

**UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO
GRANDE DO SUL – UNIJUI**

MARCIO ANDRÉ NEUMANN

**ESTUDO DE CASO: ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES
DE UMA INDÚSTRIA METAL-MECÂNICA DO NOROESTE DO RS**

Ijuí

2016

MARCIO ANDRÉ NEUMANN

**ESTUDO DE CASO: ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES
DE UMA INDÚSTRIA METAL-MECÂNICA DO NOROESTE DO RS**

Trabalho de Conclusão de Curso de
Engenharia Civil apresentado como requisito
para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora: Joice Viviane de Oliveira

Ijuí

2016

MARCIO ANDRÉ NEUMANN

**ESTUDO DE CASO: ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES
DE UMA INDÚSTRIA METAL-MECÂNICA DO NOROESTE DO RS**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelo membro da banca examinadora.

Ijuí, 05 de dezembro de 2016

Prof. Joice Viviane de Oliveira

Mestre pela Universidade Federal do Rio de Janeiro - Orientadora

Prof. Lia Geovana Sala

Coordenadora do Curso de Engenharia Civil/UNIJUÍ

BANCA EXAMINADORA

Prof. Lia Geovana Sala (UNIJUÍ)

Mestre pela Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Joice Viviane de Oliveira (UNIJUÍ)

Mestre pela Universidade Federal do Rio de Janeiro

Dedico este trabalho à minha família pelo apoio
em todos os momentos de minha vida

AGRADECIMENTOS

À DEUS, por TUDO...

A todas as pessoas que em algum momento da minha vida pude contar com o apoio, amizade e ajuda.

A minha orientadora, Prof. Joice Viviane de Oliveira, pelo apoio e dedicação para elaboração deste trabalho.

Aos demais professores da Unijuí pelos ensinamentos durante o decorrer do curso.

Em especial à minha esposa Fátima e meu filho Jerônimo pela compreensão durante os momentos em que estava ausente me dedicando aos estudos.

Caráter não se mede por profissão, mas pela coragem de
cada ser humano que ganha a vida honestamente,
oferecendo o melhor de si em cada trabalho que lhe é
confiado.

Cecília Sfalsin

RESUMO

NEUMANN, M. A. **Estudo de caso: estação de tratamento de efluentes de uma indústria metal-mecânica do noroeste do RS.** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2016.

A industrialização traz frequentemente consequências, como a poluição sob as mais variadas formas, podendo estar presente no ar, água ou solo. As indústrias não geram efluentes semelhantes entre si, sendo que as suas características físicas, químicas e biológicas variam de acordo com o tipo de operação. As estações de tratamento de efluentes têm por objetivo reduzir a sua carga poluidora e atender aos padrões de exigências de lançamento no corpo receptor sem degradar o meio ambiente. Nesse sentido, os objetivos da pesquisa serão analisar as etapas de tratamento dos efluentes gerados em uma indústria do ramo metal-mecânico, descrever a atual forma de tratamento, verificar a eficiência de tratamento e avaliar uma possível proposta de melhoria do sistema, com base em um estudo de caso realizado em uma indústria localizada no noroeste do RS. A partir destas pesquisas e das análises dos resultados laboratoriais, é possível concluir que a estação de tratamento tem apresentado um bom desempenho na remoção dos contaminantes presentes nos efluentes gerados.

Palavras-chave: Estação de Tratamento de Efluentes. Efluentes Industriais.

ABSTRACT

NEUMANN, M. A. **Estudo de caso: estação de tratamento de efluentes de uma indústria metal-mecânica do noroeste do RS.** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2016.

Industrialization often bring consequences, such as pollution under the most varied forms, which may be present in air, water or soil. The industries do not generate waste similar to each other, and the physical, chemical and biological effluent vary according to the type of operation. The effluents treatment plants are intended to reduce the pollution load of wastewater and meet the requirement standards for disposal into the receiving body without degrading the environment. In this sense, the research objectives are to analyse the steps of wastewater treatment generated in a metal-mechanic sector industry, describe the current form of treatment, verify the treatment efficiency and evaluate a possible proposal for improving the existing system by a case study in a factory placed in the northwest of Rio Grande do Sul. Considering the researches and the laboratory results analysis it is possible to conclude that the treatment plant has presented a good performance removing contaminants from the produced effluents.

Keywords: Effluents Treatment Plant. Industrial effluents.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema do sistema de lodos ativados convencional.....	29
Figura 2 - Esquema do sistema de lodos ativados com aeração prolongada.....	29
Figura 3 - Ciclos do processo de operação por batelada	31
Figura 4 - Principais processos de estabilização de lodos	33
Figura 5 - Delineamento da pesquisa	41
Figura 6 - Fluxograma de produção	42
Figura 7 - Oficina de empilhadeiras	43
Figura 8 - Cabine de pintura com cortina d'água.....	44
Figura 9 - Cabine de pintura com leito d'água.....	44
Figura 10 - Cabine de desengraxe e enxágue	45
Figura 11 - Estimativa de volume de esgoto gerado	46
Figura 12 - Volume total de efluente industrial gerado.....	46
Figura 13 - Fluxograma da ETE	48
Figura 14 - Tanques de acúmulo do efluente industrial	49
Figura 15 - Reator por batelada	50
Figura 16 - Filtro prensa	51
Figura 17 - Reatores biológicos e tanque de equalização.....	52
Figura 18 - Decantador secundário.....	53
Figura 19 - Tanque de coagulação/floculação	54
Figura 20 - Tanque de decantação	54
Figura 21 - Sistema de filtros	55
Figura 22 - Vista interna ETE tratamento físico-químico	56
Figura 23 - Vista externa ETE tratamento biológico.....	56
Figura 24 - Planta ETE tratamento físico-químico.....	57
Figura 25 - Planta ETE tratamento biológico	58
Figura 26 - Volume tratado x volume recebido 2015.....	60
Figura 27 - Volume tratado x volume recebido 2016.....	60
Figura 28 - Resultados DBO	62
Figura 29 - Resultados DQO	63
Figura 30 - Resultados Nitrogênio	63
Figura 31 - Resultados Fósforo	64
Figura 32 - Resultados Sólidos Suspensos Totais	64

Figura 33 - Fluxo atual das etapas finais de tratamento	67
Figura 34 - Fluxo proposto das etapas finais de tratamento	67
Figura 35 - Filtro rápido de escoamento descendente de camada simples.....	67
Figura 36 - Licença de Operação quanto aos efluentes líquidos	74
Figura 37 - Licença de Operação quanto aos efluentes líquidos	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais tipos de despejos industriais.....	18
Tabela 2 - Coagulantes primários e faixas de pH.....	24
Tabela 3 - Condição de operação dos floculadores	25
Tabela 4 - Padrões de lançamento de efluentes CONAMA nº 430/2011.....	38
Tabela 5 - Padrões de lançamento de efluentes CONSEMA nº 128/2006.....	39
Tabela 6 - Padrões de lançamento de efluentes CONSEMA nº 129/2006.....	39
Tabela 7 - Principais poluentes.....	47
Tabela 8 - Insumos e concentrações para o tratamento dos efluentes	49
Tabela 9 - Insumos e concentrações para o tratamento do lodo biológico.....	55
Tabela 10 - Ciclo de tratamento do reator por batelada	59
Tabela 11 - Comparação dos parâmetros após tratamento (2014) x limites da legislação	61
Tabela 12 - Comparação dos parâmetros após tratamento (2015) x limites da legislação	61
Tabela 13 - Comparação dos parâmetros após tratamento (2016) x limites da legislação	61

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
COT	Carbono Orgânico Total
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
SST	Sólidos em Suspensão Totais
O & G	Óleos e graxas

LISTA DE SÍMBOLOS

Ag	Prata
As	Arsênio
B	Boro
Ba	Bário
Cd	Cádmio
CN	Cianetos
Co	Cobalto
Cr	Cromo
Cu	Cobre
F	Fluoretos
Hg	Mercúrio
L	Litro
m	Metros
m ³	Metros cúbicos
mg	Miligrama
mL	Mililitro
Ni	Níquel
Pa	Protactínio
Pb	Chumbo
pH	Potencial Hidrogeniônico
s	Segundos
Se	Selênio
Zn	Zinco
μm	Micrômetro
°C	Graus Celsius
%	Porcentagem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1	EFLUENTES INDUSTRIAIS	16
2.1.1	Caracterização dos efluentes	16
2.2	TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS	18
2.2.1	Tratamento físico-químico	21
2.2.1.1	<i>Neutralização</i>	<i>21</i>
2.2.1.2	<i>Coagulação-floculação</i>	<i>23</i>
2.2.1.3	<i>Decantação/sedimentação</i>	<i>25</i>
2.2.2	Tratamento biológico	26
2.2.2.1	<i>Processos aeróbicos</i>	<i>27</i>
2.2.3	Tratamento e disposição final do lodo	31
2.2.3.1	<i>Tratamento do lodo</i>	<i>32</i>
2.2.3.2	<i>Disposição final do lodo</i>	<i>35</i>
2.3	LEGISLAÇÃO REFERENTE À EFLUENTES INDUSTRIAIS.....	36
3	MÉTODO DE PESQUISA	40
3.1	ESTRATÉGIA DE PESQUISA.....	40
3.2	DELINEAMENTO	41
3.3	ESTUDO DE CASO	42
3.4	CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES NA INDÚSTRIA.....	43
3.4.1	Pontos de geração de efluentes líquidos	43
3.4.2	Vazão	45
3.4.3	Poluentes do efluente.....	46
3.4.4	Parâmetros de controle.....	47
3.5	ANÁLISE DAS ETAPAS DE TRATAMENTO DOS EFLUENTES	47
3.6	PLANTA DA ETE	56
4	RESULTADOS.....	59
4.1	EFLUENTE INDUSTRIAL.....	59
4.2	EFLUENTES TOTAIS GERADOS	62
4.3	CONSIDERAÇÕES SOBRE AS ANÁLISES	65
4.4	PROPOSTAS DE MELHORIAS	65
5	CONCLUSÃO	69
	REFERÊNCIAS	70
	ANEXO A – LICENÇA DE OPERAÇÃO	74

1 INTRODUÇÃO

Para Azeredo Netto (1981), a industrialização gera o progresso, porém, traz frequentemente consigo consequências indesejáveis para a comunidade, entre elas a poluição que pode ser sob as mais variadas formas. Segundo Braga *et al.* (2005), poluentes são resíduos gerados a partir de atividades humanas causando alterações ambientais de forma negativa, sendo a poluição a quantidade ou concentração de resíduos presentes no ar, água ou solo.

Para Benetti e De Luca (1989) as indústrias em geral não produzem efluentes semelhantes entre elas, devido a fatores próprios de produção, e medidas devem ser tomadas para controlar a poluição e satisfazer os padrões exigidos. Martelo e Caramuru (2015) apontam que a preocupação em distinguir a geração de efluentes líquidos industriais e avaliar seu impacto ambiental é recente. Ainda que as características físicas, químicas e biológicas do efluente industrial variam de acordo com o tipo da operação.

Segundo Barbosa (2006), para o esgoto doméstico ou o industrial devem ser usadas técnicas que objetivam minimizar seu potencial poluidor, para que o mesmo possa ser lançado a um corpo receptor sem causar degradações ao meio ambiente. A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011) estabelece que, independente da fonte poluidora, os efluentes somente poderão ser lançados diretamente nos corpos hídricos receptores após serem devidamente tratados e desde que atendam aos padrões e exigências dispostas pela norma.

Conforme Rubim (2015) ainda há muito que melhorar com relação às normas para destinação de efluentes, porém, nos últimos anos as indústrias vêm procurando soluções mais eficientes para a conservação do meio ambiente. Braga *et al.* (2005) diz que as estações de tratamento de efluentes (ETE) tem por objetivo reduzir a carga poluidora dos esgotos sanitários antes de serem lançados ao corpo receptor.

Efluentes industriais são correntes líquidas originadas de processos, operações e/ou utilidades, podendo estar acompanhada de águas pluviais contaminadas e/ou esgotos sanitários, os quais possuem características físico-químicas bastante diversificadas podendo agregar constituintes biológicos como bactérias (CAVALCANTI, 2009). Ainda, o autor

comenta que os principais constituintes das águas industriais podem ser: substâncias orgânicas, materiais flutuantes e oleosos, metais pesados, nitrogênio e fósforo, entre outros.

Na pesquisa realizada foi analisado o seguinte problema: quais as soluções adotadas para o tratamento dos efluentes sanitários e líquidos industriais gerados na indústria em análise?

Neste contexto, o objetivo principal do presente trabalho foi analisar as etapas de tratamento dos efluentes quanto à operacionalidade e eficiência, sendo os objetivos secundários da pesquisa os seguintes:

- a) Descrever a atual forma de tratamento dos efluentes gerados;
- b) Verificar a eficiência de tratamento da ETE;
- c) Avaliar uma possível proposta de melhoria para situação atual.

Esta pesquisa está delimitada ao estudo da ETE de uma indústria do ramo metal-mecânico localizada no noroeste do estado do RS.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 EFLUENTES INDUSTRIAIS

Para Jordão e Pessôa (2011), os esgotos podem ser classificados em dois grupos principais: os esgotos sanitários e os industriais. De acordo com a NBR 9800 (ABNT, 1987), efluente líquido industrial é o despejo líquido proveniente do estabelecimento industrial, sendo compreendido como efluentes do processo industrial, águas de refrigeração poluídas, águas pluviais poluídas e esgoto doméstico.

Segundo Von Sperling (2005, p.47) "Entende-se por poluição das águas a adição de substâncias ou de formas de energia que, direta ou indiretamente, alterem a natureza do corpo d'água de uma maneira tal que prejudique os legítimos usos que dele são feitos".

2.1.1 Caracterização dos efluentes

As características físicas, químicas e biológicas do efluente líquido industrial são variáveis com o tipo de indústria, diversidade dos produtos fabricados, natureza e porte da indústria, com o período de operação, tipos de matérias-primas utilizadas e do grau de tecnologia de seus processos produtivos. Assim tem-se como consequência uma grande variação na composição do efluente industrial gerado, podendo ter diversos compostos químicos distintos (NUNES, 2001; MIERZWA, 2002; MARTELO e CARAMURU, 2015; DEZOTTI, 2008).

Para Nunes (2001) e Dezotti (2008), um efluente pode conter substâncias biodegradáveis e não biodegradáveis, contaminantes inorgânicos que podem ser facilmente determinadas, como metais, substâncias orgânicas solúveis que apresentam maior dificuldades de serem determinadas, matéria solúvel ou com sólidos em suspensão, com ou sem coloração. Já Azeredo Netto (1981) considera que a maioria dos resíduos líquidos industriais podem conter: metais e compostos tóxicos ou venenosos, substâncias que causam cheiro ou gosto, substâncias corrosivas, ácidos, matéria orgânica, óleos, gorduras ou graxas, tintas e corantes, materiais flutuantes, substâncias inflamáveis, entre outros.

As determinações para caracterizar águas de abastecimento, águas residuárias, mananciais e corpos receptores são os parâmetros físicos (cor, turbidez, sabor e odor e temperatura), os químicos (pH, alcalinidade, acidez, cloretos, nitrogênio, fósforo, entre

outros) e os biológicos (bactérias, algas, fungos, protozoários, vírus e helmintos) (VON SPERLING, 2005).

Segundo Cavalcanti (2009) e Oliveira (2012), os principais constituintes relacionados às águas residuais industriais e seus inconvenientes pelo lançamento do efluente não tratado para o esgoto são agrupados da seguinte forma:

- a) Substâncias orgânicas biodegradáveis causadoras de redução de oxigênio em cursos d'água. São compostas principalmente de proteínas, carboidratos e gorduras biodegradáveis e são medidas através de análises de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio) e COT (Carbono Orgânico Total);
- b) Materiais flutuantes e oleosos que inibem o processo de aeração natural de corpos d'água;
- c) Sólidos em suspensão, cuja sedimentação poderá causar formação de bancos de lodo em rios prejudicando a vida aquática;
- d) Traços de substâncias orgânicas causadoras de gosto e odor em águas utilizadas para abastecimento;
- e) Metais pesados diversos produtos orgânicos tóxicos;
- f) Nitrogênio e fósforo aumentam os níveis de nutrientes do corpo de águas. Inaceitável nas áreas de lazer e recreação;
- g) Substâncias refratárias resistentes à biodegradação formam espumas nos rios, não são removidos nos tratamentos convencionais;
- h) Cor e turbidez que causam problemas estéticos e podem impedir a entrada da luz solar em rios e reservatórios;
- i) Materiais voláteis que causam problemas de poluição do ar.

A Tabela 1 apresenta as características dos resíduos gerados por algumas categorias de indústrias (CAVALCANTI, 2009).

Tabela 1 - Principais tipos de despejos industriais

Categorias	DBO	DQO	SST	O & G	CN	F	Fenóis	Metais Pesados
Metalurgia	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	-	Presente	-	As, Ba, B, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Se, Zn
Tintas, vernizes	Média	Média	Média	Média à alta	-	-	-	Ba, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Se, Zn
Acabamento de metais	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Presente	Presente	-	B, Cd, Cr, Co, Pa, Cu, Pb, Ni, Ag, zn
Forjaria, estamparia	Baixa	Baixa	Alta	Alta	Presente	-	-	Pb, Cu

Fonte: Adaptado de Cavalcanti (2009).

Nas indústrias também são gerados os esgotos sanitários, que provêm de instalações de banheiros, cozinhas, lavanderias, entre outros. Estas águas residuárias contêm excrementos humanos líquidos e sólidos, produtos diversos de limpeza, resíduos alimentícios e produtos desinfetantes. Os esgotos sanitários são compostos de matéria orgânica - proteínas, açúcares, óleos e gorduras, entre outros., e inorgânicas - cloretos, sulfatos, nitratos, fosfatos, entre outros. (VON SPERLING, 1996; JORDÃO e PESSÔA, 2011).

Para Von Sperling (2005), os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9 % de água e a fração restante de 0,1 % compõem-se de sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microorganismos. Ainda para o autor, a matéria orgânica encontrada no esgoto é uma característica importante, pois é causadora do principal problema de poluição para os corpos d'água: o consumo de oxigênio dissolvido pelos microorganismos nos seus processos metabólicos de utilização da matéria orgânica. Jordão e Pessoa (2011) complementam que as substâncias orgânicas presentes nos esgotos são constituídos principalmente por: proteínas (40 a 60 %), carboidratos (25 a 50 %), gorduras e óleos (8 a 12 %) e em menor quantidade: uréia, pesticidas, fenóis, metais e outros.

