efluentes na ordem de R\$ 12.882,07 por ano de operação.

Palavras-chave: DBO, redução de custos, tratamento de efluentes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Localização da Empresa	17
Figura 02 – Fluxograma do Sistema de Tratamento de Efluentes	20
Figura 03 – Fluxograma Atual do Processo de Tratamento de Efluentes	21
Figura 04 – Tratamento Preliminar (Gradeamento).....	22
Figura 05 – Tanque de Homogeneização de Efluentes	22
Figura 06 – Tanque de Homogeneização de Efluentes	23
Figura 07 – Silo de Armazenamento de Lodo	24
Figura 08 – Prensa Desaguadora Tipo Belt Press	24
Figura 09 – Decantador Auxiliar de Lodo	25
Figura 10 – Tanque de Aeração.....	25
Figura 11 – Teste de Sólidos Sedimentáveis	29
Figura 12 – Teste de Clarificação Química do Efluente	31
Figura 13 – Teste de Clarificação Química do Efluente	31
Figura 14 – Amostra Após Aplicação de H ₂ O ₂	32
Figura 15 – Situação Esperada Após Proposta de Alteração no Processo Atual de Tratamento de Efluentes	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Caracterização Físico-Química do Efluente Industrial.....	33
Tabela 02 – Relações De Biodegradabilidade do Efluente	34
Tabela 03 – Caracterização Físico-Química do Efluente Industrial Antes eE Após Processo de Aeração	35
Tabela 04 – Relações Históricas de Biodegradabilidade do Efluente	36
Tabela 05 – Análise Comportamental dos Sólidos Sedimentáveis	39
Tabela 06 – Análise Comparativa Entre Testes de Jarros Com e Sem a Presença de Sólidos Sedimentáveis	40
Tabela 07 – Caracterização dos Percentuais de Remoção Após Aplicação de H ₂ O ₂	54
Tabela 08 – Preços dos Produtos Utilizados no Tratamento de Efluentes.....	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMREC	Associação dos Municípios da Região Carbonífera
CC01	Concentração 01
CC02	Concentração 02
Cl ₂	Gás Cloro
CO ₂	Gás Carbônico
CONSEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Efluente
DQO	Demanda Química de Efluente
ETEL	Estação de Tratamento de Efluentes Líquidos
FATMA	Fundação de Meio Ambiente de Santa Catarina
H ⁺	Íon de Hidrogênio
H ₂ O	Água
H ₂ O ₂	Peróxido de Hidrogênio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LAO	Licença Ambiental de Operação
mg/L	Miligrama por Litro
mL	Mililitro
mL/L	Mililitro por Litro
O ₃	Gás Ozônio
°C	Graus Celsius
°OH	Íon Hidroxila
PAC	Policloreto de Alumínio
pH	Potencial Hidrogeniônico
POA's	Processos Oxidativos Avançados
rpm	Rotações por Minutos
SDF	Sólidos Dissolvidos Fixos
SDV	Sólidos Dissolvidos Voláteis
SF	Sólidos Fixos
SFT	Sólidos Fixos Totais
SSF	Sólidos Suspensos Fixos

SST	Sólidos Suspensos Totais
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
ST	Sólidos Totais
SV	Sólidos Voláteis
TiO ₂	Dióxido de Titânio
UV	Raio Ultravioleta
UV-A	Raio Ultravioleta (Banda A)
UV-C	Raio Ultravioleta (Banda B)

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	1
2.REFERENCIAL TEÓRICO	2
2.1 Características dos Efluentes Industriais.....	3
2.2 Tratamento de Efluentes	3
2.2.1 Tratamento Preliminar	5
2.2.1.1 Tanque de homogeneização	6
2.2.1.2 Clarificação Química	6
2.2.2 Tratamento Secundário	8
2.2.3 Tratamento Terciário	9
2.2.3.1 Oxidação Química e Processos Oxidativos Avançados.....	10
2.3 Definição do método de tratamento	12
2.3.1 Relações importantes no tratamento de efluentes industriais	14
2.4 Reuso de Efluente	15
3.METODOLOGIA	16
3.1 Caracterização da Área de Estudo.....	16
3.1.1 Processo produtivo.....	18
3.1.2 Geração de efluentes	19
3.1.3 Descrição do sistema de tratamento existente.....	19
3.1.4 Caracterização do efluente.....	25
3.2.1 Procedimentos experimentais	26
3.2.2 Reagentes	27
3.2.3 Preparo das soluções.....	27
3.3 MÉTODOS DE REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS	27
3.3.1 Aplicação das relações importantes ao tratamento de efluentes industriais	28
3.3.2 Sólidos sedimentáveis.....	28
3.3.3 Ensaio de clarificação química	29
3.3.4 Teste de oxidação química com H ₂ O ₂	31
4.APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS	32
4.1 Caracterização Físico-Química do Efluente Analisado e Percentuais de Remoção na Planta de Tratamento	33
4.2 Verificação dos Índices de Biodegradabilidade do Efluente	34
4.3 VALIDAÇÃO do Índice de Biodegradabilidade do Efluente.....	36
4.4 PROposta de tratamento.....	37
4.5 ENSAIOS DE TRATABILIDADE	38
4.5.1 Volume de Sólidos Sedimentáveis Retidos em Cone Imhoff.....	39
4.5.2 Clarificação química	40
4.6 Experimento Utilizando Peróxido de Hidrogênio (H ₂ O ₂)	42
4.7 Impacto financeiro sobre a instalação de um decantador prévio para sólidos sedimentáveis	44
5.CONCLUSÕES E SUGESTÕES	46
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1. INTRODUÇÃO

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. Os níveis de tratamento se dão de acordo com a caracterização do efluente e necessidade de remoção dos contaminantes.

Em uma indústria química constituída por planta multipropósito (produção de produtos de acordo com a demanda momentânea de mercado) ocorre a variação temporária de produtos produzidos, e como consequência, refletindo-se na variabilidade do efluente gerado, tanto na sua composição ou qualidade, quanto na sua quantificação ou vazão a ser tratada.

Essa variabilidade da composição do efluente pode estar diretamente relacionada à capacidade de remoção de contaminantes na planta de tratamento. Considerando a variabilidade das características do efluente bruto e aspectos e exigências legais 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. Ponderando os resultados a serem obtidos, é indispensável o polimento desse efluente seja pela adequação da estação de tratamento existente, seja pela complementação do mesmo com tratamento auxiliar, sendo o enfoque do trabalho a caracterização adequada do efluente industrial, análise de eficiência e proposição de tratamento complementar (polimento) do efluente, caso necessário.

Desta forma, o presente estudo tem como principal objetivo avaliar a estação de tratamento de efluentes líquidos de uma indústria química constituída por planta multipropósito apresentando sugestões de melhorias e otimização do processo. Para tanto, se fez necessário traçar algumas metas intermediárias para o estudo que se constituem nos objetivos específicos, entre estes: a) caracterizar o efluente bruto e tratado; b) avaliar a eficiência da estação de tratamento; c) avaliar metodologias e técnicas de tratamento, comparando-as com aquelas adotadas na estação de tratamento em operação; d) propor melhorias na atual estação de tratamento de efluentes.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

No Brasil, a Resolução CONAMA nº430/2011 (BRASIL, 2011), dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementando e alterando a Resolução nº357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Em seu art. 3º, a Resolução CONAMA nº430/2011 (BRASIL, 2011), expressa que “os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis”.

“Os Estados podem legislar sobre o assunto, ressalvando-se que a Legislação Estadual pode ser mais restritiva que a Legislação Federal” (NUNES, 2004, p.70).

Sem prejuízo ressalvada a competência de União e dos Municípios, vem a Lei Estadual 14.675/2009 (SANTA CATARINA, 2009) a qual estabelece normas aplicáveis ao Estado de Santa Catarina, visando à proteção e à melhoria da qualidade ambiental no seu território.

Em seu art. nº177 a Lei Estadual 14.675/2009 do Estado de Santa Catarina, determina que “os efluentes somente podem ser lançados direta ou indiretamente nos corpos de água interiores, lagunas, estuários e na beira-mar quando obedecidas às condições previstas nas normas federais e as seguintes (...)”. Neste ponto, o art. 177 descreve as condições para o descarte de efluentes e traz a indicação de dezesseis parâmetros de controle com os respectivos padrões estabelecidos.

Em complementação à Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005) que dispõe sobre a classificação dos corpos hídricos, encontra-se o inciso XII do art. nº177 da Lei Estadual nº 14.675/2009. O inciso XII determina que:

“Os efluentes líquidos, além de obedecerem aos padrões gerais anteriores, não devem conferir ao corpo receptor características em desacordo com os critérios e padrões de qualidade de água, adequado aos diversos usos benéficos previstos para o corpo de água (Santa Catarina, 2009)”.

Complementarmente, a Constituição Federal e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 (BRASIL, 1981), proíbem o lançamento de poluentes em níveis nocivos ou perigosos para os seres humanos e outras formas de vida.

Dito isto, torna-se essencial que a indústria química objeto de estudo trabalhe no sentido de garantir a qualidade do seu efluente gerado, de modo a atender às exigências estabelecidas na legislação ambiental citada.

2.1 CARACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES INDUSTRIAIS

Segundo NUNES (2004), o estudo preliminar de projetos de tratamento de efluentes é necessário que se conheça as características das águas residuárias.

Para que isso ocorra, Von Sperling (1996) dita que a características da água ou efluente podem ser dados por parâmetros e características físicas, químicas e biológicas. Dentre os parâmetros físicos, o autor destaca cor, turbidez, sabor e odor, temperatura; enquanto que para parâmetros químicos são considerados pH, alcalinidade, acidez, dureza, metais, cloretos, nitrogênio, fósforo, oxigênio dissolvido, matéria-orgânica, micropoluentes inorgânicos/orgânicos.

2.2 TRATAMENTO DE EFLUENTES

Segundo 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.

De acordo com Macedo (2004), “a disponibilidade de água tornou-se limitada pelo comprometimento de sua qualidade. A abundância do elemento líquido causa uma falsa sensação de recurso inesgotável”.

“O tratamento de águas residuárias são processos artificiais de depuração, remoção de poluentes e adequação dos parâmetros das águas residuárias, de modo a torná-las próprias ao lançamento e disposição final.” (NUNES, 2012).

Sperling (1996) elucida que para manutenção da qualidade da água é necessário a realização de processos denominados de tratamento de efluentes.

Conforme este autor, o tratamento de efluentes pode ser classificado como tratamento físico-químico ou biológico. De acordo com as características físico-

química e toxicológica do efluente a ser tratado, são aplicados os diferentes níveis de tratamento, podendo, ou não, serem complementares ou sequenciais uns aos outros, estabelecendo um sistema de tratamento (NUNES, 2012).

Sistema de tratamento de águas residuárias é o conjunto de processos unitários que funcionam de forma organizada objetivando remover contaminantes e poluentes (NUNES, 2012).

[...] Submete-se a água a um tratamento com o objetivo de melhorar a sua qualidade sob os seguintes aspectos fundamentais:

- a) Higiênico - eliminação ou redução de bactérias, substâncias venenosas, mineralização excessiva, teor excessivo de matéria-orgânica, algas, protozoários e outros microrganismos;
- b) Estético – remoção ou redução de cor, turbidez, odor, sabor;
- c) Econômico – remoção ou redução de corrosividade, dureza, cor, turbidez, ferro, manganês, odor, sabor, etc.(GARCEZ, 2014, p. 170).

De acordo com FREIRE et al apud CRESPILO et al (2004), o tratamento de efluentes industriais envolvem processos necessários à remoção de impurezas geradas na fabricação de interesse.

VON SPERLING (1996) cita que a característica física da água pode ser avaliada por meio da cor, turbidez, temperatura, sabor e odor, já a qualidade química pode ser definida por meio dos seguintes parâmetros: pH, alcalinidade, acidez, dureza, ferro e manganês, cloretos, fósforo, oxigênio dissolvido, matéria orgânica, micropoluentes orgânicos e inorgânicos.

De acordo com FREIRE et al apud CRESPILO et al (2004), as metodologias de tratamento estão diretamente agregadas ao tipo de efluente gerado, ao controle operacional da indústria, às características da água utilizada, e ao possível uso que se pretende dar ao efluente tratado.

NUNES (2004) determina que para o empreendimento já existente, é fundamental determinar as características reais das águas residuárias.

“É importante observar que não devemos confiar somente em bibliografias, pois as características variam consideravelmente de indústria para indústria no mesmo ramo de atividade, uma vez que cada uma, geralmente, utiliza produtos químicos diferentes”. (NUNES, 2004, p.65).

Ainda de acordo com NUNES (2004), os processos de tratamento de águas residuárias podem se classificar em: Tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário (ou avançado).

