



FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU
GESTÃO E TECNOLOGIA INDUSTRIAL

DAIANE ROBERTA LOPES DOS SANTOS

OPORTUNIDADES DE MELHORIAS NA ETE DE UMA
EMPRESA DE CHAPAS DE PAPELÃO ONDULADO
VISANDO AO REUSO DE ÁGUA

Salvador

2015

DAIANE ROBERTA LOPES DOS SANTOS

OPORTUNIDADES DE MELHORIAS NA ETE DE UMA
EMPRESA DE CHAPAS DE PAPELÃO ONDULADO
VISANDO AO REUSO DE ÁGUA

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu da Faculdade Tecnologia SENAI CIMATEC como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial.

Orientador: Profa. Dra. Edna dos Santos Almeida

Salvador

2015

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Faculdade de Tecnologia
SENAI Cimatec

SANTOS, Daiane R. L. dos.

Oportunidades de melhorias na ETE de uma empresa de chapas de papelão ondulado visando ao reuso de água / Daiane Roberta Lopes dos Santos. -Salvador, 2015. 116f.

1. Tratamento de Águas Residuárias 2. Reúso de efluente 3. Qualidade do efluente 4. Estação de Tratamento de Efluente

CDD

XXX.XXXX

DAIANE ROBERTA LOPES DOS SANTOS

OPORTUNIDADES DE MELHORIAS NA ETE DE UMA EMPRESA
DE CHAPAS DE PAPELÃO ONDULADO VISANDO AO REUSO DE
ÁGUA

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial, Faculdade de Tecnologia SENAI Cimatec.

Aprovada em de de 20

Banca Examinadora

Edna dos Santos Almeida – Orientador
Doutora em Ciências pela UNICAMP, Campinas, Brasil
Faculdade de Tecnologia - SENAI CIMATEC

Membro externo da Banca: Elaine Pinto Varela Alberte
Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade de Barcelona, Espanha
Universidade Federal da Bahia - UFBA

Membro interno da Banca: Lílian Lefol Nani Guarieiro
Doutor em Química pela UFBA, Salvador, Brasil
SENAI DR/BA

Dedico este trabalho a
DEUS e a MINHA FAMILIA.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me guiar e me proteger sempre;

Aos meus pais Doralice e Roberto pelo apoio e por acreditar que essa realização seria possível;

Aos meus queridos irmãos pela torcida constante;

Ao meu esposo Leandro Arão pelo incentivo;

A minha orientadora Edna Almeida por todo profissionalismo e orientações rumo ao êxito desse estudo;

A todos os docentes do mestrado pelos conhecimentos adquiridos e aprimorados durante essa caminhada;

A todos que torceram e contribuíram direta ou indiretamente por essa vitória,

O meu muito obrigada!

RESUMO

O interesse pelo reuso de efluentes tratados na área industrial vem crescendo devido às necessidades atuais de uso racional da água. O reuso de água gera redução de custos relacionados a este insumo, além de garantir a implementação da melhoria contínua a partir do uso de tecnologias mais limpas para as organizações. Desta forma, esse estudo teve como objetivo avaliar o sistema de tratamento e a qualidade do efluente de uma empresa de fabricação de caixas e chapas de papelão ondulado localizada no estado da Bahia, visando propor melhorias relacionadas à gestão e tecnologias na Estação de Tratamento de Efluente - ETE de modo a promover o reuso de água. Este trabalho trata-se de um estudo, onde foram realizadas entrevistas e aplicados questionários estruturados, além da realização de visitas in-loco para obtenção dos dados e documentos necessários para seu desenvolvimento. Através dos resultados obtidos verificou-se que o efluente gerado pela organização não consegue atender aos padrões estabelecidos para seu lançamento, e o seu reuso indireto pode ser indicado por estar de acordo com padrões recomendados para este fim. Assim, gera a necessidade de investimentos por parte da empresa em intervenções para melhorias operacionais, além de tratamento adicional capaz de melhorar a qualidade do efluente atual, para, a partir daí direcioná-lo para os possíveis reusos, tais como jardinagem, geração de vapor, refrigeração e fabricação de cola. O uso de ações de gestão, tais como manutenções preventivas e treinamentos operacionais para os envolvidos no processo também contribuirá para a melhor eficiência da ETE estudada e, por conseguinte, com o reuso do efluente.

Palavras-chave: Tratamento de águas residuárias, Reúso de efluentes, Qualidade do Efluente, Estação de Tratamento de Efluentes - ETE.

ABSTRACT

Interest in the reuse of treated effluents in the industrial area has been growing due to the current needs of rational use of water. The water reuse generates cost savings related to this input, and ensure the implementation of continuous improvement from the use of cleaner technologies for organizations. Thus, this study aimed to evaluate the of both treatment system and the effluent quality of a company manufacturing boxes and sheets of corrugated cardboard in the state of Bahia, aiming to propose improvements related to the management and technologies in the Effluent Treatment Plant - ETE to promote the reuse of water. This work it is a study where interviews and structured questionnaires applied were held, as well as on-site conducting visits to obtain the data necessary for its development. Through the results it was found that the effluent generated by the organization cannot meet the standards set for its release, and its indirect reuse may be indicated by conform to standards recommended for this purpose. Thus creates the need for investment by the company in interventions for operational improvements, as well as additional treatment able to improve the quality of current effluent, for from then direct you to the potential reuses, such as gardening, steam generation, cooling and manufacturing cement. The use of management actions, such as preventive maintenance and operational training for those involved in the process will also contribute to the better studied ETE efficiency and, therefore, the reuse of the effluent.

Keywords: Wastewater Water Treatment, Reuse of Wastewater, Effluent Quality, Effluent Treatment Station - ETE.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Padrões para lançamento de efluente em Corpos Hídricos.....	23
Tabela 2: Padrões de Qualidade para reuso de efluente em Sistemas de Jardinagem.	23
Tabela 3: Padrões de Qualidade recomendado para reuso em Sistemas de Geração de Vapor.	24
Tabela 4: Padrões de qualidade recomentado para reuso em Sistemas de Refrigeração.	25

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Exemplos de reuso planejado no mundo.	10
Quadro 2: Parâmetros de controle e respectivos efeitos em torres de resfriamento.	26
Quadro 3: Características gerais dos processos de membranas usadas para tratamento de águas e efluentes	36
Quadro 4: Parâmetros Monitorados X Periodicidade	53
Quadro 5: Controles realizados na ETE X Plano de Ação.	54

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1: Reuso de água por setores na Europa.	11
Figura 2: Evolução dos processos de tratamento com o tempo.....	28
Figura 3: Capacidade de separação dos principais processos de separação por membrana.....	35
Figura 4: Fluxograma detalhado da ETE estudada.	50
Figura 5: Cone de Sedimentação Imhoff.	55
Figura 6: Eficiência da ETE com relação à DBO.....	57
Figura 7: Eficiência da ETE com relação à turbidez.	58
Figura 8: Eficiência da ETE com relação à DQO.	58
Figura 9: Eficiência da ETE com relação a Sólidos em Suspensão.	59
Figura 10: Eficiência da ETE com relação a Sólidos em Suspensão.....	59
Figura 11: Eficiência da ETE com relação a Sólidos Totais.....	60
Figura 12: Eficiência da ETE com relação a Óleos e Graxas.	60
Figura 13: Eficiência da ETE com relação a Nitrogênio Total.....	61
Figura 14: Eficiência da ETE com relação a Fósforo Total.	61
Figura 15: Produção da empresa (em toneladas).....	62
Figura 16: Produção X Vazão de Efluente – ETE.....	63
Figura 17: Efluente tratado X padrão de lançamento - DBO.....	64
Figura 18: Efluente tratado X padrões para reuso – Sólidos em Suspensão....	64
Figura 19: Efluente tratado X padrão de lançamento - DQO.	65
Figura 20: Efluente tratado X padrão de lançamento - Óleos e Graxas.....	66
Figura 21: Efluente tratado X padrões de lançamento – Nitrogênio Total.	66
Figura 22: Efluente tratado X padrões para reuso - DBO.....	68
Figura 23: Efluente tratado X padrões para reuso – Turbidez.	68
Figura 24: Efluente tratado X padrões para reuso – Sólidos em Suspensão....	69
Figura 25: Efluente tratado X padrões para lançamento e para reuso – Nitrogênio Total.....	69
Figura 26: Efluente tratado X padrões para reuso em Caldeiras – Nitrogênio Total.	71
Figura 27: Efluente tratado X padrões para reuso em Caldeiras – Sólidos Totais.	72

Figura 28: Efluente tratado X padrões para reuso em Caldeiras – Sólidos em Suspensão.....	72
Figura 29: Efluente tratado X padrões para reuso em Caldeiras – DQO.....	73
Figura 30: Efluente tratado X padrões para reuso em Sistemas de Refrigeração – Nitrogênio Total.	75
Figura 31: Efluente tratado X padrões para reuso em Sistemas de Refrigeração – Sólidos Totais.....	75
Figura 32: Efluente tratado X padrões para reuso em Sistemas de Refrigeração – Sólidos em Suspensão.....	76
Figura 33: Efluente tratado X padrões para reuso em Sistemas de Refrigeração – DBO.....	76
Figura 34: Efluente tratado X padrões para reuso em Sistemas de Refrigeração – DQO.....	77
Figura 35: Efluente tratado X padrões para reuso em Sistemas de Refrigeração – Turbidez.	77
Figura 36: Efluente tratado X padrões para reuso – DBO.....	79
Figura 37: Efluente tratado X padrões para reuso – DQO.....	79
Figura 38: Efluente tratado X padrões para reuso em Sistemas – Fósforo.....	80
Figura 39: Efluente tratado X padrões para reuso em Sistemas – Nitrogênio. .	80
Figura 40: Efluente tratado X padrões para reuso em Sistemas – Sólidos Sedimentáveis.....	81
Figura 41: Efluente tratado X padrões para reuso em Sistemas – Turbidez.....	81
Figura 42: Efluente tratado X padrões para reuso em Sistemas – Óleos e Graxas.	82
Figura 43: Distribuição do consumo de água por categoria de uso (L).....	83
Figura 44: Média mensal/ano de Consumo e Custo de Água.....	87

LISTAS DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.
A/M ou F/M - Relação Alimento/Micro-organismos
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO - Demanda Química de Oxigênio
ED - Eletrodíálise
EPA - *Environmental Protection Agency*
ETE – Estação de Tratamento de Efluentes
FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente
FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
IL - Idade do lodo
IVL - Índice Volumétrico de Lodo
MBBR - *Moving Bed Biofilm Reactor*
MBR - Biorreator com Membrana
MF - Microfiltração
NF - Nanofiltração
OD – Oxigênio Dissolvido
OR – Osmose Reversa
pH – Potencial de Hidrogênio Iônico
PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos
PSMs - Processos de Separação por Membrana
UF – Ultrafiltração
SÃO - Separadores de Água e Óleo
SS – Sólidos em Suspensão
SSRL - Sólidos em Suspensão no Retorno de Lodo
SST - Sólidos Suspensos Totais
SSTA- Sólidos em Suspensão no Tanque de Aeração
ST – Sólidos Totais
TRH - Tempo de Retenção Hidráulica

LISTAS DE UNIDADES

Mg/L – Miligramas por litro

ML/g – Mililitros por grama

m³ - Metros Cúbicos

UNT – Unidades Nefelométricas de Turbidez

UT – Unidades de Turbidez

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1.	DEFINIÇÕES DO PROBLEMA.....	3
1.2.	OBJETIVO GERAL.....	4
1.3.	IMPORTÂNCIA E MOTIVAÇÃO DA PESQUISA.....	5
1.4.	LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	5
1.5.	QUESTÕES E HIPÓTESES.....	6
1.6.	ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	6
1.7.	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO.....	8
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	9
2.1	HISTÓRICO SOBRE REUSO DE ÁGUA.....	9
2.2	CONCEITOS E DEFINIÇÕES SOBRE REUSO.....	15
2.3	OPORTUNIDADES E BENEFÍCIOS DO REUSO.....	17
2.4.1	REUSO DE ÁGUA PARA JARDINAGEM.....	21
2.4.2	REUSO DE ÁGUA PARA GERAÇÃO DE VAPOR.....	21
2.4.3	REUSO DE ÁGUA PARA SISTEMAS DE RESFRIAMENTO.....	21
2.4	PADRÕES E/OU RECOMENDAÇÕES DE QUALIDADE DE ÁGUA PARA REUSO.....	22
2.5	TRATAMENTO DE EFLUENTES VISANDO REUSO.....	26
2.6.1	TECNOLOGIAS PARA REUSO DE EFLUENTE.....	28
2.6.2	MISTURA DO EFLUENTE COM ÁGUA DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO.....	42
2.6	OPERAÇÃO, MONITORAMENTO E AMOSTRAGEM DE ETE.....	42
3	MÉTODOS E TÉCNICAS DA PESQUISA.....	45
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA ESTUDADA / PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CAIXAS E CHAPAS DE PAPELÃO ONDULADO.....	47
3.2	CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DA ETE DA EMPRESA ESTUDADA.....	49
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	52
4.1	PRINCIPAIS MONITORAMENTOS REALIZADOS NA ETE.....	52

4.2	PRINCIPAIS CONTROLES REALIZADOS NA ETE	53
4.3	AVALIAÇÃO DOS DADOS DE MONITORAMENTO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO EFLUENTE DE ENTRADA E SAÍDA DA ETE.....	56
4.4	QUALIDADE DO EFLUENTE TRATADO X LEGISLAÇÕES AMBIENTAIS E PADRÕES PERTINENTES RECOMENDADOS PARA OS PROCESSOS DA EMPRESA.....	63
4.5.1	LANÇAMENTO EM CORPOS HÍDRICOS	63
4.5.2	REUSO DE EFLUENTE PARA JARDINAGEM.....	67
4.5.3	AVALIAÇÃO DO REUSO DE EFLUENTE PARA GERAÇÃO DE VAPOR	70
4.5.4	REUSO DE EFLUENTE PARA SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO.....	74
4.5.4	REUSO DE EFLUENTE NO PROCESSO INDUSTRIAL	78
4.5	AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA DEMANDA DE ÁGUA POR SETOR.	82
4.6	PÓS-TRATAMENTO DO EFLUENTE TRATADO E TECNOLOGIAS APLICÁVEIS VISANDO REUSO	83
4.7	ANÁLISE DOS CUSTOS COM A AQUISIÇÃO DE ÁGUA.....	87
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	88
5.1	CONCLUSÕES	88
5.2	PERSPECTIVAS FUTURAS	90
	REFERÊNCIAS	91

1 INTRODUÇÃO

A Constituição de 1988 estabelece que a água é um bem da União ou dos Estados, ressaltando que o seu aproveitamento econômico e social deve buscar a redução de desigualdades (BRASIL, 1988).

O aumento da população mundial, somado ao consumo crescente dos recursos hídricos, colabora para uma perspectiva futura de escassez da água. As atividades humanas, cada vez mais diversificadas, associadas ao crescimento demográfico, vêm exigindo atenção maior às necessidades de uso de água para as mais diversas finalidades.

Assim, a qualidade das águas superficiais vem sendo deterioradas principalmente devido à ausência de planejamento no crescimento dos mais diversos segmentos produtivos.

Atualmente, uma das grandes preocupações refere-se à qualidade das águas superficiais, que vêm sendo utilizadas para disposição dos resíduos produzidos pelo homem. Os problemas de poluição das águas são, em sua maioria, caracterizados pelo crescimento urbano, rural e industrial mal planejado (PORRÉCA, 1998).

Considerando a limitação dos mananciais de superfície, atualmente as águas subterrâneas já precisam ser preferencialmente destinadas ao abastecimento público. Em decorrência dessas tendências, uma alternativa para a atividade industrial é a de utilização da água de reuso.

As abordagens acerca do tema reuso de água não é atual. Relatos demonstram que desde a Grécia Antiga já se adotava práticas voltadas principalmente à irrigação. No Brasil o conceito de reuso da água se intensificou com a Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, a qual instituiu Política Nacional de Recursos Hídricos e, através dela, a cobrança pelo uso de tais recursos como instrumento de gestão (BRASIL, 1997).

De acordo com a referida Lei, a captação da água e o lançamento de efluentes em corpos hídricos oneram os custos das empresas, assim as empresas têm investido em uso racional de água e reuso de efluentes tratados. Para isso, é necessário que a qualidade dos efluentes seja reestabelecida (parâmetros físicos, químicos e biológicos), visando tornar-se passível de reuso

e se lançado em corpos hídricos, não impactar negativamente nas características da água no ponto de lançamento.

Há a necessidade de se estabelecer padrões de qualidade, embasada por um suporte legal a fim de traduzem de uma forma generalizada e conceitual a qualidade desejada para a água. Os padrões devem ser cumpridos, por força de legislação, pelas entidades envolvidas com a água a ser utilizada (VON SPERLING, 2005).

As empresas precisam remeter seus processos produtivos à sustentabilidade devido às pressões que têm recebido tanto da sociedade quanto do próprio governo. A ausência do tratamento dos efluentes pode acarretar além de multas e sanções às indústrias, deterioração de ambientes naturais, morte da fauna de lagos e rios e/ou graves problemas ambientais (ANDRADE, 2011).

As atividades industriais no Brasil representam um volume anual de captação é de 16,65% do consumo de água, sendo o terceiro maior usuário de água, representando um consumo significativo (ANA, 2013).

Nesse contexto, o tratamento dos efluentes atua com foco na eliminação das impurezas produzidas pelos seres humanos nas suas atividades rotineiras.

Muitas vezes, não existe informação sobre o nível mínimo de qualidade de água para uma atividade industrial, o que pode dificultar a identificação de oportunidades de reuso. É necessário, portanto, um estudo mais detalhado do processo industrial para a caracterização da qualidade de água (FIRJAN, 2006).

O reuso de água pode acontecer de forma direta (quando o efluente após tratado segue para a área de consumo) ou indireta (quando o efluente após tratado é lançado em corpos de águas superficiais ou subterrâneas e posteriormente direcionado para a área de consumo). No Brasil o tipo de reuso mais comum tem sido o reuso indireto.

Em todas essas situações, uma questão-chave aparece: como enfrentar a relação demanda/oferta de água? E a resposta passa invariavelmente pela necessidade de serem estabelecidas políticas adequadas e implementados sistemas de gestão efetivos.

Dessa forma, torna-se necessário a busca por alternativas que viabilizem o uso de águas residuárias, tanto do ponto de vista ambiental como

do ponto de vista econômico, sobretudo em regiões áridas e semiáridas cujos recursos hídricos são bastante escassos, a exemplo do Nordeste brasileiro.

Uma das alternativas que se têm apontado para o enfrentamento do problema é o reuso de água, importante instrumento de gestão ambiental do recurso água e detentor de tecnologias já consagradas para a sua adequada utilização (MANCUSO; SANTOS, 2003).