2.2 TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS

Carvalho *et al.* (2014) afirma que os processos de tratamento de águas residuárias são formas artificiais de depuração, remoção de poluentes e adequação dos parâmetros para torná-la própria para o lançamento e disposição final, visando preservar a qualidade dos corpos d'água receptores. Von Sperling (2005) complementa que os padrões de qualidade estão associados aos conceitos de nível e eficiência de tratamento.

Nunes (2001) e Von Sperling (2005) afirmam que dependendo das condições das águas receptoras e da eficiência dos processos de remoção dos poluentes no tratamento das águas residuárias, de forma a adequar o lançamento a uma qualidade desejada, o tratamento dos efluentes podem ser classificadas através dos seguintes níveis ou fases: tratamento preliminar; tratamento primário; tratamento secundário e tratamento terciário ou avançado, os quais serão detalhados a seguir:

Tratamento preliminar

Remove apenas sólidos em suspensão muito grosseiros, flutuantes e matéria mineral sedimentável (materiais de maiores dimensões e areia). Os processos de tratamento preliminar são os seguintes:

- Grades;
- Caixas de areia;
- Caixas de retenção de óleo e gorduras;
- Peneiras.

Tratamento primário

Remove matéria orgânica em suspensão e a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é removida parcialmente. Os processos de tratamento primário são os seguintes:

- Decantação primária ou simples;
- Precipitação química com baixa eficiência;
- Flotação;
- Neutralização.

Tratamento secundário

Remove a matéria orgânica dissolvida e em suspensão. A DBO é removida quase na sua totalidade, e dependendo do sistema adotado no processo do tratamento secundário, as eficiências de remoção são altas. Os processos são os seguintes:

- Processos de lodos ativados;
- Lagoas de estabilização;
- Sistemas anaeróbicos;

- Lagoas aeradas;
- Filtros biológicos;
- Precipitação química.

Tratamento terciário ou avançado

Quando se pretende obter um efluente de alta qualidade ou a remoção de outras substâncias contidas nas águas residuárias, como: nutrientes; organismos patogênicos; compostos não biodegradáveis; metais pesados; sólidos inorgânicos dissolvidos e sólidos em suspensão remanescentes. Os processos de tratamento terciário são os seguintes:

- Adsorção em carvão ativado;
- Osmose reversa;
- Eletrodiálise;
- Troca iônica;
- Filtros de areia;
- Remoção de nutrientes;
- Oxidação química;
- Remoção de organismos patogênicos

Para Nunes (2001), Metcalf e Eddy (2002), o tratamento das águas residuárias podem ocorrer através de processos físico-químico e tratamento biológico. A seguir será definido cada processo separadamente.

- *Processos físico-químicos:* Os processos físicos são processos de tratamento em que se aplicam fenômenos de natureza física, tais como: peneiramento, mistura, sedimentação, floculação, decantação, filtração, entre outros. Os processos químicos são processos de tratamento conseguidos através de aplicação de produtos químicos ou de reações químicas, tais como: coagulação, correção de pH/neutralização, entre outros. (CARVALHO *et al*, 2014; VON SPERLING, 2005).
- *Processos biológicos:* O tratamento biológico das águas residuárias é realizado através de atividades biológicas ou bioquímicas. O tratamento biológico é utilizado para remover substâncias orgânicas biodegradáveis, coloidais ou dissolvidas encontradas no esgoto. Os processos podem ser aeróbios ou anaeróbios, lodos ativados, lagoas de estabilização, entre outros. (NUNES, 2001; METCALF e EDDY, 2002).

2.2.1 Tratamento físico-químico

Para Cavalcanti (2009), o tratamento físico-químico pode ser utilizado como pré ou pós tratamento de efluentes industriais, objetivando:

- a) Clarificação de despejos contendo sólidos em suspensão ou partículas dispersas;
- b) Retirada parcial de carga orgânica (DBO) antes de um tratamento biológico;
- c) Remoção de metais pesados.

"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 [...]". (NUNES, 2001, p.64).

Os processos convencionais de tratamento físico-químico têm por objetivo aglutinar partículas em suspensão (1 a 100 μm) contidas em águas residuárias mediante a adição de coagulantes ou floculantes, de modo a promover a redução de sólidos em suspensão, carga orgânica e de alguns tipos de poluentes da fase líquida, transferindo-as para a fase sólida (CAVALCANTI, 2009). Ainda, conforme o autor, para que o processo de limpeza das águas residuais ocorra por métodos físico-químicos são necessários tratamentos complementares, objetivando atingir a melhor eficiência possível, que são: neutralização, coagulação, floculação e sedimentação/flotação.

A neutralização consiste na eliminação das cargas eletrostáticas superficiais responsáveis pela repulsão entre as partículas carregadas eletricamente, então, a coagulação realiza a aglomeração das partículas em suspensão com a utilização de um coagulante adequado. O mecanismo da coagulação consiste na formação de partículas floculantes (CAVALCANTI, 2009). Estas partículas, em um tanque em que a velocidade de fluxo d'água é baixo, tendem a ir para o fundo sob a influência da gravidade (VON SPERLING, 1996).

2.2.1.1 Neutralização

A necessidade da neutralização ou correção do pH do efluente é devido ao fato que a coagulação exige um valor ótimo, de pH entre 5 e 8 para o coagulante sulfato de alumínio e pH entre 5 e 11 se for utilizado cloreto férrico. Portanto, para efluentes industriais, o cloreto férrico é o coagulante mais adequado devido a sua faixa de pH, para que ocorra a formação dos flocos (NUNES, 2001).

Na prática, Cavalcanti (2009) diz que o pH é a medida da acidez ou alcalinidade da água e que é um parâmetro importante de controle, uma vez que afeta os processos de tratamento, tais como coagulação e oxidação biológica. O ajuste do pH é uma das formas para que as águas residuais industriais estejam de acordo com as aplicações requeridas a jusante, segundo os seguintes casos:

- a) Antes da descarga em um corpo d'água receptor, a legislação brasileira exige que o lançamento esteja em uma faixa de pH variando de 5 a 9, desta forma, preservando a vida aquática;
- b) Antes da descarga em sistemas públicos de esgotos sanitários, as concessionárias de serviços de saneamento exigem que o lançamento do efluente esteja em uma faixa de pH variando de 6 a 10, assim, preservando a integridade do sistema de coleta de esgoto;
- c) Antes do tratamento físico-químico o pH deve ser ajustado para as condições ótimas de, por exemplo, a remoção por precipitação de metais pesados. Para o tratamento biológico aeróbio, o pH deve ser mantido na faixa de 6,5 a 8,5 para ter boas condições de metabolização da matéria orgânica pelos microrganismos. Contudo Nunes (2001) afirma que para os sistemas anaeróbios, devido a maior sensibilidade das bactérias, o pH deve variar na faixa entre 6,3 e 7,8.

Conforme a Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente - CONSEMA nº 128/2006 (RIO GRANDE DO SUL, 2006), para atender aos padrões de emissão de descarga em um corpo d'água receptor o pH deve estar entre 6 e 9.

Ainda para Cavalcanti (2009) e Nunes (2001), a neutralização dos despejos ácidos e despejos alcalinos são conseguidos com os seguintes agentes neutralizantes:

Despejos Ácidos - $pH < 7$

- Cal - (CaO)
- Calcário - ($CaCO_3$)
- Soda cáustica - (NaOH)
- Carbonato de sódio - (Na_2CO_3)
- Hidróxido de amônia - (NH_4OH)

Despejos Alcalinos - $pH > 7$

- Ácido Sulfúrico – (H_2SO_4)
- Ácido Clorídrico - (HCl)
- Gás Carbônico – (CO_2)

Nunes (2001) afirma que a cal é o produto mais utilizado para a neutralização dos efluentes ácidos. Cavalcanti (2009) complementa que é o mais popular precipitante utilizado em tratamento de efluentes industriais com baixa alcalinidade, principalmente na remoção de metais pesados, isso devido ao seu baixo custo, sua capacidade de neutralização e seu manuseio.

O ácido sulfúrico é um acidificante muito utilizado para a neutralização dos efluentes alcalinos, porém seu manuseio merece cuidado. Contudo, atualmente vem se difundindo muito o uso de gás carbônico para a correção do pH dos efluentes alcalinos, com grande vantagem sobre os ácidos devido à manipulação do produto e à corrosão do equipamento (NUNES, 2001).

2.2.1.2 Coagulação-floculação

Para Pavanelli (2001) a coagulação é a desestabilização das partículas dispersas, obtida pela redução das forças de repulsão entre as partículas com cargas negativas, por meio da adição de produtos químicos, como sais de ferro ou de alumínio ou de polímeros sintéticos, seguidos por agitação rápida, com intuito de homogeneizar a mistura. Ainda para o autor, os principais mecanismos que atuam na coagulação são: compressão de camada difusa; absorção e neutralização; varredura e formação de pontes de hidrogênio.

A coagulação é o processo de aglomeração de partículas em suspensão finamente divididas ou em estado coloidal, pela adição de um coagulante adequado, o qual formará partículas floculantes (flocos) pela ação de um coagulante químico e que após sedimentam em decantadores (CAVALCANTI, 2009). Contudo, Nunes (2001) afirma que é possível precipitar poluentes sem ocorrer a coagulação-floculação, é necessário apenas elevar o pH com um alcalinizante (cal, por exemplo) e assim é possível precipitar metais pesados ou matérias orgânicas.

Ainda para Nunes (2001), o tratamento físico-químico por coagulação-floculação difere pouco do sistema de tratamento de água bruto para abastecimento público, e sua

concepção básica consiste em transformar em flocos, impurezas em estado coloidal, suspensões, entre outros. Pavanelli (2001) diz que, devido ao tamanho das partículas coloidais, que segundo Mierzwa (2002) podem ter dimensões desde 10^{-3} μm até 10 μm , somente a sedimentação levaria muito tempo para removê-las, devido a isso se usa o coagulante para promover a união destas partículas e promover a formação de flocos.

Na Tabela 2 Cavalcanti (2009) identifica quais os principais produtos químicos utilizados no processo de coagulação-floculação para cada faixa de pH.

Tabela 2 - Coagulantes primários e faixas de pH.

Coagulantes	Faixa de pH
Compostos de Alumínio	
Sulfato de alumínio	5-8
Compostos de Ferro	
Sulfato ferroso	8,5-11
Sulfato férrico	5-11
Cloreto férrico	5-11

Fonte: Adaptado de Cavalcanti (2009).

Após haver a coagulação, o efluente passará para uma mistura lenta com um gradiente de velocidade que deverá situar-se entre 20 e 80s^{-1} , objetivando fazer com que as partículas desestabilizadas formem flocos. A formação de flocos se dá à medida que há colisões entre as partículas. Para ocorrer uma boa sedimentação a agitação deverá ficar em torno de 30 minutos (NUNES, 2001). Contudo, nos efluentes industriais, os flocos formados necessitam de maior densidade para poder sedimentar em decantadores, então, recorre-se aos auxiliares de coagulação, que são os polímeros que aumentam a velocidade de sedimentação dos flocos e a resistência às forças cisalhantes.

Para Cavalcanti (2009), existem dois tipos de sistemas de floculação: mecânico e de chicanas ou hidráulico. Nunes (2001) complementa que no uso de chicanas o líquido efetua movimento sinuoso horizontal e vertical em que a seção horizontal deverá ser retangular, sendo a sua maior vantagem o não uso de equipamentos que consomem energia. A velocidade do líquido deve situar-se entre 0,15 e 0,45 m/s para evitar quebra dos flocos, mas recomenda-se mantê-la em 0,30 m/s. No caso do agitador mecânico, o tanque deve ter formato prismático com seção horizontal quadrada, e o fluxo do líquido deverá ser por cima e a saída por baixo

ou vice-versa. Na Tabela 3 Mierzwa (2002) apresenta as condições de operação para o processo de floculação em sistemas hidráulicos ou mecânicos.

Tabela 3 - Condição de operação dos floculadores

Parâmetro	Valor
Tempo de Agitação	≤ 30 minutos
Gradiente de Velocidade	10 s^{-1} até 100 s^{-1} 20 s^{-1} até 60 s^{-1}
Dosagem de Coagulante	10 a 50 mg/L (sulfato de Alumínio)

Fonte: Mierzwa (2002).

2.2.1.3 Decantação/sedimentação

Para Mierzwa (2002) se os processos de coagulação e floculação forem desenvolvidos adequadamente, a próxima etapa do tratamento refere-se à separação dos flocos formados, que é obtido pelo processo de sedimentação. Esta é uma operação física de separação das partículas sólidas com densidade superior à do líquido. Em um tanque em que a velocidade do fluxo d'água é baixo, as partículas tendem a ir para o fundo sob a ação da gravidade. O líquido que fica por cima torna-se clarificado, enquanto as partículas que vão para o fundo formam uma camada de lodo (VON SPERLING, 1996). Ainda, o autor comenta que as principais aplicações da sedimentação no tratamento de esgotos são:

- Tratamento preliminar. Remoção da areia - sedimentação das partículas inorgânicas de maiores dimensões;
- Tratamento primário. Decantação primária - sedimentação dos sólidos em suspensão do esgoto bruto;
- Tratamento secundário. Decantação final - remoção dos sólidos biológicos;
- Tratamento do lodo. Adensamento - sedimentação e adensamento do lodo primário e/ou do lodo biológico excedente;
- Tratamento físico-químico. Sedimentação após precipitação química.

Von Sperling (1996) e Cavalcanti (2009) comentam que o processo de sedimentação pode ser classificado em um dos quatro tipos apresentados abaixo:

TIPO 1 - Sedimentação discreta, na qual as partículas se encontram em baixa concentração na água, neste caso, as partículas permanecem inalteradas e com velocidades constantes ao longo do processo de decantação.

TIPO 2 - Sedimentação em flocos, na qual as partículas aglomeram-se à medida em que sedimentam. As características são alteradas, com o aumento do tamanho (formação de flocos), fazendo com que a velocidade de sedimentação também aumente.

TIPO 3 - Sedimentação por zona, na qual a concentração das partículas é bastante elevada, o que favorece os efeitos de interação entre as mesmas, havendo a formação de uma interface sólido-líquida bem definida.

TIPO 4 - Sedimentação por compressão, neste caso, em suspensões bastante concentradas de sólidos, a sedimentação pode ocorrer apenas por compressão da estrutura das partículas.

A separação dos sólidos formados no processo de floculação é obtida mantendo-se a águas com os sólidos por um período suficientemente adequado (tempo de detenção), em um decantador (MIERZWA, 2002). Os decantadores normalmente utilizados são dois tipos: decantador convencional de fluxo horizontal ou vertical com ou sem remoção mecanizada de lodo ou decantadores lamelares (CAVALCANTI, 2009).

2.2.2 Tratamento biológico

O tratamento biológico de esgotos, Von Sperling (1996) comenta que ocorre inteiramente pela ação de microrganismos, os quais metabolizam a matéria orgânica, sendo os principais organismos envolvidos no tratamento dos esgotos as bactérias, protozoários, fungos, algas e vermes. Destes, as bactérias são as mais importantes na estabilização da matéria orgânica. Ainda o autor comenta que as bactérias são as que estão em maior presença e importância nos sistemas de tratamento biológico, considerando que a principal função de um sistema de tratamento é a remoção da DBO.

Cavalcanti (2009) afirma que os objetivos principais do tratamento biológico são os seguintes:

- a) Remover dos despejos orgânicos, principalmente a matéria orgânica carbonácea, comumente medidos em termos de DBO, DQO e COT;
- b) Remover nutrientes, tais como nitrogênio e fósforo;
- c) Deduzir totalmente ou parcialmente compostos orgânicos de natureza tóxica.

Contudo, Mierzwa (2002) cita que entre as principais vantagens dos processos biológicos pode-se destacar a utilização para o tratamento de efluentes industriais, tecnologia bem desenvolvida e entre as desvantagens destaca-se a necessidade de pré-tratamento dos efluentes; inibição ou destruição dos microrganismos existentes, em função das diferentes características do efluente alimentado no processo.

O tratamento biológico pode se desenvolver de várias formas, todas são originadas a partir de processos que ocorrem naturalmente na natureza, os quais são acelerados em processos artificiais de tratamento devido ao controle da ação de microrganismos (CAVALCANTI, 2009). Ainda, as principais formas de degradação da matéria orgânica estão subdivididas em:

- a) Processos aeróbicos (quando existe oxigênio);
- b) Processos anaeróbicos (ausência de oxigênio);

2.2.2.1 *Processos aeróbicos*

Na indústria onde foi realizado o estudo de caso é somente utilizadas operações aeróbicas para o tratamento biológico, e Cavalcanti (2009) diz que os principais processos aeróbicos utilizados na purificação de despejos industriais são os seguintes:

- a) Lodos ativados;
- b) Lagoas aeradas;
- c) Lagoas de estabilização;
- d) Filtros biológicos.

O sistema de lodo ativado é o processo biológico aeróbico mais difundido, sendo muito utilizado na purificação de vários tipos de efluentes industriais (CAVALCANTI, 2009). Von Sperling (2005) complementa que além de ser o sistema mais amplamente adotado a nível mundial, é bastante utilizado em situações em que se deseja uma elevada qualidade do efluente com baixos requisitos de espaço.

O tratamento por lodo ativado é muito flexível, e pode-se desenvolver sob diferentes variantes, dependendo das características de cada tipo de despejo industrial, bem como a qualidade exigida para o efluente tratado. É denominado de lodo ativado a aglomeração de flocos formados pelo crescimento de várias espécies de microrganismos, a partir da matéria orgânica proveniente dos despejos e presença de oxigênio dissolvido (CAVALCANTI, 2009).

"Fundamentalmente, o processo de lodos ativados consiste na metabolização biológica da matéria orgânica de águas residuárias em um reator mantido sob condições aeróbias contendo uma fauna variada de microrganismos. O suprimento de oxigênio é feito a partir do ar atmosférico por meio de aeradores ou ar difuso, oxigênio molecular de nitratos/nitritos ou ainda diretamente com oxigênio puro" (CAVALCANTI, 2009, p.264).