Já para GARCEZ (2014), os graus de tratamento são classificados em: Tratamento preliminar, tratamento primário e tratamento secundário.

Em contrapartida, SPERLING (1996) traz que a adequação do efluente está relacionada aos níveis de eficiência do tratamento que são classificados em: Tratamento preliminar, primário, secundário e eventualmente terciário.

Além disso, a combinação de processos de tratamento tem se mostrado eficiente para vários tipos de despejos. “É muito frequente a associação de vários processos num ciclo mais ou menos completo de tratamento”. (GARCEZ, 2014, p. 170).

2.2.1 TRATAMENTO PRELIMINAR

Conforme MACEDO (2001), um tratamento de água sempre se inicia com a remoção dos materiais que flutuam ou estão em suspensão com o uso de grades e telas. SPERLING (1996) relata que o tratamento preliminar destina-se a remoção de sólidos grosseiros e areia.

O tratamento preliminar objetiva a retirada dos materiais grosseiros que são carregados juntamente ao esgoto através de mecanismos de ordem física, possui grande importância, pois alguns materiais poderiam acabar entrando no sistema e dificultando ou até prejudicando a qualidade do efluente final (NUNES, 2004).

Segundo Sperling (1996) o gradeamento/peneiramento é enquadrado como uma forma preliminar de tratamento. Independente da localização na planta produtiva, segundo Macêdo (2004), o gradeamento é composto por dispositivos formados por barras metálicas, paralelas, de mesma espessura e espaçadas que se destinam à remoção de sólidos grosseiros em suspensão.

O tratamento preliminar remove apenas sólidos muito grosseiros, flutuantes e matéria mineral sedimentável. (NUNES, 2004).

Conforme NUNES (1996), o peneiramento que é uma das primeiras fases do tratamento, tem como objetivo principal a remoção de sólidos grosseiros suspensos das águas residuárias com granulometria superior a 0,25mm.

“A remoção de sólidos grosseiros é feita por meio de grades, mas pode-se usar também peneiras rotativas ou trituradores”. (SPERLING, 1996, p. 182)

A decantação primária alivia as unidades subsequentes de altas cargas, trazendo economia referente à utilização de coagulantes (NUNES, 1996).

O espaçamento útil entre as barras é escolhido em função do tipo de material que se deseja deter. (NUNES, 2012).

2.2.1.1 TANQUE DE HOMOGENEIZAÇÃO

Segundo Sperling (1996) a homogeneização de efluentes é considerada como uma forma preliminar de tratamento.

Para Nunes (2004) a equalização tem como finalidade a regularização de vazão do efluente, tornando-a constante, além de corrigir o pH, homogeneizar e uniformizar o efluente para os próximos processos.

A correção de pH no tanque de equalização, embora não recomenda, é muita utilizada pelos projetistas em pequenas e médias estações, como objetivo de reduzir custos de instalação e operação (NUNES, 1996).

NUNES (2004) ressalta que o dimensionamento para pequenas indústrias e/ou pequenos geradores, é normal que se faça o dimensionamento dos tanques para um período de no máximo 24 horas.

2.2.1.2 CLARIFICAÇÃO QUÍMICA

De acordo com SANTOS FILHO (1985), quando ocorre a adição de coagulantes no efluente, o mesmo reage com a alcalinidade da água, formando polímeros como hidróxidos metálicos.

Sperling (1996) relata que o tratamento primário é destinado à remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes.

Nessa etapa o efluente realmente começa a ser tratado. É onde a matéria poluente pode ser separada da água por sedimentação. Após o tratamento primário, a matéria poluente que está na água é reduzida, normalmente na forma de pequenas partículas, não sendo possível sua remoção apenas com processos físico-químicos (CAERN, 2013).

Segundo Macêdo (2004), nesta etapa são removidos os sólidos em suspensão através da sedimentação ou coagulação sendo que alguns microorganismos são removidos por meio da decantação dos sólidos em suspensão.

O tratamento primário remove matéria orgânica em suspensão e a DBO é removida parcialmente. (NUNES, 2004, p. 63).

Para AZEVEDO (1977), a finalidade da coagulação e floculação é transformar substâncias que se encontram em suspensão, em partículas maiores (flocos), facilitando sua remoção. O autor salienta que esses processos são acelerados e possibilitados através da utilização de produtos específicos para tais finalidades.

“Os processos físico-químicos são recomendados na remoção de poluentes inorgânicos, metais pesados, óleos e graxas, cor, sólidos sedimentáveis, sólidos em suspensão através de coagulação-floculação, matérias orgânicas não biodegradáveis, sólidos dissolvidos por precipitação química e compostos através de oxidação química.” (NUNES, 2004, p.64).

De acordo com MACEDO (2004), para clarificação da água é necessário a neutralização das cargas negativas da matéria em suspensão e a aglutinação das partículas para aumentar de tamanho.

“Uma parte significativa destes sólidos em suspensão é compreendida pela matéria orgânica em suspensão. Assim, a sua remoção por processos simples como a sedimentação implica na redução da carga de DBO dirigida ao tratamento secundário (ou terciário, onde a sua remoção é de certa forma mais custosa”. (SPERLING, 1996, p. 184).

A necessidade de correção de pH do efluente decorre do fato da coagulação exigir valor ótimo, quando ocorre a formação dos flocos (NUNES, 1996).

Segundo NUNES (1996), a mistura do coagulante e efluente provoca a hidrólise, polimerização e reação com a alcalinidade, formando hidróxidos denominados gel, produzindo na solução, íons positivos. Estes íons desestabilizarão as cargas negativas dos colóides e sólidos em suspensão reduzindo o potencial zeta a ponto próximo de zero, denominado ponto isoelétrico, permitindo a aglomeração das partículas e, conseqüentemente, a formação de flocos.

O potencial zeta é a medida do potencial elétrico entre a superfície externa da camada compacta que se desenvolve ao redor da partícula e o meio líquido em que ela está inserida (AZEVEDO NETTO et al, 1976).

O processo de coagulação é a segregação de partículas coloidais, realizadas por reações químicas originadas do processo de reação do coagulante

com as partículas em suspensão na água NUNES (1996). Segundo o autor, essa etapa é muito rápida e ocorre em poucos segundos a partir da aplicação do coagulante, por isso, a mistura deve ser intensa e muito vigorosa.

De acordo com RICHTER e AZEVEDO NETTO (2002), a eficiência das fases de coagulação e floculação pode ser avaliada pelo consumo de coagulante e pela turbidez da água decantada.

Seguido do processo de coagulação, o efluente deve passar pela unidade de decantação, que de acordo com SANTOS FILHO (1985), é onde a água fica em repouso por algum tempo para que ocorra a decantação dos flocos.

Para auxiliar na velocidade de decantação dos flocos são utilizados polieletrólitos, também conhecidos como polímeros ou floculantes, que, conforme SANTOS FILHO (1985) pertencem à três tipos: Catiônico, aniônico e não iônico.

BLASCO *et al* (1998), recomenda que o tempo de residência do líquido nos decantadores deve ser o mais elevado possível para aumentar o rendimento do processo, que se traduz em uma maior área do sedimentador.

2.2.2 TRATAMENTO SECUNDÁRIO

Compreende no tratamento biológico do efluente, podendo ser realizado de modo anaeróbio ou aeróbio, ou uma associação dos dois tratamentos (UCKER, *et. al.* 2010).

Nesta etapa ocorrem remoções de poluentes específicos como a matéria orgânica e eventualmente alguns nutrientes como Nitrogênio e Fósforo (COPASA, 2013).

Complementarmente Sperling (1996) relata que o principal objetivo do tratamento secundário é a remoção da matéria orgânica (Solúvel e suspensa ou particulada).

“Matéria orgânica dissolvida (DBO Solúvel): A qual não é removida por processos meramente físicos, como o de sedimentação, que ocorre no tratamento primário. Matéria orgânica ou suspensão (DBO Suspensa ou particulada), a qual é em grande parte removida no tratamento primário, mas cujos sólidos de decantabilidade mais lenta persistem na massa líquida”. (SPERLING, 1996, p.185).

Normalmente este segundo tratamento consiste em reatores do tipo lagoas de estabilização, lodo ativado, filtros biológicos ou variantes. A eficiência do tratamento secundário pode chegar a 95% ou mais, dependendo da operação da estação de tratamento (CAERN, 2013).

“O tratamento secundário remove a matéria orgânica dissolvida e em suspensão. A DBO é removida quase que totalmente. Dependendo do sistema adotado, as eficiências de remoção são altas”. (NUNES, 2004, p. 63).

Na etapa de tratamento biológico, a aeração tem a finalidade de proporcionar o contato do ar com a água, a fim de que nesta seja efetivada a dissolução, ou o desprendimento dos gases, principalmente o oxigênio, o que irá proporcionar a oxidação de compostos orgânicos. (MACÊDO, 2004).

Para AZEVEDO (1976), somente se justifica nos casos em que as águas a tratar apresentam carência de oxigênio ou excesso de gases e substâncias voláteis.

AZEVEDO (1976), diz que o polimento de um efluente pode se dar pela complementação de processos unitários de tratamento de efluentes. Esses processos são classificados como processos secundários ou terciários, sendo respectivamente de origem biológica ou química.

Segundo NUNES (2012), os principais processos de tratamento biológico são os métodos de: lodos ativados, digestores anaeróbios de fluxo ascendente, wetlands e lagoas de estabilização. Esses processos têm por objetivo a remoção de material orgânico e demais contaminantes nocivos à qualidade do meio ambiente.

Já Sperling (1996), relata que os principais e mais comuns processos de tratamento secundário são as lagoas de estabilização (e variantes), lodos ativados, filtro biológico, tratamento anaeróbio e disposição final sobre o solo.

2.2.3 TRATAMENTO TERCIÁRIO

Ocorrem remoções específicas, em geral de compostos não biodegradáveis, organismos patogênicos e também nutrientes inorgânicos dos esgotos. Ainda ocorre a remoção complementar de poluentes não removidos no tratamento secundário. No Brasil o tratamento terciário é raro (SILVA, 2000). O tratamento terciário é o último a ser realizado, anteriormente ao lançamento em recursos hídricos ou reutilização do efluente, este processo tem como principal objetivo a eliminação de patógenos (SANTOS et al, 2006).

“O tratamento terciário (ou avançado) é utilizado quando se pretende obter um efluente de alta qualidade, ou a remoção de outras substâncias contidas nas águas residuárias”. (NUNES, 2004, p.63).

Para Sperling (1996), o tratamento terciário é aplicável à situações que envolvem e objetivam à remoção de nutrientes (macro e micro), patógenos, compostos não biodegradáveis (inclusive recalcitrantes), metais pesados, sólidos inorgânicos dissolvidos e sólidos em suspensão remanescentes de processos anteriores.

Segundo Almeida (2004) *et al*, os compostos recalcitrantes ou refratários não são biodegradados pelos organismos normalmente presentes em sistemas biológicos de tratamento, nos usuais tempos de retenção hidráulica aplicados sendo, então, lançados nos corpos aquáticos receptores.

Ozônio e os processos oxidativos avançados (POAs) relacionados, tais como O_3/UV , O_3/H_2O_2 O_3/TiO_2 , têm servido como alternativa para o tratamento de tais compostos, mostrando-se bastante eficazes no processo de descontaminação ambiental (Almeida (2004) *et al.*)

Segundo NUNES (2004), o fator econômico geralmente é decisivo sendo o ozônio um processo muito caro e a aeração um processo alternativo, porém, muito lento. Dentre muitos processos, o autor retrata a aplicação dos processos terciários em muitas ocasiões, dentre elas: na oxidação de sulfetos, oxidação de cianetos, redução do cromo hexavalente, remoção de metais pesados, remoção de fósforo por precipitação química, remoção de nitrogênio.

2.2.3.1 OXIDAÇÃO QUÍMICA E PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS

A oxidação química é o processo no qual elétrons são removidos de uma substância aumentando o seu estado de oxidação. Na maioria dos casos, a oxidação de compostos orgânicos, embora seja termodinamicamente favorável, é de cinética lenta. Alguns processos oxidativos têm a grande vantagem de não gerarem subprodutos sólidos (lodo) e não haver transferência de fase do poluente (RODRIGUES, 2004).

Os produtos finais são gás carbônico (CO_2) e água (H_2O). Como exemplos, pode-se citar a utilização de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e de ozônio (O_3). Quando o agente oxidante tratar-se do cloro (Cl_2) ou seus derivados (por exemplo o

hipoclorito), deve-se ter muito cuidado quando o efluente apresentar altos teores de matéria orgânica, pois, pode-se ter como subprodutos compostos organoclorados, os quais, em alguns casos, apresentam propriedades carcinogênicas, teratogênicas e mutagênicas. O permanganato é outro agente oxidante bastante usado na oxidação de poluentes (RODRIGUES, 2004).