Soluções alternativas que visam extrair água limpa de fontes menos convencionais, tais como o tratamento de efluentes para uso potável indireto, estão ganhando popularidade (ANG *et al.*, 2011).

Trabalhos voltados ao reuso de água têm sido desenvolvidos pelas empresas, no sentido de minimizar os impactos ambientais, sociais e econômicos dentro dessas organizações. O reuso mais praticado pelas organizações têm sido voltados a: sistemas de irrigação, torres de resfriamento e geração de vapor.

O reuso de águas, como uma ferramenta valiosa em um modelo de gerenciamento de águas e efluentes, pode reduzir a demanda sobre os mananciais em função da substituição da água potável por uma de qualidade inferior; desta forma, volumes significativos de água potável podem ser poupados pelo reuso quando se utiliza água de qualidade inferior (geralmente efluentes pós-tratados) (SILVA *et al.*, 2003).

Esse trabalho trata-se de um estudo de caso realizado numa empresa de fabricação de caixas e chapas de papelão ondulado visando avaliar o sistema de tratamento e a qualidade do efluente, propondo melhorias relacionadas à gestão e tecnologias na Estação de Tratamento de Efluentes – ETE objetivando o reuso de água.

A seguir, serão apresentadas as definições do problema, os objetivos, a importância, motivações e limitações da pesquisa, bem como, a apresentação e caracterização da empresa, objeto de estudo desta dissertação.

1.1. DEFINIÇÕES DO PROBLEMA

É perceptível que enfrentar a missão de manter a relação demanda/oferta de água será bastante complicada, passando invariavelmente pela necessidade de serem estabelecidas políticas públicas adequadas,

implementados sistemas de gestão efetivos, além de buscar alternativas racionais, tanto do ponto de vista ambiental como do ponto de vista socioeconômico, que viabilizem o uso de águas residuárias, sobretudo em regiões áridas e semiáridas cujos recursos hídricos são bastante escassos, a exemplo do Nordeste brasileiro.

A empresa estudada está situada em Feira de Santana – Bahia, uma região semiárida do Nordeste brasileiro, possui sistema de tratamento de efluentes com capacidade para processar 60m³/dia, estando trabalhando atualmente com a metade dessa capacidade.

A motivação da empresa para esse estudo se dá em função do custo significativo com a aquisição de água da concessionária para as demandas internas da organização, além de contribuição significativa com os princípios de responsabilidade socioambiental presente na política da organização.

1.2. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral é analisar o sistema de tratamento de efluente de uma empresa de fabricação de caixas e chapas de papelão ondulado, visando propor melhorias relacionadas à gestão e tecnologias na ETE com vistas ao reuso apropriado da água.

1.2.1 Objetivos específicos:

- Caracterizar *in loco* o sistema de tratamento de efluentes da ETE;
- Analisar os dados de monitoramento dos parâmetros físicos, químicos e biológicos do efluente de entrada e saída;
- Avaliar quantitativamente a demanda de água versus efluente tratado e os custos ligados à aquisição de água da concessionária para atendimento das demandas da organização;
- Avaliar a necessidade de pós-tratamento do efluente tratado visando propor tecnologias aplicáveis para correção de parâmetros, bem como outras medidas aplicáveis visando ao reuso do efluente.

1.3. IMPORTÂNCIA E MOTIVAÇÃO DA PESQUISA

As preocupações atuais voltadas a qualidade das águas subterrâneas e superficiais, além das legislações existentes e pressões de órgãos ambientais e sociedade de modo geral têm levado as empresas a se mobilizarem no sentido de reduzir o consumo de água e a geração de efluente e de realizar o reuso de água.

As indústrias situadas na cidade de Feira de Santana – Bahia, localizada no semiárido, despejavam seus efluentes *in natura* ou com tratamento prévio insatisfatório na bacia hidrográfica do rio Subaé (formada por sete municípios: Feira de Santana, São Gonçalo dos Campos, Santo Amaro da Purificação, São Francisco do Conde, São Sebastião do Passe, Amélia Rodrigues e Conceição do Jacuípe), corpo hídrico mais próximo, sendo essas constantemente penalizadas com notificações e até multas. Algumas organizações após sofrer essas pressões, passaram a desenvolver em suas unidades fabris ETEs, visando minimizar os impactos gerados aos corpos hídricos e reduzir as notificações e multas recebidas, porém ainda sem uso de práticas de reuso para minimizar os custos associados a aquisição de água da concessionária, que por sua vez praticava valores altíssimos para disponibilizar o recurso.

A motivação para a realização desse estudo advém das atividades desempenhadas pelo autor no Centro Industrial, período em que se notou que as empresas existentes precisavam de ações para reduzir os impactos associados ao corpo hídrico local, através da melhoria da qualidade do efluente proveniente das estações de tratamento.

1.4. LIMITAÇÕES DA PESQUISA

O estudo realizado apresentou duas limitações principais: a primeira se refere a ausência de sistema de medição automático (pH, vazão, oxigênio dissolvido, entre outros) no processo de tratamento da estação estudada, gerando morosidade na obtenção de informações.

A segunda limitação diz respeito a ausência de laboratórios internos para análises dos parâmetros de qualidade do efluente, levando à empresa terceirização das análises em outros laboratórios. Tal medida reduz a

quantidade de análises e parâmetros, além da gerar a impossibilidade de realização de testes finais de tratabilidade.

Desse modo, para este trabalho, não foi possível realizar testes de tratabilidade do efluente visando ao polimento do mesmo visando o reuso de água.

1.5. QUESTÕES E HIPÓTESES

O efluente tratado atualmente pela organização atende às características de reuso requeridas nas legislações e nos padrões orientativos de reuso para irrigação de áreas verdes e no processo produtivo? Quais melhorias no sistema de tratamento do efluente podem ser aplicadas para uma empresa de fabricação de caixas e chapas de papelão ondulado visando promover o reuso do mesmo? É viável economicamente, tecnicamente e ambientalmente a realização de reuso de efluente pela empresa em questão?

A hipótese básica estabelecida para esta dissertação é que através do advento de melhorias relacionadas à gestão e uso de tecnologias em estações de tratamento de efluente industrial possibilitam o reuso internamente, promovendo a elevação da sustentabilidade do planeta no que tange ao uso dos recursos hídricos, além de reduzir os custos das organizações na aquisição da água da concessionária.

1.6. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho trata de um estudo de caso feito em uma empresa do ramo de fabricação de caixas e chapas de papelão ondulado visando analisar o sistema de tratamento e reuso de efluente e propor melhorias relacionadas à gestão e tecnologias na ETE visando possibilitar o reuso de água.

O estudo de caso se caracteriza pelo estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira a permitir seu amplo e detalhado conhecimento, apresentando uma serie de vantagens, tais como o estímulo a novas descobertas, a ênfase na totalidade e a simplicidade dos procedimentos (ASTOR; TATIM, 2004).

A realização desse trabalho se dará em cinco etapas:

- A 1ª etapa iniciará com o conhecimento e caracterização *in loco* do sistema de tratamento de efluentes da ETE através de realização de visitas, análise de documentações (memoriais, projetos, roteiros de caracterização do empreendimento, procedimentos operacionais, licenças, entre outros documentos ligados ao acervo da empresa) e entrevistas junto aos colaboradores da organização envolvidos nos processos relacionados aos aspectos de gestão, equipamentos instalados e ao campo operacional;
- A 2ª etapa contemplará a análise dos dados obtidos do monitoramento dos parâmetros físicos, químicos e biológicos do efluente de entrada e saída, através da avaliação de laudos de análises. O padrão para a realização das avaliações dos parâmetros de DBO, DQO, Sólidos Totais, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Suspensos, Óleos e Graxas, Coliformes Fecais e Termotolerantes, Fósforo Total, Turbidez e Nitrogênio Total refere-se ao ano de 2012. Serão também avaliadas as variações da produção, a eficiência da ETE com relação a cada parâmetro e a comparação dos dados do efluente de saída com as legislações ambientais e padrões pertinentes.
- A 3ª etapa compreenderá a avaliação quantitativa da demanda de água versus efluente tratado, onde serão avaliadas as principais demandas de consumo de água e de geração de efluentes da unidade, avaliando as oportunidades de conservação de água, além das particularidades e qualidade de água necessária nesses pontos;
- A 4ª etapa avaliará os custos ligados a aquisição de água da concessionária para atendimento das demandas com base em recibos emitidos pela concessionária com detalhamento do consumo e custo mensal.

- A 5ª etapa avaliará a necessidade de pós-tratamento do efluente tratado visando propor tecnologias aplicáveis para correção de parâmetros que estejam fora do recomendado pelas legislações ambientais e padrões pertinentes, bem como outras medidas aplicáveis visando ao reuso de água.

1.7. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

A presente dissertação está dividida em cinco capítulos. O primeiro traz os aspectos introdutórios, bem como, a definição do problema da pesquisa e seus objetivos, sua importância, motivações e limitações, questões e hipóteses e aspectos metodológicos.

O segundo capítulo traz o referencial teórico da dissertação, abordando os conceitos, definições e históricos do tema tratamento e reuso de efluente. Este capítulo destaca suas principais oportunidades e benefícios, tecnologias e tratamentos, legislações internacionais e brasileiras enfatizando também os principais reusos na indústria, além de padrões e/ou recomendações de qualidade dos efluentes, finalizando com as recomendações para operação, monitoramento e amostragem da ETE.

O terceiro capítulo contém os métodos e técnicas utilizadas na dissertação que explica detalhadamente, o instrumento de coleta de dados utilizado, que foi a aplicação de um questionário, levantamento documental, visitas técnicas onde foram levantados dados sobre a ETE da empresa estudada, bem como, questões relacionadas a consumo de água, além de condutas adotadas na operação e monitoramento da estação.

O quarto capítulo apresenta os resultados e discussões, onde estão contidos os resultados e análise advindos dos questionários aplicados junto aos funcionários da empresa, bem como as visitas técnicas e as documentações analisadas. Esse capítulo também traz um comparativo dos parâmetros de monitoramento da ETE com as normas e recomendações sobre reuso, sugerindo também melhorias que a empresa pode adotar com relação a gestão e tecnologia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo apresenta uma revisão de literatura com o objetivo de nortear o leitor quanto aos assuntos que embasarão a análise e discussão dos dados.

Nesta seção serão abordados alguns tópicos relativos ao reuso e tratamento de água, visando facilitar o entendimento do papel a ser desempenhado pelas empresas no sentido de realização das melhores práticas de tratamento e reuso de água.

Serão apresentados o histórico sobre reuso, conceitos e definições, oportunidades e benefícios voltados a essa temática, além dos principais reusos realizados pelas indústrias, abordando também os padrões e recomendações necessários para a viabilização do reuso. Será discutido também a cerca dos principais tratamentos a serem recomendados para o efluente visando torna-lo próprio para os reusos apresentados e sobre a importância da eficaz operação, monitoramento e amostragem na ETE.

2.1 HISTÓRICO SOBRE REUSO DE ÁGUA

O reuso de água não é um tema novo. O termo água de reuso passou a ser utilizado com maior frequência na década de 1980, quando as águas de abastecimento foram se tornando cada vez mais caras, onerando o produto final, quando usadas no processo de fabricação. Como o preço do produto, ao lado de sua qualidade, é fator determinante para o sucesso de uma empresa, a indústria passou a procurar, dentro de suas próprias plantas, a solução para o problema, tentando reaproveitar ao máximo seus próprios efluentes e reduzir o consumo de água.

Segundo afirma a CETESB (2015), em muitas regiões do globo a população ultrapassou o ponto em que podia ser abastecida pelos recursos hídricos disponíveis. Hoje existem 26 países que abrigam 262 milhões de pessoas e que se enquadram na categoria de áreas com escassez de água.

O reuso planejado de águas residuárias é um conceito já praticado há muitos anos em todo o mundo (ALMEIDA, 2011) e que, no Brasil, se

intensificou com a Lei Federal nº 9.433/1997, que instituiu a cobrança pelo uso dos recursos hídricos como um instrumento de gestão. A Constituição de 1988 estabelece que a água é um bem da União ou dos Estados, ressaltando que o seu aproveitamento econômico e social deve buscar a redução de desigualdades.

De acordo com o Manual de Conservação e Reuso da Água na Indústria (2006), a primeira regulamentação que tratou de reuso de água no Brasil foi a norma técnica NBR 13.696, de setembro de 1997. O reuso de água já é adotado em vários países para usos domésticos, industriais e para processos de irrigação. O Quadro 1 demonstra como o reuso vem sendo praticado em vários países, tais como o Japão e a África do Sul, os quais já praticavam o reuso industrial conforme informações trazidas por Hermamm (2014).

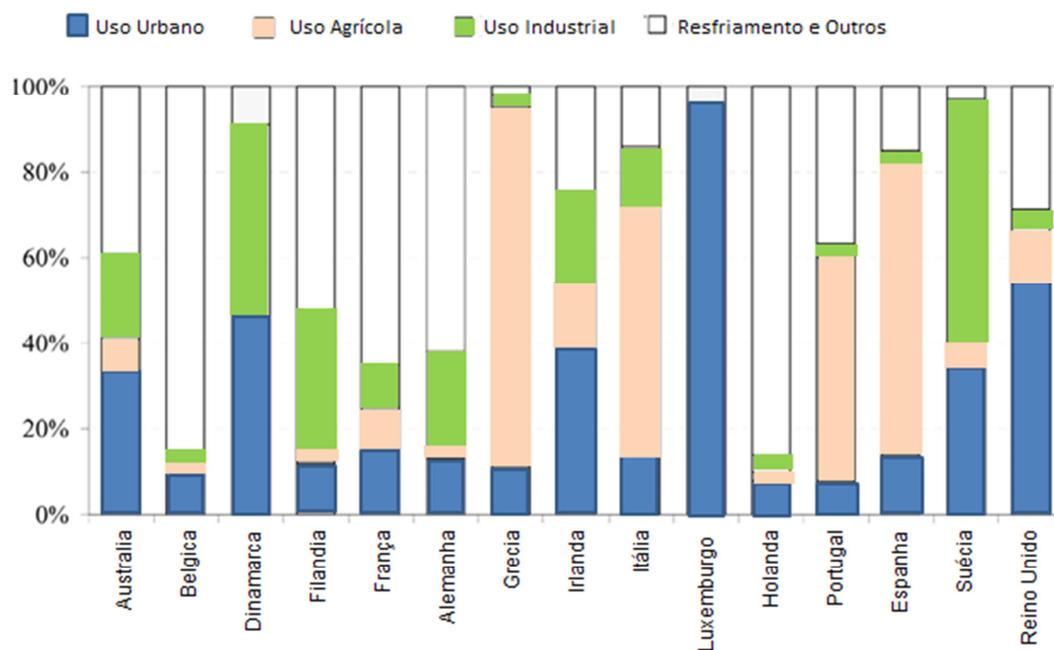
Quadro 1: Exemplos de reuso planejado no mundo.

PAÍS	TIPO DE REUSO	APLICAÇÃO	TRATAMENTO UTILIZADO
África do Sul	Direto não potável	Na indústria	Tanque de floculação e desinfetantes.
Estados Unidos	Indireto potável	Recarga de aquífero	Não mencionado.
Estados Unidos	Direto não potável	Rega de parques	Lagoas de estabilização.
EUA (Califórnia)	Direto não potável	Recreação: pesca	Carvão ativado, filtração e desinfecção.
Índia	Direto não potável	Em edifícios	Aeração, decantação e filtro de areia.
Israel	Direto não potável	Na agricultura	Lagoas anaeróbicas e desinfecção.
Japão	Direto não potável	Na indústria	Coagulação, sedimentação e filtração.

Fonte: HERMAMM (2014).

A Europa durante as últimas duas décadas assistiu um estresse hídrico crescente, tanto em termos de escassez quanto em termo de qualidade da água, o que levou muitos municípios promover uma utilização mais racional dos recursos hídricos, incluindo uma aceitação mais generalizada de práticas de reutilização de água (BIXIO *et al.*, 2006). A Figura 1 mostra a distribuição geográfica de projetos de reuso de água de reuso identificados na Europa, incluindo o tamanho e a utilização a que se destina.

Figura 1: Reuso de água por setores na Europa.



Fonte: BIXIO, *et al.* (2006).

GUIDOLIN (2000) cita ainda o caso de Brunswick, na Alemanha, onde foi criada, desde 1952, uma associação de usuários para aproveitamento dos esgotos da cidade. O esgoto é coletado na estação de tratamento e conduzido por gravidade por uma adutora até as estações de bombeamento nas áreas irrigadas por aspersão. Em 20 anos de operação do sistema não foi constatado nenhum caso de infecção, o que demonstra que as medidas de segurança adotadas são suficientes. O uso de água reciclada para fins agrícolas próximas a áreas urbanas pode ser atrativo, pois assim a irrigação pode receber grandes quantidades de água reciclada em vez de água dos mananciais que se destinam prioritariamente ao abastecimento humano.

Nos Estados Unidos, já em 1995, 2% do volume de água consumido era proveniente de água de reuso. Esse número vem crescendo a uma taxa de 15% ao ano e em 2005 estimava-se que 9,8x10⁶ m³/d de esgotos domésticos tratados estão sendo reutilizados, e cerca de 60% das indústrias possuem sistemas para reuso de efluentes (ASANO *et al.*, 2007 apud ANDRADE, 2011).

A Califórnia tem antigos requisitos gerais para o reuso potável indireto, datado de 1978, por meio da recarga de aquíferos, os quais estão sendo

atualizados para garantir que um aquífero que recebeu água de reuso atenda ao padrão de potabilidade e não exija tratamento posterior antes do consumo. O Estado ainda não desenvolveu critérios para uso reuso potável indireto por meio do aumento da vazão de cursos d'água, embora exista uma proposta neste sentido (BERNARDI, 2003).

A Flórida exige que os distritos de gerenciamento das águas do Estado identifiquem quais áreas têm ou terão abastecimento problemático nos próximos 20 anos, devendo elaborar estudos de viabilidade para as ETE's localizadas nestas áreas, prevendo o reuso de seus efluentes ou demonstrando que isto é inviável por razões econômicas, ambientais ou técnicas. Sendo julgado viável, a descarga do efluente tratado nas águas superficiais ou em injeções de poços profundos deve-se limitar à água de reposição necessária para os sistemas de reuso. (BERNARDI, 2003).

No Japão, especificamente em Tóquio, Leite (2003) relata o reuso a partir de 1951, quando uma fábrica de papel utilizou o efluente secundário de uma estação de tratamento de águas residuárias e passou a comercializar a mesma para outras indústrias da região. No final da década de 60, o Japão já possuía vários projetos urbanos de reuso e recuperação de águas residuárias.

No Japão, as cidades de Tóquio e Fukuoka reutilizam as águas residuárias tratadas nas descargas em edifícios comerciais, e na recuperação e aumento de fluxo dos recursos hídricos. Entretanto a água reutilizada é certificada através de um sistema de qualidade (ASANO *et al.*, 1996 apud CUTOLO, 2009).