Ainda conforme o autor, 95% de toda biomassa produzido dentro do reator biológico é constituído de bactérias, as quais evoluem durante o processo de lodo ativado e formam flocos biológicos, os quais se acumulam no processo de separação das fases, produzindo um efluente final clarificado.

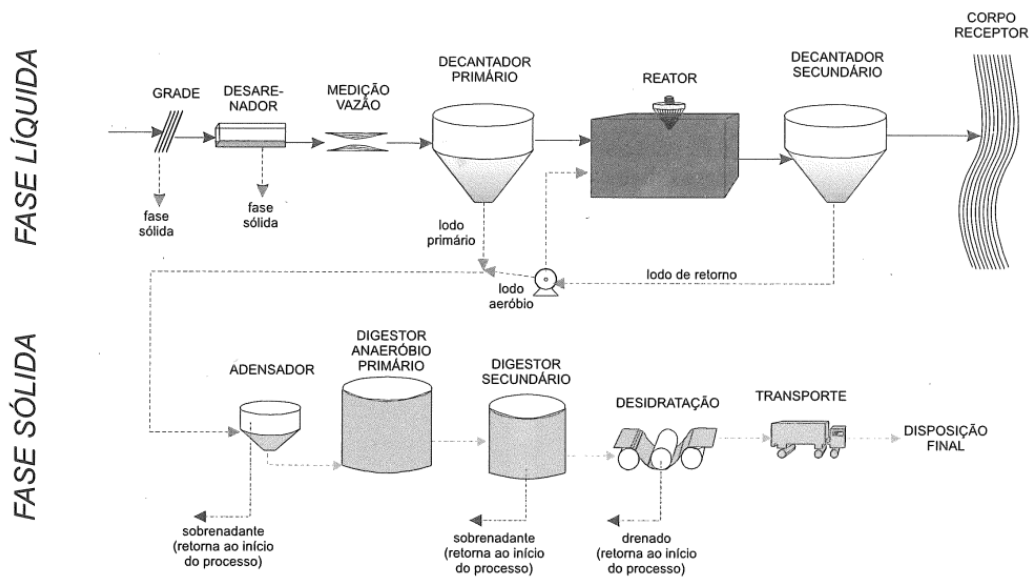
Para que ocorra a formação de flocos, Matos (2010) destaca que é necessário que as principais condições ambientais dentro dos reatores estejam controladas. Uma das condições é um meio neutro, pois caso o pH esteja alcalino ou ácido o número de grupos de microrganismos que se desenvolvem é menor, dando maior oportunidade para o predomínio de microrganismos maus formadores de flocos.

Conforme Von Sperling (2005) há diversas variantes do sistema de lodo ativado, e as principais combinações são as seguintes:

- a) Lodos ativados convencionais e aeração prolongada (fluxos contínuos);
- b) Reatores sequenciais por batelada (operação intermitente).

Para Von Sperling (2005) explica que no sistema de lodos ativados convencional o tempo de detenção do líquido é de 6 a 8 horas implicando em uma redução do volume do tanque de aeração, no entanto, devido a recirculação dos sólidos, o tempo de retenção dos sólidos no sistema, denominada idade do lodo, é da ordem de 4 a 10 dias a qual ainda requer uma etapa de estabilização, por conter ainda um elevado teor de matéria orgânica biodegradável na composição das células. Ainda conforme o autor, o sistema de lodos ativados convencional (Figura 1) têm como parte integrante também o decantador primário, no qual, parte da matéria orgânica (em suspensão, sedimentável) dos esgotos é retirada antes do tanque de aeração para se economizar energia, e ainda ocupa áreas reduzidas e tem elevadas eficiências de remoção. Cavalcanti (2009) complementa que no tanque de aeração ocorrem associados os processos de adsorção, floculação e oxidação da matéria orgânica contida nos despejos.

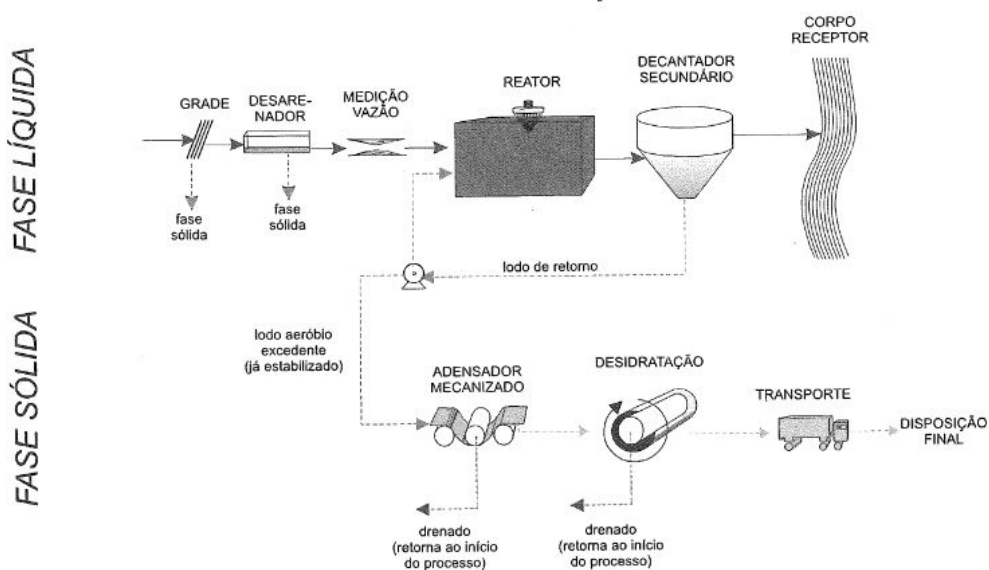
Figura 1 - Esquema do sistema de lodos ativados convencional



Fonte: Von Sperling (2005).

Para Cavalcanti (2009), a aeração prolongada é o mais popular dos processos de lodos ativados, sendo muito utilizado em tratamento de despejos industriais, pois proporciona maiores tempos de detenção, da ordem de 18 a 30 dias conforme Von Sperling (2005), além de não ser necessária a etapa de decantação primária e estabilização em separado dos lodos, conforme Figura 2.

Figura 2 - Esquema do sistema de lodos ativados com aeração prolongada



Fonte: Von Sperling (2005).

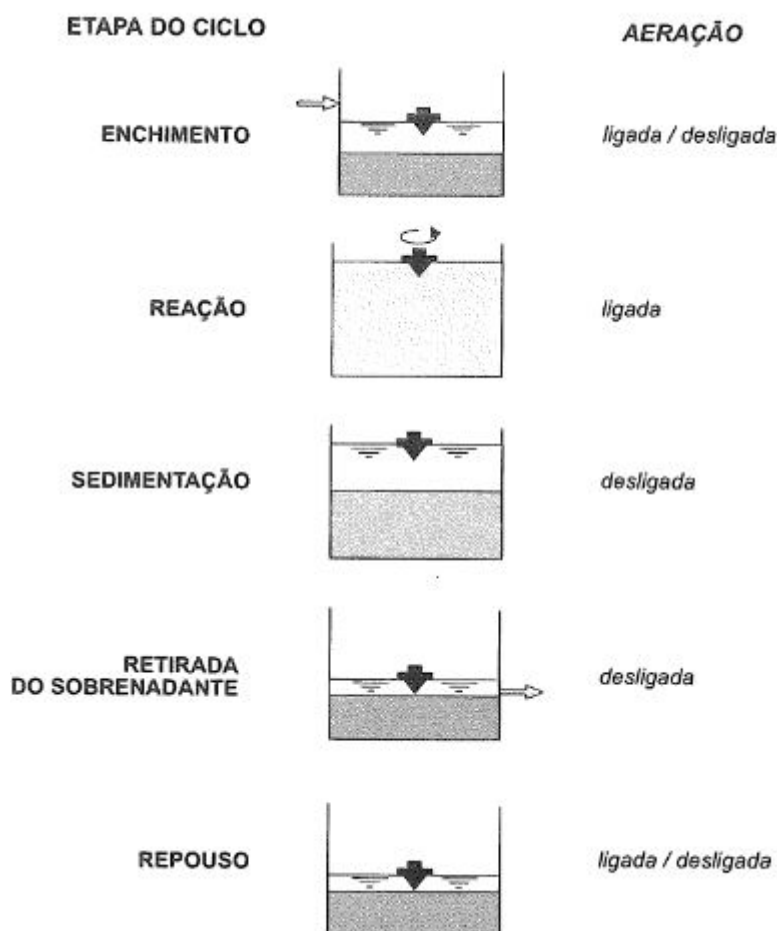
Por não haver esta necessidade de estabilização do lodo no processo de aeração prolongada, Von Sperling (2005) recomenda que se deve ter o cuidado para que não seja gerado nenhum outro tipo de lodo, que venha requerer posterior estabilização, pois os sistemas geralmente não possuem decantadores primários, obtendo-se assim uma grande simplificação no fluxo do processo. Ainda, conforme o autor, com esta simplificação no processo este sistema tem um maior gasto de energia para aeração, porém, a aeração prolongada é um dos processos de tratamento dos esgotos mais eficientes na remoção da DBO.

Diferentemente dos fluxos contínuos, a operação intermitente a partir de reatores sequenciais por batelada é formada basicamente, por reator biológico com tanque único ou múltiplo, que também funciona como um decantador secundário. A operação do fluxo é bastante simples: o esgoto é admitido até o nível pré-estabelecido no reator; é tratado e após decantado. O efluente final é retirado do reator, deixando somente o lodo biológico. Este processo pode ser repetido várias vezes por dia, dependendo vazão de efluente a ser tratado (KAMIYAMA, 1989).

No reator por batelada são incorporadas todas as etapas do processo de lodos ativados convencional, incluindo aeração, decantação e descarte do lodo. A massa biológica permanece no reator durante todas as etapas, eliminando assim a necessidade de um decantador secundário (CAVALCANTI, 2009; VON SPERLING, 2005). Ainda, as etapas normais de tratamento do ciclo, conforme representado na Figura 3, no mesmo reator são:

- a) Enchimento;
- b) Reação (aeração);
- c) Sedimentação;
- d) Retirada do efluente tratado;
- e) Repouso.

Figura 3 - Ciclos do processo de operação por batelada



Fonte: Von Sperling (2005).

2.2.3 Tratamento e disposição final do lodo

RUBIM (2013) destaca que o tratamento adequado para o lodo depende de fatores como tecnologia, da disposição final e do espaço físico disponível, sendo estes importantes para alterar ou melhorar as características físicas, químicas e biológicas deste resíduo.

Para Von Sperling e Gonçalves (2001) o termo lodo tem sido usado para designar os subprodutos sólidos do tratamento de esgotos como: lodo primário, lodo secundário e lodo químico. A produção do lodo que é gerado é função do sistema de tratamento utilizado para a fase líquida. Em princípio, todos os processos de tratamento biológico geram lodo, denominado lodo biológico ou lodo secundário. Ainda para os autores, em sistemas de tratamento que incorporam uma etapa físico-química, quer para melhorar o desempenho do decantador ou para dar um polimento ao efluente secundário, tem-se o lodo químico.

Em todos estes casos, é necessário o descarte do lodo, ou seja, a retirada da fase líquida, porém, nem todos os sistemas de tratamento de esgotos necessitam do descarte contínuo desta biomassa, como as lagoas facultativas, que podem armazenar o lodo por todo o horizonte de operação e outros que necessitam apenas um descarte apenas eventual, como exemplo dos reatores anaeróbio. O lodo biológico excedente, com origem em reatores aeróbios e lodos ativados convencionais, compreende a biomassa de microorganismos aeróbios gerados às custas da remoção da matéria orgânica dos esgotos, a qual está em constante crescimento, em virtude da entrada contínua nos reatores biológicos. Para manter este sistema em equilíbrio, aproximadamente a mesma massa de sólidos gerada deve ser removida. Caso não seja removida, ela tende a se acumular, podendo eventualmente sair com o efluente final, prejudicando sua qualidade em termos de sólidos em suspensão e matéria orgânica (VON SPERLING e GONÇALVES, 2001).

Silva *et al.* (2001) afirma que algumas águas residuárias apresentam componentes em proporções variáveis no lodo, que podem ser orgânicos e minerais que conferem características fertilizantes ao lodo e os indesejáveis que são caracterizados por apresentarem riscos sanitários e ambientais e podem ser agrupados em: metais pesados, poluentes orgânicos variados e microorganismos patogênicos. Estes componentes presentes no lodo são muito variáveis, pois estão ligados às características do esgoto bruto e do sistema de tratamento.

2.2.3.1 Tratamento do lodo

O principal objetivo do tratamento do lodo é, segundo RUBIM (2013), gerar um produto mais estável e com menor volume, facilitando assim seu manuseio e, conseqüentemente, reduzir os custos nos processos subsequentes. Von Sperling (2005) destaca que as principais etapas de tratamento do lodo são:

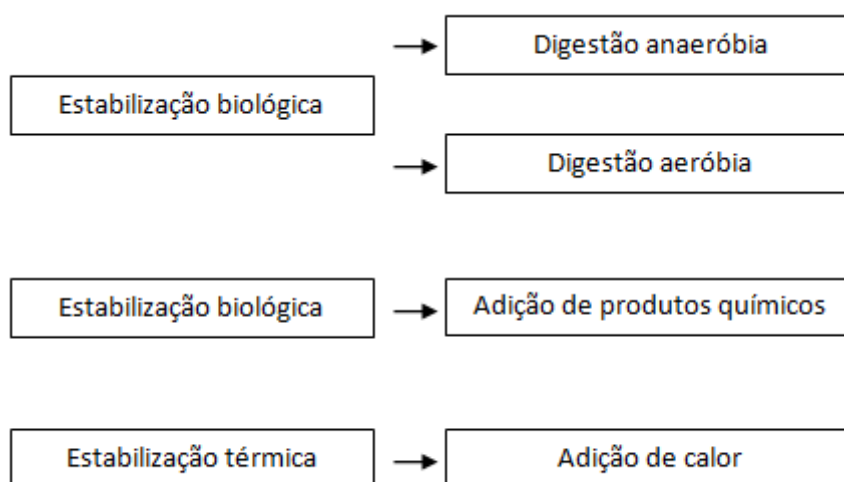
- a) Adensamento ou espessamento;
- b) Estabilização;
- c) Condicionamento
- d) Desaguamento ou desidratação;
- e) Higienização;
- f) Disposição final.

Segundo Jordão e Pessôa (2011), o adensamento do lodo consiste no aumento da concentração de sólidos através da remoção parcial da quantidade de água, ou seja, é a

redução do volume do lodo para o manuseio, processamento e destino final. Conforme os autores, para o processo de remoção da água contida no lodo podem ser usados os seguintes tipos: adensador por gravidade e adensador por flotação, ou adensadores com o auxílio de esforços mecânicos como centrífugas e prensas.

Os processos de estabilização do lodo tem o objetivo de estabilizar a fração biodegradável da matéria orgânica presente no lodo, reduzindo ou eliminando o risco de deterioração e, conseqüentemente, seu potencial de produção de odores, bem como diminuir a concentração de microorganismos patogênicos (LUDUVICE, 2001; FERNANDES e SOUZA, 2001). Para Luduvic (2001), os principais processos de estabilização de lodos podem ser divididos em estabilização biológica, estabilização química e estabilização térmica, conforme demonstrado na Figura 4.

Figura 4 - Principais processos de estabilização de lodos



Fonte: Luduvic (2001).

O condicionamento do lodo é uma etapa prévia a desidratação e pode ser realizado através da utilização de produtos químicos, na qual os mais utilizados são o cloreto férrico e a cal virgem/hidratada, ou processos físicos ou o tratamento térmico. O tipo de condicionamento influencia diretamente a eficiência dos processos de desidratação (GONÇALVES *et al.*, 2001). Gonçalves, Luduvic e Von Sperling (2001) afirmam que o condicionamento visa modificar o tamanho e a distribuição das partículas, as cargas de superfície e a interação das partículas no lodo e, quanto maior a superfície das partículas, maior será o grau de hidratação, a demanda por produtos químicos e a resistência ao desaguamento.

Segundo Gonçalves *et al.* (2001) a desidratação do lodo é uma operação que reduz o volume do lodo por meio da redução de seu teor de umidade. As principais razões para realizar a desidrataação são:

- redução do custo de transporte para o local de disposição final;
- melhoria nas condições de manejo do lodo, pois, desaguado o lodo é mais facilmente transportado;
- aumento do poder calorífico do lodo por meio da redução da umidade com vistas à preparação para incineração;
- redução do volume para disposição em aterro sanitário ou reuso na agricultura.

Gonçalves, Luduvise e Von Sperling (2001) afirmam que a desidrataação do lodo pode ser realizada por meios naturais ou mecanizados. Os processos naturais utilizam a evaporação e a percolação como principal mecanismo para a remoção da água, os quais necessitam maior tempo de exposição para a desidrataação. Apesar de tais processos demandarem maiores áreas e volumes para a instalação, são operacionalmente mais baratos e simples. Em contrapartida, os processos mecanizados baseiam-se em operações, tais como filtração, compactação ou centrifugação para acelerar a desidrataação, tornando assim as unidades mais compactas e sofisticadas, sob o ponto de vista de operação e manutenção. Os principais processos utilizados para a desidrataação do lodo são: leitos de secagem, lagoas de lodos, centrífugas, filtros a vácuo, prensas desaguadoras e filtros prensas.

Na indústria onde foi realizado o estudo de caso, o processo utilizado na desidrataação do lodo gerado é o filtro prensa, que segundo Gonçalves, Luduvise e Von Sperling (2001) foram desenvolvidos para uso industrial e em seguida adaptados para serem usados na desidrataação do lodo. São equipamentos que operam em batelada, e tem como característica principal seu alto grau de confiabilidade. Gonçalves *et al.*(2001) destaca que as principais vantagens do filtro prensa são:

- torta com alta concentração de sólidos;
- elevada captura de sólidos;
- qualidade do efluente líquido;
- baixo consumo de produtos químicos para o condicionamento do lodo.

Giordano (2004) destaca como desvantagem do filtro prensa é que o sistema deve ser desligado para a remoção das tortas de lodo a cada ciclo de operação, ou seja, é um sistema descontínuo.