Estudos feitos relatam que os radicais hidroxila têm vida curta e podem ser obtidos a partir de fortes oxidantes, tais como peróxido de hidrogênio e ozônio, combinados ou não com radiação ultravioleta (GUIMARÃES, 2000).

Dentre os processos de oxidação química e oxidação avançada pode-se citar a fotocatalise. Nela a degradação fotocatalisada é conseguida com o auxílio de um fotocatalisador, no caso um semicondutor. Alguns semicondutores possuem a capacidade de transformar luz em outro tipo de energia e neste caso a energia da luz absorvida resulta na promoção de um elétron a um nível mais elevado de energia". (DEZOTTI, et al 2008, cap. 5, parte 2, p. 2).

DEZOTTI (2008, cap. 4, p.4) também citam a utilização do ozônio ao qual reage diretamente com as substâncias orgânicas, oxidando-as através de uma combinação da oxidação pelo ozônio molecular com oxidação pelos radicais $^{\circ}\text{OH}$.

Os mesmos autores citam a utilização de raios ultravioletas, onde as bandas utilizadas em aplicações ambientais são a UV-A (radiação) e os UV-C, comumente usados para desinfecção, inclusive de águas.

Utilizando apenas lâmpadas de ultravioleta de alta intensidade, sem a adição de oxidantes ou catalisadores, é limitado a compostos que absorvem luz entre 200 e 300 nm e fotodegradam com bastante facilidade; é um processo prático para remoção de um componente único presente na água. Aconselha-se a adição de pequenas quantidades de peróxido de hidrogênio para auxiliar na oxidação de subprodutos visto que a mineralização completa não ocorre apenas com fotólise (GALINDO et al., 2001).

Além dos processos simples, estão processos combinados entre O_3 e UV, que para DEZOTTI et al (2008, Cap. 4, p.11), dependendo da faixa, essa combinação é capaz de produzir uma grande quantidade de radicais $^{\circ}\text{OH}$, oxidantes extremamente fortes.

“O H_2O_2 , em solução de decompõe formando dois radicais $^{\circ}OH$ e também reagem diretamente com as substâncias químicas presentes no efluente, oxidando-as”. (DEZOTTI et al, 2008, Cap. 4, p.12).

2.3 DEFINIÇÃO DO MÉTODO DE TRATAMENTO

Sperling (1996) cita que não só os aspectos técnicos devem ser considerados na escolha do método de tratamento, mas também os aspectos econômicos devem ser elevados em consideração.

Conforme Richter e Azevedo Netto (2002), a metodologia proposta deve ser de fácil adaptação, atender demanda atual e futura e apresentar suficiente flexibilidade, uma vez que existem variações no processo produtivo e conseqüentemente na qualidade do efluente bruto.

“Das características físicas, o teor de matéria sólida é a de maior importância em termos de dimensionamento e controle de operações das unidades de tratamento”. (GIORDANNO, 2004).

De modo geral, para JORDÃO & PESSÔA (1995), a matéria sólida presente nos esgotos é classificada em função de inúmeros fatores, podendo ser classificada das seguintes maneiras:

a) Em função das dimensões das partículas: Sólidos em suspensão, sólidos coloidais, sólidos dissolvidos.

b) Em função da sedimentabilidade: consideram-se sólidos sedimentáveis aqueles capazes de decantarem em uma hora num recipiente denominado cone Imhoff. A fração que não se sedimenta representa os sólidos não sedimentáveis, que usualmente não se expressam nas análises. Geralmente, estão associados aos sólidos suspensos.

c) Em função da secagem a alta temperatura (550 a 600°C), onde a fração orgânica é oxidada sofrendo conseqüentemente volatilização, restando apenas a fração inerte, que representa ainda a matéria inorgânica ou mineral. Assim têm-se sólidos voláteis (Matéria orgânica); e sólidos fixos (Matéria inorgânica).

d) Em função da secagem em temperatura média (103 a 105°C), têm-se sólidos totais, sólidos em suspensão, sólidos dissolvidos e sólidos totais.

O conteúdo de matéria que permanece como resíduo após evaporação à temperatura de 103 a 105 °C podem ser classificadas como sólidos em suspensão e sólidos filtráveis. Cada uma dessas categorias de sólidos totais, suspensos e filtráveis

pode ser classificada com base na sua volatilidade a 300°C.(GIORDANNO, 2004)“A fração orgânica se oxidará a esta temperatura (sólidos voláteis) e a fração inorgânica permanecerá como cinza (sólidos fixos)”. (GIORDANNO, 2004).

Segundo o autor, a determinação de sólidos em suspensão “permite verificar a eficiência de remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis nos decantadores primários. Permite a determinação de certos parâmetros de operação como é o caso do índice de lodo, idade do lodo”.

“Sólidos dissolvidos (voláteis e fixos) refere-se à proporção de sólidos dissolvidos totais presentes como sólido dissolvido, indica a parte dos esgotos que geralmente não é afetada pelo tratamento primário. Poderá aumentar, em virtude da liquefação e decomposição do material sólido, podendo também diminuir durante o tratamento secundário do esgoto, devido à oxidação ou adsorção do material que se pretende remover”.(GIORDANNO, 2004).

De acordo com DEZOTTI et al (2008, Cap. 2, p.14) os sólidos totais (ST) e sólidos suspensos totais (SST): Resíduos Totais ou Sólidos Totais (ST) é o termo empregado para material que permanece em um cadinho após evaporação da água da amostra e sua subsequente secagem em estufa, a 103°C – 105°C. Sólidos Suspensos Totais (SST) constituem-se da fração dos ST que fica retida em um filtro.

Conforme DEZOTTI et al (2008, Cap. 2, p.14) sólidos fixos totais (SFT) e sólidos suspensos fixos (SSF): Resíduo Fixo ou Sólidos Fixos Totais (SFT) é o termo empregado para a fração de SF após incineração em mufla a 600°C. Nessas condições, toda matéria orgânica é transformada em CO₂ e água, restando, no cadinho, apenas os sólidos inorgânicos. Sólidos Suspensos Fixos (SSF) é o termo empregado para a fração de SFT filtrada em membrana, após calcinação a 600°C. O SSF mede aproximadamente a quantidade de areia presente.

Conforme DEZOTTI et al (2008, Cap. 2, p.14) sólidos voláteis totais (SVT) e Sólidos Suspensos Voláteis (SSV): Resíduo Volátil de Sólidos Voláteis Totais (SVT) é o termo empregado para a fração de ST que se perde após calcinação em mufla 600°C. Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) correspondem à fração de SST, que se perde após calcinação em mufla a 600°C. Para lodos biológicos a concentração de SSV é relacionada à quantidade de biomassa presente. Para lodos primários a concentração de SSV, é relacionada ao conteúdo de matéria-orgânica morta presente.

As relações SF/SV, SSF/SSV, SDF/SDV elevadas indicam a predominância absoluta de material inerte na água residuária e a necessidade de sua separação prévia a fim de se efetivar o tratamento biológico (GIORDANNO, 2004).

A concentração de SSF fornece a estimativa grosseira da concentração de partículas inertes (por exemplo, a areia) podendo ser utilizada, na ausência de dados mais precisos, no projeto de certas unidades destinadas a remover essas partículas (GIORDANNO, 2004).

Concentrações elevadas de sólidos dissolvidos fixos (SDF) em comparação com sólidos dissolvidos voláteis (SDV) indicam água residuária com alta salinidade e a provável necessidade de tratamento físico-químico, uma vez que esses sais não são efetivamente removidos em processos biológicos. A presença de Sólidos Sedimentáveis é indicativa da necessidade de unidade de sedimentação antecedendo as unidades de tratamento biológico convencionais aeróbias, ou os reatores anaeróbios, principalmente se o teor de SSF é elevado (GIORDANNO, 2004).

2.3.1 RELAÇÕES IMPORTANTES NO TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS

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 (2000) 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.

As relações sugeridas por JUNCHEN (2000) qualificam estas relações:

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

Já CAVALCANTI E BRILLE (1994) sugere algumas relações entre os parâmetros que caracterizam determinado despejo, a fim de determinar ou selecionar o método de tratamento. O Quadro 01 mostra as relações sugeridas por estes autores.

Quadro 01 – Principais relações sugeridas por BRAILLE e CAVALCANTI (1979) com objetivo de selecionar o método de tratamento de um despejo.

Relação	Discussão	Tratamentos possíveis
DQO/DBO₅ ~ 2 DQO/DBO₅ ~ 2	1ª Alternativa – A parte não biodegradável não é importante do ponto de vista da poluição	-Biológico convencional (Filtros biológicos, lodos ativados, lagoas) - DQO/DBO afluente ≈ DQO/DBO efluente
	2ª Alternativa – A parte não biodegradável é também causadora de poluição	- DQO/DBO do afluente < DQO/DBO do efluente: ou seja a remoção da DBO remoção da DQO.
DQO/DBO >>2 Provável presença de poluentes químicos e orgânicos	1ª Alternativa – SSV/SV > 0,8 Matéria Orgânica em suspensão	- Decantação, flotação; - Decantação com alteração de pH (precipitação química) - Coagulação/floculação
	2ª Alternativa – SDV/SV >0,8 Matéria-orgânica dissolvida	- Adsorção em carvão ativado - Oxidação química

Fonte: BRAILLE e CAVALCANTI (1979)

2.4 REUSO DE EFLUENTE

Um sistema de reuso do efluente garante que o processo produtivo não sofra as consequências de falta da água. As tecnologias de reuso para efluentes são utilizadas nos mais diversos segmentos: indústrias têxteis, químicas, farmacêuticas, além de curtumes, abatedouros, entre outras (SILVA e TARANTO, 2000).

Segundo MACÊDO (2004, p. 160), “o reaproveitamento de água é uma reutilização da água (efluente) que já passou pela rede. Para a reutilização de água é necessário que a contaminação gerada na etapa anterior (Faltou complementação)”.

“O reaproveitamento de efluentes já é uma realidade em todo o mundo, pois é economicamente viável em função da redução de custos envolvidos com a própria água e, por reduzir o volume de efluentes lançados em um recurso hídrico. Porém, de acordo com o tipo de tecnologia existente na indústria, podem existir situações favoráveis ou não, para o reuso dos efluentes” (SILVA e TARANTO, 2000).

A Lei Estadual 9.748, de 30 de novembro de 1994 (SANTA CATARINA 1994), em seu artigo 29, explica que qualquer empreendimento ou atividade que alterar as condições quantitativas e/ou qualitativas das águas, superficiais ou subterrâneas, observando o Plano Estadual de Recursos Hídricos e os Planos de Bacia Hidrográfica, dependerá de outorga de uso de recursos hídricos, incumbindo a ela, pagamento pela utilização destes recursos.

Esta lei visa estimular as práticas de reaproveitamento de água dentro do Estado de Santa Catarina, uma vez que será cobrado pela utilização e descarte de água no Estado.