O Brasil apresenta um grande potencial para projetos de reuso, a partir do efluente industrial tratado (dentro do site da empresa), ou a partir de esgotos tratados por concessionárias que tratam estes esgotos domésticos (OSÓRIO, 2013).

Exemplo disto é a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sapesb), que já comercializa água de reuso (a R\$ 0,94 R\$/m³ para empresas privadas), para empresas como a Coats Corrente (Linhas Corrente) que, desde 1997, compra água de reuso para usar na lavagem e tingimento das linhas. A Sapesb, em parceria com a Foz do Iguaçu, também desenvolveu o projeto Aquapolo, reconhecido, em 2011, pela revista Global Water Intelligence, como um dos dez maiores projetos de reuso do mundo, que tem

por finalidade abastecer o Polo Petroquímico de Capuava do ABC paulista, a partir de esgotos tratados (CARVALHO, 2013; OSÓRIO, 2013).

Outro projeto deste tipo é o projeto entre a Petrobras e a Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (Cedae), que em 2005 firmaram contrato para fornecimento de água de reuso para o Complexo Petroquímico de Estado do Rio de Janeiro – Comperj, para ser usada em processos de geração de vapor e resfriamento das caldeiras, entre outros. Já a Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), fornece água industrial por meio da Estação de Tratamento de Água Industrial para algumas empresas do distrito industrial de Curitiba e região (CARVALHO, 2013; OSÓRIO, 2013).

Já o reuso de água a partir de efluentes industriais vem sendo observado de forma crescente nas indústrias. Muitas indústrias tem desenvolvido programas como “efluente zero” ou “descarga zero” que preconiza que nenhuma água que entra no processo industrial pode ser descartada. A tendência é que mais empresas tenham metas de redução de consumo de água e de geração de efluentes. Neste sentido, podemos citar o caso da empresa petroquímica Petrom, que com o programa efluente zero, investiu em uma ETE com membrana de ultrafiltração para possibilitar o reuso total do efluente tratado, sem o descarte no corpo hídrico (FIESP, 2013; SENAI, 2014).

No que tange a legislações o Brasil vem elaborando documentos que buscam consolidar uma forma de valorização de seus recursos hídricos. O Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934 aprovou o Código das Águas Brasileiro, com o objetivo de estabelecer um regime jurídico de gestão das águas, dispondo sobre a classificação, utilização e aproveitamento do potencial hidráulico do país (BRASIL, 1934).

A Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação (BRASIL, 1981). A Constituição de 1988 que estabelece que a água é um bem da União e que compete a ela e aos estados registrar, acompanhar e fiscalizar as concessões de direitos de pesquisa e exploração de recursos hídricos em seus territórios (BRASIL, 1988).

A Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), que define a água como um bem de domínio

público e um recurso natural limitado dotado de valor econômico, cuja gestão deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades. O Capítulo IV da referida Lei trata dos instrumentos definidos para gestão dos recursos hídricos, como o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água, a outorga pelo direito de uso da água e a cobrança por este uso (BRASIL, 1997).

A norma técnica NBR 13.969, de setembro 1997 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT foi o primeiro critério voltado para o reuso de águas no Brasil. Essa norma trata da construção e operação de tanques sépticos, unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos, e no item 5.6, aborda o reuso de esgotos domésticos tratados para fins que exigem qualidade de água não potável (ABNT, 1997).

Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável. No artigo 30 são definidas cinco modalidades de reuso de água: o reuso para fins urbanos, para fins agrícolas e florestais, para fins ambientais, para fins industriais e, por fim, o reuso na aquicultura.

Ações direcionadas a institucionalização do reuso no Brasil marcam o país desde 1994 com a Agenda 21, e a partir daí várias outras mobilizações têm mobilizado essa prática. Abaixo, endossa Hespanhol (2002):

- Agenda 21 (1994) dedicou importância especial ao reuso, recomendando aos países participantes da ECO, à implementação de políticas de gestão dirigidas para o uso e reciclagem de efluentes, integrando proteção da saúde pública de grupos de risco, com práticas ambientais adequadas;
- No Capítulo 21 – “Gestão ambientalmente adequada de resíduos líquidos e sólidos”, Área Programática B – “Maximizando o reuso e a reciclagem ambientalmente adequadas”, estabeleceu, como objetivos básicos: “vitalizar e ampliar os sistemas nacionais de reuso e reciclagem de resíduos”, e “tornar disponível informações, tecnologia e instrumento de gestão apropriados para encorajar e tornar operacional, sistemas de reciclagem e uso de águas residuárias”;
- A prática de uso de águas residuárias também é associada e suportiva, às seguintes áreas programáticas incluídas no capítulo 14 – “Promovendo a agricultura sustentada e o

desenvolvimento rural”, capítulo 18 – “Proteção da qualidade das fontes de águas de abastecimento – Aplicação de métodos adequados para o desenvolvimento, gestão e uso dos recursos hídricos”, visando a disponibilidade de água “para a produção sustentada de alimentos e desenvolvimento rural sustentado” e “para a proteção dos recursos hídricos, qualidade da água e dos ecossistemas aquáticos”, e no capítulo 30, “Fortalecimento do papel do comércio e da indústria”.

- A “Conferência Interparlamentar sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente” realizada em Brasília, em dezembro de 1992, recomendou, sob o item Conservação e Gestão de Recursos para o Desenvolvimento (Parágrafo 64/B), que se envidasse esforços, em nível nacional, para “institucionalizar a reciclagem e reuso sempre que possível e promover o tratamento e a disposição de esgotos, de maneira a não poluir o meio ambiente”.

No Brasil, o reuso vem sendo difundido impulsionado pela fiscalização derivada da atenção ao disposto na Lei Federal nº. 9.433/1997, a qual regula e visa a aplicação da Política Nacional de Recursos Hídricos, autorizado a licença e a cobrança pelo uso dos recursos hídricos do território nacional (CUNHA, *et al.*, 2014).

A seguir os principais conceitos e definições sobre o tema, classificação e tipos de reuso de água, oportunidades e benefício do reuso, padrões de qualidade do reuso, entre outros aspectos relevantes são discutidos.

2.2 CONCEITOS E DEFINIÇÕES SOBRE REUSO

A Resolução CNRH nº 54/2005, que estabelece critérios gerais para reuso de água potável, traz o termo reuso de água como sendo a “utilização de água residuária” e água de reuso como sendo a “água residuária que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas” (CNHR, 2005).

O reuso de água pode ser classificado em duas grandes categorias: potável e não potável. O reuso potável pode ser direto e indireto, onde este último subdivide-se em recargas de aquíferos e aumento de fontes superficiais e o não potável pode ser subdividido em reuso urbano, agrícola, recreacional, no meio ambiente, industrial, recarga de aquíferos e em aquicultura (EPA, 2004).

A Resolução nº. 54/2005 Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA aborda o reuso direto de água como sendo o uso planejado de água de reuso, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos; Trata-se de um uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquíferos e água potável. Já o reuso indireto ocorre quando a água já usada, uma ou mais vezes para o uso doméstico ou industrial, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente a jusante, de forma diluída. E a reciclagem é o reuso da água internamente às instalações industriais, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição.

A Organização Mundial da Saúde não recomenda o reuso direto de esgotos tratados para consumo humano visualizado como a conexão direta dos efluentes de uma estação de tratamento de esgotos a uma estação de tratamento de águas e, em seguida, ao sistema de distribuição (ALMEIDA, 2011).

O reuso indireto compreende a diluição dos esgotos, após tratamento, em um corpo hídrico (lago, reservatório ou aquífero subterrâneo), no qual, após tempos de detenção relativamente longos, é efetuada a captação, seguida de tratamento adequado e posterior distribuição. O conceito de reuso indireto implica, evidentemente, que o corpo receptor intermediário, seja um corpo hídrico não poluído, para, através de diluição adequada, reduzir a carga poluidora a níveis aceitáveis (HESPANHOL, 2002).

Segundo Mierzwa e Hespanhol (2005), a expressão “uso de efluentes” pressupõe o uso de uma água de menor qualidade que a água potável e, por isso, constitui uma alternativa mais plausível para que sejam satisfeitas demandas de água menos restritivas. Portanto, fundamentalmente em regiões que sofrem com o estresse hídrico, libera-se água de melhor qualidade para usos mais nobres e evita-se o desperdício de água (WENZEL; KNUDSEN, 2005).

O reuso, até a alguns anos tido como uma opção exótica é hoje uma alternativa que não pode ser ignorada, notando-se distinção cada vez menor entre técnicas de tratamento de água versus técnicas de tratamento de efluentes. Realmente o tratamento de água deve ser visto como um meio de

purificar a água de qualquer grau de impureza para um grau de pureza que seja adequado ao uso pretendido, predominando, portanto, a importância de selecionar e combinar, competentemente, os diversos processos unitários que sejam adequados (MANCUSO; SANTOS, 2003).

A reutilização de efluentes tratados é a forma de reuso mais utilizada na indústria e consiste na utilização de efluentes gerados na própria indústria, após tratamento adequado para a obtenção da qualidade necessária aos usos pré-estabelecidos. O potencial de reuso dos efluentes tratados é avaliado através do aumento da concentração de contaminantes que não são eliminados pelas técnicas de tratamento empregadas. Muitas vezes, para viabilizar o reuso, é necessário um tratamento adicional a fim de compatibilizar a concentração de um poluente específico com o processo o qual será encaminhado (HESPANHOL *et al.*, 2007 apud NASCIMENTO, 2012).O capítulo a seguir trará sobre as oportunidades e benefícios do reuso.

2.3 OPORTUNIDADES E BENEFÍCIOS DO REUSO

O reuso de água traz inúmeras oportunidades, favorecendo a redução de demandas sobre os mananciais existentes, substituindo a água potável por uma água de qualidade inferior compatível com a especificidade de determinado uso.

O reuso implica em redução de custos, principalmente se é considerado em associação com novos projetos de sistemas de tratamento, uma vez que os padrões de qualidade de efluentes, necessários para diversos tipos de uso, são menos restritivos do que os necessários para proteção ambiental (SOARES, 2011).

De maneira geral, o reuso industrial acarreta em benefícios ambientais, econômicos e sociais, dentre os quais pode-se citar a redução do lançamento de efluentes industriais em cursos d'água, possibilitando a melhoria da qualidade das águas; a redução da captação de águas superficiais e subterrâneas, possibilitando uma situação ecológica mais equilibrada e um aumento da disponibilidade de água para usos mais exigentes, como abastecimento público; a conformidade em relação a padrões e normas ambientais, possibilitando uma melhor inserção dos produtos brasileiros nos

mercados internacionais; a redução dos custos de produção; e melhoria da imagem do setor produtivo junto à sociedade, com reconhecimento de empresas ambiental e socialmente responsáveis (ANDRADE, 2011).

A avaliação econômica dos projetos de reuso deve ser baseada nos custos incrementais e nos benefícios proporcionados pelo empreendimento. Uma metodologia adotada em diversos projetos é a de ajustar os custos marginais e os benefícios ao valor presente, a uma taxa de desconto real e projetar o sistema de maneira que a relação benefício/custo seja superior à unidade. Outra possibilidade é a de determinar a taxa interna de retorno do projeto, e de verificar se esta é competitiva (FORERO, 1993 apud HESPANHOL, 2002).

Segundo o Manual de Conservação e Reuso para a Indústria (FIESP, 2004), as indústrias que buscarem a implantação de um programa de conservação e reuso de água serão beneficiadas nos aspectos ambientais, econômicos e sociais, tais como:

- Redução do lançamento de efluentes industriais em cursos d'água, possibilitando melhorar a qualidade das águas interiores;
- Redução da captação das águas superficiais e subterrâneas, possibilitando aumento da disponibilidade de água para usos mais exigentes;
- Conformidade ambiental em relação a padrões e normas ambientais;
- Redução dos custos de produção;
- Aumento da competitividade do setor;
- Habilitação para receber incentivos e coeficientes redutores dos fatores da cobrança pelo uso da água;
- Melhoria da imagem do setor produtivo junto à sociedade, com reconhecimento de empresas socialmente responsáveis.

O Art. 3º da Resolução nº 54 (CNRH, 2005) trata que o reuso direto de água não potável abrange as modalidades de reuso para fins urbanos: utilização de água de reuso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil,

edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana; reuso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reuso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas; reuso para fins ambientais: utilização de água de reuso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente; reuso para fins industriais: utilização de água de reuso em processos, atividades e operações industriais; e, reuso na aquicultura: utilização de água de reuso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos. Ainda segundo o artigo, as modalidades de reuso não são mutuamente excludentes, podendo mais de uma delas ser empregada simultaneamente em uma mesma área.

O reuso pode ocasionar impactos negativos sobre os processos de tratamento de efluentes. Quando a água de reuso não sai do sistema, ou seja, ele é fechado, os poluentes têm sua concentração aumentada a cada ciclo de reuso. Desse modo, os processos de tratamento podem ser sobrecarregados e ter sua eficiência comprometida (TCHOBANOGLIOUS; BURTON, 2003). Contudo, essa sobrecarga pode ser prevista e, para tanto, Mierzwa e Hespanhol (2005) propõem a modelagem matemática do sistema de reuso baseada no balanço de cargas dos poluentes a fim de que os impactos sobre o tratamento de efluentes e sobre a qualidade da água de reuso possam ser planejados antes da implantação do sistema de reuso.

Antes de verificar as oportunidades de reuso é fundamental que sejam levantadas as oportunidades de racionalização do uso. Os processos capazes de receber água de reuso também devem ser elencados, tendo sua qualidade e quantidade mínima de água determinadas. Depois de verificadas essas demandas, é necessário verificar as fontes de oferta de água de reuso disponíveis.

O setor privado, particularmente o industrial, vem gradualmente se conscientizando de que a prática de reuso e reciclagem pode trazer benefícios significativos tanto no que concerne ao processamento industrial quanto em relação às águas de utilidades. As políticas tarifárias, praticadas pela maioria das companhias municipais e estaduais de saneamento, assim como o advento e a implementação das PRINCIPAIS REUSOS DA ÁGUA NA INDÚSTRIA estruturas de outorga e cobrança, tanto na tomada de água como na diluição dos despejos produzidos, têm levado as indústrias a dedicarem

especial atenção às novas tendências e tecnologias disponíveis para reuso e reciclagem de efluentes (CUNHA et al., 2011).

O reuso e reciclagem na indústria constituem ferramentas de gestão fundamentais para a sustentabilidade da produção industrial. A prática de reuso industrial pode ser estendida na produção de água para caldeiras, em sistemas de resfriamento, em lavadores de gases e como água de processos. (BERNARDI, 2003).

Na indústria é possível reuso de água em: torre de resfriamento como água de *make-up*; caldeiras; construção civil, (incluindo preparação e cura de concreto, e para compactação do solo); irrigação de áreas verdes de instalações industriais; lavagens de pisos e alguns tipos de peças (principalmente na indústria mecânica); lavagem de equipamentos; processos industriais (principalmente nas indústrias de papel, têxtil, plásticos, curtume e petroquímica), lavagem de gases da chaminé; sanitários; proteção contra incêndios, dentre outros (SILVA; ANDRADE, 2013).

O reuso de água reduz a demanda de água oriunda dos mananciais, ocorrendo a substituição da água potável por uma água de qualidade inferior. Esta prática muito discutida, posta em evidência e já utilizada por muitos países, é baseada no conceito de substituição de fontes. Tal substituição é possível em função da qualidade requerida o uso a que se destina. Desta forma, grandes volumes de água podem ser poupados pelo reuso quando se utiliza água de qualidade inferior, geralmente oriunda de efluentes tratados, para o atendimento de finalidades que necessitem ou não de atendimento aos padrões de potabilidade. (MORELLI, 2005).

Reuso e conservações devem, também, ser estimulados nas próprias indústrias, através de utilização de processos industriais e de sistemas de lavagem com baixo consumo de água, assim como em estações de tratamento, através da recuperação e reuso das águas de lavagem de filtros e de decantadores (ALMADA, 2009).

2.4.1 REUSO DE ÁGUA PARA JARDINAGEM

O uso da água para irrigação é uma das aplicações mais antigas. Os padrões de qualidade para irrigação dependem do tipo de cultura desejada. Ou seja, para culturas ingeridas cruas, é preciso que a água tenha um alto grau de qualidade, principalmente por causa de substâncias potencialmente tóxicas e organismos patogênicos. No caso da irrigação de plantas arbóreas, ou alimentos ingeridos descascados ou cozidos, os padrões de qualidade são menos restritivos (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

O reuso de água para irrigação surge como alternativa para aumentar a oferta de água, garantindo economia do recurso e racionalização do uso desse bem. Diversos países já utilizam essa tecnologia e possuem regulamentação específica na temática. Porém, o Brasil ainda está em fase embrionária na efetivação e regulamentação da técnica, com grande potencial de crescimento (OLIVEIRA et al., 2012).

2.4.2 REUSO DE ÁGUA PARA GERAÇÃO DE VAPOR

O reuso de efluentes para reposição de água de caldeira exige uma qualidade e um nível de tratamento superior. Nesse caso, a qualidade da água requerida irá depender da pressão na qual a caldeira é operada. De maneira geral, quanto maior a pressão, melhor deve ser a qualidade da água (EPA, 2004).

2.4.3 REUSO DE ÁGUA PARA SISTEMAS DE RESFRIAMENTO

Para a maioria das indústrias, a maior parte do reuso de efluentes é feito para água de resfriamento, uma vez que essa é uma das aplicações com menores requisitos de qualidade. Além disso, os avanços das tecnologias de tratamento de água possibilitaram um melhor controle de depósitos, corrosão e controle de problemas de crescimento biológico associados frequentemente com o uso de água recuperada em sistemas de resfriamento (EPA, 2004).

Esgotos domésticos tratados têm sido amplamente utilizados como água de resfriamento em sistemas com e sem recirculação. Os esgotos apresentam

uma pequena desvantagem em relação às águas naturais, pelo fato de possuírem temperatura um pouco mais elevada. Em compensação, a oscilação de temperatura é muito menor nos esgotos domésticos do que em águas naturais (MARON JUNIOR, 2006).

O uso de efluentes secundários, tratados em sistemas de resfriamento, além de ser experiência bem sucedida tanto no exterior quanto no Brasil, apresenta a possibilidade de ser concretizada em curto prazo e com reduzido volume de investimentos (DIAS, 2005), entretanto no Brasil, o uso de efluentes secundários nesse tipo de sistemas corresponde a apenas 17% da demanda de água não potável industrial (HESPANHOL, 2007).

Segundo Cavalcante *et al.* (2012), a análise da possibilidade de reciclagem de efluentes industriais para reposição em torres de resfriamento deve considerar múltiplos fatores, tais como: qualidade e quantidade do efluente, padrão para reposição, avaliação de diferentes esquemas de tratamento e análise de custo.