Para Pinto (2001) o processo de higienização do lodo nas estações de tratamento de efluentes tem como objetivo garantir um nível de patogenicidade no lodo, que, se disposto no solo, não venha a causar riscos à saúde da população e impactos negativos ao meio ambiente.

2.2.3.2 *Disposição final do lodo*

Um dos grandes problemas ambientais verificados refere-se à disposição final do lodo gerado pelos sistemas de tratamento de efluentes (PAGANINI, 2009). O autor expõe que, seja qual for a alternativa adotada para o tratamento, todos os processos conhecidos geram lodo.

Jordão e Pessôa (2011) afirmam que o destino final do lodo gerado nas estações de tratamento é apresentado como um dos principais problemas da sequência coleta, tratamento e disposição final. Antes de se decidir sobre a forma e o local de destino final, alguns aspectos deverão ser observados, como:

- produção e caracterização do lodo gerado na estação de tratamento;
- presença de esgotos industriais no sistema, capaz de atribuir características especiais ao lodo;
- quantidade de lodo gerado na estação de tratamento;
- características especiais que possam interferir com o sistema de disposição final, de natureza física, química e biológica.

Para Paganini (2009); Jordão e Pessôa (2011), quanto maior o sistema de tratamento, maior é a dificuldade para dispor o lodo gerado. Várias alternativas possíveis para a disposição final podem ser relacionadas, como:

- disposição do lodo no solo para fins agrícolas;
- aterros sanitários;
- compostagem;
- condicionadores de solo;
- incineração;

- reuso industrial para a produção de agregados leves para a construção civil, incorporação do lodo à fabricação de cimento e de produtos cerâmicos;
- lançamento no oceano.

Para Iwaki (2014), o reaproveitamento do lodo na agricultura demonstra ser a melhor opção para o destino final do mesmo, pois reduz a exploração de recursos naturais para fabricação de fertilizantes e proporciona bons resultados econômicos. Porém, a Resolução do CONAMA nº 375/2006 (BRASIL, 2006) diz que a qualidade do lodo gerado em estações de tratamento de esgotos sanitários utilizado na agricultura deve estar assegurada a fim de evitar riscos a saúde pública e ao meio ambiente. Ainda o artigo 3º desta Resolução determina que, os lodos gerados, para ter aplicação agrícola, deverão ser submetidos a processos de redução de patógenos. Esta Resolução não é aplicada ao lodo gerado em estações de tratamento de efluentes de processos industriais, apenas esgotos domésticos.

Para a disposição do lodo em aterros sanitários, Ludovice e Fernandes (2001) comentam que não existe a preocupação em se recuperar os nutrientes ou de se utilizar o lodo para uma finalidade útil. A disposição do lodo em aterros sanitários requer uma adequação entre as características do lodo e as do aterro, e, de modo geral, duas modalidades podem ser consideradas:

- aterros sanitários exclusivos: nos quais só é disposto o lodo, sendo um aterro adequado às características do resíduo;
- co-disposição com resíduos sólidos urbanos: onde o lodo é misturado aos resíduos sólidos domiciliares. O inconveniente desta alternativa, é a redução da vida útil do aterro.

2.3 LEGISLAÇÃO REFERENTE À EFLUENTES INDUSTRIAIS

Almeida (2011) afirma que as atividades industriais podem trazer vários problemas ambientais e consequentemente riscos a saúde do ser humano se não forem tomadas medidas quanto ao tratamento dos efluentes industriais. No Brasil existem leis e decretos em nível federal, estadual e municipal que regulam os parâmetros e limites de emissão de efluentes no meio ambiente, os quais são cada vez mais rígidos e monitorados pelos órgãos governamentais.

Em nível federal, o artigo 16 da Resolução do CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011) estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. A Resolução determina que quando ocorrer a inexistência de legislação ou norma específica para o lançamento indireto do efluente no corpo receptor devem ser observadas o que esta norma dispõe. A mesma também determina que qualquer fonte poluidora somente poderá lançar seus efluentes diretamente nos corpos receptores após devido tratamento e que obedeçam às condições e padrões previstas e resguardadas outras exigências cabíveis, conforme descrito abaixo:

I - condições de lançamento de efluentes:

- a) pH entre 5 a 9;
- b) Temperatura: inferior a 40 °C;
- c) Materiais sedimentáveis: até 1 mL/L;
- d) Regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária da fonte poluidora, exceto nos casos permitidos pela autoridade;
- e) Óleos minerais: até 20 mg/L;
- f) Óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L;
- g) Ausência de materiais flutuantes;
- h) DBO 5 dias a 20 °C: remoção mínima de 60 % de DBO

II - Padrões de lançamentos de efluentes, conforme especificado na Tabela 4:

Tabela 4 - Padrões de lançamento de efluentes CONAMA nº 430/2011

TABELA I	
Parâmetros inorgânicos	Valores máximos
Arsênio total	0,5 mg/L As
Bário total	5,0 mg/L Ba
Boro total (Não se aplica para o lançamento em águas salinas)	5,0 mg/L B
Cádmio total	0,2 mg/L Cd
Chumbo total	0,5 mg/L Pb
Cianeto total	1,0 mg/L CN
Cianeto livre (destilável por ácidos fracos)	0,2 mg/L CN
Cobre dissolvido	1,0 mg/L Cu
Cromo hexavalente	0,1 mg/L Cr ⁺⁶
Cromo trivalente	1,0 mg/L Cr ⁺³
Estanho total	4,0 mg/L Sn
Ferro dissolvido	15,0 mg/L Fe
Fluoreto total	10,0 mg/L F
Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn
Mercúrio total	0,01 mg/L Hg
Níquel total	2,0 mg/L Ni
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N
Prata total	0,1 mg/L Ag
Selênio total	0,30 mg/L Se
Sulfeto	1,0 mg/L S
Zinco total	5,0 mg/L Zn
Parâmetros Orgânicos	Valores máximos
Benzeno	1,2 mg/L
Clorofórmio	1,0 mg/L
Dicloroeteno (somatório de 1,1 + 1,2cis + 1,2 trans)	1,0 mg/L
Estireno	0,07 mg/L
Etilbenzeno	0,84 mg/L
fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,5 mg/L C ₆ H ₅ OH
Tetracloroeto de carbono	1,0 mg/L
Tricloroeteno	1,0 mg/L
Tolueno	1,2 mg/L
Xileno	1,6 mg/L

Fonte: Brasil (2011).

Em nível estadual adota-se a Resolução do CONSEMA nº 128/2006 (RIO GRANDE DO SUL, 2006), considerando a necessidade de preservar a qualidade ambiental, de saúde pública, dos recursos naturais e a readequação da forma de controle e fiscalização, fixa critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes poluidoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Os padrões dispostos pela Resolução são os descritos abaixo na Tabela 5.

Tabela 5 - Padrões de lançamento de efluentes CONSEMA nº 128/2006

Parâmetros	Valores máximos
Alumínio	10,0 mg/L
Ferro	10,0 mg/L
Boro	5,0 mg/L
Níquel	1,0 mg/L
Chumbo	0,2 mg/L
Zinco	2,0 mg/L
Manganês	1,0 mg/L
pH	entre 6 e 9
DBO ₅	110 mg O ₂ /L
DQO	330 mg O ₂ /L
Sólidos suspensos totais	100 mg/L
Fósforo	3 mg/L ou 75% de eficiência
Nitrogênio total Kjeldahl	20 mg/L ou 75% de eficiência
Nitrogênio amoniacal	20 mg/L ou 75% de eficiência
Coliformes termotolerantes	10.000 NMP/100 ml ou 95% de eficiência
Subs. tensoativas reag. Azul metileno	2,0 mg MBAS/L
Óleos e graxas minerais	≤ 10,0 mg/L
Óleos e graxas vegetal ou animal	≤ 30,0 mg/L
Cor real	Não deve conferir mudança de coloração
Espumas	Virtualmente ausentes
Temperatura	< 40°C
Odor	Livre de odor desagradável
Materiais flutuantes	Ausentes

Fonte: Rio Grande do Sul (2006).

Considerando o contínuo desenvolvimento tecnológico e a identificação de novas substâncias tóxicas que conferem periculosidade à saúde pública e ao meio ambiente, a Resolução CONSEMA nº 129/2006 (RIO GRANDE DO SUL, 2006) fixa critérios e padrões de emissão relativo a toxidade de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul, e, para fontes poluidoras já existentes devem ser observados os padrões estabelecido na Tabela 6.

Tabela 6 - Padrões de lançamento de efluentes CONSEMA nº 129/2006

Efluentes de fontes poluidoras exceto domésticos $100 \text{ m}^3/\text{dia} \leq Q_{\text{máx eflu}} < 500 \text{ m}^3/\text{dia}$	• <u>Prazo de até 4 anos</u>: padrão de emissão para toxidade a ser definido, em fator de toxidade, caso a caso, em função da vazão do efluente; • <u>Prazo de até 8 anos</u>: o efluente não deve apresentar toxidade aguda; • <u>Prazo de até 10 anos</u>: o efluente não deve apresentar toxidade crônica; • <u>Prazo de até 12 anos</u>: o efluente não deve apresentar genotoxidade.
---	--

Fonte: Rio Grande do Sul (2006).

3 MÉTODO DE PESQUISA

Conforme Fonseca (2012) a metodologia científica orienta os procedimentos ordenados e racionais, base da formação profissional e dos estudiosos. Os trabalhos científicos mais comuns são: resenha, revisão bibliográfica, projeto de pesquisa, monografia, dissertação e tese (FONSECA, 2012).

A autora define que um projeto de pesquisa é a primeira etapa de qualquer pesquisa a ser desenvolvida e nela constam elementos como delimitação, fontes, metodologias, cronogramas, entre outros.

3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

Para Fonseca (2012), a pesquisa é uma atividade para a solução de problemas, partindo de uma dúvida ou de um problema, buscando uma resposta ou solução, a partir do uso do método científico. A pesquisa também pode ser uma forma de obter conhecimento e descobertas sobre um determinado assunto ou fato (FONSECA, 2012).

A pesquisa científica visa conhecer cientificamente um determinado assunto, devendo ser sistemática, metódica e crítica, e o resultado da pesquisa deve contribuir para o avanço do conhecimento humano (PRODANOV e FREITAS, 2013).

Do ponto de vista dos objetivos, uma pesquisa descritiva é caracterizada quando o pesquisador observa, registra, analisa, classifica e interpreta dados e fatos sem manipulá-los, isto é, sem interferência do pesquisador e, em geral assume a forma de levantamento de dados (PRODANOV e FREITAS, 2013).

Para Fonseca (2012), a pesquisa descritiva representa uma realidade como esta se apresenta, sendo conhecida e interpretada por meio da observação, registro e da análise dos fatos ou fenômenos.

Os dados da pesquisa descritiva ocorrem em seu *habitat* natural e pode ter entre outros o seguinte objetivo: "Fazer um estudo de caso sobre um determinado indivíduo, comunidade ou empresa" (FONSECA, 2012, p.22).

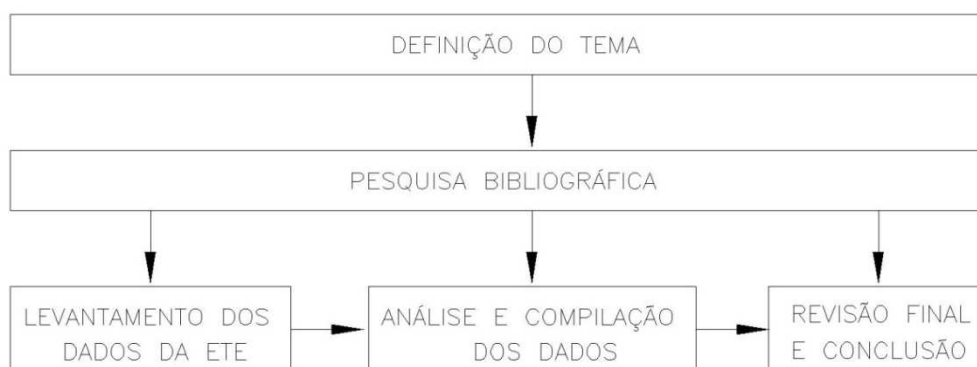
Uma pesquisa exploratória, do ponto de vista de seus objetivos, tem a finalidade de proporcionar mais informações sobre o assunto que será investigado e, em geral assume pesquisas bibliográficas e estudos de caso (PRODANOV e FREITAS, 2013).

Conforme Prodanov e Freitas (2013), o estudo de caso consiste em coletar e analisar informações a fim de estudar aspectos variados, de acordo com o assunto da pesquisa. Ainda, segundo o autor, é um tipo de pesquisa qualitativa e/ou quantitativa, compreendida como um tipo de investigação que tem como objetivo o estudo de uma forma aprofundada, podendo ser um grupo de pessoas, comunidade, entre outros.

3.2 DELINEAMENTO

O delineamento da pesquisa será realizado conforme demonstrado na Figura 5.

Figura 5 - Delineamento da pesquisa



Fonte: Próprio autor (2016).

A definição do tema ocorreu a partir de uma conversa com o engenheiro responsável da ETE na empresa onde foi realizada a pesquisa, na qual, foi apresentada a intenção de realizar um estudo sobre o tratamento dos efluentes gerados. O técnico demonstrou interesse, juntamente com a empresa, em desenvolver esta pesquisa com a finalidade de elaborar um referencial bibliográfico do atual funcionamento da ETE, haja visto que não há documento semelhante disponível.

A pesquisa bibliográfica foi realizada em livros do acervo da biblioteca da Unijuí, artigos, revistas e em periódicos da CAPES bem como publicações oficiais referente ao tema.

O levantamento dos dados referente a operação e funcionamento da ETE foi feita a partir de visitas ao local, verificando os procedimentos e métodos utilizados, com informações

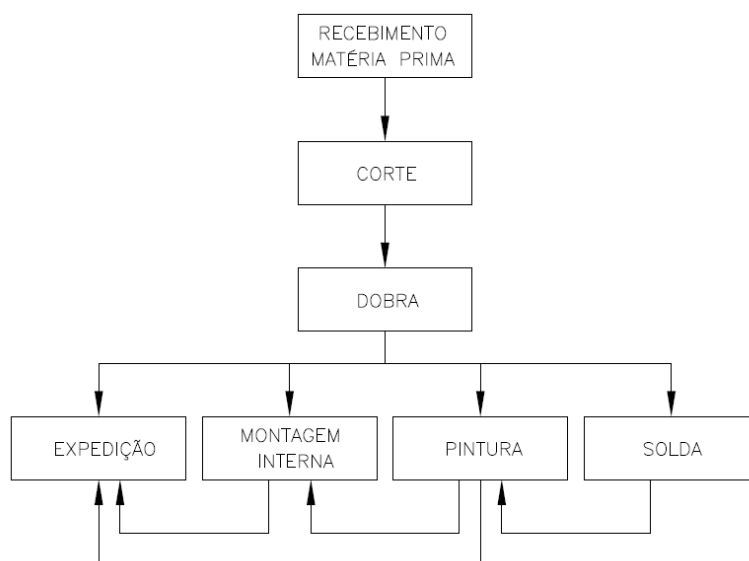
colhidas juntamente com o responsável técnico e laudos emitidos sobre a qualidade da água a ser descartada ao meio ambiente.

Todas as informações coletadas foram analisadas e compiladas para realizar o relatório final do trabalho de conclusão de curso, no qual está descrito a atual forma de tratamento dos efluentes para, a partir disso, avaliar se há possibilidades de melhorias no sistema.

3.3 ESTUDO DE CASO

A pesquisa foi realizada em uma empresa do ramo metal-mecânica localizada no noroeste do RS, a qual coleta e trata seus efluentes sanitários e industriais gerados durante os processos produtivos. As principais etapas de produção consistem em processos como corte, dobra, solda, pintura e montagem, de equipamentos utilizados na limpeza, secagem e armazenagem de grãos, conforme demonstrado no fluxograma da Figura 6.

Figura 6 - Fluxograma de produção



Fonte: Próprio autor (2016).

A coleta dos dados originou-se a partir das análises de laudos dos parâmetros dos efluentes tratados na ETE, os quais são coletados e analisados por laboratórios credenciados ao Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) e a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM). Os ensaios e análises necessários estão descritos na licença ambiental de operação da empresa, conforme especificado no anexo A, que dispõe sobre os condicionantes referentes ao tratamento de efluentes líquidos industriais e sanitários. Além disso, prevê também que para realizar o

lançamento do efluente tratado em um corpo d'água receptor, o mesmo deve atender as Resoluções do CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011) e do CONSEMA nº 128/2006 e nº 129/2006 (RIO GRANDE DO SUL, 2006). Ainda, os dados utilizados para a análise dos resultados foram obtidos em vistorias na empresa, a fim de caracterizar a origem dos efluentes tratados e também em visitas à ETE, com observações e análise das etapas de tratamento.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES NA INDÚSTRIA

3.4.1 Pontos de geração de efluentes líquidos

Os efluentes que são tratados na ETE gerados pela indústria são caracterizados como efluentes sanitários e industriais. Os efluentes sanitários gerados provêm da utilização dos banheiros, limpeza de fossas e esgotos gerais e da caixa de gordura do restaurante. O efluente industrial é gerado nos processos de pintura e lavagem da oficina de empilhadeiras, conforme Figura 7.

Figura 7 - Oficina de empilhadeiras



Fonte: Próprio autor (2016).

As águas residuárias provenientes do processo de pintura são geradas a partir da utilização de quatro cabines de pintura, das quais, duas são com cortina d'água conforme Figura 8, com um volume total de 26 m³ de água, e duas com leito d'água conforme Figura 9, com um volume total de 30 m³. O descarte deste efluente para tratamento na ETE varia conforme a sazonalidade do volume de produção e tempo de utilização das cabines.