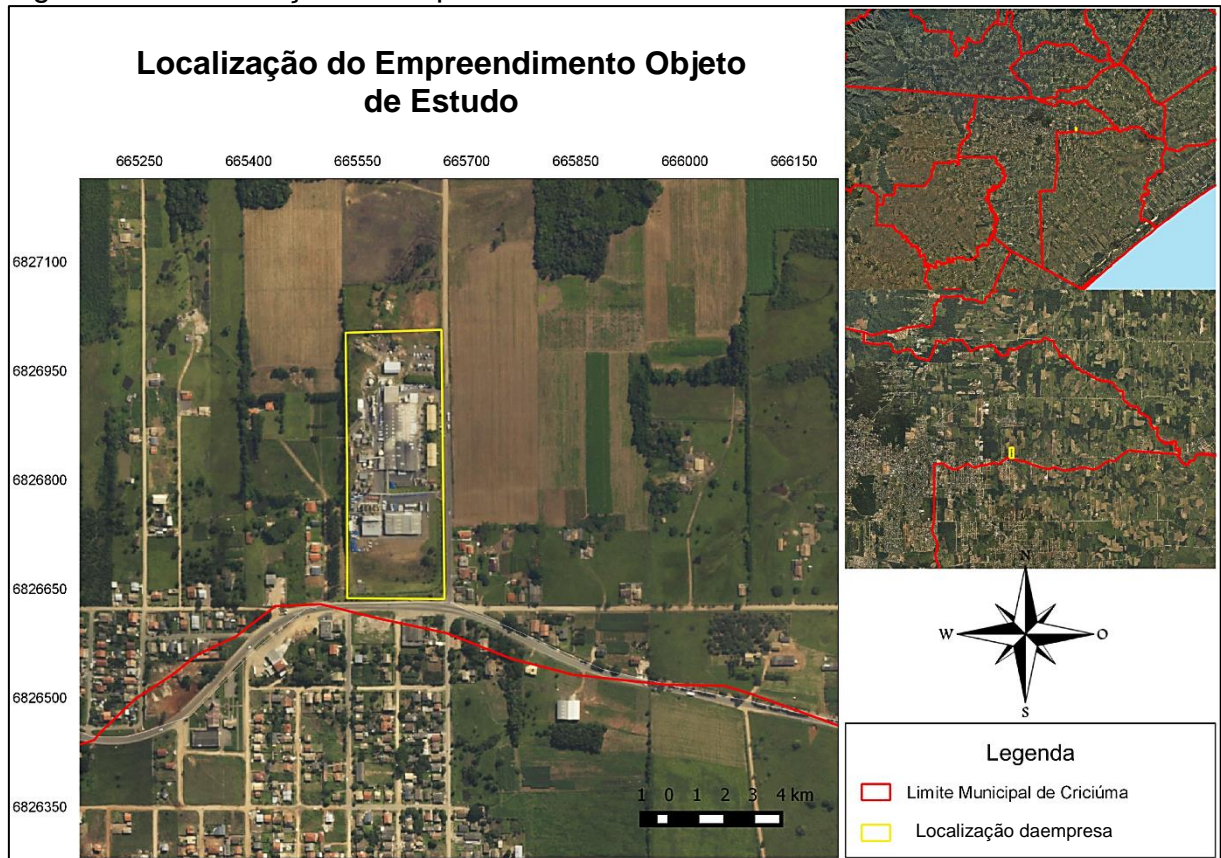
“Já existem algumas empresas localizadas nas regiões sul e sudeste do Brasil com projetos de reuso de efluente. Embora existam várias opções de tratamento de efluentes, o reuso da água deve ser muito bem avaliado e atualmente ainda está se difundindo (SANTOS et al, 2010) ” (SANTOS et al, 2010).

3. METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A empresa objeto de estudo é a matriz de um grupo empresarial industrial que tem localização no município de Criciúma, Santa Catarina. A Figura 01 abaixo descreve a localização do empreendimento:

Figura 01 - Localização da empresa.



Fonte: Do autor, 2016.

O município onde está localizado a propriedade tem uma população estimada em 209.153 habitantes (IBGE, 2016). O Município de Criciúma teve fundação em 6 de janeiro de 1880 e emancipado em 4 de novembro de 1925, estando a uma altitude de 46 metros acima do nível do mar, o mesmo faz parte da Associação dos Municípios da Região Carbonífera – AMREC (PREFEITURA MUNICIPAL DE CRICIÚMA, 2016).

Fundada em 1984, seus objetivos eram voltados ao setor cerâmico, projetando-se nos mercados nacional e internacional, oferecendo soluções químicas que atendessem às necessidades dos seus clientes. Hoje, com o desenvolvimento de novas tecnologias e mudanças de mercado as principais áreas de atuação estão voltadas para os segmentos cerâmicos, fundição, higiene e limpeza, tintas e vernizes, tratamento de superfície e distribuição de produtos químicos.

Com uma área útil de 1,14 hectares, oferece aproximadamente 95 empregos diretos.

A Resolução CONSEMA nº 13/2012 (SANTA CATARINA, 2012) trata e “aprova a listagem das atividades consideradas potencialmente causadoras de degradação ambiental passíveis de licenciamento ambiental no estado de Santa Catarina”. Nesta mesma resolução está instituído a codificação de enquadramento da atividade exercida no local. Segundo ela, a atividade está enquadrada no código de número 20.00.00 - atividade industrial de produção de elementos químicos, e Produtos Químicos Inorgânicos, Orgânicos, Organo - Inorgânicos – Exclusive Produtos Derivados do Processamento do Petróleo, de Rochas Oleígenas, do Carvão Mineral e de Madeira.

Através da Licença Ambiental de Operação (LAO) de nº 2369/2014, o funcionamento do empreendimento é tutelado pela FATMA (Fundação Ambiental de Santa Catarina).

A LAO de operação do empreendimento determina uma série de controles ambientais que definem às condições de validade da operação da empresa. Dentre as condições de validade está o monitoramento do efluente tratado, bruto e corpo receptor que são realizados através de análises físico-químicas e toxicológicas de acordo com normas vigentes.

3.1.1 PROCESSO PRODUTIVO

O empreendimento conta com uma planta multi-propósito, possuindo uma flexibilidade produtiva, tendo a capacidade de produção de diferentes produtos em uma mesma unidade fabril, o que permite o atendimento de uma gama muito maior de clientes.

O parque fabril da unidade de estudo conta com 4 (quatro) unidades produtivas. Essas unidades são denominadas como Produção I, Produção II, Produção III e Produção IV. Cada uma das produções citadas, possui a finalidade de fabricação de produtos que atendam à determinados nichos (ramos) de mercado, sendo elas:

Produção I: Fabricação de produtos utilizados como insumos para o ramo cerâmico.

Produção II: Fabricação de Silicato de Sódio e Meta-silicato de sódio.

Produção III: Fabricação Corantes (têxtil);

Produção IV (especialidades químicas): Fabricação de produtos utilizados como insumos para indústrias dos ramos têxteis, tintas, couro, domissanitários e tratamento de efluentes.

3.1.2 GERAÇÃO DE EFLUENTES

Dentre todas as unidades produtivas, a produção de especialidades químicas é a que tem maior impacto sobre a geração de efluentes líquidos dentro da unidade.

A unidade em sua totalidade tem um consumo de água de aproximadamente 2.000m³/mês e geração de efluentes atual estimada em aproximadamente 600 m³/mês.

O setor produtivo denominado como Produção IV é uma planta multipropósito. Uma planta multipropósito é aquela onde um mesmo equipamento produz mais de uma linha e tipo de produto químico.

Este fato implica na necessidade de lavagem dos equipamentos a cada alteração de linhas do produto fabricado, implicando em maior volume de geração e variabilidade na constituição dos efluentes destinados à estação de tratamento de efluentes líquidos (ETEL).

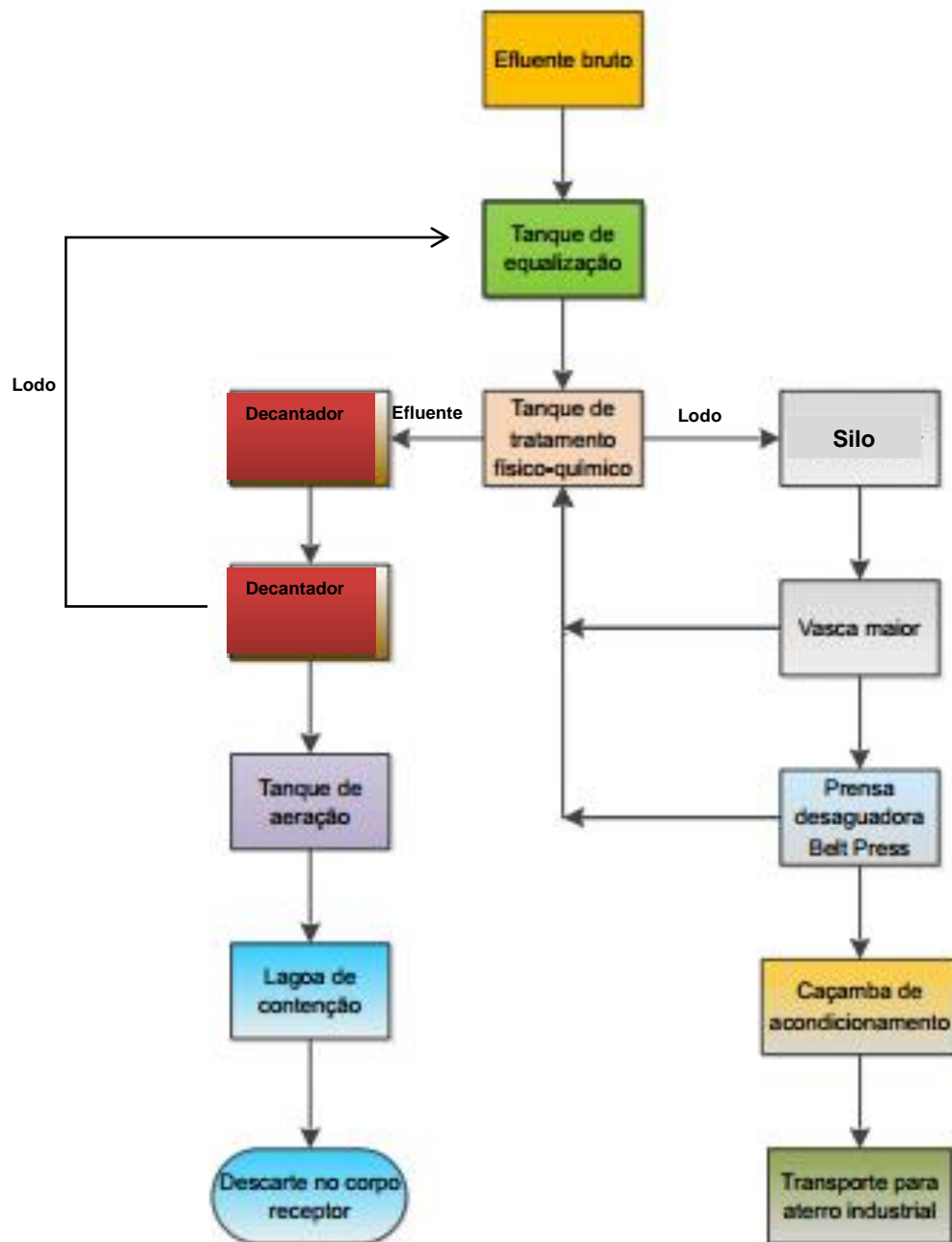
Somados às atividades de lavagem de equipamentos da produção e especialidades químicas, o efluente líquido, objeto do presente estudo, é proveniente das etapas de lavagem de embalagens, vascas, lavagem do piso, de reatores no setor de produção e também nos laboratórios localizados na planta industrial.

3.1.3 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO EXISTENTE

Dentre os processos de tratamento unitários constituintes do sistema de tratamento de águas residuárias utilizados na planta industrial objeto de estudo, estão gradeamento, tanque de homogeneização (97 m³), dois tanques de tratamento físico-químico (20 m³ cada) e tanques de aeração por ar difuso com 45 m³ de capacidade volumétrica, contando com dois aeradores de 5 cv cada.

O fluxograma de blocos abaixo descreve o processo realizado para tratamento de efluente no interior do empreendimento, sendo ele:

Figura 02: Fluxograma do sistema de tratamento de efluentes.



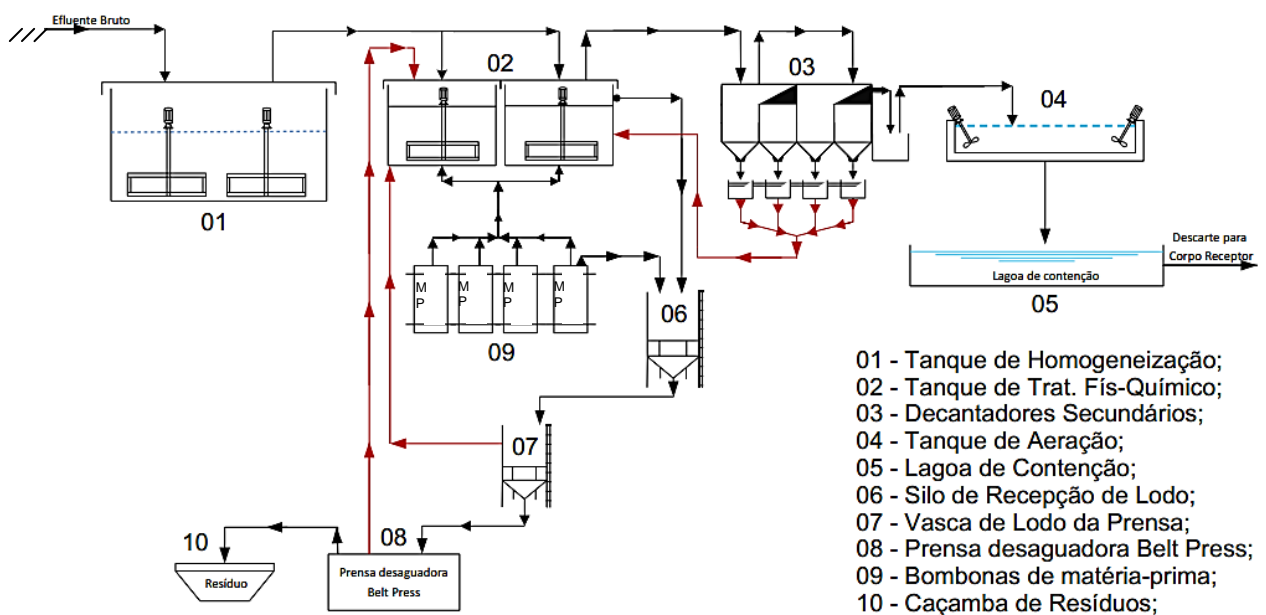
Fonte: Do autor, 2016.