O tratamento adequado da água de alimentação da torre, independente de sua origem, tende a controlar e minimizar os riscos de contaminação dos operadores e pessoas que têm acesso ao sistema de resfriamento (ASANO, 1998).

2.4 PADRÕES E/OU RECOMENDAÇÕES DE QUALIDADE DE ÁGUA PARA REUSO

Para garantir a qualidade da água de reuso é preciso monitorar os parâmetros de qualidade da água e analisar a qualidade requerida para o uso que será feito da mesma. Esses parâmetros traduzem as principais características físicas, químicas e biológicas.

A qualidade do efluente tratado para lançamento de efluentes tratados em corpos hídricos, onde pode ocorrer o reuso indireto, é dada pela Resolução CONAMA 430/11 e por regulamentações estaduais, a exemplo da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 1/08, do estado de Minas Gerais. A Tabela 1 traz os padrões recomendados por essas legislações.

Tabela 1: Padrões para lançamento de efluente em Corpos Hídricos.

PARÂMETROS	UNIDADE DE MEDIDA	CONAMA 430/11	COPAM/CERH-MG nº 1/08
Nitrogênio total	mg/L	20	20
Sólidos em suspensão	mg/L		Até 100
Óleos e graxas	mg/L	20	20
DBO	mg/L		Até 60
DQO	mg/L		Até 180

Fonte: CONAMA 430/11; COPAM/CERH-MG nº 1/08.

Para reuso de efluente para jardinagem têm-se os padrões recomendados do Manual FIESP (2005). A Tabela 2 apresenta recomendações de padrões de qualidade para reuso de efluente em sistemas de jardinagem.

Tabela 2: Padrões de Qualidade para reuso de efluente em Sistemas de Jardinagem.

PARÂMETROS		CONCENTRAÇÃO	
pH		Entre 6,0 e 9,0	
Salinidade		0,7 < EC (dS/m) < 0,3 450 < SDT (mg/L) < 1500	
Toxicidade por íons específicos	Para irrigação superficial	Sódio (SAR)	Entre 3 e 9
		Cloretos (mg/L)	< 350 mg/L
		Cloro residual (mg/L)	Máxima de 1 mg/L
	Para irrigação com aspersores	Sódio (SAR)	> ou = 3,0
		Cloretos (mg/L)	< 100 mg/L
		Cloro residual (mg/L)	< 1,0 mg/L
Boro (mg/L)	Irrigação de culturas alimentícias	0,7 mg/L	
	Regas de jardins e similares	3,0 mg/L	
Nitrogênio total (mg/L)		5-30 mg/L	
DBO (mg/L)		< 20 mg/L	
Sólidos suspensos totais (mg/L)		< 20 mg/L	
Turbidez (UT)		< 5 UT	
Cor aparente (UH)		< 30 UH	
Coliformes fecais (ml)		200/100 ml	

Fonte: FIESP (2005).

Para sistemas de geração de vapor (caldeiras) o Manual da FIESP recomenda parâmetros para pH, sílica, zinco, Sólidos Totais, Sólidos em Suspensão, Nitrogênio e DQO, conforme demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3: Padrões de Qualidade recomendado para reuso em Sistemas de Geração de Vapor.

PARÂMETRO	GERAÇÃO DE VAPOR		
	Caldeira de Baixa Pressão (< 10 bar)	Caldeira de Média Pressão (10 a 50 bar)	Caldeira de Alta Pressão (> 50 bar)
Cloretos	+	+	+
Sólidos dissolvidos totais	700	500	200
Dureza	350	1,0	0,07
Alcalinidade	350	100	40
PH	7,0 a 10,0	8,2 a 10,0	8,2 a 9,0
DQO	5,0	5,0	1,0
Sólidos suspensos totais	10	5	0,5
Turbidez			
DBO			
Compostos orgânicos + +	1,0	1,0	0,5
Nitrogênio amoniacal	0,1	0,1	0,1
Fosfato			
Sílica	30	10	0,7
Alumínio	5,0	0,1	0,01
Cálcio	+	0,4	0,01
Magnésio	+	0,25	0,01
Bicarbonato	170	120	48
Sulfato	+	+	+
Cobre	0,5	0,05	0,05
Zinco	+	0,01	0,01
Substâncias extraídas em tetracloreto de carbono	1	1	0,5
Sulfeto de hidrogênio	+	+	+
Oxigênio dissolvido	2,5	0,007	0,0007

Fonte: Adaptado de FIESP (2004).

Para os sistemas de refrigeração as recomendações baseiam-se no Manual FIESP (2004), conforme exposto na Tabela 4.

Tabela 4: Padrões de qualidade recomendados para reuso em Sistemas de Refrigeração.

PARÂMETRO	ÁGUA DE RESFRIAMENTO
Cloretos	500
Sólidos dissolvidos totais	500
Dureza	650
Alcalinidade	350
PH	6,9 a 9,0
DQO	75
Sólidos suspensos totais	100
Turbidez	50
DBO	25
Compostos orgânicos + +	1,0
Nitrogênio amoniacal	1,0
Fosfato	4,0
Sílica	50
Alumínio	0,1
Cálcio	50
Magnésio	0,5
Bicarbonato	24
Sulfato	200
Cobre	--x--
Zinco	--x--
Substâncias extraídas em tetracloreto de carbono	--x--
Sulfeto de hidrogênio	--x--
Oxigênio dissolvido	--x--

Fonte: FIESP (2004)

O controle dos parâmetros de qualidade do efluente precisa ser monitorado, visando não acarretar efeitos como incrustação, corrosão e deposição nos sistemas de resfriamento. No Quadro 2 serão relacionados parâmetros de controle e respectivos efeitos em torres de resfriamento.

Quadro 2: Parâmetros de controle e respectivos efeitos em torres de resfriamento.

PARÂMETROS	EFEITO
Cloretos	Corrosão
SDT	Corrosão, incrustação, deposição
Dureza	Incrustação
Alcalinidade	Incrustação
pH	Corrosão, incrustação
DQO	Deposição microbiológica
SST	Deposição
Turbidez	Deposição
DBO	Deposição microbiológica
MBAS	Deposição
Nitrogênio amoniacal	Deposição microbiológica
Fosfatos	Incrustação
Sílica	Incrustação
Alumínio	Deposição, incrustação
Ferro	Deposição, incrustação
Manganês	Corrosão, incrustação
Cálcio	Incrustação
Magnésio	Incrustação
Bicarbonatos	Incrustação
Sulfatos	Corrosão, incrustação
Sulfetos	Corrosão
Cloro residual livre	Corrosão
COT	Deposição microbiológica
Hidrocarbonetos totais	Deposição, deposição microbiológica

Fonte: SILVA (2009).

2.5 TRATAMENTO DE EFLUENTES VISANDO REUSO

Para se adquirir uma melhor qualidade nos parâmetros de qualidade para água de reuso, tecnologias de tratamento devem ser empregadas. A escolha de uma ou a combinação entre duas ou mais técnicas, sempre dependerá do potencial de cada técnica, dos mecanismos envolvidos na redução do contaminante de interesse e da qualidade da água de reuso que se necessita. Para que a tecnologia empregada tenha a eficácia esperada, é preciso que haja nas ETE uma manutenção e operacionalização adequada.

A escolha dos processos de tratamento de águas residuárias é de fundamental importância para o sucesso do empreendimento. Por isso, esta deve ser bastante criteriosa e fundamentada na caracterização adequada do efluente a ser tratado, no conhecimento das técnicas de tratamento existentes

e nas necessidades e requisitos de qualidade da aplicação do reuso proposto, bem como na estimativa de custos (SILVA, 2012).

O grau de tratamento do efluente vai depender de dois fatores básicos: da qualidade desse efluente antes de ser lançado no corpo receptor e da legislação ambiental em vigor que regula os padrões de qualidade do efluente para o seu lançamento em um determinado corpo receptor (DEZOTTI, 2008), já que não são estabelecidos padrões regulamentados para água de reuso. O tratamento de efluentes pode ser dividido, simplificadamente, em três etapas:

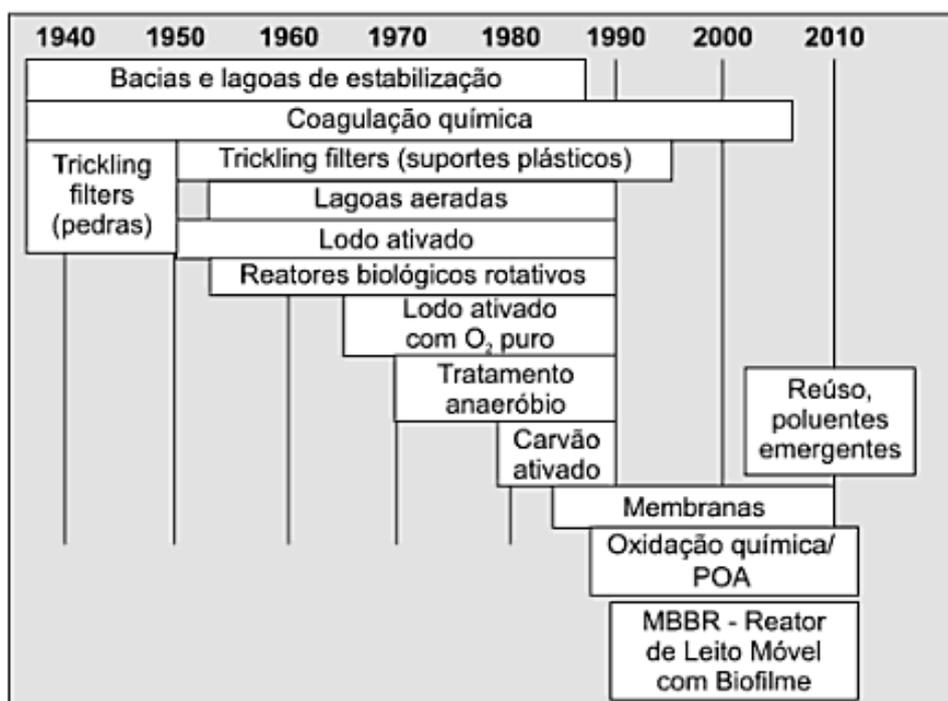
Tratamento primário: É empregado para a remoção de sólidos em suspensão e material graxo (óleos e graxas), também para a equalização (amortecimento de picos de concentração e/ou vazão) e ajuste de pH;

Tratamento secundário: é empregado para a remoção, via ação biológica, do material orgânico solúvel de natureza biodegradável. Comunidades microbianas heterogêneas conduzem esse processo de depuração;

Tratamento terciário: visa a remoção do material solúvel não removido nas etapas de tratamento anteriores, como pe o caso dos nutrientes (N e P), de metais pesados, compostos orgânicos recalcitrantes e/ou refratários ou ainda de substâncias que conferem cor e odor. Pode ainda visar a desinfecção do efluente, gerando água candidata a reuso (DEZOTTI, 2008).

Com os estudos realizados constantemente, pode se observar que os processos de tratamento evoluíram com o decorrer do tempo. A Figura 2 ilustra um pouco dessa evolução. O tratamento utilizado através de bacias e lagoas de estabilização foi mais intenso no período de 1940 até próximo a 1990, por exemplo. De 1985, aproximadamente, até 2010, intensificou-se o uso de membranas, Oxidação Química e biofilmes. Atualmente, outros trabalhos têm sido desenvolvidos constantemente no sentido de melhorar a qualidade do efluente e recomendá-lo para novas possibilidades de uso.

Figura 2: Evolução dos processos de tratamento com o tempo.



Fonte: DEZOTTI (2008).

O tratamento terciário, em geral, é necessário para que os efluentes de plantas de tratamento avançado possam ser reusados ou reciclados, direta ou indiretamente, na planta industrial. Essa prática aumenta a disponibilidade de água para suprimento industrial ou doméstico, e porque alguns corpos d'água não são capazes de tolerar as cargas de poluentes do tratamento secundário (MACHADO, 2005).

2.6.1 TECNOLOGIAS PARA REUSO DE EFLUENTE

As águas residuárias provenientes de processos industriais geralmente podem apresentar em sua composição uma grande diversidade de poluentes orgânicos e inorgânicos de difícil degradação. Esses compostos podem ser tóxicos a diversos organismos e potencialmente cancerígenos. Conseqüentemente, os efluentes descartados devem ser cuidadosamente estudados quanto a sua biodegradabilidade e sua toxicidade, a fim de que sejam evitados, ou minimizados, os impactos ambientais causados pelos seus despejos ou reuso (SILVA, 2012).

Somente após a análise detalhada dos tipos e características dos contaminantes que deverão ser minimizados ou eliminados no tratamento de efluente, será escolhida a tecnologia a ser utilizada. De modo geral, esses contaminantes dividem-se em seis classes: sais orgânicos dissolvidos, gases dissolvidos, compostos orgânicos dissolvidos, partículas em suspensão, microrganismos e óleos e graxas. Cada uma dessas classes requer um tipo de tratamento específico e próprio (SILVA; ANDRADE, 2013).

Silva e Andrade (2013) esclarecem que, na maior parte dos casos, apenas com a combinação de duas ou mais técnicas se conseguirá obter um tratamento de efluente eficiente. O tratamento fundamenta-se no conhecimento do potencial de cada técnica e dos mecanismos envolvidos na redução do contaminante de interesse.

As técnicas mais utilizadas no que tange a reuso de efluentes são: eletrofloculação, neutralização, filtração e centrifugação, precipitação química, coagulação, floculação e sedimentação ou flotação, oxidação ou redução química, tratamento biológico anaeróbico ou por lodos ativados, adsorção em carvão ativado, processos de separação por membrana (PSMs), troca iônica, separação térmica, MBR, MBBR e *stripping* ou extração (BURTON, 2006; SILVA, 2012; MIGUEL, 2012; SILVA; ANDRADE, 2013; HERMAMM, 2014; RIGO et al., 2014)

O processo da eletrofloculação, também chamado de eletrocoagulação ou eletroflotação é essencialmente um processo eletrolítico que envolve a desestabilização de poluentes emulsificados, ou em suspensão, em meio aquoso. Basicamente, este processo ocorre em três etapas. Na primeira, o coagulante é gerado in situ pela oxidação de um ânodo metálico de sacrifício; assim que os respectivos cátions são gerados na fase anódica, estes reagem com moléculas de água para formação dos respectivos hidróxidos e poli-hidróxidos. Os materiais mais utilizados como ânodos de sacrifício são o ferro e o alumínio, devido a seu baixo custo, disponibilidade e eficácia. Paralelamente, tem-se a eletrólise da água e a formação de microbolhas de oxigênio no ânodo e hidrogênio no cátodo que carregarão, na última etapa, o material floculado para a superfície. Na segunda etapa, os hidróxidos formados adsorvem-se em partículas coloidais originando os flóculos e tem-se o transporte dessas espécies que entram em contato com as impurezas. A remoção dos poluentes

pode ocorrer tanto por complexação como por atração eletrostática e posterior coagulação. Na última etapa do processo ocorre a flotação, em decorrência da formação das microbolhas que são geradas da eletrólise da água (AQUINO NETO *et al.*, 2011).

A neutralização tem por objetivo reduzir ou eliminar a reatividade e a corrosividade do efluente. Também é utilizada para: ajustar o pH dos efluentes: $5 < \text{pH} < 9$ para o lançamento no meio ambiente; redução do pH com a utilização de substâncias ácidas (ácido sulfúrico ou clorídrico); e elevação do pH com a utilização de substâncias alcalinas, hidróxido de cálcio ou de sódio ou carbonato de sódio. Uma das suas principais vantagens é a fácil implantação. Já uma das desvantagens é que para alguns contaminantes pode resultar no desenvolvimento de reações energéticas e gerar subprodutos tóxicos.

A filtração, operação complementar das técnicas de floculação e/ou sedimentação, é o processo pelo qual as substâncias insolúveis são separadas e retidas quando a corrente passa por um meio ou barreira permeável, denominada meio filtrante. O processo de separação é por retenção das partículas no meio filtrante, e todo o efluente precisa passar através do meio poroso para que a separação ocorra (GUIDOLIN, 2000).

Atualmente o mercado oferece vários tipos de sistemas de filtração, com meios filtrantes descartáveis ou reutilizáveis, como os filtros de cartucho que são adequados para baixas concentrações de sólidos; filtros com meio granular; filtros a vácuo; filtros prensas e prensas desaguadoras, indicados para correntes com grande concentração de sólidos. A escolha do sistema deve levar em consideração a concentração dos sólidos presentes, o diâmetro da menor partícula que se deseja remover e a quantidade de efluente a ser filtrado, pois cada sistema é adequado a um tipo de corrente (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

Ainda segundo os autores (*op. cit.*), a centrifugação também serve para separar os componentes de uma mistura, só que, neste caso, por meio da ação da força centrífuga criada pela rotação em alta velocidade da mistura em um vaso rígido. O que importa nesse processo é a densidade dos componentes sólidos na corrente líquida. O componente de maior densidade migra para a periferia do vaso em rotação, e o de menor densidade tende a permanecer

próximo ao centro de rotação da centrífuga. Por isso, esse também é um processo empregado nos casos em que a concentração de sólidos é relativamente alta, maior que 0,5%. Hoje há no mercado equipamentos capazes de operar continuamente; contudo, o efluente das centrífugas pode requerer um processo de tratamento adicional.

A precipitação química consiste em mudar a solubilidade e tornar insolúveis, algumas ou todas as substâncias dissolvidas numa corrente líquida, alterando-se o equilíbrio químico, com base nos seguintes procedimentos ou em uma combinação entre eles: adição de uma substância que reage quimicamente com a substância em solução, formando um composto insolúvel; adição de uma substância que altera o equilíbrio de solubilidade, de forma a não mais favorecer a permanência da substância em solução; adição de compostos que reagem entre si formando um precipitado, que irá arrastar ou adsorver a substância a ser removida (co-precipitação); alteração de temperatura de uma solução saturada ou próxima à saturação, para diminuir a solubilidade da substância presente (MIGUEL, 2012).

Esse processo pode ser feito, por exemplo, pela adição de uma base (geralmente hidróxido de cálcio) ao efluente, de modo que haja a formação de produtos insolúveis sob a forma de hidróxidos e óxidos. Processos subsequentes de sedimentação e filtração são então realizados para que, posteriormente, a água tratada possa ser recuperada (JIMENEZ, 2004).

A coagulação é comumente utilizada devido à sua ampla escala de atuação e geralmente menores custos operacionais. São aplicados para remoção de sólidos em suspensão e podem ser divididos, quanto ao tipo de lodo gerado, em duas classes: coagulação com sedimentação e coagulação com flotação (CRESPILO *et al.*, 2004). Consiste em um processo de neutralização de cargas negativas das partículas, o que possibilita que as mesmas se aproximem umas das outras, promovendo sua aglomeração, formando, com isso, flocos, que tendem a sedimentar ou flotar, dependendo de seu tamanho e de sua densidade (MATOS *et al.*, 2007).