As cabines de pintura são utilizadas nos processos de aplicação de tinta líquida com o intuito de reter o maior número de particulados, diminuir o desperdício de tinta e evitar a

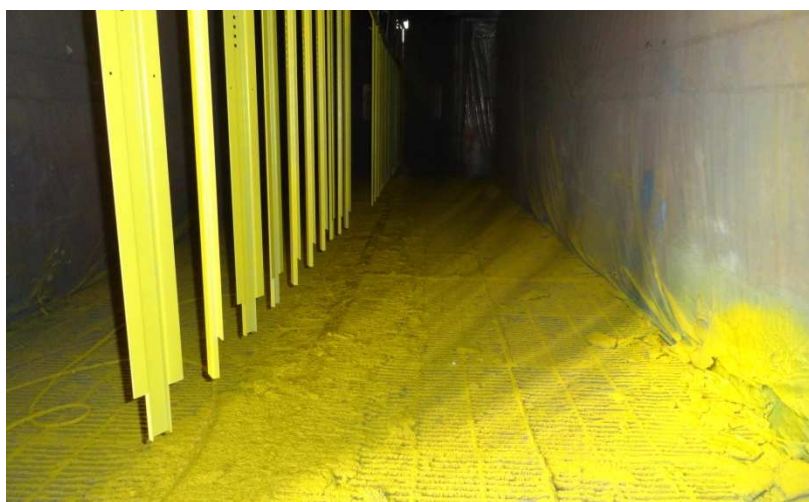
emissão ao meio ambiente. A formação das partículas ocorre quando a tinta entra em contato com a água presente nas cabines, a qual é tratada quimicamente com um coagulante a base de água, Poliacrilamina e Propenamida que tem a função de aglutinar as partículas formando a borra de tinta.

Figura 8 - Cabine de pintura com cortina d'água



Fonte: Próprio autor (2016).

Figura 9 - Cabine de pintura com leito d'água



Fonte: Próprio autor (2016).

Além do efluente das cabines de pintura, são destinados à ETE residual líquido gerado na cabine de desengraxe e de enxágue, conforme Figura 10. O processo de desengraxe é realizado em uma cabine que tem um volume de água de 6 m³. O descarte deste material é

realizado entre um intervalo de tempo que varia de 45 a 60 dias e o produto utilizado para realizar este processo é uma solução contendo Ácido Fosfórico e Fosfato Ácido de Sódio. Na etapa de enxágue o volume total de água utilizada é de 3 m³, sendo o descarte realizado a cada 7 (sete) dias e o produto utilizado para este processo é a Trietanolamina.

Figura 10 - Cabine de desengraxe e enxágue



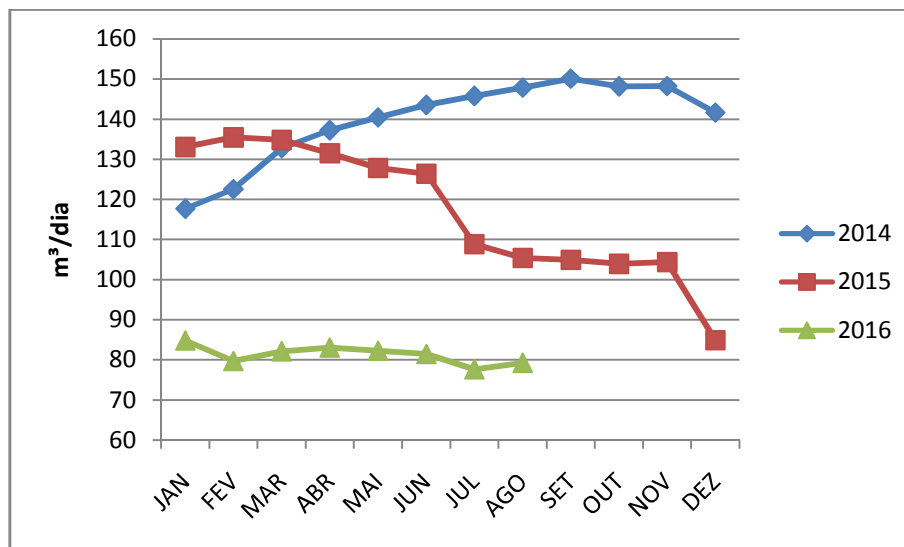
Fonte: Próprio autor (2016).

3.4.2 Vazão

Conforme a licença ambiental de operação, a vazão máxima permitida para o lançamento dos efluentes líquidos industriais e sanitários gerados é de 250 m³/dia, porém a vazão de pico não poderá ultrapassar 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor. A vazão de efluentes líquidos tratados no período em que foi realizada a pesquisa variava em torno de 60 m³/dia, número medido em um hidrômetro digital localizado no final da etapa de tratamento da ETE, o qual indica a vazão total lançada ao corpo hídrico receptor.

O volume total do efluente sanitário que chega até a ETE não tem como medir efetivamente, pois não há dispositivo para fazer a leitura dos dados instalado no local. Portanto, utilizou-se o valor de contribuição diária de esgoto de uma pessoa para uma fábrica em geral, que a NBR 7229 (ABNT, 1993) determina como sendo de 70 L/pessoa/dia, para o cálculo do volume total estimado de efluente sanitário que é destinado para tratamento, conforme Figura 11.

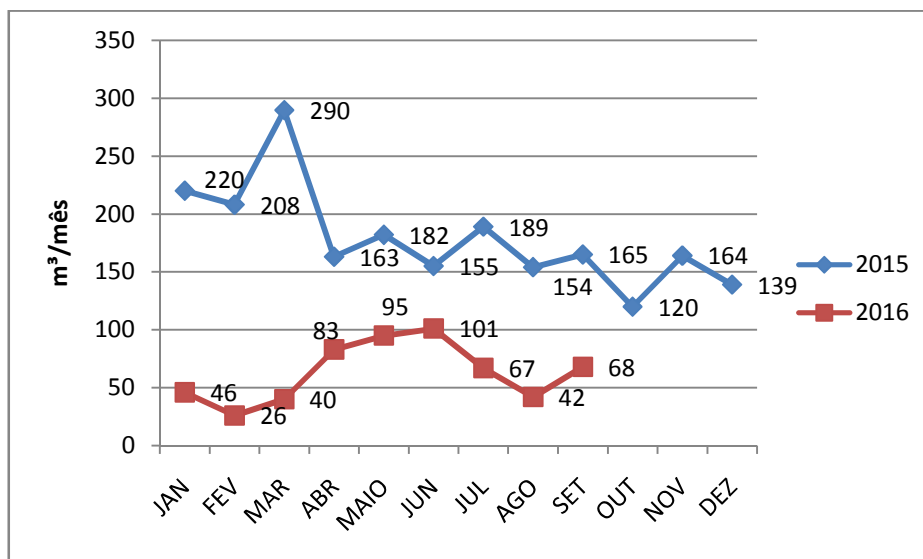
Figura 11 - Estimativa de volume de esgoto gerado



Fonte: Próprio autor (2016).

O volume total do efluente industrial gerado (Figura 12) é determinado a partir de leituras diárias iniciais e finais dos tanques de acúmulo, definindo assim o volume total que chega a ETE e a quantidade que foi tratada de cada tanque. Estes dados começaram a ser coletados somente a partir de 2015.

Figura 12 - Volume total de efluente industrial gerado



Fonte: Próprio autor (2016).

3.4.3 Poluentes do efluente

Os principais poluentes que encontrou-se no efluente em análise são: coliformes termotolerantes, materiais flutuantes, substâncias surfactantes (detergentes), entre outros,

provenientes basicamente da utilização dos sanitários, caixa de gordura do restaurante e os de características industriais, provenientes dos processos de pintura. Os principais contaminantes encontrados nas tintas de maior utilização no processo são: Tetraoxicromato de zinco, Dióxido de Titânio, Cromato de chumbo, Octoato de Chumbo, Óxido de Zinco, Cromato Molibdato de chumbo, Vermelho de Cromo e Óxido de ferro vermelho (KILLING, 2011).

3.4.4 Parâmetros de controle

Os principais parâmetros ajustados e tratados que são controlados com análises laboratoriais que estão presentes nos efluentes líquidos industriais estão descritos na Tabela 7. Estes parâmetros estão descritos na licença ambiental de operação da empresa como passíveis de controle.

Tabela 7 - Principais poluentes

Cor Verdadeira
DBO ₅
DQO
Fósforo total
Materiais flutuantes
Nitrogênio amoniacal
Nitrogênio total (Kjeldahl)
Óleos e graxas minerais
Sólidos suspensos totais
Substâncias tensoativas que reagem ao azul de metileno - MBAS (surfactantes)
Espumas
Odor
pH
Temperatura
Coliformes termotolerantes
Alumínio total
Chumbo total
Ferro total
Manganês total
Níquel total
Zinco total
Boro total

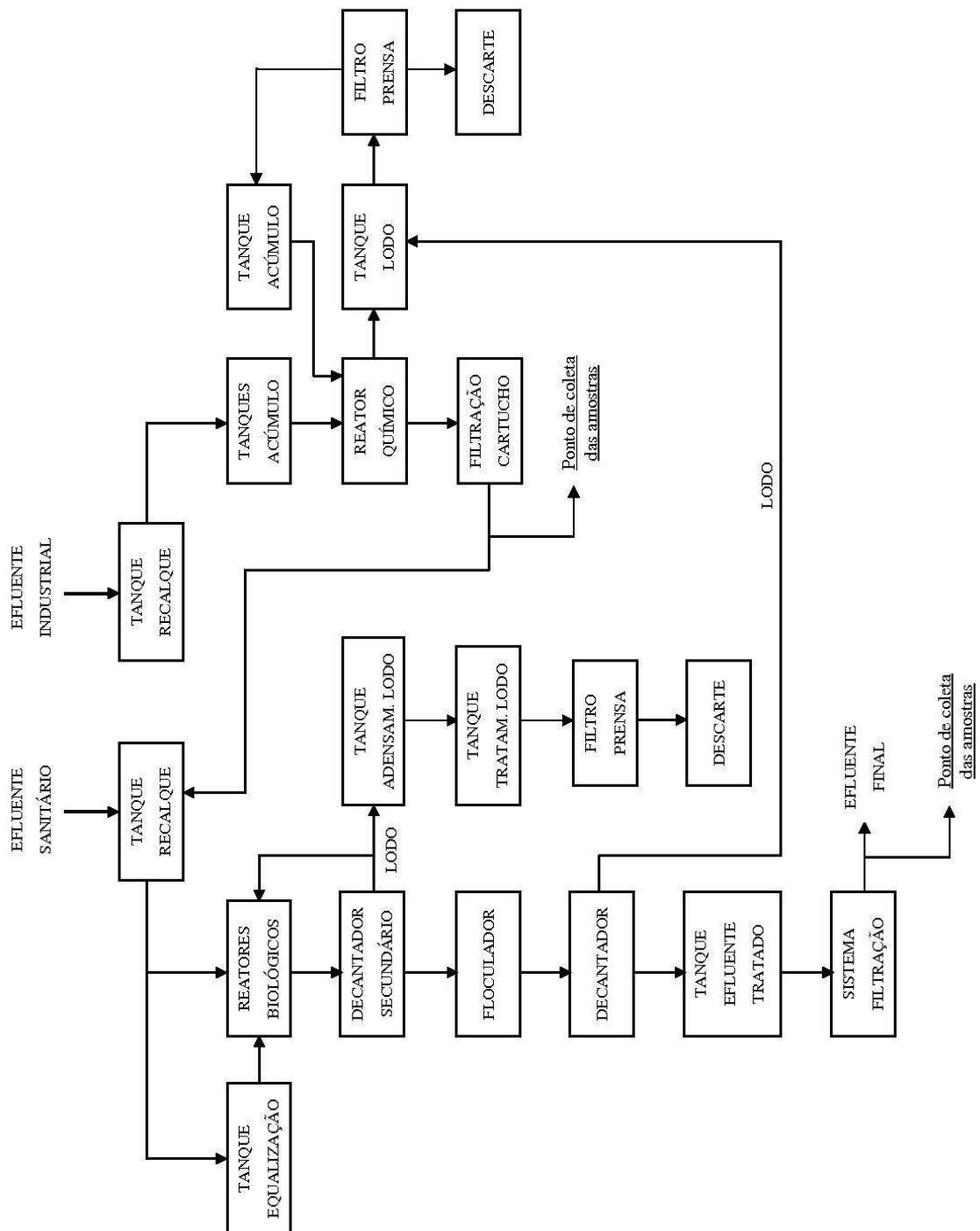
Fonte: Próprio autor (2016).

3.5 ANÁLISE DAS ETAPAS DE TRATAMENTO DOS EFLUENTES

Inicialmente, todos os efluentes gerados são destinados a estações elevatórias e posteriormente encaminhados por gravidade via tubulação até a ETE. Os efluentes industriais

e sanitários são tratados inicialmente separados, juntando-se as vazões no decorrer do processo. São utilizados processos aeróbios, de floculação e decantação para eliminar os poluentes presentes, o lodo formado é descartado por uma empresa especializada, a qual dá o seu destino final. Todas as etapas de tratamento estão especificadas no fluxograma da Figura 13.

Figura 13 - Fluxograma da ETE



Fonte: Próprio autor (2016).

Etapas de tratamento do efluente industrial

Os efluentes industriais gerados que chegam até a ETE são destinados a um tanque de recalque e após bombeado até os 3 (três) tanques de acúmulo disponíveis com um volume total de armazenagem de 150 m³, conforme Figura 14.

Figura 14 - Tanques de acúmulo do efluente industrial



Fonte: Próprio autor (2016).

O efluente industrial armazenado é bombeado e tratado em um reator aeróbio por batelada (Figura 15), com um capacidade total de tratamento de 10 m³. Para tratar este volume é necessário um turno de 8,8 h e são utilizados os seguintes insumos e concentrações para um volume de 1 m³ de água, conforme identificado na Tabela 8. A mistura destes insumos ocorre pela agitação do líquido a partir da insuflação de ar no reator químico.

Tabela 8 - Insumos e concentrações para o tratamento dos efluentes

INSUMO	SOLUÇÃO (%)	QUANTIDADE (Kg/1 m ³)	CUSTO DO INSUMO R\$/Kg
Carbonato de Cálcio (CAL)	2	20	1,21
Polímero Aniônico (BIOFLOC)	2,5	25	3,30
Policloreto de Alumínio (PAC)	5	50	2,85
Carvão Ativado	0,1	1	6,88

Fonte: Próprio autor (2016).

Os insumos apresentados na Tabela 8 são dosados de forma manual em tanques específicos, sendo a sua mistura realizada de forma mecanizada e posteriormente enviadas ao processo de tratamento do efluente industrial.

Figura 15 - Reator por batelada



Fonte: Próprio autor (2016).

As etapas do processo de tratamento do efluente industrial ocorrem no próprio reator químico por batelada e seguem o seguinte procedimento:

- 1) Mede-se o pH;
- 2) Adiciona-se a solução de cal de forma mecanizada, até o pH atingir o valor de 10,0;
- 3) Mistura-se por 30 minutos;
- 4) Mede-se novamente o pH, caso o resultado estiver abaixo de 10,0, refaz-se as etapas 2 e 3;
- 5) Após ajuste, adiciona-se 10 Kg de carvão ativado em pó de forma manual e deixa-se misturar por 1 h;
- 6) Adiciona-se a solução de Policloreto de Alumínio de forma mecanizada até o pH atingir um valor menor que 7,0;
- 7) Mistura-se por 10 minutos;
- 8) Mede-se novamente o pH, caso o resultado estiver acima de 8,0, refaz-se as etapas 6 e 7;
- 9) Após ajuste, adiciona-se a solução de Polímero até que seja visualizada a formação de flocos;
- 10) Deixa-se agitar entre 5 a 10 minutos, após esse tempo é suspensa a agitação para deixar o lodo decantar por no mínimo 3 h;

- 11) Após este período, o efluente sobrenadante é bombeado para o tanque de recalque do efluente sanitário, passando antes por um filtro de cartucho;
- 12) O lodo gerado é destinado ao tanque de adensamento e posteriormente desidratado em um filtro prensa (Figura 16) para após ser descartado. O efluente líquido gerado durante a desidratação do lodo é armazenado em um tanque de acúmulo para ser novamente tratado a fim de retirar algum eventual poluente químico remanescente do processo de desidratação.

O efluente industrial é incorporado ao tratamento biológico aplicado ao esgoto sanitário para melhorar a eficiência de remoção dos poluentes químicos. Para isso, são realizados ensaios mensais dos níveis de concentração dos metais mencionados na Tabela 7, para não comprometer os microrganismos presentes nos reatores biológicos.

Figura 16 - Filtro prensa



Fonte: Próprio autor (2016).

A partir do filtro de cartucho, portanto, o efluente industrial passa a ser tratado juntamente com o efluente sanitário.

Etapas de tratamento do efluente sanitário

Os efluentes sanitários são destinados a um tanque de recalque e juntamente com o efluente industrial são bombeados para um tanque de equalização ou diretamente para os reatores biológicos, dependendo das seguintes situações:

- durante a noite, o efluente é destinado para um tanque de equalização de 40 m³ que armazena o efluente sanitário gerado durante as atividades no turno da noite ou em uma eventual parada da ETE para manutenção. Este efluente armazenado é posteriormente enviado para tratamento nos reatores biológicos;
- durante o dia, o efluente é destinado diretamente aos reatores biológicos para tratamento.

Parte do processo de degradação da matéria orgânica do efluente é realizada em 4 (quatro) reatores aeróbios com uma capacidade de 50 m³ cada (Figura 17) e é utilizado o sistema de lodo ativado com aeração prolongada. O material é aerado nos reatores a uma taxa de oxigenação entre 0,5 a 1,5 g/L, e em seguida é enviado de forma contínua, a medida em que os tanques vão recebendo os efluentes enviados pelo tanque de recalque, para o decantador secundário (Figura 18) que dispõe de um volume total de 70 m³. Neste sistema, o lodo decantado é destinado para uma câmara de lodo e bombeado de volta para as unidades de aeração. É realizada esta operação para não ser necessária a retirada do lodo excedente constantemente.

Figura 17 - Reatores biológicos e tanque de equalização



Fonte: Próprio autor (2016).

Figura 18 - Decantador secundário



Fonte: Próprio autor (2016).

À medida que o efluente é tratado no tanque do decantador secundário, o mesmo é bombeado para o tanque de coagulação/floculação (Figura 19) que tem um volume de $4,8 \text{ m}^3$ e posteriormente para o tanque de decantação (Figura 20) com um volume total de $8,6 \text{ m}^3$. No sistema de coagulação/floculação são utilizados os insumos e concentrações relacionados na Tabela 8, exceto o carvão ativado, e o processo de tratamento segue as seguintes etapas:

- 1) No floculador é acrescentando cal diluído até o pH do efluente atingir um valor entre 9 e 10;
- 2) Com o pH ajustado, dosa-se o Policloreto de Alumínio até o pH atingir um valor entre 7 e 8;
- 3) Ajustado o pH, é adicionado o Polímero (Biofloc).