As flechas duplas na vasca maior e prensa Belt Press, indicam onde ocorre retorno de efluente ao processo de tratamento. Devido à passagem por bombeamento do lodo do tanque para o silo e vascas de lodo, ocorre a quebra de flocos, sendo necessário a aplicação de polímero diretamente na vasca para floculação do lodo e

melhoria de eficiência da prensagem. Após a aplicação secundária de polímero torna necessário o retorno do líquido sobrenadante ao processo de tratamento nos tanques físico-químicos. Já na prensa tipo Belt Press, como ocorre a utilização de água no processo de lavagem das esteiras, o efluente gerado pela prensa também necessita retornar ao tratamento físico-químico.

Abaixo, os processos sequenciais estão discriminados na figura 03 para melhor entendimento, sendo o mesmo:

Figura 03 - Fluxograma atual do processo de tratamento de efluentes.



Fonte: Do autor, 2016.

As flechas pretas indicam o processo linear do tratamento de efluentes, bem como a aplicação dos produtos químicos para tratamento de efluentes nos tanques e vascas. Já as flechas vermelhas indicam onde ocorrem os retornos de efluentes e contribuições adicionais ao mesmo.

Antes da chegada do efluente bruto ao tanque de homogeneização, o efluente passa por gradeamento, do qual é realizado nas canaletas do setor produtivo e conta com grades espaçadas em aproximadamente 3,5cm entre barras (Figura 04). O gradeamento tem por objetivo a retenção de sólidos grosseiros originado do processo de produção, além de retenção de possíveis grumos formados nas canaletas.

Figura 04 – Tratamento Preliminar (Gradeamento).



Fonte: Do autor, 2016.

Após a passagem pelo gradeamento, o efluente é encaminhado ao tanque de homogeneização listado abaixo nas figuras 05 e 06.

Figura 05e 06 – Tanque de Homogeneização



Fonte: Do autor, 2016.

Posteriormente a homogeneização completa do efluente, os processos conseguintes são em bateladas, sendo o efluente succionado do tanque de homogeneização para os decantadores primários, onde ocorrem os processos de coagulação/floculação/decantação dos flocos resultantes do processo.

A ETE da unidade conta com dois decantadores primários, sendo que os mesmos possuem capacidade de 20 m³ cada. No momento em que o tanque recebe o efluente originado da homogeneização, o operador realiza o teste de jarros (jartest), e posteriormente adiciona os produtos diretamente nos decantadores.

Aproximadamente uma hora após a coagulação/floculação/decantação, o sólido decantado é encaminhado (succionado por bombas) para um silo de armazenamento (Figura 07) para posterior desague na prensa desaguadora (Figura 08) e o líquido superficial (efluente tratado) são encaminhados ao decantador auxiliar (Figura 09). O decantador auxiliar tem por objetivo a remoção e decantação de possíveis sólidos remanescentes do efluente líquido possivelmente sugados pela bomba de sucção do efluente clarificado nos tanques físico-químicos.

Figura 07 – Silo de Armazenamento de Lodo.



Fonte: Do autor, 2016.

Figura 08 – Prensa desaguadora.



Fonte: Do autor, 2016.

Figura 09 – Decantador Auxiliar.



Fonte: Do autor, 2016.

Após passagem pelo decantador secundário (figura 09), e efluente é encaminhado para o tanque de aeração (figura 10), ficando retidos por volta de 24 horas e posteriormente descartados no corpo receptor.

Figura 10 – Tanque de Aeração.



Fonte: Do autor, 2016.

3.1.4 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

Os efluentes brutos da unidade de estudo têm, por característica, caráter predominantemente alcalino. Este caráter alcalino se dá devido às características dos produtos produzidos, bem como da utilização da NaOH como auxílio na lavagem de equipamentos, vascas e reatores.

A caracterização do efluente foi realizada de acordo com os parâmetros exigidos por legislação ambiental, bem como parâmetros de análises de sólidos expressas em bibliografias consagradas. Sendo os principais o DBO, DQO, sólidos sedimentáveis, sólidos totais, sólidos suspensos totais, sólidos fixos totais, sólidos suspensos fixos, sólidos voláteis totais e sólidos suspensos voláteis.

As análises físico-químicas foram realizadas em laboratórios terceirizados e seguiram o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. As metodologias seguidas para cada parâmetro foram:

DBO: SMEWW - Method 5210 B;

DQO: SMEWW - Method 5220 D / EPA 410.4;

Sólidos Suspensos Totais: SMEWW - Method 2540 D (Gravimétrico);

Sólidos Suspensos Fixos (550°C): SMEWW - Method 2540 E (Gravimétrico);

Sólidos Totais: SMEWW - Method 2540 B (Gravimétrico);

Sólidos Totais Fixos (550°C): SMEWW - Method 2540 E (Gravimétrico);

Sólidos Totais Voláteis (550°C): SMEWW - Method 2540 E (Gravimétrico);

3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Foram realizados ensaios de bancada com a finalidade de se verificar a possibilidade de melhorar a qualidade do efluente tratado bem como sugerir etapas posteriores de tratamento, caso avaliado necessário.

3.2.1 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Para realização dos ensaios internos de testes de jarros (*jar test*) e de sedimentação, foram utilizados diversos equipamentos, conforme a descrição abaixo:

- a) Equipamentos de Proteção Individual (Luvas de látex - SUPERMAX, óculos de segurança - 3M Virtua, capacete de proteção, jaleco manga longa, sapato fechado e calça);
- b) 08 Bequeres em polipropileno com capacidade de 01 (um) Litro (Nalgon);
- c) 06 frascos transparentes com capacidade 500 mL;
- d) 01 Bequer com capacidade de 100 mL;
- e) 01 Cone *Inmhoff* com capacidade de 01 (um) Litro;
- f) 01 bastão de vidro;
- g) 01 Suporte metálico para cone *Inmhoff*;
- h) Pipetas com capacidade de 10, 25 e 100 mL;
- i) Cronômetro;
- j) Equipamento de *Jar Test*, constituído por 1 jarro com 1 Litro cada;
- k) Potenciômetro (pHmetro) para leitura do pH (Mettler – Toledo AG);
- l) Seringa com capacidade de 35 mL;
- m) Fita colorimétrica de medição dopH (Macherey- Nagel);
- n) Balde com capacidade de 20 litros;
- o) Frascos de amostras com capacidade para 2 Litros e 5 Litros;
- p) Bombona plástica de 200 Litros;
- q) Coletador INOX;

- r) Agitador mecânico de hélice – Ika;
- s) Bomba pneumática;

3.2.2 REAGENTES

- a) Policloreto de Alumínio (PAC 10%);
- b) Soda Cáustica Líquida (NaOH);
- c) Polímero Floculante Catiônico (Manfloc 908 TA) – Manchester Química do Brasil S.A.
- d) Peróxido de Hidrogênio (H₂O₂ 50%) – Buschle&Lepper S.A.;
- e) Ácido Clorídrico (Solução a 5%);

3.2.3 PREPARO DAS SOLUÇÕES

- a) Policloreto de Alumínio (10%): Dissolveu-se 200 mL do produto comercial em 1800 mL de água deionizada.
- b) Soda Cáustica Líquida: Foi pega a Soda Cáustica (NaOH) utilizada no setor produtivo. Esse produto possui concentração de 49%.
- c) Polímero catiônico: Dissolveu-se 0,5 mL do produto comercial em água deionizada em 500 mL agitando constantemente com agitador mecânico de hélice.
- d) Peróxido de Hidrogênio (50%): Utilizado na concentração do produto.
- e) Ácido Clorídrico (5%): Obtido através do resíduo oriundo do processo de ganho das colunas de troca iônica no processo de desmineralização de água industrial, foi utilizado na concentração “natural” do produto.

3.3 MÉTODOS DE REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

Os testes de tratabilidade do efluente envolvendo análise de pH, coagulação, floculação, clarificação química, decantação em *cone Imhoff* e oxidação através de H₂O₂ foram realizadas no laboratório interno da empresa.

Externamente, em laboratórios terceirizados, foram realizadas as análises físico-químicas de DBO, DQO, sólidos totais, sólidos suspensos totais, sólidos

dissolvidos totais, sólidos suspensos voláteis, sólidos suspensos fixos, sólidos dissolvidos voláteis, sólidos dissolvidos fixos, sólidos voláteis totais, sólidos fixos totais, fósforo total, detergentes e óleos e graxas.

De modo a verificar as eficiências de remoção dos processos empregados, foram analisadas os parâmetros já mencionados para o efluente bruto, no tanque de homogeneização, no decantador após tratamento físico-químico de floculação/clarificação do efluente e no tanque de aeração (antes e após do início do processo de aeração).

3.3.1 APLICAÇÃO DAS RELAÇÕES IMPORTANTES AO TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS

A partir do recebimento das análises de caracterização de efluentes, aplicou-se as relações impostas por JUNCHEN (2001) e BRAILE e CAVALCANTI (1979), onde foram realizadas discussões sobre a verificação do sistema atual bem como o estudo de alternativas e técnicas aplicáveis ao sistema de tratamento de efluentes existente, além de alternativas à aplicação de técnicas e métodos previamente determinados.

Após isso, verificadas às possibilidades existentes sobre as técnicas de tratamento possíveis e necessárias, submeteu-se o efluente a novos testes, dentre eles o de sedimentação e oxidação química com peróxido de hidrogênio.

3.3.2 SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS

Para o procedimento analítico foram coletadas amostras de 1 litro do efluente diretamente no tanque de homogeneização. As amostras coletadas foram colocadas em *cone Imhoff* (Figura 11) por um período de 60 minutos (1 hora).

A fim de evitar a retenção de sólidos nas paredes dos cones, em espaços de 15 minutos raspou-se um bastão nas paredes do Cone Imhoff.

Figura 11: Testes de Sólidos Sedimentáveis em 1 hora, do efluente bruto.



Fonte: Do Autor, 2016.

Esse procedimento se repetiu diariamente por aproximadamente 20 dias consecutivos. Após a aferição e análise dos resultados, foi avaliada a viabilidade técnica da instalação de um pré-decantador na planta industrial, bem como os impactos financeiros da aplicação dos testes em escala industrial.

3.3.3 ENSAIO DE CLARIFICAÇÃO QUÍMICA

Por se tratar de um processo de tratamento por bateladas, os testes de jarros são realizados com frequência diária, mais de uma vez por dia, pelos operadores envolvidos no processo.

Diariamente, com o auxílio de uma bomba pneumática, foram coletados cerca de 200 litros de efluente do tanque de homogeneização de efluentes (bruto) e destinados a uma bombona de mesma capacidade.

Logo após a passagem do efluente bruto á bombona de 200 litros e, com um balde, foi coletada amostra de aproximadamente 20 litros de efluente. Essa amostra foi classificada como “Efluente B”.

Uma hora depois (após todo sólido sedimentável precipitar no fundo), coletou-se mais 20 litros de amostra da bombona. Essa amostra foi denominada “Efluente D”.

Esses procedimentos visaram coletar amostras de efluente bruto (Efluente B) e também amostra do efluente bruto sem a presença de sólidos sedimentáveis (Efluente D), de modo a permitir análises comparativas entre eles.

Antes do início dos testes de jarros, foram realizados testes cegos (inicial) para determinação da faixa de pH de coagulação do efluente. Nesta fase observou-se apenas as faixas de pH em que visivelmente os efluentes coletados apresentaram melhor ponto de coagulação/floculação/decantação.

Posteriormente, os ensaios de coagulação/floculação/decantação foram realizados da seguinte maneira;

- a) Coletou-se de 1 litro das amostras em um béquer de 1 litro.
- b) Agitou-se das amostras em 200 rpm.
- c) Mediu-se do pH inicial do efluente.
- d) Adicionou-se das alíquotas de Policloreto de Alumínio (PAC) até a faixa ideal pré-estabelecida.
- e) Agitou-se intensa (300 rpm) por 15 segundos.
- f) Aplicou-se de polímero catiônico aos jarros em alíquotas previamente fixadas.
- g) Anotou-se das taxas sobrenadantes e floculadas para fins comparativos de geração de lodo (figuras 12 e 13).

Figura 12: Teste de clarificação química do efluente.



Fonte: Do Autor, 2016.