A floculação é uma operação comum no tratamento de efluentes, pois desestabiliza impurezas dissolvidas e produz flocos removíveis num processo subsequente de clarificação. É a operação na qual ocorrem aglomerações das partículas coloidais da água, já coaguladas ou desestabilizadas, pela ação da

neutralização das suas cargas por um coagulante de carga contrária. É promissora no pré-tratamento de efluentes líquidos, para separação de óleos e graxas, reduzindo a carga poluente do efluente (SOLETTI *et al.*, 2005).

O processo de sedimentação tem por objetivo separar da água os flocos formados na etapa de floculação. Essa separação é resultado da ação da gravidade e inércia sobre os flocos e a água. Uma alternativa ao processo de sedimentação, para separar os flocos formados pela coagulação e floculação, é a flotação. A flotação consiste em pressurizar uma fração clarificada do efluente e dissolver parte do oxigênio no líquido (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

As reações de oxidação-redução química são aquelas nas quais o estado de oxidação de pelo menos um dos reagentes envolvidos é elevado, e o outro, reduzido. Os processos de oxidação-redução diminuem a toxicidade de uma determinada corrente e podem ser utilizados para compostos orgânicos, metais e alguns compostos inorgânicos. Alguns agentes oxidantes mais utilizados no tratamento de efluentes são: flúor, ozônio, peróxido de hidrogênio, permanganato, cloro e o dicromato. Deve-se observar que os agentes mais energéticos não são seletivos e, por isso, afetam qualquer substância facilmente oxidável presente no efluente. Isso pode implicar na ineficiência do processo, já que o agente oxidante pode ser todo consumido por um composto orgânico qualquer, como um solvente, sem que a reação com o contaminante de interesse aconteça. As vantagens desse processo são a simplicidade, a disponibilidade de equipamentos e reagentes, a operação contínua ou em batelada e o baixo custo de implantação e operação. A principal desvantagem é a dificuldade de implementação dos sistemas de tratamento, já que devem ser especificamente projetados para cada aplicação, com base em testes de laboratório e em escala piloto. Além disso, os compostos químicos utilizados e os possíveis subprodutos são frequentemente perigosos (SILVA, 2012).

O processo biológico anaeróbio baseia-se na utilização de microrganismos na ausência de oxigênio livre para a degradação de matéria orgânica. Esta degradação refere-se às reações que reduzem as dimensões de partículas ou, a nível molecular, quebram cadeias ou ligações duplas ou duplas existentes. Os produtos finais obtidos são gases como metano, dióxido de carbono e amônia. Para que a reação anaeróbia ocorra com maior eficiência,

ou seja, com maior conversão de matéria orgânica a gás metano, o meio deve oferecer as condições requeridas pelos grupos de bactérias envolvidos. Os valores de pH ideal para o desempenho satisfatório de um digestor anaeróbio estão na faixa de pH entre 6,5 e 7,5 (ABREU-NETO, 2007). Algumas das vantagens desse processo incluem a baixa produção de sólidos, cerca de 2 a 8 vezes inferior à que ocorre nos processos aeróbios; Baixo consumo de energia, usualmente associado a uma elevatória chegada. Isso faz com que os sistemas tenham custos operacionais muito baixos; Possibilidade de preservação da biomassa, sem alimentação do reator, por vários meses; Tolerância a elevadas cargas orgânicas; Aplicabilidade em pequena e grande escala; Baixo consumo de nutrientes, etc. Apresenta também desvantagens, tais como: Remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos insatisfatória; Produção de efluente com aspecto desagradável e usualmente com qualidade insuficiente para atender aos padrões ambientais; Possibilidade de geração de maus odores e de problemas de corrosão, porém controláveis (CHERNICHARO, 2007).

Uma tecnologia bastante conhecida e já utilizada é a adsorção em carvão ativado, que, entre os métodos clássicos de tratamento de efluentes, apresenta vantagens como a baixa geração de resíduos, fácil recuperação dos metais e a possibilidade de reutilização do adsorvente. A adsorção em carvão ativado é bastante utilizada para remoção de cor, odor e sabor da água, mas seu uso vem sendo aprimorado na remoção de compostos inorgânicos também. O uso do carvão ativado como adsorvente na remoção de compostos inorgânicos se aplica desde a indústria metalúrgica, na química analítica e tratamento de água e efluentes, além de ser aplicado na indústria de bebidas e alimentos.

O processo de lodos ativados recebe este nome devido à produção de biomassa ativa formada por microrganismos capazes de estabilizar o esgoto aerobiamente (MAESTRI, 2007). Assim, o despejo é estabilizado biologicamente em um tanque sob condições aeróbias obtidas pelo uso de equipamentos de aeração mecanizada ou ar difuso. A massa biológica resultante é separada do líquido em um decantador (sedimentador). Uma parte da biomassa sedimentada é continuamente recirculada ao tanque de aeração e a restante é descartada. A maioria das plantas de sistemas de lodos ativados recebem águas residuárias pré-tratadas em tanques de sedimentação primária,

e são consideradas o sistema mais eficiente na remoção de substâncias orgânicas solúveis, coloidais, e particuladas (suspensas) e de nitrogênio por nitrificação e desnitrificação biológica; além de remoção biológica de fósforo (GIOCOBBO, 2010).

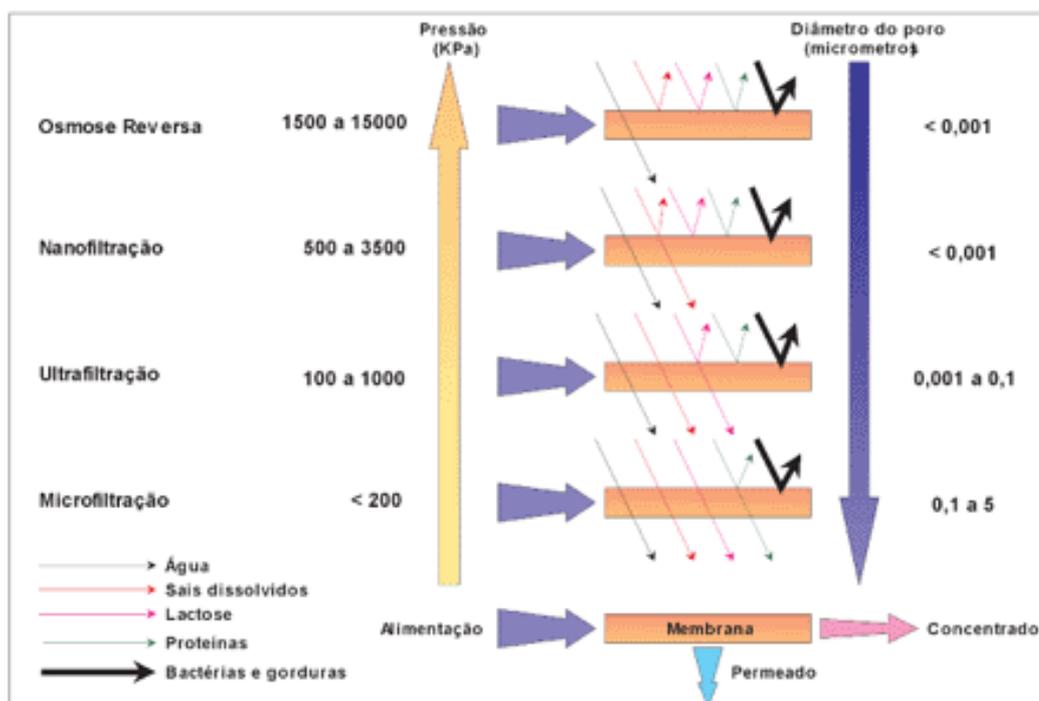
Os PSMs são aplicados em diversas áreas de tratamento de águas e efluentes. Esse processo lança mão de membranas sintéticas, porosas ou semipermeáveis, para separar da água partículas sólidas de pequenos diâmetros, moléculas e até mesmo compostos iônicos dissolvidos. Para que o processo de separação ocorra, utiliza-se um gradiente de pressão hidráulica. Esses processos são basicamente divididos em microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa. O que difere essas categorias é o diâmetro do poro das membranas e o tipo e a intensidade da força motriz que promove a separação dos contaminantes.

Nas últimas décadas, a tecnologia de membrana avançada tornou-se cada vez mais atraente para tratamento terciário de águas residuárias, pois é altamente eficiente, fácil de operar e econômico. Membranas porosas como ultrafiltração (UF) e microfiltração (MF) apresentam vantagens operacionais significativas, como a redução de lamas e uma pequena necessidade de espaço devido à alta densidade de empacotamento. Investimentos moderados e facilidade de operação tornam uma alternativa muito competitiva se comparada às tecnologias convencionais. Em muitos casos, por si só ou em combinação com propriedades físico-químicas ou tratamento biológico por UF, têm proporcionado tratamento de efluentes capaz de satisfazer os mais rigorosos padrões de reuso estabelecidos (MUTHUKUMARAN *et al.*, 2011).

Uma configuração padrão é a aplicação das membranas como tratamento terciário após um convencional sistema de purificação. Nestas aplicações, a microfiltração é frequentemente utilizada como pré-tratamento visando evitar dano direto à membrana de osmose reversa além de aperfeiçoar as operações de manutenção. Esta configuração é ideal para aplicação com sistemas convencionais que necessitam de tratamento terciário e foi montado para produzir efluente de alta qualidade para reutilização.

A Figura 3 ilustra a capacidade dos principais processos de separação por membrana que utilizam essa pressão hidráulica.

Figura 3: Capacidade de separação dos principais processos de separação por membrana.



Fonte: MIERZWA *et al.* (2008).

Em relação ao tipo de material, as membranas podem ser classificadas em orgânicas, em sua grande maioria polímeros, ou inorgânicas, como metais e cerâmicos. Tipicamente, as membranas utilizadas em tratamento de efluente são de material orgânico.

A classificação por configuração refere-se ao tipo de módulo que a membrana se apresenta, podendo ser de forma tubular, fibras ocas, espiral e placas planas (ECKENFELDER, 1989; WAGNER, 2001; MANCUSO; SANTOS, 2003; METCALF & EDDY, 2003 apud NASCIMENTO, 2012).

Metcalf & Eddy (2003) demonstraram as características gerais dos processos de membranas usadas para tratamento de águas e efluentes no Quadro 3.

Quadro 3: Características gerais dos processos de membranas usadas para tratamento de águas e efluentes.

Processo	Força Motriz	Mecanismo de Separação	Estrutura de Operação	Material que Permeia	Material Retido
MF	Diferença de pressão hidrostática e de vácuo	Por tamanho	Macroporos (> 50nm)	Água + Sólidos Dissolvidos	Sólidos suspensos + bactérias
UF	Diferença de pressão hidrostática	Por tamanho	Mesoporos (2 – 50 nm)	Água + Moléculas pequenas	Macromoléculas, vírus e proteínas.
NF	Diferença de pressão hidrostática	Por tamanho/exclusão	Microporos (< 2 nm)	Água + Moléculas pequenas + íons	Micropoluentes e íons bivalentes (Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , CO ₃ ²⁻).
OR	Diferença de pressão hidrostática	Difusão/exclusão	Densa (< 2 nm)	Água + Moléculas pequenas + íons	Íons monovalentes (Na ⁺ , K ⁺ , Cl ⁻ , NO ₃) e dureza.
ED	Diferença de potencial elétrico	Troca iônica com membrana seletiva.	Microporos (< 2 nm)	Água + íons	Macromoléculas e compostos não iônicos.

Fonte: METCALF & EDDY (2003).

As membranas apresentam uma série de vantagens que as permitem competirem com as técnicas clássicas de separação. Algumas vantagens são a economia de energia, pois promovem a separação sem que ocorra mudança de fase, a seletividade e a simplicidade de operação e de aumento de escala, visto que os sistemas são modulares e os dados para o dimensionamento de uma planta podem ser obtidos a partir de equipamentos piloto operando com módulos de membrana de mesma dimensão daqueles utilizados industrialmente (NASCIMENTO, 2012).

As membranas orgânicas são preparadas a partir de materiais poliméricos com características químicas e físicas mais variadas. As membranas de materiais inorgânicos apresentam vida útil maior, porém têm custo mais elevado do que as poliméricas. Com relação à estrutura, tanto as

membranas densas como as porosas podem ser anisotrópicas, ou seja, podem ou não apresentar as características morfológicas ao longo de sua espessura (HABERT *et al.*, 2006).

A água de reuso tem sido amplamente tratada por osmose reversa (OR), tecnologia de membrana usada para remoção de sais dissolvidos da água. Nos processos onde é utilizado o tratamento por OR, a água de alimentação é muitas vezes o efluente secundário que contém elevadas concentrações de partículas em suspensão, materiais coloidais e elevado nível de atividade biológica. Estes constituintes podem causar incrustação da membrana e insuficiência irreversíveis ao sistema OR caso não sejam removidas com sucesso. Assim, um processo de pré-tratamento antes do sistema de OR é necessário para reduzir a incrustação da membrana (XIAO *et al.* 2013).

As principais vantagens dos sistemas de microfiltração (MF) é a remoção seletiva de metais, a facilidade de integração a outro processo de tratamento, o baixo consumo de energia e o custo de investimento relativamente baixo. Entretanto o processo também gera desvantagens como o afluente deve apresentar baixa carga de sólidos, muitas membranas estão sujeitas ao ataque químico, a corrente de concentrado pode apresentar problemas para disposição final, substâncias iônicas e gases dissolvidos não são afetados (MIERZWA, 2005).

O uso de microfiltração ou ultrafiltração (UF) de pré-tratamento antes do sistema de OR pode reduzir significativamente essas incrustações potencial ao longo dos processos de pré-tratamento convencional. Estudos demonstraram que a MF pode proporcionar excelente resultado para o pré-tratamento por meio de um processo de OR em longo prazo (XIAO *et al.* ,2013). Estudos mostram que a nanofiltração (NF) é um sistema eficiente para o tratamento secundário ou terciário de efluentes visando à geração de água para reuso industrial, agrícola e/ou potável indireto. Entretanto, a avaliação das condições operacionais ótimas de cada aplicação específica permite um melhoramento do desempenho global do processo, tanto em termos de qualidade do permeado quanto em termos de redução do decaimento do fluxo de permeado (ANDRADE, 2011).

Segundo com Srijaroonat *et al.* (1999), os processos de microfiltração e ultrafiltração têm sido usados para tratar emulsões concentradas com alta

eficiência de remoção de óleos e com maior economia que os processos convencionais de tratamento.

As especificações de aplicação de reuso definirá o tratamento necessário para a recuperação de águas residuárias. Em alguns casos usam-se tratamentos que envolvam uma combinação de processos físicos, químicos e biológicos.

O processo de troca iônica aplicado ao tratamento de efluentes consiste na remoção de íons indesejáveis, que são substituídos por uma quantidade equivalente de espécies iônicas que apresentam um menor potencial de perigo, presentes em uma matriz sólida insolúvel. Uma reação de troca iônica pode ser definida como uma troca reversível de íons entre a fase sólida (trocador iônico) e a fase líquida (solução aquosa). A troca iônica pode ser realizada sob condições de equilíbrio, isto é, um certo volume de solução é contatado com uma certa quantidade de resina e agitado por um tempo suficiente até que o equilíbrio seja atingido (RIANI, 2008).

A utilização da troca iônica apresenta como vantagens: a geração de um efluente de qualidade superior à de outros processos; a frequente remoção seletiva das espécies indesejáveis; um processo e os equipamentos amplamente testados; a disponibilidade de sistemas automáticos e manuais no mercado; e a possibilidade de utilização para tratamento de grandes e pequenos volumes de efluentes. Já como desvantagens do processo são: os produtos químicos envolvidos no processo de regeneração que podem ser perigosos; as limitações existentes com relação à concentração do efluente a ser tratado; as paradas para regeneração; os efluentes gerados têm uma concentração relativamente alta de contaminantes e outros compostos; a presença de substâncias orgânicas, microrganismos, partículas em suspensão, substâncias oxidantes etc. pode degradar ou reduzir a capacidade das resinas; e pequenas variações nas características da corrente de alimentação prejudicam o processo (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

Uma aplicação alternativa de membrana em águas residuárias para reuso é a tecnologia conhecida como biorreator submerso de membrana (*Membrane bio-reactor* - MBR), que combina o processo de lodos biológicos ativados com separação física por membrana, evitando a necessidade de uma purificação no tratamento intermediário ou outro segundo passo. Desta forma,

esse novo sistema consegue fundir as segunda e terceira fases de tratamento, permitindo a construção de plantas mais compactas capazes de produzir diretamente efluentes reutilizáveis. Em tais sistemas diferentes configurações podem ser usadas com membranas aplicadas através da ultrafiltração ou microfiltração. (ARÉVALO, 2009).

O biorreator com membrana (MBR) surgiu como uma nova tecnologia no final dos anos 70, a partir de um conceito simples de filtração de biomassa. A combinação do tratamento biológico de efluentes com a filtração por membranas é o conceito fundamental dos chamados biorreatores de membranas (VIERO, 2006). Nos MBR a separação não é feita por sedimentação em um tanque de clarificação, como nos sistemas de separação de lodo ativado e de água tratada, mas por filtração com membranas, o que garante a produção de um efluente tratado com alta qualidade, uma vez que as membranas retêm total ou quase totalmente a biomassa (VIERO, 2006). Dessa forma, os módulos ou feixes de membranas substituem a etapa de sedimentação de um processo biológico convencional e, como consequência, há uma redução significativa da área ocupada pelas instalações e equipamentos de tratamento (VIERO, 2006). Em comparação com os processos de lodos ativados convencionais, os MBR apresentam vantagens operacionais como a independência entre o tempo de retenção de sólidos e o tempo de retenção hidráulica, a utilização de concentrações mais altas de biomassa, o que permita a redução do tamanho das unidades de tratamento e diminui geração de lodo, o que implica em redução nos custos do processo (BRINDLE; STEPHENSON, 1996 apud VIERO, 2006).