O controle do processo de coagulação/floculação é realizado constantemente pelo operador da ETE através da medida do pH e pelo aspecto visual. Caso ocorram alterações no tamanho do floco que interfiram no processo de decantação é verificado o pH do efluente e feito os ajustes descritos acima.

Antes de ser destinado ao corpo receptor d'água, o efluente tratado é conduzido/encaminhado a um tanque de acúmulo e na sequência, passa por um sistema de filtros (Figura 21), compostos por 2 filtros de areia e 1 de carvão ativado, completando assim todo o processo de tratamento dos efluentes gerados.

Figura 19 - Tanque de coagulação/floculação



Fonte: Próprio autor (2016).

Figura 20 - Tanque de decantação



Fonte: Próprio autor (2016).

Figura 21 - Sistema de filtros



Fonte: Próprio autor (2016).

Para verificar se há excesso de lodo gerado pelo sistema de lodos ativados utilizado para realizar o tratamento biológico do efluente é realizado diariamente o seguinte procedimento:

- Faz-se a coleta nos 4 (quatro) tanques de aeração;
- Coloca-se o efluente em cones Imhoff e deixado decantar durante 30 minutos.
- A retirada do lodo excedente é realizada quando a faixa de concentração durante o ensaio estiver entre 350 a 560 ml/L.

O lodo excedente é direcionado para um tanque de adensamento, e após enviado para o tanque de tratamento, no qual são adicionados os reagentes com concentrações para um volume de 0,24 m³ de água, conforme indicado na Tabela 9. Realizada a mistura mecanizada do lodo com os reagentes, a etapa seguinte é a sua desidratação em um filtro prensa para posterior descarte.

Tabela 9 - Insumos e concentrações para o tratamento do lodo biológico

INSUMO	SOLUÇÃO (%)	QUANTIDADE (Kg/0,24 m ³)	CUSTO DO INSUMO R\$/Kg
Carbonato de Cálcio (CAL)	8	20	1,21
Policloreto de Alumínio (PAC)	4	10	2,85
Polímero Aniônico (BIOFLOC)	0,125	0,3	3,30
Polímero Catiônico (FERROLIN)	0,41	1	28,80

Fonte: Próprio autor (2016).

Todo o lodo excedente prensado é depositado em caçambas de "entulho", e semanalmente é realizada a coleta por uma empresa especializada, para a qual cabe dar um destino final ao material.

3.6 PLANTA DA ETE

Todo o processo de tratamento dos efluentes ocorre em duas estações distintas, a de tratamento físico-químico, conforme Figura 22 e Figura 24, e a de degradação da matéria orgânica, conforme Figura 23 e Figura 25.

Figura 22 - Vista interna ETE tratamento físico-químico



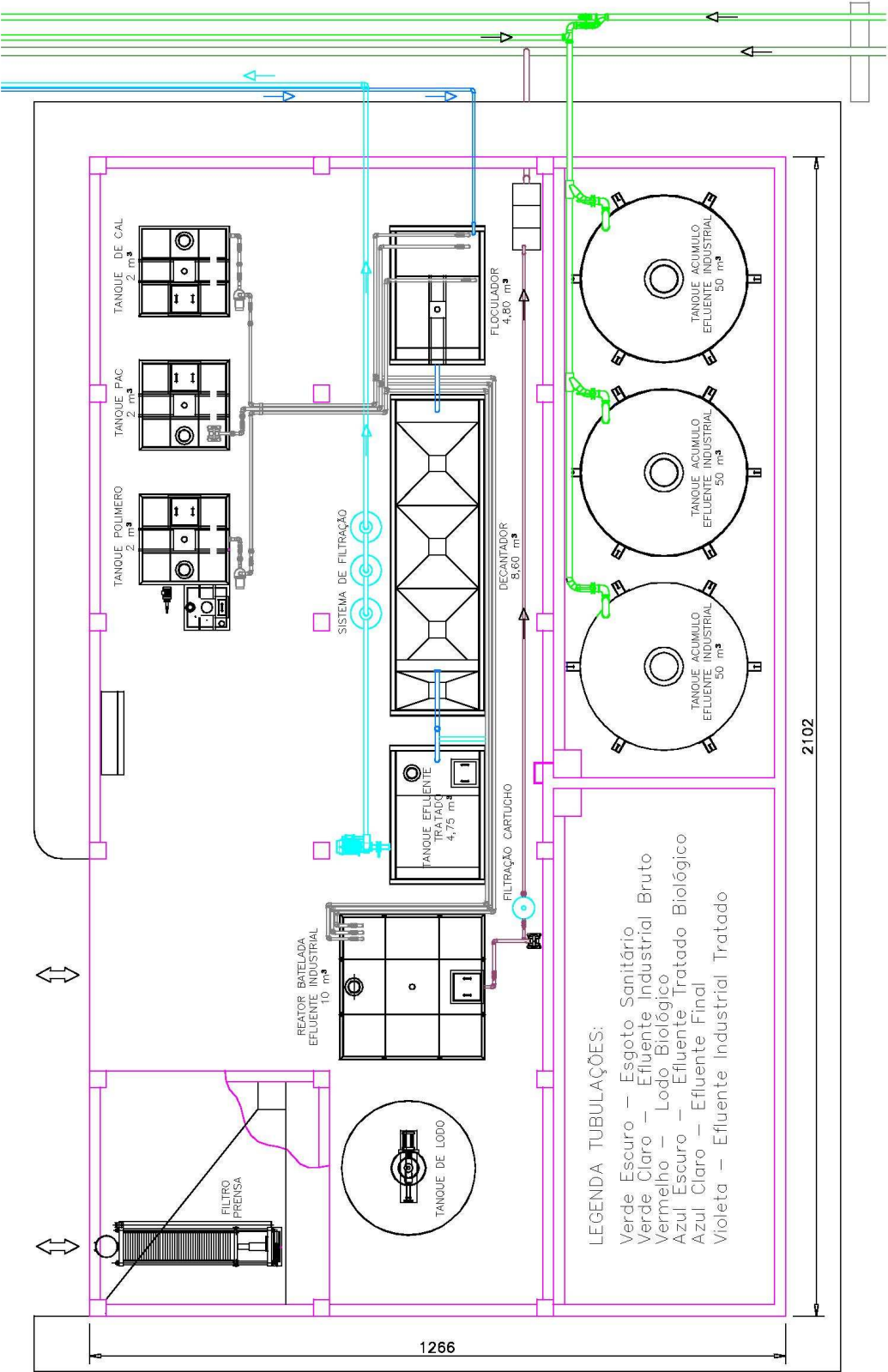
Fonte: Próprio autor (2016).

Figura 23 - Vista externa ETE tratamento biológico



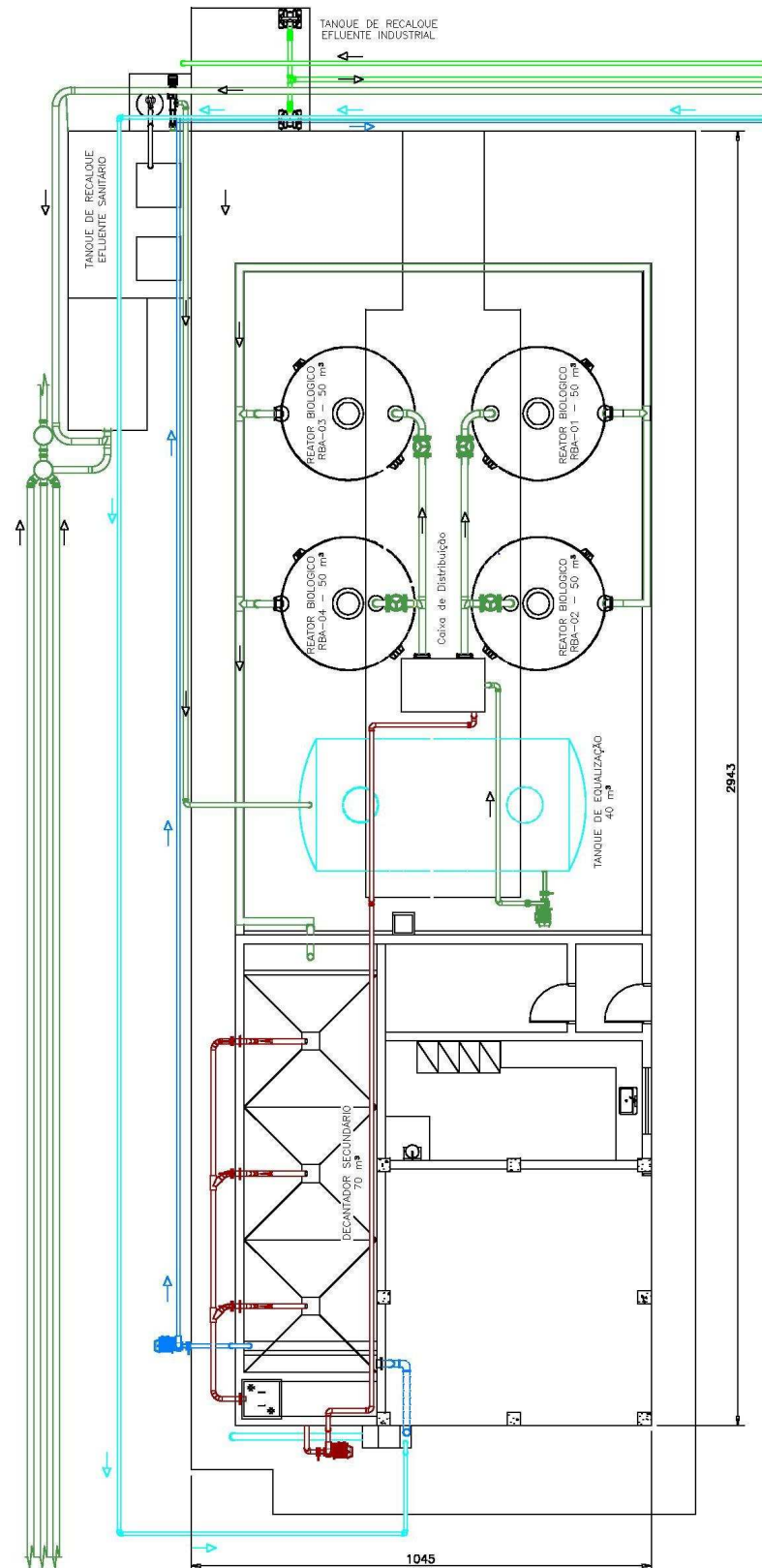
Fonte: Próprio autor (2016).

Figura 24 - Planta ETE tratamento físico-químico



Fonte:Indústria estudada (2016).

Figura 25 - Planta ETE tratamento biológico



Fonte: Indústria estudada (2016).

4 RESULTADOS

4.1 EFLUENTE INDUSTRIAL

A capacidade de tratamento de efluentes industriais provenientes das atividades da pintura basicamente, é de 220 m³/mês, levando em consideração uma jornada de trabalho de 44 horas semanais e sabendo que a capacidade diária de tratamento para um turno de 8,8 horas é de 10 m³/dia devido ao tamanho do reator. As etapas e os tempos utilizados para realizar o ciclo de tratamento no reator em um turno de trabalho estão especificados na Tabela 10, na qual observa-se que 42,5 % do tempo utilizado para realizar o tratamento de 10 m³ perde-se durante o enchimento e retirada do efluente do reator. O enchimento ocorre por gravidade e a retirada é realizada com o auxílio de uma bomba pneumática tipo diafragma.

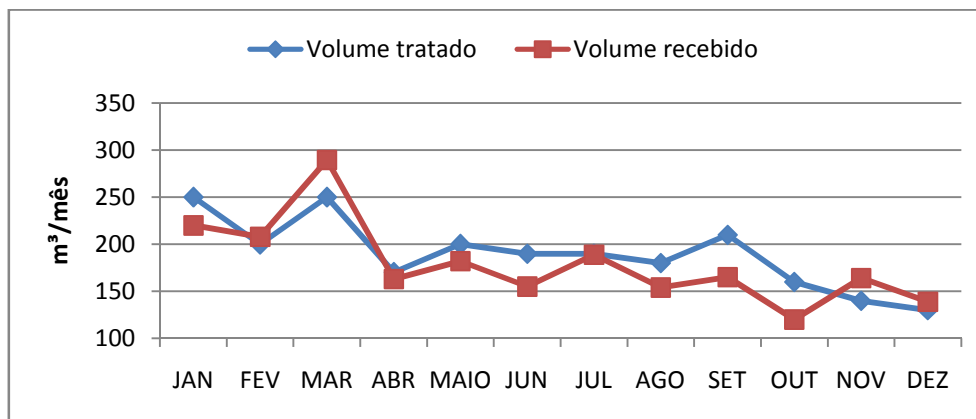
Tabela 10 - Ciclo de tratamento do reator por batelada

CICLO DE TRATAMENTO	TEMPO (min)	%
Enchimento do Reator	40	7,7
Dosagem e homogeneização da Cal	35	6,8
Adição e homogeneização do Carvão Ativado	67	13,0
Adição e homogeneização do Policloreto de Alumínio (PAC)	17	3,3
Adição do Polímero (BIOFLOC)	10	1,9
Decantação	180	34,8
Retirada do Efluente tratado	180	34,8

Fonte: Próprio autor (2016).

Na Figura 26 é possível concluir que somente no mês de março/2015 o volume recebido foi maior que a capacidade de tratamento que é estimada em 220 m³. Para os meses de janeiro e março/2015 foram realizados tratamentos no reator químico em 2 (dois) turnos para atender a demanda do volume recebido. Nos demais períodos ocorreu uma diminuição do volume recebido e tratado decorrente de uma sazonalidade na produção.

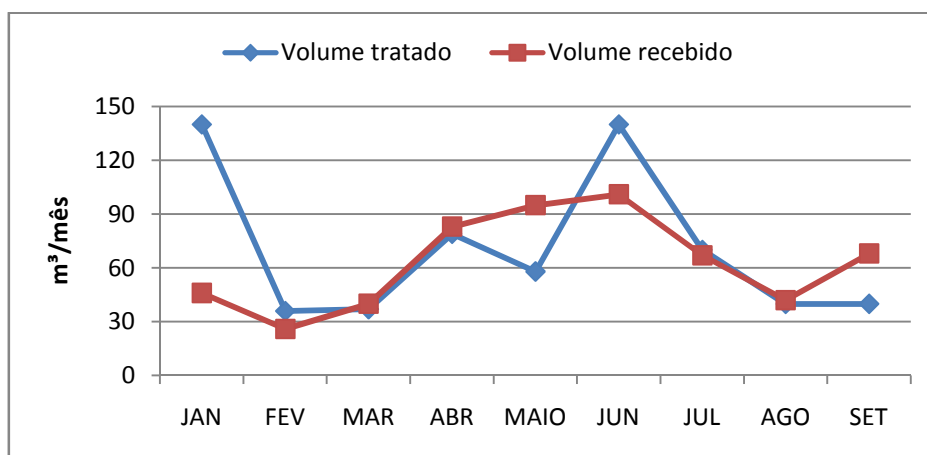
Figura 26 - Volume tratado x volume recebido 2015



Fonte: Próprio autor (2016).

O dados referentes a 2016 apresentados na Figura 27 mostram uma grande variação no volume tratado, pelo motivo que em determinados períodos não eram realizados o ciclo de tratamento no reator químico por não haver efluente suficiente nos tanques de acúmulo para tratar 10 m³, refletido pelo baixo volume recebido que está relacionado a sazonalidade na produção. Em várias ocasiões, todo o volume recebido foi tratado, conforme identificado para os meses de março, abril, julho e agosto/2016.

Figura 27 - Volume tratado x volume recebido 2016



Fonte: Próprio autor (2016).

Na Tabela 11, Tabela 12 e Tabela 13 estão representados os dados das análises realizadas dos efluentes industriais pós tratamento no reator químico nos anos de 2014, 2015 e 2016, comparados com os limites que a Resolução do CONSEMA nº 128/2006 (RIO GRANDE DO SUL, 2006) permitem para os metais indicados. Observa-se que somente duas amostras estão fora dos padrões estabelecidos pela Resolução, nos meses de abril/2015 (Alumínio) e maio/2015 (Chumbo).

Tabela 11 - Comparação dos parâmetros após tratamento (2014) x limites da legislação

METAIS	LIMITES LEGISLAÇÃO	UNIDADE	PARÂMETROS ETE - 2014							
			Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Alumínio total	10	mg/L	0,556	0,134	0,079	0,717	5,18	0,481	9	0,119
Chumbo total	0,2	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ferro total	10	mg/L	0,018	0,0463	0,0627	0,0162	0,0119	0,261	0,0533	0,01
Manganês total	1	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Níquel total	1	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Zinco total	2	mg/L	0,018	0,01	0,0508	0,0175	0,0145	0,087	0,0247	0,01
Boro total	5	mg/L	0,138	0,0316	0,0733	0,01	0,0317	0,0109	0,01	0,0498

Fonte: Próprio autor (2016).

Tabela 12 - Comparação dos parâmetros após tratamento (2015) x limites da legislação

METAIS	LIMITES LEGISLAÇÃO	UNIDADE	PARÂMETROS ETE - 2015											
			Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Alumínio total	10	mg/L	0,0961	0,393	0,069	89,3	0,225	0,336	0,376	4,28	0,566	0,487	1,15	1,45
Chumbo total	0,2	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	17,3	0,01	0,01	0,01	0,044	0,01	0,01	0,01
Ferro total	10	mg/L	0,0536	0,0179	0,01	0,456	1,04	0,032	0,0151	0,0283	1,135	0,01	0,05	0,05
Manganês total	1	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	0,024	0,01	0,01	0,01	0,13	0,003	0,003	0,003
Níquel total	1	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,011	0,005	0,005	0,005
Zinco total	2	mg/L	0,0652	0,0488	0,01	0,01	0,01	0,0291	0,01	0,01	1,333	0,03	0,03	0,03
Boro total	5	mg/L	0,0264	0,0839	0,0543	0,064	0,169	0,0252	0,01	0,01	0,308	0,399	0,433	0,1

Fonte: Próprio autor (2016).