Figura 13: Teste de clarificação química do efluente.



Fonte: Do Autor, 2016.

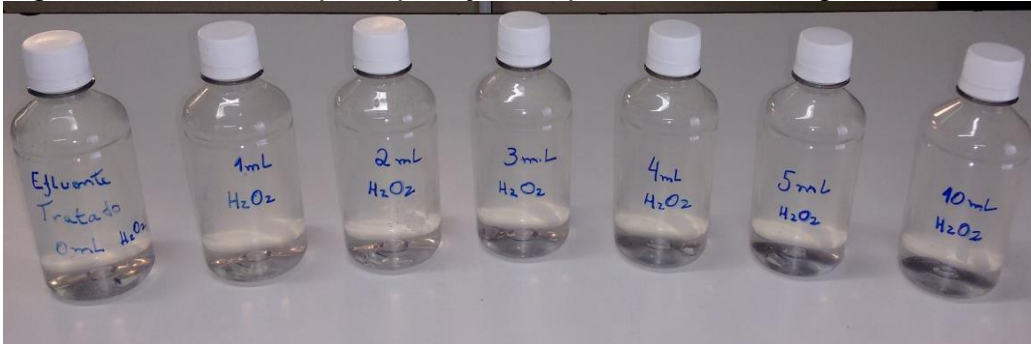
3.3.4 TESTE DE OXIDAÇÃO QUÍMICA COM H_2O_2

Após a etapa de clarificação química, o efluente tratado foi submetido ao processo de oxidação química com peróxido de hidrogênio (H_2O_2).

O processo de oxidação química foi realizado da seguinte forma:

- a) Coletou-se de 6 amostras do efluente clarificado em frascos transparentes de 500 mL;
- b) Colocou-se de alíquotas de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em: 1,0 mL, 2,0mL, 3,0 mL, 4,0mL,5 mL e 10 mL (1%). Transformando-se essas alicuotas para porcentagem em litros, as doses adicionadas ficam em 0,1%, 0,2%, 0,3%, 0,4%, 0,5% e 1% em concentração por volume.
- c) Homogeneizou-se inicial da amostra por 5 minutos;
- d) Fechou-se dos frascos e aguardou-se 30 minutos para tempo de reação, agitando os frascos a cada 10 minutos;
- e) Observou-se do aspecto visual final do efluente (menor presença dos sólidos dissolvidos através da análise visual da coloração do efluente) (figura 14);
- f) Anotou-se das duas alíquotas mais satisfatórias de peróxido adicionadas;

Figura 14: Amostras após aplicação do peróxido de hidrogênio.



Fonte:Do Autor, 2016.

Para as duas concentrações monitoradas mais satisfatórias visualmente, foi realizado o encaminhamento para laboratório terceirizado e analisados os parâmetros de DBO, DQO, Sólidos Suspensos Totais, Sólidos Suspensos Fixos, Sólidos Totais, Sólidos Totais Fixos e Sólidos Totais Voláteis. As análises foram realizadas segundo o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO EFLUENTE ANALISADO E PERCENTUAIS DE REMOÇÃO NA PLANTA DE TRATAMENTO

Na Tabela 1 está apresentada a campanha amostral, a qual foi realizada na data de 24/10/2016. Nela, são apresentadas as características físico-químicas do efluente analisado no presente trabalho, ou seja, pertinente à planta industrial multipropósito da indústria química objeto de estudo.

Tabela 1 - Caracterização físico-químico do efluente Industrial.

Parâmetro (mg/L)	Tanque de Homogeneização	Saída Tanque de Tratamento Físico-Químico	% Remoção
DBO	1119	975	12,86
DQO	2766	2003	27,58
Sólidos Totais	7862	4074	48,18
Sólidos Suspensos Totais	3600	26	99,27
Sólidos Dissolvidos Totais	4262	4048	5,02
Sólidos Suspensos Voláteis	2207	15	99,32
Sólidos Suspensos Fixos	1393	11	99,21
Sólidos Dissolvidos Voláteis	1497	683	54,37
Sólidos Dissolvidos Fixos	2765	3365	-21,69

Fonte: Do Autor, 2016.

Os dados que constam na Tabela 01 demonstram que 45,78% dos sólidos presentes no tanque de homogeneização são sólidos em suspensão e portanto, são passíveis de remoção na etapa de clarificação química do efluente. Portanto, os outros 54,21% dos sólidos presentes no efluente, apresentam-se na forma dissolvida.

Na prática, a etapa de tratamento físico-químico do efluente (clarificação química), removeu 99% dos sólidos totais em suspensão demonstrando um excelente funcionamento do processo físico-químico adotado pela empresa.

Concomitante a isso e de acordo com BRAILE e CAVALCANTI (1979), o efluente apresentou uma concentração alta de sólidos suspensos fixos (SSF), possivelmente indicando presença de sólidos sedimentáveis e necessidade de remoção prévia dessas partículas.

A eficiência na remoção de DBO nesta etapa foi de 13% e é devida, principalmente, a fração de sólidos suspensos voláteis do efluente.

A Lei Estadual de Santa Catarina nº 14.675, de 13 de abril de 2009 em seu artigo nº177 inciso XI, determina que a concentração de DBO₅ a 20°C em despejos deve ser de no máximo 60 mg/L ou apresente 80% de remoção em sistemas de tratamento biológicos de águas residuárias.

Desta forma, após passar pela etapa de clarificação química, ainda há a necessidade de tratamentos complementares do efluente, visando à remoção da matéria-orgânica em termos de DBO₅ e adequação às exigências legais.

4.2 VERIFICAÇÃO DOS ÍNDICES DE BIODEGRADABILIDADE DO EFLUENTE

Na campanha amostral, realizada em 24/10/2016, impetrou-se se os resultados das relações expressas por JUNCHEN (2001) e BRAILE e CAVALCANTI (1979), onde determinam as relações impostas sobre DBO/DQO e DQO/DQO respectivamente, onde determinam a biodegradabilidade do efluente.

A biodegradabilidade do efluente homogeneizado e clarificado apresentado atualmente da planta de tratamento encontra-se na Tabela 02:

Tabela 02 – Relações de biodegradabilidade do efluente.

Relação	DBO	DQO	Junchen Relação DBO/DQO:	Cavalcanti e Braille Relação DQO/DBO
Homogeneização	1119	2766	0,4 Biológico Possível	2,1 Biológico Possível
Físico-Químico:	975	2003	0,5 Biológico Possível	2,05 Biológico Possível

Fonte: Do Autor, 2016.

A análise de biodegradabilidade do efluente clarificado indica a possibilidade de tratamento biológico. Contudo, a escolha de um processo de

tratamento secundário de efluente apresenta alguns riscos e devem ser tomados muitos cuidados.

A empresa utiliza a aeração do efluente como etapa complementar ao tratamento-físico químico objetivando o incremento na remoção de matéria-orgânica. Contudo, contudoos dados expressos na amostra pontual, coletada em 24/10/2016 na Tabela 03, demonstram remoção nula de DBO e DQO:

Tabela 03 - Caracterização físico-químico do efluente Industrial antes e após aerar. Campanha amostral de 24/10/2016.

Parâmetro (mg/L)	Tanque de Aeração – Antes da Aeração	Tanque de Aeração –Após a Aeração	% Remoção
DBO	739	832	-12,58
DQO	2030	2041	-0,54
Sólidos Totais	5836	5839	-0,05
Sólidos Suspensos Totais	37	61	-67,86
Sólidos Dissolvidos Totais	5799	5778	0,36
Sólidos Suspensos Voláteis	26	46	-76,92
Sólidos Suspensos Fixos	11	15	-36,36
Sólidos Dissolvidos Voláteis	551	557	-1,08
Sólidos Dissolvidos Fixos	5268	5221	0,89

Fonte: Do Autor, 2016.

Considerando a amostra pontual e o tempo de detenção hidráulica de 3 horas para esta etapa amostral, é possível observar que na tabela 03 não há aumento na eficiência de remoção de matéria-orgânica expressas em termos de DBO₅ e nem de sólidos após o processo de aeração do efluente.

4.3 VALIDAÇÃO DO ÍNDICE DE BIODEGRADABILIDADE DO EFLUENTE

Analisando o baixo poder de remoção do tanque de aeração para a campanha amostra realizada na data de 24/10/2016, para a matéria orgânica e avaliando o histórico de análises físico-químicas do efluente da empresa, se observa que em determinadas condições de produção da fábrica, que o efluente mostra-se resistentes à biodegradabilidade conforme a tabela 04.

Tabela 04 – Relações históricas de biodegradabilidade do efluente.

Data	Tipo	DBO (mg/L)	% remoção DBO	DQO (mg/L)	Junchen DBO/DQO	Cavalcanti e Braille DQO/DBO
15/01/2016	Bruto	455	-137,36	250	0,40	2,4
	Tratado	1080		36	0,14	6,99
15/06/2016	Bruto	456	92,10	1120	0,66	1,53
	Tratado	36		220	0,67	1,49
02/06/2015	Bruto	613	79,7	1920	0,30	3,1
	Tratado	124		540	0,23	4,4
12/08/2015	Bruto	521	79,65	2360	0,22	4,53
	Tratado	106		240	0,44	2,26
18/08/2015	Bruto	373	82,57	1760	0,21	4,72
	Tratado	65		380	0,17	5,86
21/08/2015	Bruto	1288	87,03	1880	0,69	1,46
	Tratado	167		280	0,60	1,68
27/08/2015	Bruto	596	92,45	2000	0,30	3,36
	Tratado	45		100	0,45	2,25

Fonte: Do autor, 2016.

A campanha amostral realizada no dia 24 de Outubro de 2016 (Tabela 03) indicou que o efluente apresenta um alto grau de biodegradabilidade, porém, a análise histórica apresentada na Tabela 04 verifica-se a alternância da característica biodegradável do efluente, não podendo ser afirmado que o mesmo apresenta condições de biodegradabilidade constante.

Com exceção de amostra 15/01/2016, o restante das amostras apresentaram elevada eficiência de redução de DBO.

Essa variação está diretamente relacionada às características do empreendimento que apresenta uma variada linha de produção, refletindo-se na qualidade do efluente gerado.

Portanto, a escolha por um processo de tratamento biológico (secundário) não é recomendável, devido a alternância das condições do meio pode resultar na morte as bactérias responsáveis pelo processo de biodegradação.

Sendo assim, uma outra alternativa para redução da concentração da DBO_5 do efluente antes do seu descarte no corpo receptor é a implementação de processos terciários de tratamento de efluentes, destacando-se a oxidação química como uma boa opção.

4.4 PROPOSTA DE TRATAMENTO

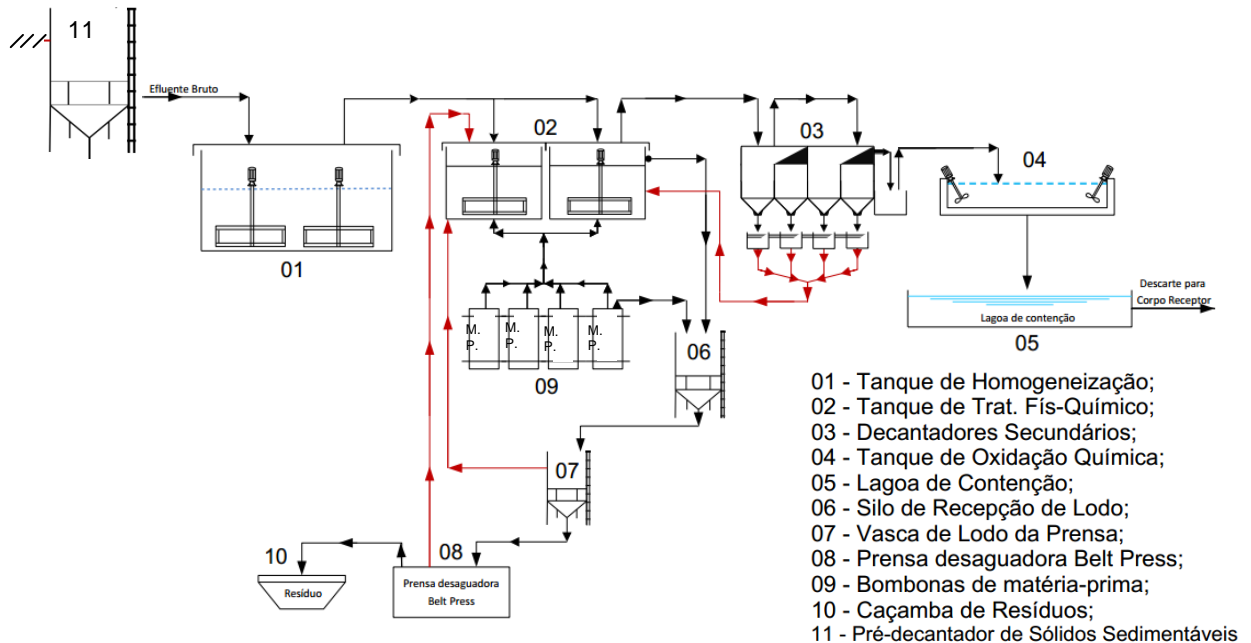
Com base nos dados apresentados anteriormente, o presente estudo propõe medidas que visam a melhoria na qualidade do efluente de forma a atender a legislação ambiental e reduzir custos com os produtos para tratamento de efluentes empregados.