Já o reator biológico de leito móvel (MBBR) foi uma tecnologia concebida pela Companhia *KalDNes Miljoteknologi* da Noruega, no final dos anos 80 e início dos anos 90. O desenvolvimento deste sistema foi impulsionado após recomendações das autoridades de Controle de Poluição da Noruega em 1988, para concepção de pequenas estações que apresentassem grande capacidade de tratamento. O MBBR é um tratamento biológico altamente eficaz que foi gerado com base na combinação entre sistemas dos tipos biomassa líquida em suspensão e biomassa aderida – biofilme. De acordo com Rusten *et al.* (2006), o desenvolvimento do processo MBBR esteve diretamente relacionado à ideia central de congregar, em um

único sistema, as melhores características do processo de lodo ativado convencional incrementando as melhores características do processo com biofilmes, deixando de lado as características indesejáveis de cada processo (FARIA, 2010). Durante a última década o reator biológico de leito móvel (MBBR) tem sido utilizado com sucesso para o tratamento de muitos efluentes industriais, incluindo resíduos da indústria de celulose e papel, matadouros, resíduos de fábrica de queijo, refinarias e efluentes fenólicos, além serem eficientes na remoção dos poluentes presentes nos esgotos domésticos (CHEN *et al.*, 2007). Diferentemente da maioria dos reatores com biofilme, o sistema MBBR utiliza todo o volume útil do reator para o crescimento do consórcio microbiano. Além disso, apresenta algumas vantagens em relação a seus concorrentes (FARIA, 2010). A perda de carga é muito pequena, levando grande vantagem em relação aos sistemas de leito fixo, os quais apresentam perda de carga relativamente alta e podem sofrer entupimento ou colmatação do leito. Contrariamente ao sistema de lodo ativado, o MBBR não necessita de reciclo de lodo, visto que o crescimento da biomassa se dá em suportes que se movem livremente no volume reacional, e que são mantidos no interior do reator com auxílio de uma peneira instalada na saída (RUSTEN *et al.*, 2006).

Outro ponto positivo do sistema MBBR é que, para o tratamento de um dado volume de água residuária, a capacidade deste sistema pode ser menor que a requerida por um processo convencional de lodo ativado, e não há necessidade de um tanque terciário de sedimentação, nem tão pouco de lavagens periódicas. Além disso, reatores já existentes podem ser equipados e adaptados para a configuração MBBR com modificações relativamente pequenas (SALVETTI *et al.*, 2006).

As principais desvantagens do referido processo são os elevados custos operacionais (especialmente de energia) associados aos dispositivos necessários à adequada aeração, além da circulação do líquido e manutenção do material suporte em permanente movimento (IZQUIERDO, 2006).

A tecnologia MBBR pode ser aplicada em sistemas aeróbios, anóxicos ou anaeróbios (JAHERN *et al.*, 2002). Nos sistemas aeróbios, a própria aeração é responsável pela movimentação dos suportes. Em contrapartida, em sistemas anóxicos e anaeróbios, faz-se necessário um dispositivo de agitação mecânica para desempenhar tal função. O projeto adequado dos aeradores, no

caso dos sistemas aeróbios, e das peneiras, é de fundamental importância para o melhor desempenho do processo MBBR (BASSIN, 2008).

Os processos de separação térmica para o tratamento de efluente são a evaporação e a destilação. Em ambos os casos utiliza-se energia térmica para separar os contaminantes da corrente que está sendo tratada. A evaporação é a conversão física de um componente do estado físico para o estado gasoso. Geralmente a evaporação é feita com o objetivo de remover uma parte do solvente de uma mistura de sais dissolvidos e sólidos suspensos, e é mais utilizada para vaporizar a água, soluções aquosas ou lamas. Já o processo de destilação, muitas vezes confundido com o processo de evaporação, consiste em aquecer uma mistura de líquidos e, posteriormente, remover calor da fase vaporizada. Um ponto positivo do processo de destilação é a possibilidade de recuperação de solventes, embora seu custo de implementação e operação seja superior aos de outros processos, como o de extração com ar ou vapor, além de ser considerado complexo. Os efluentes que contêm misturas de compostos orgânicos voláteis, como misturas entre solventes e misturas de solventes em água e vice-versa, são os mais adequados para o processo de evaporação (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

Ainda conforme Mierzwa e Hespanhol (2005), o processo de tratamento por *stripping* ou extração pode ser feito com ar ou com vapor, e consiste em transferir os contaminantes voláteis de uma fase líquida (geralmente a água) para uma fase gasosa por meio de dispositivos adequados: câmaras de aeração, sistemas de aspersão e colunas de recheio, sendo esse último o mais eficiente. Injeta-se ar pela base, e o efluente pela parte superior da coluna. À medida que as duas correntes passam pelo recheio da coluna, em razão do aumento da superfície de contato, os componentes mais voláteis são transferidos da fase líquida para a gasosa. Quando as duas correntes deixam a coluna, a fase gasosa estará enriquecida com os componentes voláteis e a líquida, estará empobrecida. A remoção de amônia dos efluentes orgânicos tratados por processos biológicos é uma das principais aplicações do processo de extração com ar, cuja eficiência, quando se utiliza torres de recheio, pode chegar a 90%.

2.6.2 MISTURA DO EFLUENTE COM ÁGUA DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO

Em algumas situações, o efluente gerado em um processo qualquer pode apresentar características bastante próximas dos requisitos de qualidade da água exigidos para uma determinada aplicação, mas que ainda não são suficientes para possibilitar o reuso, ou então, a quantidade de efluente não é suficiente para atender à demanda exigida. Para estas condições pode-se promover a mistura do efluente gerado com a água proveniente do sistema de abastecimento, de maneira a adequar as características do efluente aos requisitos do processo (GONÇALVES; HESPANHOL, 2004 apud ALMADA, 2009).

Os benefícios desta prática estão relacionados com a redução da demanda de água proveniente do sistema de abastecimento e com a redução da geração de efluentes. É importante observar que a adoção desta alternativa também requer um programa de monitoração adequado, de maneira que seja possível garantir uma água de reuso com qualidade constante ao longo do tempo, por meio da variação da relação entre os volumes de efluente e de água do sistema de abastecimento (MIERWA; HESPANHOL, 2005).

Qualquer que seja o método de reuso utilizado é necessário que seja feito o acompanhamento do desempenho da atividade na qual a água de reuso está sendo utilizada, de maneira a consolidar ou efetuar ajustes no processo e assim garantir o sucesso do programa de reuso. Recomenda-se a realização de ensaios de bancada e piloto, antes da implantação de toda a infraestrutura que viabilize a prática desses reusos.

2.6 OPERAÇÃO, MONITORAMENTO E AMOSTRAGEM DE ETE

É necessário que as unidades operacionais e processos de uma ETE passem por avaliações, levantamento das dificuldades e dos problemas existentes para que se possam alcançar melhorias operacionais. Na operação de uma estação, cada unidade precisa funcionar com eficiência apropriada, para que não interfira no desempenho ou cause problemas em outras unidades subsequentes (SILVA, 2007).

A operação da ETE requer cuidados básicos a fim de se evitar problema para as unidades de tratamento e para a equipe de trabalho. É fundamental, por exemplo, a permanência de um encarregado, devidamente treinado e capacitado, para o controle operacional da unidade, além da proibição da entrada de pessoas inabilitadas (FEAM, 2006).

Ainda para FEAM (2006), para evitar problemas para as unidades de tratamento e garantir a eficiência do processo de tratamento de uma ETE, algumas ações precisam ser tomadas, tais como:

- Executar regularmente a manutenção dos equipamentos, tais como lubrificação de engrenagens, substituição de peças desgastadas e verificação dos componentes eletromecânicos, caso seja pertinente;
- Fazer a manutenção periódica das bombas, sempre deixando uma de reserva;
- Alternar a utilização das bombas, no caso de bomba reserva, não deixando equipamentos parados por longos períodos;
- Manter a bomba em funcionamento periódico, evitando grandes períodos de paralisação de alimentação da ETE;
- Retirar da superfície dos decantadores materiais flutuantes como graxas e óleos;
- Evitar os entupimentos realizando limpezas constantes nos dispositivos de entrada, para garantir a distribuição uniforme do efluente na ETE;
- Conferir periodicamente a posição dos aeradores nos leitos de secagem e monitorar constantemente o OD, para garantir o suprimento de oxigênio necessário à estabilização da matéria orgânica, procedendo também com o estabelecimento da disposição mais adequada dos aeradores;
- Executar frequentemente a manutenção dos aeradores;
- Inspeccionar diariamente a caixa de distribuição de vazão para os tubos, desentupindo-os para garantir a distribuição uniforme do efluente;
- Remover a espuma formada na superfície dos tanques de aeração, encaminhado o material retirado para leito de secagem;
- Remover o lodo, quando seco, dos leitos de secagem, repondo sempre que necessário, a areia removida junto com o lodo;

- Retornar com o líquido percolado nos leitos de secagem para a fase líquida do tratamento da ETE.

O monitoramento das características dos esgotos deve basear-se em um conjunto de ações que tenha por objetivo avaliar a eficiência do sistema de tratamento de efluentes por meio de medições repetitivas, de forma discreta ou contínua. O conceito de monitoramento das características dos esgotos é muito mais amplo do que simplesmente verificar se os padrões legais de emissão e lançamento de efluentes estão sendo obedecidos ou não. Um plano de monitoramento eficaz deve atender às necessidades de responder o que está divergindo das características esperadas e por que está ocorrendo, para que medidas eficientes sejam tomadas (SILVA et al., 2005).

Para monitoramento da qualidade/eficiência da ETE, a amostragem do efluente é extremamente necessária. A amostragem constitui-se da coleta de determinada porção do esgoto em volume tal que permita uma boa caracterização em laboratório e que seja representativa quanto à determinação da sua qualidade. Esse procedimento, juntamente com a medição da vazão, permite acompanhar as cargas e a eficiência do tratamento (FEAM, 2006).

Dentro da estação de tratamento, devem existir vários pontos de amostragem e de análise automática de diversos parâmetros da qualidade da água. Essa análise permite um monitoramento constante da eficiência de cada unidade de tratamento, e a verificação do controle da qualidade da água produzida, isto é, desde o seu estado bruto até à conclusão do tratamento (SNSA, 2008).

De acordo com MAIA (2012), alguns parâmetros operacionais são constantemente investigados para se obter a máxima eficiência na remoção de poluentes. Eles serão descritos a seguir: (IL): representa o tempo médio que uma partícula de lodo permanece no sistema, e pode ser calculada pela razão entre a massa de lodo presente no sistema e a massa de lodo descarregada. A idade do lodo pode ser definida de acordo com a Equação $IL = m_v/w$, onde: m_v é a massa de lodo presente no reator e w é a massa de lodo biológico retirada do reator por unidade de tempo.

Existem alguns critérios/exigências a serem seguidos visando garantir a qualidade dos efluentes enviados para análise. O ponto de coleta deve ser, sempre que possível, um ponto de turbulência, de modo a obter-se boa

mistura; a coleta de uma amostra deve ser feita a alguns centímetros abaixo do nível da água, evitando-se, assim, a influência dos sólidos flutuantes, que tornariam a amostra não significativa; as amostras nem sempre poderão ser rapidamente analisadas, sendo, nesses casos, necessário preservá-las em recipientes com gelo, até o momento da análise e/ou utilizar agentes preservantes químicos, de tal forma que as características da amostra de água ou efluente não sejam alteradas. Os pontos de amostragem deverão ser locais de fácil acesso, simples de serem identificados e selecionados de modo que caracterizem a evolução do tratamento.

3 MÉTODOS E TÉCNICAS DA PESQUISA

Esta dissertação se caracteriza como um estudo de caso, onde foram realizadas entrevistas junto aos colaboradores da empresa estudada através de questionários estruturados a partir das necessidades de resposta para o desenvolvimento do trabalho (Apêndice A e B). Em relação ao critério de seleção dos entrevistados, optou-se pelos responsáveis das áreas da empresa do ramo de fabricação de chapas e papelão ondulado, tais como colaboradores responsáveis pela gestão do sistema de gestão ambiental da empresa (coordenador e analista de meio ambiente) e dois operadores da ETE.

Para a realização da caracterização do sistema de tratamento de efluentes da ETE foram realizadas entrevistas com o gestor da área de Meio Ambiente da empresa além de análises das documentações cedidas pela empresa, visando analisar o processo de tratamento de efluentes e (memoriais, projetos de instalação da ETE, roteiros de caracterização do empreendimento, procedimentos de operacionalização e monitoramento da ETE, licença de operação) que serviram como base para a obtenção de informações referentes a ETE no tange aos aspectos de gestão, característica dos equipamentos instalados e funcionamento do sistema operacional.

Visando avaliar quantitativamente a demanda de água *versus* efluente tratado e avaliar os custos ligados a aquisição de água da concessionária para atendimento das demandas da organização foram avaliados os recibos de água de todos os meses dos anos de 2011 e 2012 da unidade, onde esses

dados de consumo e custos associados foram compilados, buscando-se assim avaliar o custo que a empresa tem com aquisição de água.

Também foram apresentados pelo gestor ambiental um estudo de demanda de água da empresa realizado no ano de 2012, onde foi possível perceber as principais demandas de consumo de água e de geração de efluentes da unidade, para avaliações de oportunidades de conservação de água, além das particularidades e qualidade de água necessária nesses pontos.

Os dados de monitoramento dos parâmetros físicos, químicos e biológicos do efluente bruto (entrada) e tratado (saída) foram realizadas a partir das análises dos relatórios elaborados por laboratórios externos com periodicidade mensal seguindo métodos padrões para a realização das análises. A empresa realiza análises externamente dos parâmetros de DBO, DQO, Sólidos Totais, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Suspensos, Óleos e Graxas, Fósforo Total, Turbidez e Nitrogênio Total. Os dados desses relatórios de análises foram compilados e digitalizados conforme Apêndice C.

A partir desses dados foram realizados estudos de eficiência do tratamento do efluente, através da correlação dos dados do efluente de entrada com os dados do efluente de saída. Foram também realizadas análises ligadas ao comportamento da qualidade do efluente no que tange a variações relacionadas com a produção. Para isso foi necessário obter dados de produção mensal durante o ano de 2012 com o gestor ambiental da unidade. Esses dados também foram analisados e compilados.

Para avaliar a necessidade de pós-tratamento do efluente tratado visando propor tecnologias aplicáveis para correção de parâmetros, bem como outras medidas aplicáveis para o reuso do efluente, foi realizada a comparação da qualidade do efluente tratado da empresa estudada com as legislações ambientais e/ou padrões pertinentes para direcionamento do uso do efluente para usos na jardinagem, sistema de geração de vapor e sistema de refrigeração. Foi realizada uma pesquisa sobre as principais tecnologias aplicáveis para correção de parâmetros e outras medidas aplicáveis visando ao reuso do efluente através de livros e trabalhos técnicos.

A pesquisa qualitativa pode ser fundamentada em duas vertentes: uma voltada à observação detalhista do ambiente natural que a cerca e, a segunda

apoia-se no fato desta observação estar pautada, necessariamente, num modelo teórico (YIN, 1984).

Neste contexto, o delineamento da pesquisa se fez com o intuito de responder aos seguintes questionamentos:

- Quais são as características da ETE da empresa estudada?
- Quais são os principais monitoramentos realizados na ETE?
- Como funciona a manutenção da ETE?
- Quais os principais controles realizados na ETE?
- Quais são os possíveis usos do efluente gerado pela ETE baseado nos padrões e recomendações existentes?
- Existem tratamentos a serem adicionados posteriormente a serem aplicados visando o reuso do efluente pela empresa estudada?

Sendo assim, a pesquisa também é do tipo descritivo e explicativo, por utilizar métodos de análise de dados, buscando-se as raízes causadoras das ocorrências e atribuindo explicação, procurando "descrever com exatidão os fatos e fenômenos de uma determinada realidade" (TRIVIÑOS, 1987, p. 110).

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA ESTUDADA / PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CAIXAS E CHAPAS DE PAPELÃO ONDULADO

A empresa estudada mantém 16 unidades industriais, sendo 15 no Brasil e uma na Argentina, escritórios comerciais em oito Estados do Brasil e uma filial nos Estados Unidos, além de representantes e agentes comerciais em vários países. A sede da empresa é na cidade de São Paulo.

A unidade existente na cidade de Feira de Santana – Bahia foi adquirida pela empresa desde Outubro de 2000 e produz embalagens e chapas de papelão ondulado, com capacidade instalada de 49 mil toneladas/ano. Está entre as dez maiores indústrias do município, distante 100 quilômetros da capital baiana, Salvador.

A fabricação de Embalagens de Papelão Ondulado é um processo térmico-químico-mecânico. O papel é processado em diversos equipamentos até chegar à condição de embalagens. Durante esse processo o papel é unido

em camadas, ondulado mecanicamente, recortado, vincado, impresso com tinta à base de água e dobrado.

O papelão é formado pela associação de um ou mais elementos miolo e capa unido por adesivos, que são aplicados no topo das ondas do papel miolo. Para que essa formação ocorra da melhor forma, é necessário bem conjugar os três elementos: papel, cola e calor.

O processo se inicia com a união de várias camadas de papel de forma a constituir uma chapa rígida. Nesta fase, uma ou duas camadas são unidas às demais, alternadamente, somente depois de sofrerem processo de ondulação. Para isso, o papel recebe aplicação de cola feita à base de amido e é submetido ao calor. Essa ondulação confere propriedade de rigidez à chapa de papelão. As ondas podem ser de várias alturas, conferindo várias espessuras ao papelão ondulado (medidas aproximadas, dependendo da espessura do papel).

A seguir, as chapas de papelão ondulado, são transformadas em embalagens. Durante esse processo as chapas recebem aplicação de impressão com tinta flexográfica (base água).

Os papéis utilizados para a fabricação de papelão ondulado são produzidos especialmente para serem convertidos em embalagens e podem ser do tipo “fibra virgem” (*kraftliner*), ou de fibras recicladas (*testliner*). São utilizadas várias gramaturas, que variam de 100 a 420 g/m², conforme a necessidade de resistência requerida pelo produto a ser embalado.

Os principais equipamentos deste processo são as onduladeiras e impressoras. As onduladeiras transformam bobinas de papel em chapas de papelão ondulado.

As impressoras transformam chapas de papelão ondulado em embalagens. As impressoras podem ser do tipo “Corte-Vinco Rotativa” (utiliza formas para recortar e vincar o papelão fornecendo, como produto final, embalagens não dobradas) e “Dobradeiras Coladeiras” (produzem cortes e vincos em ferramentas ajustáveis, sem necessidade de formas fornecendo, como produto final, embalagens dobradas e com orelhas coladas). As impressoras da empresa estudada são capazes de produzir impressões de até 4 cores e reticuladas formando policromia.