Tabela 13 - Comparação dos parâmetros após tratamento (2016) x limites da legislação

METAIS	LIMITES LEGISLAÇÃO	UNIDADE	PARÂMETROS ETE - 2016							
			Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago
Alumínio total	10	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	4,06	0,15	0,02	0,16
Chumbo total	0,2	mg/L	0,02	0,02	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Ferro total	10	mg/L	0,0122	0,03	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	0,03
Manganês total	1	mg/L	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008
Níquel total	1	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002
Zinco total	2	mg/L	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Boro total	5	mg/L	0,103	0,008	0,064	0,121	0,026	0,004	0,004	0,018

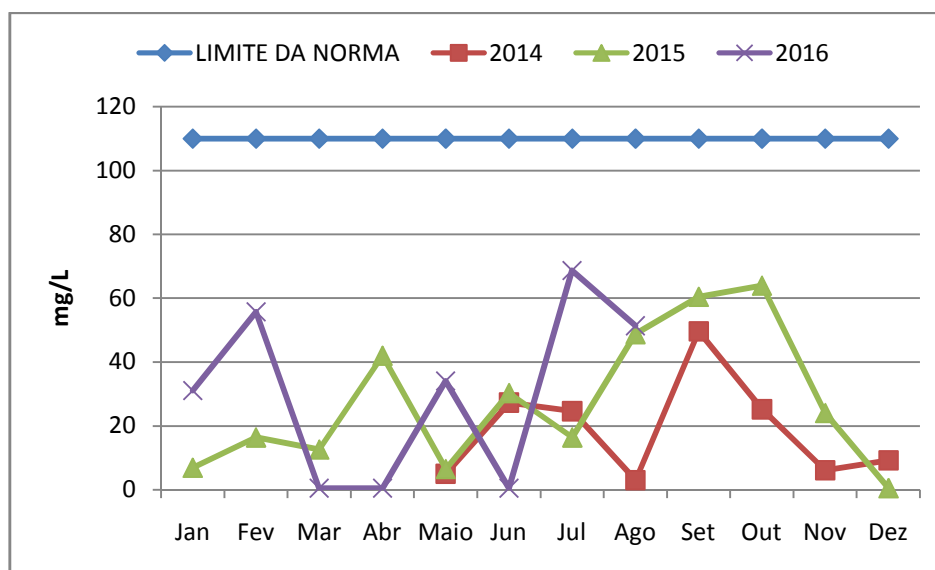
Fonte: Próprio autor (2016).

4.2 EFLUENTES TOTAIS GERADOS

Neste item serão apresentados alguns resultados do tratamento dos efluentes oriundos dos processos sanitários e industriais sabendo-se que os efluentes industriais são tratados inicialmente separadamente e após incorporados novamente ao tratamento final, os resultados referentes especificamente ao tratamento dos efluentes industriais foram detalhados no item 4.1. Os parâmetros apontados são os que apresentaram algumas amostras fora dos limites estabelecidos pela norma e os de maior grau de importância. Os demais que estão especificados na Tabela 7 não citados neste item apresentaram bons resultados quanto a eficiência na remoção dos poluentes durante o tratamento.

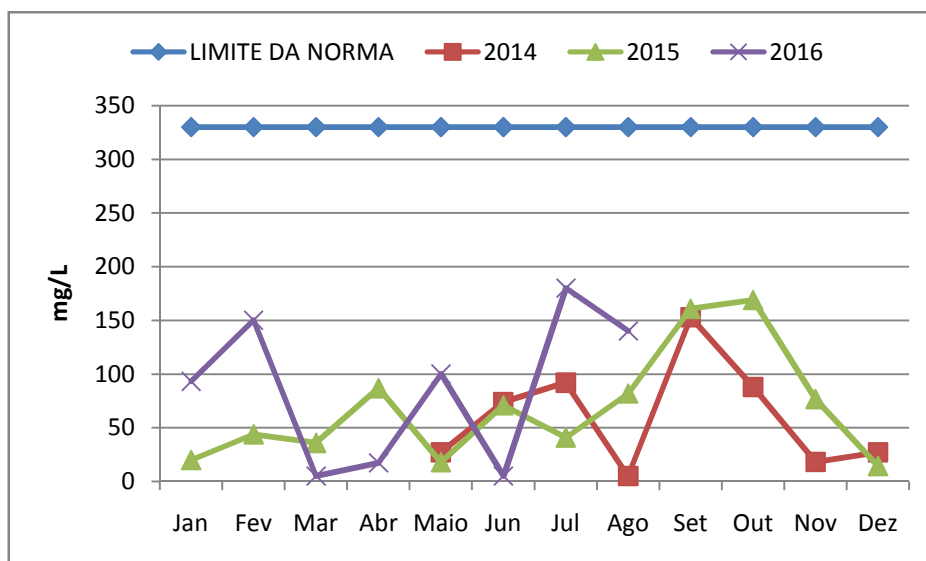
Na Figura 28 e Figura 29 é possível observar que para todas as amostras coletadas os resultados estão dentro dos limites estabelecidos pela norma para lançamento em um corpo hídrico.

Figura 28 - Resultados DBO



Fonte: Próprio autor (2016).

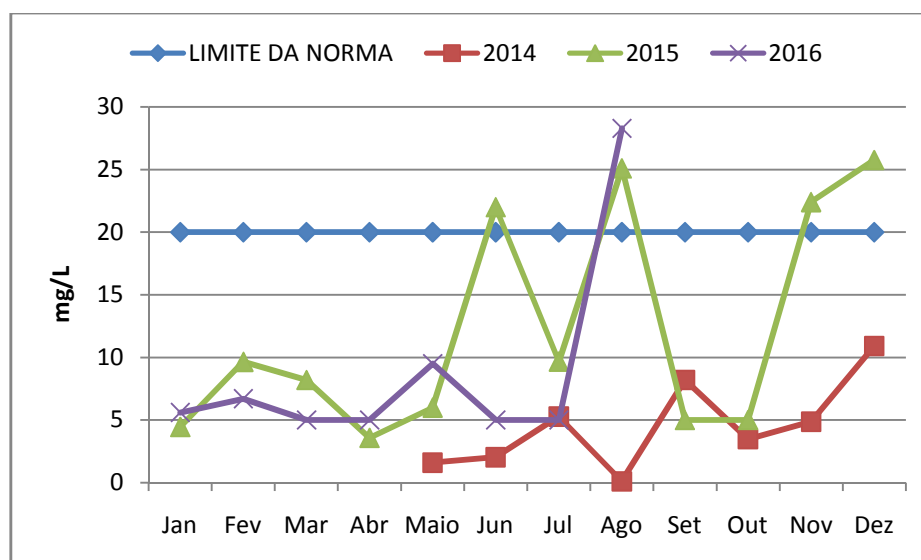
Figura 29 - Resultados DQO



Fonte: Próprio autor (2016).

Na Figura 30 verifica-se que alguns parâmetros referentes ao ano de 2015 ficaram acima do limite de 20 mg/L ou 75 % de eficiência estabelecido pela norma, porém, o parâmetro referente a 2016, apesar de estar acima do limite, atende aos 75 % de eficiência exigida.

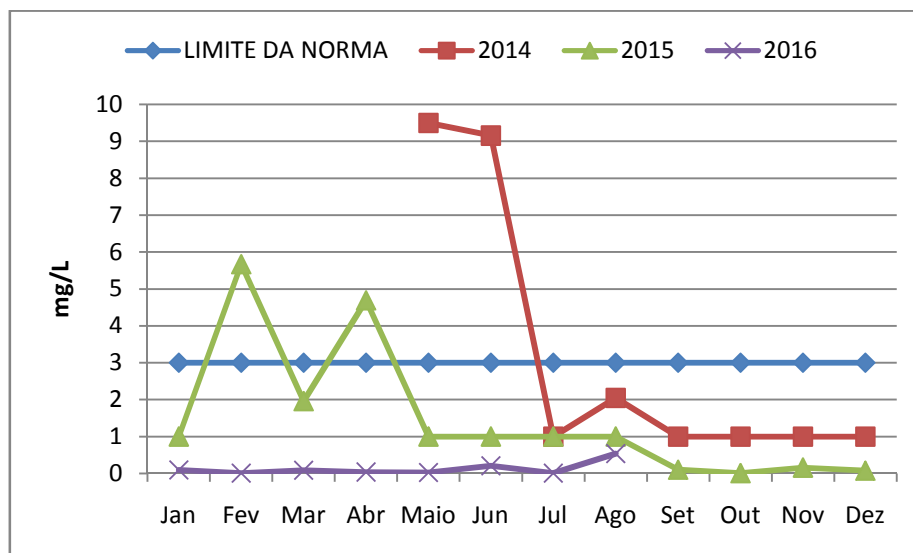
Figura 30 - Resultados Nitrogênio



Fonte: Próprio autor (2016).

Na Figura 31 observa-se que alguns parâmetros referentes ao ano de 2014 estão acima do limite de 3 mg/L ou 75 % de eficiência estabelecido pela norma. Os parâmetros referentes a 2015, apesar de estar acima do limite, atende aos 75 % de eficiência exigida.

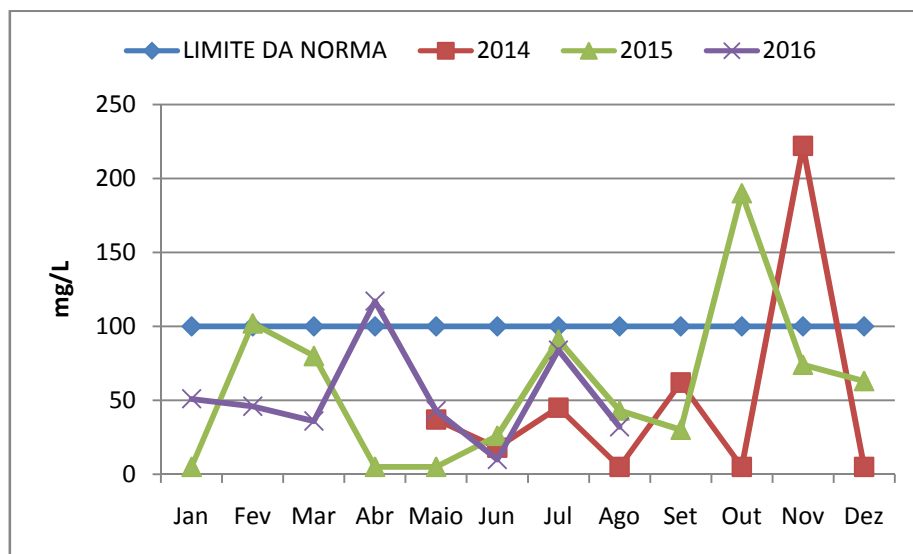
Figura 31 - Resultados Fósforo



Fonte: Próprio autor (2016).

Nos resultados apresentados na Figura 32 observa-se que amostras dos anos de 2014, 2015 e 2016 estão acima do limite de 100 mg/L estabelecido pela norma para lançamento em um corpo hídrico.

Figura 32 - Resultados Sólidos Suspensos Totais



Fonte: Próprio autor (2016).

4.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS ANÁLISES

Observou-se a partir dos dados das análises laboratoriais coletadas, que a eficiência de tratamento da ETE tem apresentado um ótimo desempenho, em especial nos contaminantes do efluente industrial. Além disso, as análises do efluente industrial e dos efluentes totais gerados que apresentaram valores acima, por não ter correlação aparente com a variação da produção industrial e número de colaboradores da empresa, podem estar relacionadas a erros de coleta e análise. Não há, portanto, como atribuir com segurança essa situação como resultado de falha da ETE, pois foram dados únicos, sem reprodutibilidade. Ressalta-se que também não há registros quanto às providências adotadas nas situações em que os parâmetros das análises excederam a norma.

4.4 PROPOSTAS DE MELHORIAS

Considerando os dados e informações levantadas, pode-se apontar algumas propostas de otimização no sistema de tratamento, que são as seguintes:

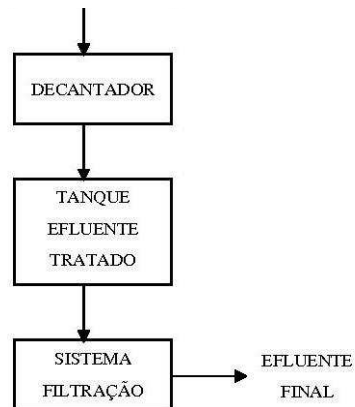
- 1) Na etapa de tratamento do efluente industrial verificou-se que, para o tratamento de 10 m³ no reator químico perde-se 34,8 % do tempo (3 horas) somente para a retirada do efluente tratado. Para melhorar este rendimento, poderá ser analisada a possibilidade de substituição da bomba existente por uma mais eficiente. Outro ponto para avaliação é verificar se o limitador da vazão não é o dimensionamento da tubulação do fluxo a jusante;
- 2) Durante a coleta dos dados dos tanques que realizam o tratamento dos efluentes, observou-se que há uma diferença de volume entre o decantador secundário (70 m³), floculador (4,80 m³) e seu respectivo decantador (8,80 m³). Devido a sazonalidade da produção, para um período com uma atividade industrial maior existe a probabilidade de limitação na quantidade de volume tratado, visto que os parâmetros como taxa de escoamento superficial, entre outros do líquido nos tanques de decantação são diferentes devido ao seu dimensionamento, sendo estes pontos a serem analisados se há a necessidade de ampliação dos equipamentos existentes;
- 3) Os insumos usados para realizar o tratamento dos efluentes tem dosagem fixa, conforme identificado na Tabela 8, não acompanhando assim a alteração da vazão do efluente. Esta situação fica evidente no tanque de floculação (Figura

19), o qual recebe o efluente do decantador secundário (Figura 18). Essa vazão que chega ao floculador é regulada em um registro de forma manual, porém a dosagem dos insumos utilizados para o tratamento geralmente é a mesma. A mistura dos insumos é realizada em tanques com uma capacidade de 2 m³ de água, no entanto as concentrações são feitas para um volume de água de 1 m³. Cabe avaliar como melhoria, a real necessidade de alterar a quantidade de insumos para uma concentração de 2 m³, já que os parâmetros das coletas estão na maioria de acordo com o que a Legislação exige. Para a dosagem da vazão de forma automatizada, é possível utilizar um sistema com bóias elétricas para identificar o nível dos tanques;

- 4) Na etapa final do processo de tratamento, os efluentes líquidos antes de serem lançados ao corpo receptor arroio Fiúza, passam por um sistema com 3 (três) filtros (Figura 21), os quais tem uma vida útil de aproximadamente 4 (quatro) meses a um custo médio de R\$ 3.500,00 cada. Esta etapa pode ser otimizada a partir da retirada do tanque de efluente tratado, que somente armazena o efluente que provém do decantador, e dos filtros, conforme fluxo atual demonstrado na Figura 33, substituindo estes por um único filtro com elevadas taxas de filtração, exemplo da Figura 35, demonstrado no fluxograma proposto da Figura 34. Cabe dizer que é importante analisar primeiramente a viabilidade econômica deste novo sistema quanto a implantação e tipo de filtro mais apropriado a ser adotado para as condições atuais;

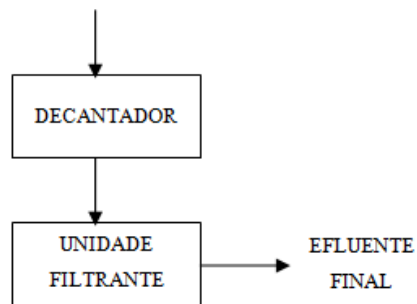
Segundo Libânio (2010), existem diversos tipos de unidades filtrantes, que podem ser classificados em filtros lentos de escoamento ascendente e descendente e filtros rápidos de pressão e gravidade. Ainda conforme o autor, os filtros rápidos de gravidade de escoamento descendente são os meios filtrantes mais utilizados devido a significativa redução de área em virtude das elevadas taxas de filtração, conforme ilustrado na Figura 35.

Figura 33 - Fluxo atual das etapas finais de tratamento



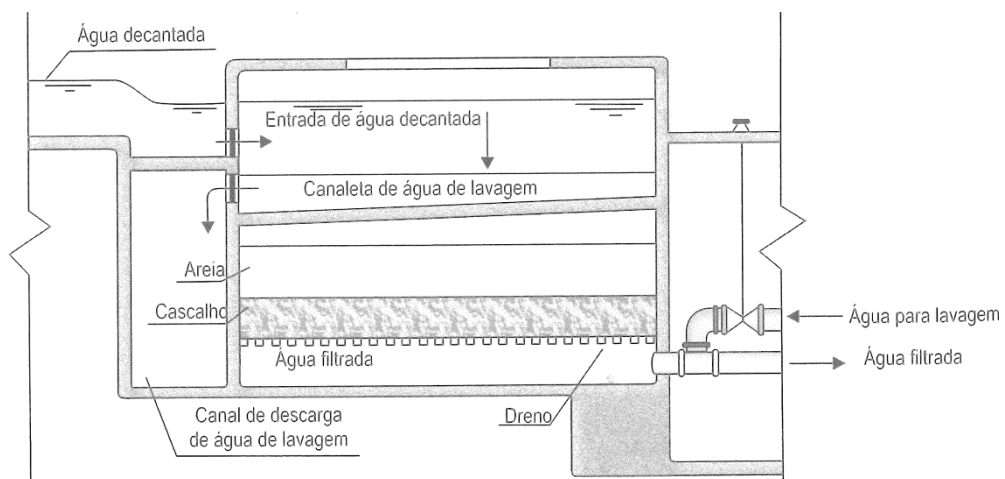
Fonte: Próprio autor (2016).

Figura 34 - Fluxo proposto das etapas finais de tratamento



Fonte: Próprio autor (2016).

Figura 35 - Filtro rápido de escoamento descendente de camada simples



Fonte: Libânio (2010).

- 5) Instalação de equipamentos para leitura da vazão de entrada do efluente sanitário e industrial;
- 6) Finalizando os pontos de avaliação para melhorias no processo de tratamento da ETE, é proposto realizar a construção de uma área coberta para depósito do lodo biológico e químico prensado, para os casos em que a coleta deste resíduo não puder ser realizada semanalmente pela empresa contratada para realizar este serviço.

5 CONCLUSÃO

As conclusões deste trabalho referem-se a situação atual da ETE estudada. Os principais assuntos observados foram identificar todos os pontos geradores de contaminantes, caracterizados como efluentes sanitários e industriais destinados para o tratamento na ETE, uma análise de todas as etapas de tratamento dos efluentes produzidos juntamente com os respectivos resultados obtidos.