Considerando que a planta de tratamento de efluente conta apenas com o gradeamento como processo preliminar para remoção de sólidos grosseiros, avaliou-se necessário a implantação de um processo para remoção mais refinada dos sólidos sedimentáveis.

Parte importante da composição de sólidos de um efluente, os sólidos sedimentáveis estão associados a materiais de fácil e rápida precipitação e decantam de maneira natural, sem que haja a necessidade de aplicação de produtos químicos.

Basicamente a remoção dos sólidos sedimentáveis é benéfica aos processos seguintes de tratamento pois reduz a abrasão nos equipamentos e tubulações e reduzem a concentrações de sólidos no fluido e conseqüentemente, reduz a quantidade de produtos aplicáveis necessário ao tratamento de efluentes. Já para redução na concentração de DBO_5 no efluente antes de seu descarte no corpo receptor foi proposto a adoção de processos oxidativos avançados. A figura 15 destaca uma situação futura às condições de processos atuais, visando melhoria na remoção dos sólidos sedimentáveis.

Figura 15 – Situação esperada após proposta de alteração no processo atual de tratamento de efluentes.



Fonte: Do Autor, 2016.

Neste caso, os sólidos sedimentáveis provenientes do processo de pré-decantação, seriam encaminhados para bags coletores com o objetivo do desaguamento do mesmo, e redução de seu peso e volume. Após o desague do lodo nos bags, o material será encaminhado para a caçamba de descarte de resíduos e transportado até aterro industrial devidamente habilitado para tais finalidades.

4.5 ENSAIOS DE TRATABILIDADE

Considerando que a planta de tratamento de efluente conta apenas com o gradeamento como processo preliminar, foi avaliado o desempenho do efluente quanto à geração de sólidos sedimentáveis e a realização de testes comparativos do comportamento do efluente sem a presença desses sólidos.

Visando a remoção de matéria orgânica em termos de DBO_5 do efluente tratado após o processo físico-químico, foi realizado testes de oxidação química com o oxidante peróxido de hidrogênio.

4.5.1 Volume de Sólidos Sedimentáveis Retidos em Cone Imhoff

A Tabela 05 demonstra o desempenho sobre a geração dos sólidos sedimentáveis ao longo de um determinado período de análise.

Tabela 05- Análise comportamental dos sólidos sedimentáveis.

Dia	Volume decantado(mL/L)
28/set	50
29/set	85
30/set	90
03/out	70
04/out	80
05/out	120
06/out	85
07/out	92
10/out	100
11/out	115
12/out	64
13/out	68
14/out	54
17/out	52
28/out	69
29/out	130
30/out	60
01/nov	79
02/nov	80
03/nov	90
Média	81,65

Fonte: Do Autor, 2016.

As análises indicaram a presença de Sólidos Sedimentáveis na média de 81,65 mL por litro de efluente tratado. Esta presença maciça de sólidos sedimentáveis combinado a elevada presença de SSF no efluente, sugere a necessidade de uma unidade de sedimentação primária antecedendo as unidades de tratamento físico-químico existente.

4.5.2 Clarificação química

Sabido que o efluente apresentou necessidade de tratamento preliminar com a implementação de um desarenador e/ou decantador primário, mediu-se o impacto desse processo no tratamento convencional de efluentes (tratamento físico-químico) através de testes de jarros realizados sequencialmente. A Tabela 06, apresenta comparativo entre testes de jarros para o efluente com e sem separação prévia dos sólidos sedimentáveis.

Tabela 06 - Análise comparativa entre testes de jarros com e sem a presença de sólidos sedimentáveis.

Dia	Tipo de Efluente	pH Inicial	pH Final	PAC (mL/L)	Polímero (mL/L)	Volume Decantado (mL/L)
28/set	01 (Bruto)	10,07	6,38	47,5	20,0	800
28/set	02 (Bruto)	10,07	6,25	50,0	18,0	800
28/set	03 (Bruto)	10,07	6,45	50,0	18,0	600
28/set	04 (Dec)	10,07	6,3	40,0	13,0	700
28/set	05 (Dec)	10,07	6,24	40,0	13,0	700
28/set	06 (Dec)	10,07	6,27	42,5	15,0	720
04/out	07 (Dec)	12,33	9,08	50,0	60,0	900
05/out	01 (Bruto)	12,47	6,5	95,0	20,0	900
05/out	02 (Bruto)	12,47	6,6	92,5	20,0	950
05/out	03 (Bruto)	12,47	6,74	92,5	25,0	950
05/out	04 (Dec)	12,47	6,77	90,0	25,0	900
05/out	05 (Dec)	12,47	6,78	90,0	25,0	950
05/out	06 (Dec)	12,47	6,8	90,0	30,0	800
06/out	01 (Bruto)	12,3	6,48	95,0	40,0	850
06/out	02 (Bruto)	12,3	6,39	100,0	80,0	800
06/out	03 (Bruto)	12,3	6,46	105,0	50,0	750
06/out	04 (Dec)	12,3	6,47	110,0	60,0	800
06/out	05 (Dec)	12,3	6,25	110,0	50,0	800
06/out	06 (Dec)	12,3	6,37	110,0	60,0	800
07/out	01 (Bruto)	11,68	6,38	67,0	20,0	850
07/out	02 (Bruto)	11,68	6,37	67,0	20,0	800
07/out	03 (Bruto)	11,68	6,3	72,0	20,0	750
07/out	04 (Dec)	11,68	6,41	65,0	25,0	800
07/out	05 (Dec)	11,68	5,99	65,0	20,0	850

Dia	Tipo de Efluente	pH Inicial	pH Final	PAC (mL/L)	Polímero (mL/L)	Volume Decantado (mL/L)
10/out	01 (Bruto)	13,2	6,42	67,0	15,0	825
10/out	02 (Bruto)	13,2	6,33	67,5	10,0	825
10/out	03 (Bruto)	13,2	6,21	67,5	10,0	800
10/out	04 (Dec)	13,2	6,37	63,0	10,0	775
10/out	05 (Dec)	13,2	6,32	67,5	15,0	800
10/out	06 (Dec)	13,2	6,24	67,5	20,0	750
13/out	01 (Bruto)	11,8	6,26	62,5	25,0	700
13/out	02 (Bruto)	11,8	6,45	60,0	25,0	740
13/out	03 (Bruto)	11,8	5,97	65,0	25,0	730
13/out	04 (Dec)	11,8	6,07	60,0	25,0	720
13/out	05 (Dec)	11,8	6,23	50,0	20,0	720
13/out	06 (Dec)	11,8	6,15	52,5	20,0	650
18/out	01 (Bruto)	11,93	6,25	82,5	20,0	800
18/out	02 (Bruto)	11,93	6,31	82,0	20,0	750
18/out	03 (Bruto)	11,93	6,49	77,5	20,0	750
18/out	04 (Dec)	11,93	6,43	75,0	20,0	700
18/out	05 (Dec)	11,93	6,78	70,0	20,0	700
19/out	01 (Dec)	11,63	6,78	70,0	20,0	700
19/out	2 (Dec)	11,63	6,34	72,5	20,0	650
19/out	3 (Dec)	11,63	6,75	70,0	20,0	750
19/out	4 (bruto)	11,63	6,3	75,0	20,0	700
19/out	5 (bruto)	11,63	6,7	72,5	20,0	700
21/out	6 (bruto)	11,63	6,75	72,0	20,0	750
21/out	01 (bruto)	11,75	6,35	75,0	20,0	720
21/out	2 (bruto)	11,75	6,35	75,0	30,0	750
21/out	3 (bruto)	11,75	6,35	75,0	28,0	740
21/out	4 (dec)	11,75	6,35	65,0	25,0	750
21/out	5 (dec)	11,75	6,35	65,0	15,0	700
Médias do efluente decantado (mL)				69,8	27,7	774,5
Médias do efluente bruto (mL)				74,4	52,7	801,7
Diferença entre os dois métodos (mL)				4,6	25,0	27,2

Fonte: Do Autor, 2016.

*(Dec): Representam as amostras de efluente analisadas, após separação prévia dos sólidos sedimentáveis;

*(Bruto): Representa as amostras de efluentes analisadas *in natura*, com presença de sólidos sedimentáveis.

De acordo com as análises de clarificação do efluente realizadas ao longo de todo o trabalho e expressas acima, pôde ser verificado que a presença de sólidos sedimentáveis no efluente bruto interfere negativamente na geração lodo, quanto na necessidade de utilização de mais matéria-prima (PAC e polímeros) para o processo de floculação/decantação/clarificação química do efluente bruto.

Houve impacto significativo na necessidade de insumos como o Policloreto de Alumínio, floculante e geração de lodo. Para cada litro tratado houve um decréscimo médio de 4,6mL de PAC e 25,0mL de floculante utilizado e uma redução média de 27,2 mL de lodo por litro de efluente tratado.

4.6 EXPERIMENTO UTILIZANDO PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO (H₂O₂)

De acordo com as relações de tratabilidade, condições do processo produtivo, condições de alterações sazonais nas condições físico-químicas do efluente tratado e experimentos preliminares foi constatado que a utilização do peróxido de hidrogênio como oxidante químico poderia ser uma alternativa na otimização de redução de DBO₅ e DQO do efluente como alternativa, já que as análises pontuais realizadas em 24/10/2016 apresentaram deficiência de remoção para estes parâmetros.

Foram avaliados experimentos preliminares na degradação da matéria orgânica em termos de DBO₅ com a utilização de concentrações de peróxido de hidrogênio na mistura na ordem de 0,1%, 0,2%, 0,3%, 0,4%, 0,5% e 1%.

Dito isto, e considerando o aspecto visual das amostras, foram selecionadas os efluentes expostos ao H₂O₂ com concentrações volumétricas na ordem de 0,2% considerados como CC01 e 0,3% considerados como CC02, e analisados os percentuais de remoção no efluente para os aspectos já analisados.

Tabela 07 – Caracterização dos percentuais de remoção após aplicação do H₂O₂, parâmetros em mg/L.

Parâmetro	Tanque de Aeração - 3h Após	CC01	Eficiência de Remoção (%)	CC02	Eficiência de Remoção (%)
DBO	832	883	-6,13	959	-8,61
DQO	2041	2070	-1,42	2077	-0,34
ST	5839	5941	-1,75	5952	-0,19
SST	61	62	-1,64	52	16,13
SDT	5778	5879	-1,75	5900	-0,36
SSV	46	45	2,17	39	13,33
SSF	15	17	-13,33	13	23,53
SDV	557	566	-1,62	624	-10,25
SDF	5221	5313	-1,76	5285	0,53

Fonte: Do Autor, 2016.

É possível constatar que embora exista uma melhora na remoção de SST, SSV e SSF do efluente avaliado após a adição de 0,3% de H₂O₂ em comparação à concentração de 0,2% de H₂O₂, não ocorre o mesmo comportamento na remoção da matéria orgânica em termos de DBO₅.

Uma possível explicação seria que a matéria orgânica existente no lixiviado é complexa e de difícil degradação, sendo que a ação do oxidante peróxido de hidrogênio consegue quebrar a molécula orgânica, mas não o suficiente para ocorrer a sua degradação.

Outra explicação é o de ressuspensão de lodo decantado no fundo do tanque de aeração após o processo de agitação do mesmo uma vez que o efluente apresentou um acréscimo de 93 mg/L (13 %) de DBO₅ após a agitação. Essa ressuspensão pode também ter afetado a eficiência do H₂O₂ na remoção de carga orgânica em termos de DBO₅.