As etapas de tratamento da ETE foram estudadas e detalhadas, considerando os efluentes sanitários e industriais, observando-se que as principais etapas de tratamento são a degradação da matéria orgânica e componentes químicos em reatores aeróbios, passando por processos de neutralização, coagulação-floculação, decantação, filtração e lançamento do efluente a um corpo hídrico dentro dos limites estabelecidos por lei, bem como o tratamento e destinação final do lodo gerado no processo de tratamento.

A partir da análise de parâmetros e resultados obtidos apresentados neste trabalho, analisando os condicionantes legais determinados pelas Resoluções vigentes para o lançamento dos efluentes tratados a um corpo hídrico, pode-se afirmar que a ETE tem apresentado uma boa eficiência na remoção dos contaminantes presentes nos efluentes gerados pela indústria estudada.

Neste contexto, o objetivo do trabalho foi analisar e descrever as etapas de tratamento dos efluentes quanto à operacionalidade e eficiência na remoção dos contaminantes e avaliar uma possível proposta de melhoria para a situação atual.

As propostas de melhorias e otimizações para o sistema atual apontadas foram melhorar a eficiência no tempo de esvaziamento do reator químico, verificar a necessidade de ampliação dos equipamentos existentes, refazer a dosagem dos insumos utilizados, substituir o sistema de filtros, entre outros que possam vir a melhorar ainda mais o funcionamento da ETE.

Considerando os dados e informações levantadas, podem ser apontadas sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros como o estudo da real quantidade de efluentes que a ETE tem capacidade de tratar a partir dos gargalos encontrados no sistema de tratamento atual e avaliar a eficiência de tratamento de cada equipamento da ETE.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Ana Lúcia Machado. Leis regulamentam o tratamento para emissão de efluentes. **Revista TAE**, Santo André, SP, I, n. 02, não paginado, ago/set. 2011. Disponível em: <<http://www.revistatae.com.br/artigos.asp?id=12&fase=c>> Acesso em: 29 maio 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229/1993**: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1993. 15 p., il.

_____. **NBR 9800/1987**: Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, 1987. 3 p., il.

AZEREDO NETTO, José Martiniano de. Despejos industriais, sistemas de esgoto e controle da poluição das águas. **Revista DAE**, São Paulo, XLI, n. 124, p. 31-33, mar. 1981. Disponível em: <http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_124_n_1239.pdf> Acesso em: 06 abr. 2016.

BARBOSA, Ana Julia Soares. **Gerenciamento operacional para estação de tratamento de esgoto**: Estudo da ETE Sideral, Belém/PA. 2006. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.

BENETTI, Antônio Domingues; LUCA, Sérgio João de. Tratamento conjunto de águas residuárias domésticas e industriais. **Revista DAE**, São Paulo, v. 49, n. 155, p. 113-119, abr/jun. 1989. Disponível em: <http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_155_n_79.pdf> Acesso em: 06 abr. 2016.

BRAGA, Benedito *et al.* **Introdução à engenharia ambiental**: O desafio do desenvolvimento sustentável. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 318 p., il.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução n. 375**, de 29 agosto 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 30 agosto 2006, 32 p.

_____. **Resolução n. 430**, de 13 maio 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial da União, Brasília, 16 maio 2011, 8 p.

CARVALHO, Nathália Leal *et al.* Reutilização de águas residuárias. **Revista Monografias Ambientais - REMOA**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 3164-3171, mar. 2014. Disponível em: <periodicos.ufsm.br/remoa/article/download/12585/pdf> Acesso em: 19 maio 2016.

CAVALCANTI, José Eduardo W. de A. **Manual de tratamento de efluentes industriais**. São Paulo: J. E. Cavalcanti, 2009. 453 p., il.

DEZOTTI, Márcia. **Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos**. Rio de Janeiro: E-papers, 2008. 360 p., il.

FERNANDES, Fernando; SOUZA, Silvia Galvão de. Estabilização de Lodo de Esgoto. In: ANDREOLI, Cleverson Vitório (Coord.). **Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final**. Curitiba: RiMA, ABES, 2001. 282 p., il.

FONSECA, Regina Célia Veiga da. **Metodologia do Trabalho Científico**. Curitiba, PR: IESDE Brasil, 2012. 94 p., il. Disponível em: <
<https://pt.scribd.com/doc/273762217/METODOLOGIA-DO-TRABALHO-CIENTIFICO-pdf>> Acesso em: 22 abr. 2016.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSÔA, Constantino Arruda. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 6. ed. Rio de Janeiro: ED-ABES, 2011. 1050 p., il.

GIORDANO, Gandhi. **Tratamento e controle de efluentes industriais**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2004. 81 p., il. Disponível em: <
<http://xa.yimg.com/kq/groups/24138517/1421219182/name/Apostila+-+Tratamento+de+efluentes+industriais.pdf>> Acesso em: 19 maio 2016.

GONÇALVES, Ricardo Franci; LUDUVICE, Maurício; VON SPERLING, Marcos. Remoção da umidade de lodos de esgotos. In: ANDREOLI, Cleverson V.; VON SPERLING, Marcos; FERNANDES, Fernando. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental UFMG, 2001. 484 p., il. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 6).

GONÇALVES, Ricardo Franci *et al.* Desidratação de Lodo de Esgotos. In: ANDREOLI, Cleverson Vitório (Coord.). **Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final**. Curitiba: RiMA, ABES, 2001. 282 p., il.

IWAKI, Gheorge. Destinação Final de Lodos de ETAs e ETEs. **Portal tratamento de água**, São Paulo não paginado, nov. 2014. Disponível em: <
<http://tratamentodeagua.com.br/artigo/destinacao-final-de-lodos-de-et-as-e-et-es/>> Acesso em: 06 set. 2016.

KAMIYAMA, Hissashi. Lodo ativado por batelada (LAB): suas vantagens no tratamento de esgotos das comunidades de médio e pequeno porte. **Revista DAE**, São Paulo, v. 49, n. 157, p. 218-221, out/dez. 1989. Disponível em: <
http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_157_n_104.pdf> Acesso em 06 abr. 2016.

KILLING S/A Tintas e Adesivos. **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ)**. Novo Hamburgo: [s.n.], 2011. 5 p.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. rev. e ampl. Campinas: Átomo, 2010. 494 p., il.

LUDUVICE, Maurício. Processos de estabilização de lodos. In: ANDREOLI, Cleverson V.; VON SPERLING, Marcos; FERNANDES, Fernando. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental UFMG, 2001. 484 p., il. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 6).

_____; FERNANDES, Fernando. Principais tipos de transformação e descarte do lodo. In: ANDREOLI, Cleverson V.; VON SPERLING, Marcos; FERNANDES, Fernando. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental UFMG, 2001. 484 p., il. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.6).

MATOS, Jackson Conceição de. **Tratamento de esgoto sanitário**. Manaus: [s.n.], 2010. 149 p., il.

MARTELO, Thiago; CARAMURU, Valéria. Regras para efluentes industriais. **Súmula Ambiental**, Rio de Janeiro, XIX, n. 217, p. 8, mar. 2015. Disponível em: <<http://www.firjan.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=4028808B4E407A02014E49E70848163B&inline=1>> Acesso em: 11 abr. 2016.

METCALF & EDDY, Inc. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 4. ed. McGraw-Hill Education, 2002. 1848p., il.

MIERZWA, José Carlos. **O uso racional e reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria**: Estudo de caso da Kodak Brasileira. 2002. 367 f. Tese (Doutor em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

NUNES, José Alves. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. 3. ed. Aracaju: Triunfo Ltda, 2001. 298 p., il.

OLIVEIRA, Gabriela Laila de. **Processo de tratamento biológico e físico-químico combinados visando o reúso de esgoto sanitário**. 2012. 173 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

PAGANINI, Wanderley. Alternativas para a disposição final de lodos de estações de tratamento de água e estações de tratamento de esgotos. **Revista SANEAS**, São Paulo, X, n. 32, p. 13-19, jan./fev./mar. 2009.

Disponível em: < <http://www.aesabesp.org.br/arquivos/saneas/saneas32.pdf>> Acesso em: 19 ago. 2016.

PAVANELLI, Gerson. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. 2001. 216 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

PINTO, Marcelo Teixeira. Higienização de lodos. In: ANDREOLI, Cleverson V.; VON SPERLING, Marcos; FERNANDES, Fernando. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental UFMG, 2001. 484 p., il. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 6).

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo, RS: FEEVALE, 2013. 277 p., il.

RIO GRANDE DO SUL. Conselho estadual do meio ambiente – CONSEMA. **Resolução n. 128**, de 07 dez. 2006. Dispõe sobre a fixação de padrões de emissão de efluentes líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em água superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Diário Oficial do Estado, Porto Alegre, 07 dez. 2006, 9 p.

_____. **Resolução n. 129**, de 07 dez. 2006. Dispõe sobre a definição de Critérios e Padrões de Emissão para Toxicidade de Efluentes Líquidos lançados em águas superficiais do Estado do Rio Grande do Sul. Diário Oficial do Estado, Porto Alegre, 07 dez. 2006, 6 p.

RUBIM, Cristiane. Barreiras e normas para destinação correta de efluentes. **Revista TAE**, Santo André, SP, V, n. 27, p. 10-19, out/nov. 2015. Disponível em: <<http://www.revistatae.com.br/artigos.asp?id=304&fase=c>> Acesso em: 07 abr. 2016.

_____. Os desafios do tratamento de lodo. **Revista TAE**, Santo André, SP, III, n. 14, p. 10-15, ago./set. 2013. Disponível em: <<http://www.revistatae.com.br/artigos.asp?id=160&fase=c>> Acesso em: 07 set. 2016.

SILVA, Sandra Márcia Cesário P. da *et. al.* Principais contaminantes do lodo. In: ANDREOLI, Cleverson V.; VON SPERLING, Marcos; FERNANDES, Fernando. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental UFMG, 2001. 484 p., il. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 6).

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental UFMG, 2005. 452 p., il. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 1).

_____. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental UFMG, 1996. 211 p., il. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 2).

_____; GONÇALVES, Ricardo Franci. Lodo de esgotos: características e produção. In: ANDREOLI, Cleverson V.; VON SPERLING, Marcos; FERNANDES, Fernando. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental UFMG, 2001. 484 p., il. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 6).

ANEXO A – LICENÇA DE OPERAÇÃO

Figura 36 - Licença de Operação quanto aos efluentes líquidos

3. Quanto aos Efluentes Líquidos:

3.1- para o Efluente Líquido INDUSTRIAL e SANITÁRIO:

- 3.1.1- este empreendimento está incluído no Sistema de Automonitoramento de Efluentes Líquidos das Atividades Poluidoras Localizadas no Estado do Rio Grande do Sul - SISAUTO, atualizado pela Resolução CONSEMA N.º 01 de 20 de março de 1998 e publicada em 15 de abril de 1998, na classe C, devendo realizar medições e análises de seus efluentes líquidos de acordo com a "Tabela de Parâmetros e Padrão de Emissão" desta Licença e encaminhar a respectiva "Planilha de Acompanhamento de Efluentes Líquidos" à FEPAM, via digital, até o décimo dia dos meses de janeiro, abril, julho e outubro, de acordo com o Art. 19 desta Resolução (a Planilha digital encontra-se disponível na home-page da FEPAM: www.fepam.rs.gov.br, em Licenciamento Ambiental/ Resíduos e Efluentes - Planilhas de Acompanhamento/ SISAUTO- Planilha SISAUTO on Line);
- 3.1.2- a vazão máxima de efluentes líquidos a ser gerada é de 250,0000 m³/dia;
- 3.1.3- a vazão máxima permitida para o lançamento dos efluentes líquidos industriais e sanitários é de 250,0000 m³/dia, sendo que a vazão de pico não poderá ultrapassar 1,5 vezes a vazão média horária lançada no dia, de modo a atender o artigo 16 da Resolução CONAMA 430/2011;
- 3.1.4- corpo receptor dos efluentes líquidos tratados: ARROIO FIUZA;
- 3.1.5- para fins de automonitoramento, deverão ser analisados e reportados, através da "Planilha de Acompanhamento de Efluentes Líquidos", os parâmetros, as frequências de medição e os tipos de amostragem abaixo listados para os efluentes líquidos industriais antes da mistura com os efluentes sanitários:

Tabela de Parâmetros e Padrão de Emissão			
Parâmetro	Padrão de Emissão a Ser Atendido	Frequência Medição	Tipo Amostragem
Alumínio	<= 10 mg Al/L	bimestral	composta
Boro	<= 5,0 ug B/L	bimestral	composta
Chumbo	<= 0,2 mg Pb/L	bimestral	composta
Ferro	<= 10 mg Fe/L	bimestral	composta
Manganês	<= 1,0 mg Mn/L	bimestral	composta
Níquel	<= 1,0 mg Ni/L	bimestral	composta
Zinco	<= 2,0 mg Zn/L	bimestral	composta

- 3.1.6- para fins de automonitoramento, deverão ser analisados e reportados, através da "Planilha de Acompanhamento de Efluentes Líquidos", os parâmetros, as frequências de medição e os tipos de amostragem abaixo listados para os efluentes líquidos industriais e sanitários tratados com lançamento direto ou indireto em corpos hídricos (conforme Resoluções CONSEMA N.º 01/1998 e N.º 128/2006):

Fonte: Adaptado da Licença de Operação (2016).

Figura 37 - Licença de Operação quanto aos efluentes líquidos

Tabela de Parâmetros e Padrão de Emissão			
Parâmetro	Padrão de Emissão a Ser Atendido	Frequência Medição	Tipo Amostragem
Coliformes termotolerantes	≤ 1000000 NMP/100 ml ou 90% de eficiência	bimestral	simples
Cor	Não deve conferir mudança de coloração (cor verdadeira) ao corpo hídrico receptor		
Demanda bioquímica de oxigênio	≤ 100 mg O ₂ /l	bimestral	composta
Demanda química de oxigênio	≤ 300 mg O ₂ /l	mensal	composta
Espumas	Virtualmente ausentes		
Fósforo total	≤ 2 mg P/L ou 75% de eficiência	bimestral	composta
Materiais flutuantes	Ausentes		
Nitrogênio amoniacal	≤ 20 mg N _{am} /L	bimestral	composta
Nitrogênio total Kjeldahl	≤ 20 mg NTK/L ou 75% eficiência	bimestral	composta
Odor	Livre de odor desagradável		
pH	entre 6,0 e 9,0	diária	simples
Sólidos suspensos totais	≤ 100 mg/l	bimestral	composta
Subst. tensoativas reag. azul metileno	$\leq 2,0$ mg MBAS/L	bimestral	composta
Temperatura	< 40 °C	diária	simples

- caso opte por trabalhar com eficiência de remoção deverão ser apresentados laudos de análise dos efluentes bruto e tratado para o respectivo parâmetro;

- caso opte por apresentar laudos comprovando a eficiência mínima fixada para a remoção de NTK, deverá, também, ser comprovado o atendimento do padrão de emissão relativo ao parâmetro Nitrogênio amoniacal = 20 mg/L;

- 3.1.7- deverá ser apresentado à FEPAM, via digital, resultado de análise físico-química de seus efluentes brutos com uma periodicidade anual, no mês de março, realizada por laboratório cadastrado junto a esta Fundação (a Planilha digital encontra-se disponível na home-page da FEPAM: www.fepam.rs.gov.br, em Licenciamento Ambiental/ Resíduos e Efluentes - SISAUTO- Planilha SISAUTO On Line). A análise deverá abranger os seguintes parâmetros: pH, temperatura, DBO₅, DQO, sólidos suspensos, sólidos sedimentáveis, óleos e graxas e demais parâmetros relevantes existentes na composição do referido efluente;
- 3.1.8- deverá ser mantido um responsável técnico pela operação da Estação de Tratamento de Efluentes Líquidos (ETE) com a ART (anotação de responsabilidade técnica) atualizada, bem como deverá ser apresentado, com uma periodicidade semestral, nos meses de janeiro e julho, relatório técnico assinado pelo respectivo responsável técnico, descrevendo as condições de operação da ETE (problemas ocorridos durante o período, instalação de novos equipamentos, parada da estação ou do processo produtivo, modificações realizadas na ETE, eficiência do sistema de infiltração do efluente, etapas que realizam reciclo/reuso de efluentes, utilizações dos efluentes reutilizados, etc.), acompanhado de levantamento fotográfico; os relatórios técnicos a serem entregues em janeiro devem ser acompanhados da cópia da ART do responsável técnico;
- 3.1.9- deverão ser mantidos junto ao sistema de tratamento de efluentes líquidos, à disposição da fiscalização da FEPAM, relatórios da operação do mesmo, incluindo análises e medições realizadas, consumo de água, vazões recirculadas, vazões tratadas e lançadas, bem como registros das compras de produtos químicos utilizados para o tratamento, por um período mínimo de dois anos;
- 3.1.10- o efluente industrial tratado deverá atender ao padrão de toxicidade conforme Resolução CONSEMA 129/2006, alterada pela Resolução CONSEMA nº 251/2010, em função da vazão lançada e da vazão mínima do corpo receptor para o lançamento em corpos hídricos;
- 3.1.11- deverá ser apresentado à FEPAM, anualmente, laudo de toxicidade efetuado em organismos teste de diferentes níveis tróficos, realizado por laboratório cadastrado junto a esta Fundação, para amostras representativas do efluente industrial tratado, acompanhados dos respectivos laudos de coleta, assinados por técnico habilitado, visando ao atendimento da Resolução CONSEMA nº 129/2006, alterada pela Resolução Consema nº 251/2010, de 24/12/2010;
- 3.2- para efeito de controle das condições de lançamento, não é permitida a mistura de efluentes com águas de melhor qualidade antes do seu lançamento, tais como águas de abastecimento, do mar e de sistemas abertos de refrigeração sem recirculação, com a finalidade de diluição, conforme artigos 9º da Resolução CONAMA n.º 430/2011 e 19 da Resolução CONSEMA N.º 128/2006;
- 3.3- deverão ser atendidos todos os padrões de emissão constantes nas Resoluções CONSEMA N.º 128/2006 e N.º 129/2006, de 24 de novembro de 2006, independentemente do acompanhamento do SISAUTO;

Fonte: Adaptado da Licença de Operação (2016).