Assim, verifica-se a possibilidade de realizar novos estudos onde são aplicados pré-tratamento de filtragem do efluente anteriormente ao processo de submissão do peróxido de hidrogênio. Sugere-se ainda verificar o nível de eficiência do peróxido de hidrogênio combinado com outros processos, como por exemplo O₃/UV, O₃/H₂O₂, O₃/TiO₂, citados por Almeida (2004) *et al.*

4.7 IMPACTO FINANCEIRO SOBRE A INSTALAÇÃO DE UM DECANTADOR PRÉVIO PARA SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS

- A análise levou em consideração:
- As condições de que a Estação de Tratamento de Efluentes trata atualmente 600 m³ de efluente por mês.
- A utilização do PAC a uma concentração de 10% em volume.
- Que o efluente bruto utiliza em média 74,4 mL de Policloreto de Alumínio (solução) para clarificação/coagulação/floculação para o tratamento de 1 litro do efluente bruto e que o efluente decantado apresentou a utilização média de 69,8 mL/L de Policloreto de Alumínio (solução) para clarificação/coagulação/floculação no tratamento de 1 litro do efluente decantado.
- A utilização média de 52,7 mL/L de floculante para o tratamento do efluente bruto e que o efluente decantado apresentou a utilização média de 27,7 mL/L de polímero o tratamento.
- As valores dos produtos estão destacados na Tabela 08.

Tabela 08 – Preços dos produtos de tratamento de efluentes utilizados.

Produto	R\$/kg	Densidade
Policloreto de Alumínio	1,31	1.270 kg/m ³
Manfloc 908 TA	10,92	750 kg/m ³

Fonte: Do Autor, 2016.

Para as condições atuais, ou seja, sem remoção dos sólidos sedimentáveis, é possível afirmar que o consumo médio de solução a 10% de Policloreto de alumínio é de 44.640 litros/mês.

Como a aplicação do PAC nos tanques físico-químicos é realizada pelo produto na forma comercial, pode-se verificar que a conversão da solução para a escala industrial fica em 4.640 litros de PAC mensal. De acordo com a densidade do produto, 4.640 litros de PAC correspondem a 5.669,28 kg/mês de produto. Levando em consideração o preço por quilograma de produto, haverá um custo médio mensal de R\$ 7.426,76 com Policloreto de alumínio.

Aproveitando as mesmas relações realizadas anteriormente, e levando em consideração a remoção dos sólidos sedimentáveis, é possível afirmar que o consumo médio de solução a 10% de Policloreto de alumínio é de 41.880 litros/mês, já na forma comercial, o consumo é de 4.188 litros/mês.

De acordo com a densidade do produto, 4.188 litros de PAC correspondem a 5.318,76 kg/mês de produto. Levando em consideração o preço por quilograma de produto existe um custo médio mensal de R\$ 6.967,50 com Policloreto de alumínio, ou seja, uma redução média de R\$ 459,26/mês ou R\$5.511,12/ano.

Já para o polímero catiônico, é possível afirmar que seriam utilizados 31.620 litros de solução de polímero para a primeira condição e 16.620 litros de polímero para a segunda condição.

Transformando para a forma de compra industrial e considerando que o polímero aplicado possui concentração de 0,5%, são utilizados em média 158,10 litros de polímero comercial para o sistema atual e seriam utilizados 83,10 litros de polímero para a condição de separação prévia dos sólidos sedimentáveis.

Considerando a densidade do produto é possível afirmar que atualmente são utilizados aproximadamente 118,57 litros/mês de polímero catiônico (Manfloc 908 TA) e caso seja adotado uma separação prévia dos sólidos sedimentáveis este número poderá cair para aproximadamente 62,32 litros/mês. Esses valores representariam custos mensais em aproximadamente R\$ 1.294,78 e R\$ 680,53 com Manfloc 908 TA, ou seja, uma redução média de R\$ 614,25/mês ou R\$7.370,95/ano.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Os ensaios realizados em escala de bancada laboratorial, podem servir de base para aplicação de novas técnicas no processo de tratamento de efluentes da empresa estudada, com objetivo de se alcançar a eficiência de remoção de contaminantes na mesma.

No período de análise e caracterização do efluente e seus processos de tratamento, constatou-se que apenas tratamento físico-químico realizado atualmente pela empresa, apresenta boa eficiência na remoção de poluentes.

O Artigo nº177 da Lei Estadual de Santa Catarina nº 14.675, de 13 de abril, de 2009 determina que a concentração de DBO_5 a 20°C em despejos deve ser de no máximo 60 mg/L ou apresente 80% de remoção em sistemas de tratamento biológicos de águas residuárias.

Sendo assim é necessária a adoção de processo complementar de forma a adequar o lançamento do efluente no corpo receptor.

Recomenda-se a implementação de um pré-decantador à etapa de clarificação química do efluente (coagulação, floculação e decantação), etapa esta que irá reduzir a dosagem de produtos químicos e conseqüentemente o custo de tratamento.

Outra recomendação a ser feita é a colocação de telas protetores acima do tanque aeração, uma vez que o mesmo encontra-se descoberto. Essa cobertura visa intervir e prevenir a queda de folhas e galhos oriundos de árvores próximas ao tanque, e conseqüentemente, prevenir contribuições de materiais de origem orgânica no efluente, que podem aumentar a carga orgânica do mesmo.

Considerando o processo de oxidação química proposto com a utilização de peróxido de hidrogênio, os resultados não foram satisfatórios, sendo necessário a realização de mais análises em diferentes concentrações de H_2O_2 . Recomenda-se também a avaliação de outros métodos de oxidação química como o processo Fenton, ozonização entre outros, verificando qual apresenta o melhor custo benefício para o efluente estudado.

Além disso, a melhoria da qualidade do efluente tratado possibilitará o reaproveitamento do mesmo em etapas do processo menos sensíveis à contaminação da água, ou simplesmente na limpeza de equipamentos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, E. et al. **Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio**. Departamento de Físico-Química, Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Núcleo de Ciências Ambientais, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422004000500023>. Acessado em 15/10/2016.

AZEVEDO NETTO, José M. De, “**Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água**”. 2 Ed. Rev. CETESB, 1977. 951 p.

AZEVEDO NETTO, José. M. et al. **Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água**. Vol. 2. 2ª ed. Ver. São Paulo: CETESB. 1976.

BLASCO, A. et al. **Tratamiento de Emisiones Gaseosas, Efluentes Líquidos Y Residuos Sólidos de la Industria Cerámica**. Espanha: IMPIVA, 1998. Boston: Mc Graw Hill, 2003, 1819 p.

BRAILE, P. Marcio; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de Tratamento de Águas Residuárias**. São Paulo: CETESB, 1979.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução n. 357. **CONAMA**, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamentos de efluentes. Diário Oficial da União. Brasília, 2005.

BRASIL. CONSTITUIÇÃO FEDERAL. Lei número 6938. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências**. Diário Oficial da União. Brasília, 1981.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Contagem Populacional. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=420460>>. Acesso em: Outubro 2016.

COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO GRANDE DO NORTE. **Tratamento de esgotos**, CAERN 2013. Disponível em:<http://www.caern.rn.gov.br/contentproducao/aplicacao/caern/principal/gerados/tratamento_esgoto.asp> Acesso: 15 mai. 2013.

CAVALCANTI, José Eduardo W. A. **Manual de tratamento de efluentes industriais**. São Paulo: Engenho, 2009. 453 p.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS – COPASA. **Processos de tratamento**, 2013. Disponível em: <http://www.copasa.cm.br/cgi/cgilua.exe/sysstart.htm?sid=34> Acesso: 10 jun. 2013

CONAMA – **Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357.** Classificação dos copos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Ministério do Meio Ambiente, 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes.** Resolução 430 de 2011. Brasília, 2011.

CRESPILHO, F. N.; SANTANA, C. G.; REZENDE, M. O. O. **Tratamento de Efluente da Indústria de Processamento de Coco utilizando Eletroflotação.** Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP. Quim. Nova, v. 27, nº. 3, p.387-392, 2004.

CRICIÚMA. **Sobre a História do Município.** Disponível em:<http://www.criciuma.sc.gov.br/site/turismo/p/sobre_a_historia>. Acesso em: Outubro de 2016.

Dezotti (coordenação)... (et al.) – Rio de Janeiro: E-pappers, 2008. 360p.: il. (Série Escola Piloto de Engenharia Química COPPE/UFRJ. V5). Disponível em:<<https://books.google.com.br/books?id=M3dQhS2sccC&pg=PA10&lpg=PA10&dq=Introdu%C3%A7%C3%A3o+a+T%C3%A9cnicas+de+Controle+Ambiental+em+Efluentes+L%C3%ADquidos&source=bl&ots=MbF-cu6oMf&sig=Y9h-nuRJAvmTKjvBgOIWTRWmt2I&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwid6NbEI63PAhUFj5AKHZUMAFMQ6AEILDAD#v=onepage&q&f=false>>. Acessado em: 10/09/2016.

GALINDO, C.; JACQUES, P.; KALT, A. **Photochemical and photocatalytic degradation of a indigoid dye: a case study of acid blue 74 (AB 74).** Journal of Photochemistry and Photobiology A.: Chemistry, v. 141, p. 47 - 56, 2001.

GARCEZ, Lucas Nogueira. **Elementos de engenharia hidráulica e sanitária.** 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2014. 346 p.

GIORDANO, G. **Tratamento e Controle de Efluentes Industriais** - Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente. Dissertação de Mestrado – UERJ, 2004. Disponível em: <http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/35427518/Apostila_-_Tratamento_de_efluentes_industriais.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1474858531&Signature=edDhJfjCWywrGyidD%2Fv55aYnDgA%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DTRATAMENTO_E_CONTROLE_DE_EFLUENTES_INDUS.pdf>. Acesso em: 20/09/2016.

GUIMARÃES, J.R. **Apostila de processos Oxidativos Avançados.** Campinas – SP, 2000.

JORDÃO, E.P., PESSÔA, C.A., 1995, **Tratamento de esgotos doméstico.** 3ª edição, ABES.

JUCHEM, C.R. **Reuso de efluentes tratados das agroindústrias de leite e carne sobre a produção da cultura de alface (*Lactuca sativa* L.) fertirrigada.** 2000. Dissertação (Mestrado) -Universidade do Oeste do Paraná, Cascavel, 2000.

MACEDO, Jorge A. B. de. **Águas & Águas.** São Paulo: Livraria Varela, 2001.

MACÊDO, Jorge Antonio Barros de. **Águas & Águas.** São Paulo: Varela, 2001. 505 p.

MACÊDO, Jorge Antônio Barros de. **Águas e Águas.** 2.ed. Belo Horizonte: CRQ – MG, 2004. 977 p.

METCALF & EDDY – **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse.** 4^a ed.

NUNES, José A. **Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais.** 2^a ed. Rec. Comp. Aracaju: Grafica Editora J. Andrade, 1996.

NUNES, José Alves. **Tratamento Biológico de Águas Residuárias.** 3. Ed. Aracaju: Gráfica Editora J. Andrade, 2012. 277 p.

NUNES, José Alves. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais.** 4. ed Aracaju: Gráfica Editora J. Andrade, 2004. 298 p.

NUNES, José Alves. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais.** Aracaju: Gráfica Editora J. Andrade, 1996. 277 p.

RICHTER, Carlos A; AZEVEDO NETTO, José M. **Tratamento de Águas.** São Paulo: EDGARDO BLUCHER, 2002.

RODRIGUES, Flávia Simões Ferreira Rodrigues, 2004, “**Aplicação da Ozonização e do Reativo de Fenton como Pré- Tratamento de Chorume com os Objetivos de Redução da Toxicidade e do Impacto no Processo Biológico**”, Tese de Mestrado, COPPE, UFRJ. Disponível em: <http://www.coc.ufrj.br/teses/mestrado/rh/2004/Teses/RODRIGUES_FSF_04_t_M_rh_s.pdf>. Acesso: 03 de Agosto de 2016.

SANTA CATARINA. Lei Estadual 14.675. **Institui o Código Estadual do Meio Ambiente e Estabelece Outras Providências.** Diário Oficial da União. Brasília, 2009.

SANTA CATARINA. Lei Estadual 9.748. **Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências.** Diário Oficial da União. Brasília, 1994.

SANTOS FILHO, Davino. F. dos. **Tecnologia de Tratamento de Água – Água para a Indústria.** 3 ed. São Paulo: NOBEL, 1985.

Santos, M. F. ; Santos, R. S. ; Beretta, M. **Reuso de Efluentes em Atividades Industriais.** Disponível em: <<http://www.abq.org.br/rqi/2010/729/RQI-729-pagina12-Reuso-de-Efluentes-em-Atividades-Industriais.pdf>>. Acesso em 21/09/2016.

SILVA, J. F.; TARANTO, O. P. **Estudo da Modelagem para Retenção de Metais Pesados através de Biosorção**. Livro de Resumos do III Encontro de Adsorção. Recife, p. 35, 2000.

UCKER, F.E., FALETTO, C.V., WOLFF, D.B. Sistema de tratamento de esgoto para o município de restinga seca – RS. **Disc. ScientiaRestinga Seca** – RS. V.11, n.1, p. 37-49, 2010.

VON SPELING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. V.2, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte – MG: UFMG, 1996.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. Vol. 1.