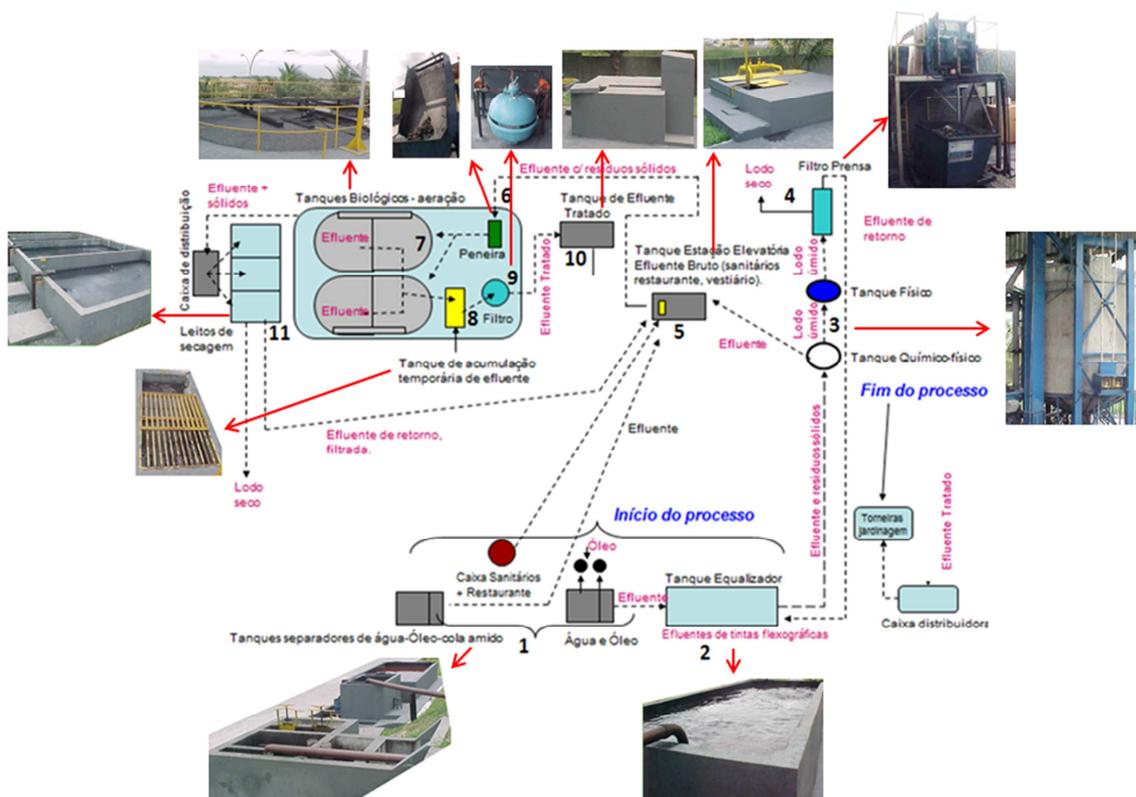
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DA ETE DA EMPRESA ESTUDADA

A empresa possui uma Estação de Tratamento de Efluente - ETE modelo ES 2.500 da CETCO com capacidade para tratar 1800 m³ de efluentes por dia. As vazões industriais são contínuas. Atualmente a empresa trata 60 m³ diariamente, atingindo nesse caso apenas 33% da capacidade atual.

A ETE é composta por um tanque de reação de 2.250 galões (9,0 m³) de capacidade, construído em polietileno e dotado de agitador de eixo vertical com redutor de velocidade e potência de 5 HP; um tanque de lodo de 1.500 galões (6,0 m³) de capacidade, construído em aço "c" revestido com epóxi; um filtro prensa com 22 placas de 800 x 800 mm, com capacidade volumétrica de 220L; Container para coleta do lodo resíduo, com capacidade de 5 m³, transportado por caminhão poliguidaste. Além dessas unidades a ETE tem uma extensa relação de componentes, partes e peças tais como: Bombas dosadoras, sonda de pH, alimentador de reagente motorizado, com rosca transportadora e elevador de canecas, bombas diafragma, válvulas solenoide, válvulas motorizadas, controlador de nível, painel de comando dotado de CLP, etc. A ETE ainda possui valas de contenção de resíduos sanitários, com capacidade de 130 m³, com 4 (quatro) aeradores, filtro de passagem para purificação e limpeza da água.

A Figura 4 demonstra o fluxograma completo da estrutura de funcionamento da ETE. Ao acompanhar a numeração (1 a 11), se consegue entender o processo completo de tratamento do efluente.

Figura 4: Fluxograma detalhado da ETE estudada.



Fonte: Documento FS-PRO-MEA-0001 cedido pela empresa.

Para melhor entendimento do processo, a seguir serão apresentados todos os equipamentos que compõem a unidade de tratamento do efluente e da finalidade de cada um, conforme demonstra a Figura 4.

Os tanques (n. 1), que desempenham a função de remover o óleo das águas residuárias provenientes de eventuais perdas no processo. O princípio da separação baseia-se no fato de que o óleo é menos denso que a água, e por isso tende a “flotar” permanecendo na superfície líquida. O óleo é canalizado para tambores e a água é drenada para o Tanque Equalizador.

O tanque de equalização (n. 2) tem a finalidade de homogeneizar resíduos provenientes da lavagem de clichês e impressoras (água com tinta) e água do sistema SAO. O objetivo da homogeneização é não deixar o resíduo sólido decantar.

Nos tanques de tratamento físico químico (n. 3) ocorre a separação entre o lodo a água. Essa água é drenada para os tanques de efluentes biológicos, onde é unido a essa parte do processo e o lodo que ainda possui

umidade segue para o processo de prensagem responsável por retirar até 90% da água contida no lodo.

Após o lodo ser prensado no filtro prensa (n. 4), o lodo é descartado em container para ser transportado para destinação final.

A estação elevatória (n. 5) recebe o efluente bruto (a água de sanitários, restaurante, lavagem dos coxos de cola e coleiros) e efluente tratado dos tanques de tratamento físico químico. Antes de ser recalcado para o tanque de aeração (biológico) o efluente é equalizado e homogeneizado. Após o processo acima, a água é transferida para os Tanques Biológicos. Essa estação é formada por um poço de sucção, duas bombas submersíveis e um misturador.

Antes de ser canalizada para os tanques biológicos, a água com resíduos sólidos passa por uma peneira estática dos tanques biológicos (n. 6), onde o material flutuante (sólido) fica retido, passando apenas o líquido que será transferido para os tanques biológicos. O material sólido desses tanques segue para descarte nos leitos de secagem.

Os tanques biológicos, ou mais conhecidos como tanques de aeração (n. 7), a massa de microrganismos é mantida em suspensão através da agitação provocada por aeradores. Assim, há um contato íntimo do lodo com o material orgânico na água residuária afluente. Nesta etapa, é necessária periodicamente a adição de nutrientes para alimentação das bactérias. O sistema de aeração (motores) é responsável também pela geração de oxigênio na água, gás vital para a sobrevivência das bactérias. Através da separação sólido-líquido que ocorre nos decantadores, obtém-se o efluente clarificado.

A água que sai dos Tanques Biológicos é canalizada para o tanque de decantação (n. 8). Nessa etapa o efluente clarificado segue para o Filtro de Retrolavagem e o lodo retorna para os tanques biológicos.

O filtro de retrolavagem (n. 9) é responsável pela remoção das partículas sólidas remanescentes da decantação, ou seja, que não foram retiradas nos processos anteriores. Essa é a etapa final do processo de tratamento de efluentes. Após esse processo a água já tratada é transportada para o Tanque de Efluente Tratado. O filtro dispõe de dispositivo para realização de retrolavagem.

No tanque de armazenamento de efluente tratado (n. 10) concentra-se toda a água proveniente dos tanques biológicos. Esta água é bombeada para

uma caixa de distribuição localizada na parte mais alta da empresa, onde o efluente é distribuído para toda a área de jardinagem da empresa por gravidade.

Os leitos de secagem ou tanques de secagem de lodo (n. 11) são usados para armazenar e promover a secagem do resíduo sólido proveniente dos tanques Biológicos, além de servir também como plano de contingência no caso de falha do Filtro Prensa.

A seguir será apresentado o capítulo Resultados e Discussões, onde será minuciosamente descritos todo o detalhamento da pesquisa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 PRINCIPAIS MONITORAMENTOS REALIZADOS NA ETE

O operador realiza monitoramentos numa periodicidade determinada nos processos da ETE, conforme Quadro 4. Identificando desvios nas análises do efluente, o mesmo deve tomar as medidas de controle necessárias para manter a qualidade do efluente. Esses controles são realizados tanto no efluente de entrada quanto no efluente de saída. No Quadro 4 estão evidenciados os parâmetros monitorados e a periodicidade estabelecida.

As avaliações de pH, OD e temperatura são realizadas no laboratório interno da unidade no efluente de entrada e de saída. Essas verificações acontecem diariamente. Já os demais são realizados em laboratórios externos, com periodicidade quinzenal e trimestral, conforme evidencia o Quadro 4 também nos efluentes de entrada e saída. Segundo o operador, ele só vai ter o resultado de uma análise quase um mês depois do envio do mesmo para análise. Na maioria das vezes, quando o resultado da amostra chega, esse efluente já foi até descartado.

Quadro 4: Parâmetros Monitorados X Periodicidade

CONTROLES	PERIODICIDADE
pH, oxigênio dissolvido, quantidade de lodo para descarte, temperatura.	Diário
DBO, turbidez, DQO, sólidos sedimentáveis, sólidos em suspensão, sólidos totais óleos e graxas, nitrogênio total, fósforo.	Mensal
Coliformes totais e coliformes termotolerantes.	Trimestral

Fonte: Próprio Autor.

Como o sistema da organização estudada trata-se de um processo de lodos ativados, percebe-se que entre os parâmetros operacionais o operador controla a Quantidade de lodo para descarte (que se refere ao volume do lodo no tanque visando não haver um transbordo), pH, OD e temperatura. Parâmetros como IL, relação F/M, SST, TRH não são realizados pela organização estudada, fazendo o operador apenas o teste de IVL.

Recomenda-se que a organização investigue constantemente os parâmetros operacionais de IL, relação F/M, SST e SSV no tanque de aeração, TRH e IVL visando obter a máxima eficiência da ETE na remoção de poluentes, melhorando também a eficiência do tratamento atual.

4.2 PRINCIPAIS CONTROLES REALIZADOS NA ETE

Em entrevista com o operador da ETE, foi pontuado que em caso de desvios no processo na Estação de Tratamento, algumas ações deverão ser tomadas visando eliminar ou minimizar os impactos no processo de tratamento de efluentes. As medidas sugeridas pelo autor estão descritas no Quadro 5 a seguir.

Quadro 5: Controles realizados na ETE X Plano de Ação.

PONTOS DE CONTROLES	PLANO DE AÇÃO
Óleos e Graxas	<ul style="list-style-type: none"> • Caso o volume de óleos e graxas esteja acima de 20 mg/L, são realizadas limpezas na caixa separadora de água e óleo. • A Manutenção é acionada em casos de vazamentos de óleos.
pH	<ul style="list-style-type: none"> • Quando o pH está >8 é adicionado produto químico (soda caustica ou sulfato de alumínio) para normalizar. • Quando o pH está < 6 é adicionado produto químico (soda caustica ou sulfato de alumínio) para elevar o pH.
Volume de lodo	<ul style="list-style-type: none"> • Quando o volume de lodo se encontra acima de 400 ml o lodo é descartado para os leitos de secagem. • Quando o volume de lodo < 300 ml aumenta-se a quantidade de alimentação das bactérias, além de aumentar a oxigenação ligando todos os aeradores ou diminuir o tempo de repouso dos aeradores de 5h para 4 horas. Caso não tenham êxito nas ações acima, repor a carga de bactérias.
Oxigênio dissolvido	<ul style="list-style-type: none"> • Se o Oxigênio dissolvido estiver < 2 mg/L deverá manter todos os aeradores ligados até equilibrar o seu nível.
DBO	<ul style="list-style-type: none"> • Caso o DBO não esteja atendendo aos parâmetros, são verificadas nas análises dos demais itens prováveis desvios para correção.
Turbidez	<ul style="list-style-type: none"> • Quando a Turbidez estiver elevada do efluente na saída dos tanques de aeração deverá retornar o efluente para a Estação Elevatória para percorrer novamente o processo. Caso a ação não seja eficaz, deverá ser adicionado produto químico na Estação Elevatória e monitorado o pH.

Fonte: Próprio Autor.

A maior parte das análises realizadas na ETE da organização são feitas por laboratório externo. Por conta disso, os controles apenas são realizados após o recebimento das amostras (que dura cerca de quinze dias). Com isso, nota-se que os controles acontecem posteriormente ao início da ocorrência, acarretando a convivência com o problema por muito tempo, o

que impacta na condição operacional da estação. Sendo esse efluente descartado sem a interferência do operador, poderá ocasionar impactos nos processos de reuso.

Com relação a óleos e graxas, uma ação preventiva seria informar aos mecânicos sobre a necessidade de em momentos de manutenção das máquinas armazenarem todo o óleo utilizado em tambores apropriados para destinação. Com isso a quantidade de óleo que chegaria à ETE seria reduzida não causando desequilíbrio no sistema de tratamento.

No que tange a volume do lodo, esse controle é feito pelo operador através da coleta de uma amostra de efluente da estação elevatória com o uso de cone de sedimentação *imhoff* de 1000 ml (conforme ilustração na Figura 5), e anota o volume do lodo após 30 minutos.

Figura 5: Cone de Sedimentação Imhoff.



Fonte: *Just Plastics Ltd.*

Conforme relatado pelo operador, quando o volume do lodo no cone de sedimentação *imhoff* apresenta as características dispostas no quadro 5, o operador adota os procedimentos também descritos no quadro. O mesmo ainda afirma que quando não consegue êxito nas ações descritas, entende-se que ocorreu a morte de muitas bactérias ali existentes, reduzindo assim a eficácia do tratamento. A ação realizada pela organização é a reposição da carga de bactérias.

Diante dos relatos acima, observa-se que o operador da ETE em estudo não possui formação específica na área de tratamento de efluentes,

não apresentando conhecimento técnico sobre o processo de tratamento de lodos ativados. Dessa forma, ele não monitora parâmetros essenciais para a tomada de decisões no processo, tornando assim os controles insuficientes. Além da avaliação do volume do lodo, o colaborador precisava calcular o IL, a relação F/M, SST, TRH e IVL. Com base nesses resultados, a tomada de decisão aconteceria de forma mais eficaz, o que dificultaria a substituição da carga de bactérias por morte de bactérias. Para que esse controle aconteça, os operadores da ETE precisariam se qualificar com treinamento específico para o tratamento de efluentes envolvendo lodos ativados.

Diante do exposto, observa-se que a avaliação de IVL pelo operador não corresponde ao ideal recomendado para avaliar a decantabilidade do lodo no decantador secundário. Pois este parâmetro deve ser avaliado em proveta de 1L em um período de repouso de meia hora, e o IVL calculado a partir da relação entre volume de Sólidos decantados e Sólidos suspensos totais (SST). É recomendado para este parâmetro valores de IVL em sistemas de Lodo ativado na faixa de 90 a 120 mL/g, valores superiores é sinônimo de lodo biológico com deficiente capacidade de decantação, conforme observaram Jardim, Braga e Mesquita (2005) o intumescimento do lodo com valor de 169 mL/g.

4.3 AVALIAÇÃO DOS DADOS DE MONITORAMENTO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO EFLUENTE DE ENTRADA E SAÍDA DA ETE

A seguir são apresentados gráficos com relação à eficiência de remoção da ETE relacionando os dados do efluente de entrada e saída no que tange a todos os parâmetros monitorados mensalmente pela organização (DBO, Turbidez, DQO, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos em Suspensão, Sólidos Totais, Óleos e graxas, Nitrogênio Total e Fósforo) no ano de 2012. Os valores dos parâmetros do efluente bruto e tratado estão disponíveis no Apêndice C.

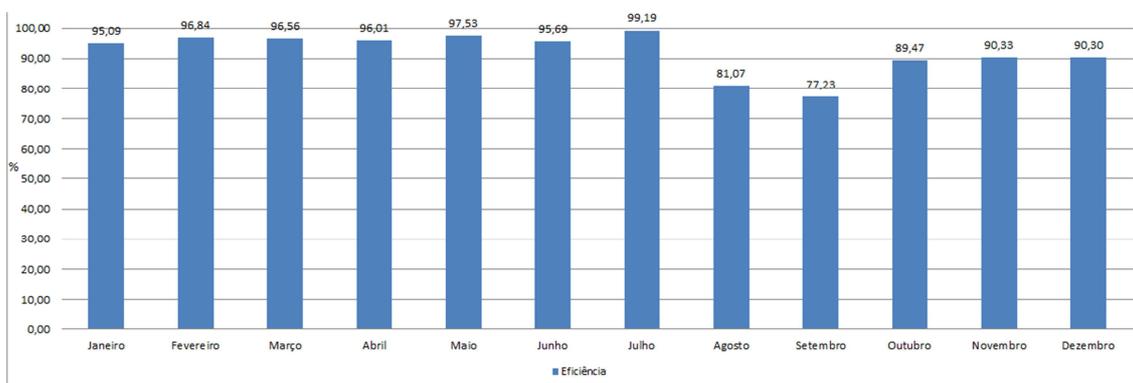
Os dados monitorados diariamente conforme descrito no Quadro 3 (pH, Oxigênio Dissolvido, Quantidade de lodo para descarte e Temperatura) eram registrados pelo operador mas não eram arquivados, dessa forma não podendo ser apresentados para discussão neste estudo. Sugere-se que o gestor da área

registre e archive esses dados, visando a melhor análise de estudos a serem posteriormente realizados.

Na Figura 6, observa-se que a eficiência de remoção de DBO referente ao efluente de entrada e saída mantém-se acima de 95% de janeiro a julho, vindo a cair e apresentar maior variação entre agosto e dezembro.

A DBO é tida como um parâmetro essencial de controle num processo de melhoria da qualidade dos despejos de uma indústria, principalmente quando este é tratado por métodos biológicos, como é o caso do efluente da empresa em questão.

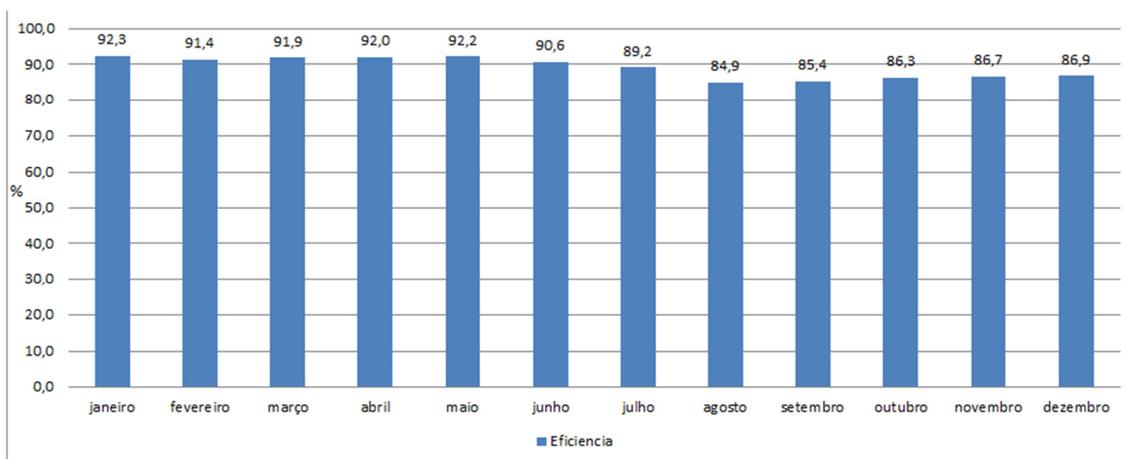
Figura 6: Eficiência da ETE com relação à DBO.



Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

Na Figura 7, observa-se que a eficiência de remoção de Turbidez referente ao efluente de entrada e saída mantém-se acima de 90% de janeiro a julho, vindo a cair para 84,9% variando até 86,9% de agosto a dezembro. A turbidez de uma água pode revelar a origem da mesma.

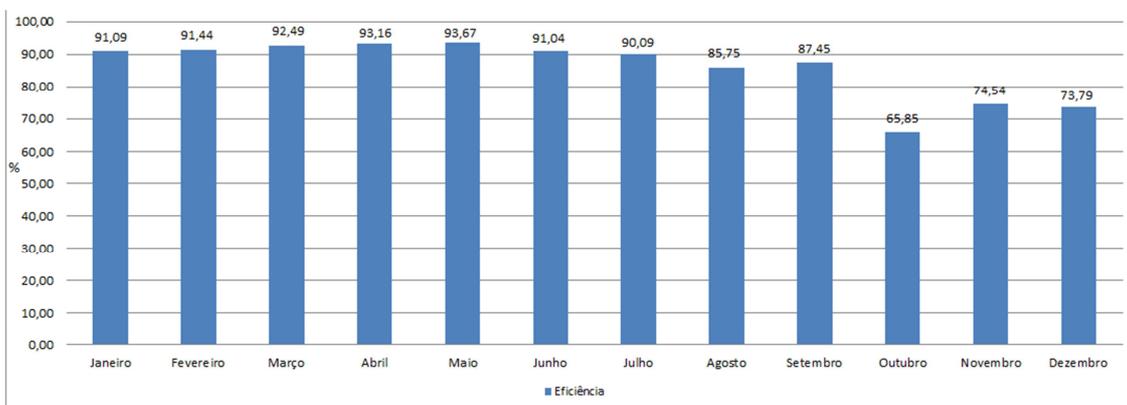
Figura 7: Eficiência da ETE com relação à turbidez.



Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

Na Figura 8, observa-se que a eficiência de remoção de DQO referente ao efluente de entrada e saída mantém-se acima de 90% de janeiro a julho, vindo a cair de agosto a dezembro, vindo a apresentar uma variação que vai de 87,45% podendo chegar até 65,85%, como é o que acontece no mês de outubro.

Figura 8: Eficiência da ETE com relação à DQO.

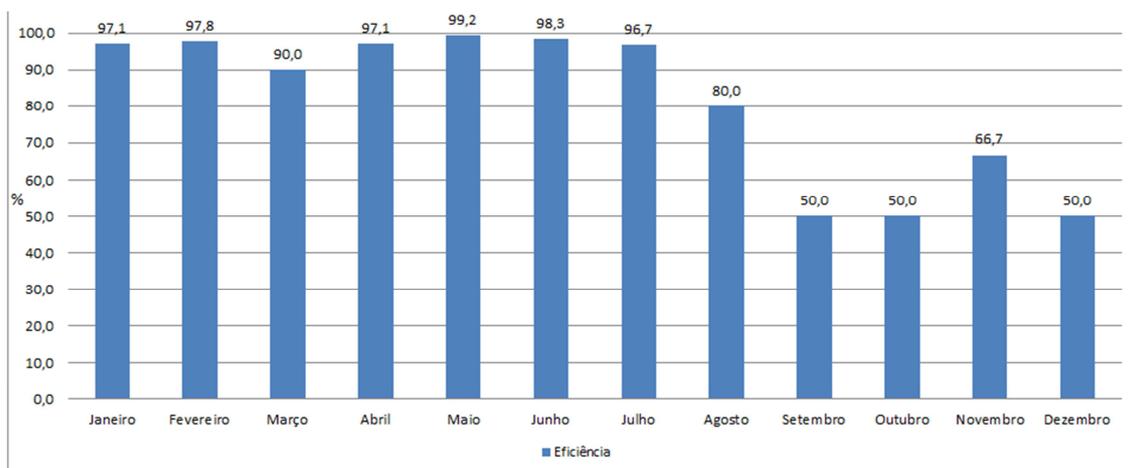


Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

Com relação aos sólidos capazes de sedimentar no período de uma hora, mais conhecidos como sólidos sedimentáveis, pode-se verificar na Figura 9 que a eficiência de remoção de SS referente ao efluente de entrada e saída mantém-se acima de 90% de janeiro a julho, vindo a cair de agosto a dezembro, e apresentando uma variação que vai de 80% de eficiência no mês de agosto, 66,7% em novembro e 50% nos meses de setembro, outubro e

dezembro. Com relação a Sólidos Sedimentáveis a redução é bastante significativa de setembro a dezembro se comparado aos demais meses do mesmo ano.

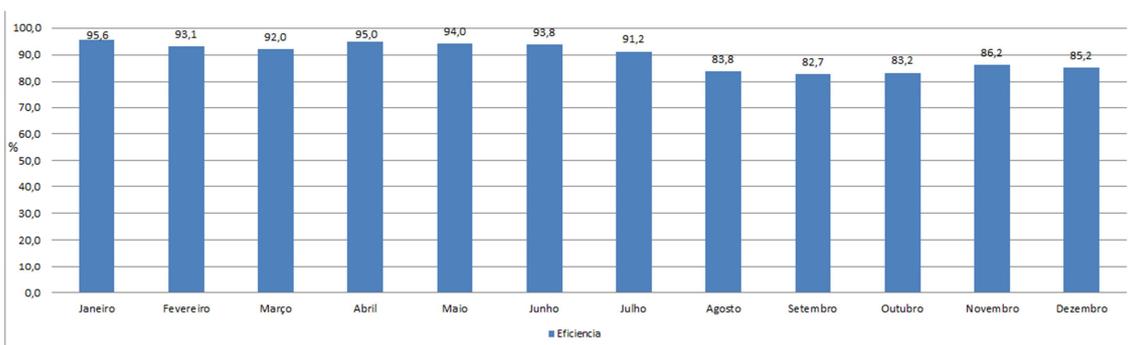
Figura 9: Eficiência da ETE com relação a Sólidos em Suspensão.



Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

Na Figura 10, a eficiência de remoção de Sólidos em Suspensão referente ao efluente de entrada e saída mantém-se acima de 91,2% de janeiro a julho. Com relação a Sólidos em Suspensão a queda não consegue ser tão significativa de agosto a dezembro, mas também consegue ser notada. Ela varia de 86,2% e 82,7% nesse período.

Figura 10: Eficiência da ETE com relação a Sólidos em Suspensão.

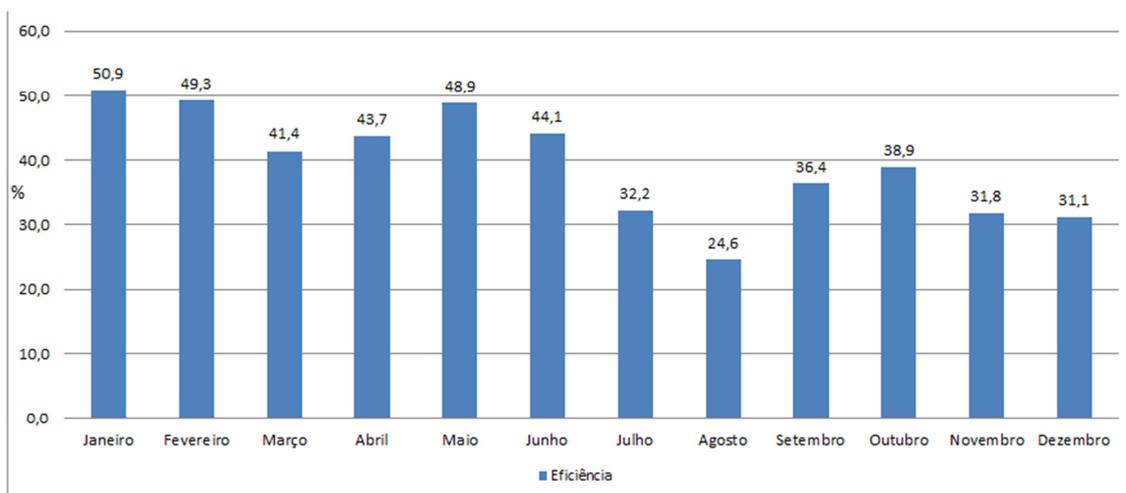


Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

Na Figura 11, observa-se que a ETE com relação a remoção de Sólidos Totais referente ao efluente de entrada e saída não consegue ser tão eficaz. Durante todo o ano os dados se mantêm abaixo de 60%, com quedas tanto no

primeiro semestre quanto no segundo semestre. Os meses de julho, agosto, novembro e dezembro apresentam as menores variações do ano. Em agosto a ETE apresenta sua pior eficiência do ano, chegando a 24,6%.

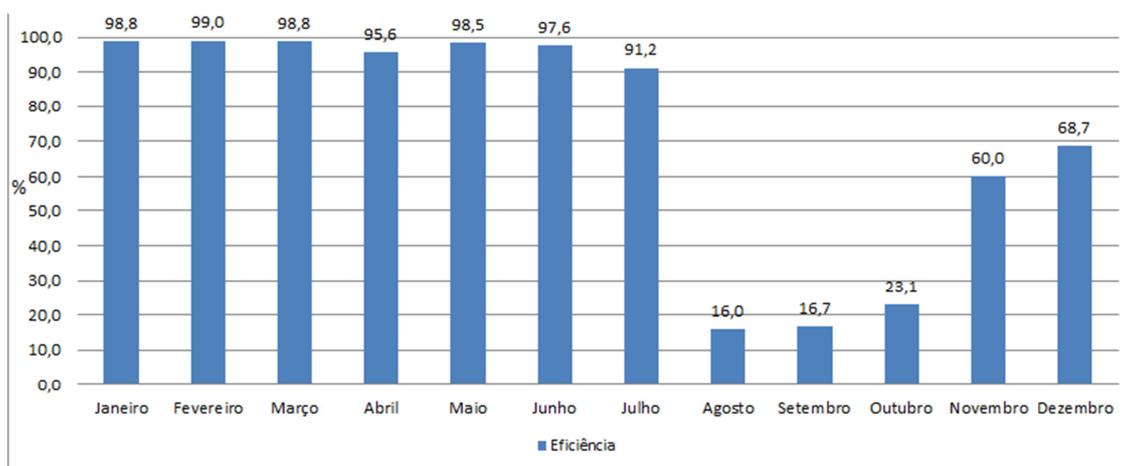
Figura 11: Eficiência da ETE com relação a Sólidos Totais.



Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

Na Figura 12, observa-se que a ETE com relação a remoção de Óleos e Graxas referente ao efluente de entrada e saída apresenta eficiência acima de 91% de janeiro a julho. No período de agosto a outubro, a ETE apresenta uma eficiência que varia de 16% a 23,1%. Nos meses de novembro e dezembro esses números voltam a subir, não conseguindo voltar ao patamar do período de janeiro a julho, mas com eficiência de 60% em novembro e 68,7% em dezembro.

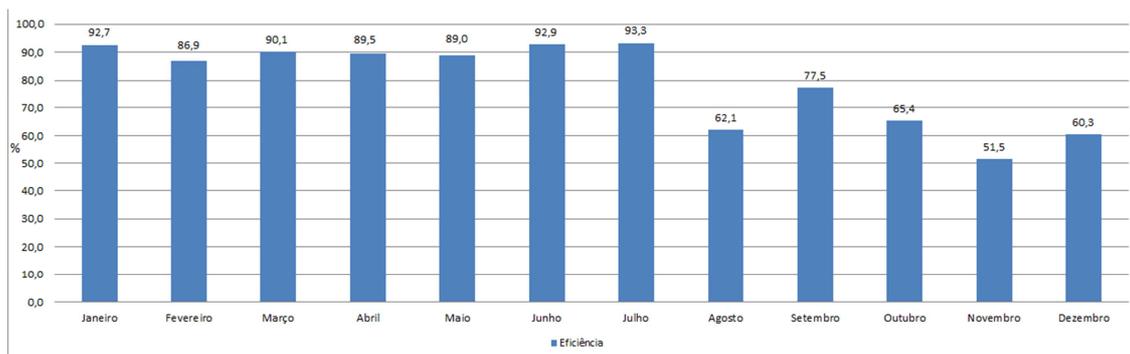
Figura 12: Eficiência da ETE com relação a Óleos e Graxas.



Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

Na Figura 13, observa-se que a ETE com relação à remoção de Nitrogênio Total referente ao efluente de entrada e saída apresenta eficiência oscilando de 86,9% até 92,9% de janeiro a julho. Já no período de agosto a dezembro, a ETE apresenta uma eficiência que varia de 77,5% a 51,5%.

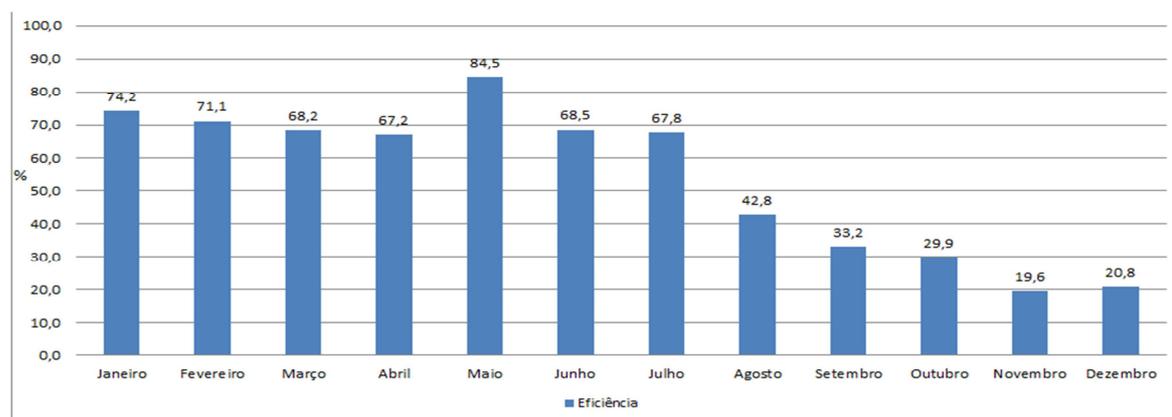
Figura 13: Eficiência da ETE com relação a Nitrogênio Total.



Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

Observando a Figura 14, referente a eficiência da ETE com relação a remoção de Fósforo, nota-se que esses valores se comportaram de forma decrescente durante todo o ano, variando de 74,2% a 19,6%, vindo a ter uma superação dessa variação já citada no mês de maio, onde a eficiência atinge seu maior pico, chegando a 84,5%.

Figura 14: Eficiência da ETE com relação a Fósforo Total.

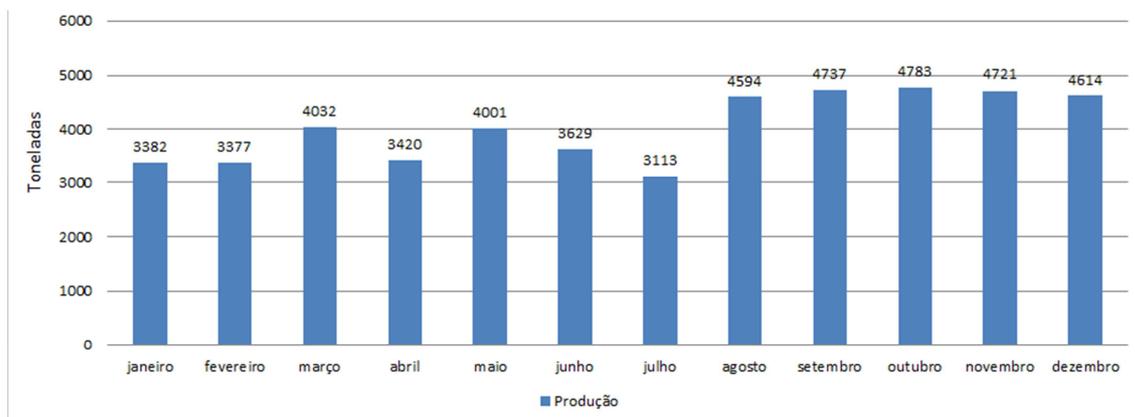


Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

A Figura 15 demonstra a produção da empresa durante todos os meses do ano de 2012. Ao analisar a Figura 25 e relacioná-la com as demais Figuras

(16 a 24) relativas à eficiência da ETE, percebe-se que os dados de produção da empresa estão diretamente relacionados com a eficiência da ETE.

Figura 15: Produção da empresa (em toneladas).



Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

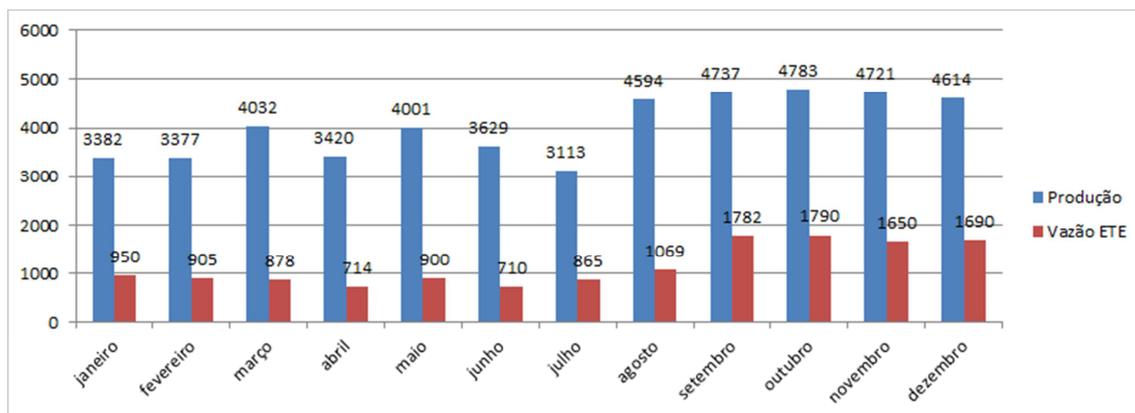
Visando manter um melhor equilíbrio na ETE e tendo por base que os maiores desequilíbrios na eficiência da ETE ocorrem no momento de produção elevada, isso demonstra que ocorrem também mudanças na caracterização do efluente de chegada. Com isso, o operador precisaria ser previamente informado sobre essas alterações para que as ações desenvolvidas fossem muito mais preventivas que reativas. Sendo informado, com brevidade sobre essas alterações, o operador poderia seguir com atividades de gerenciamento e controle voltadas a aumento de aeração, alteração na dosagem de produtos químicos, entre outras.

Ao relacionar a produção/mês com a vazão de efluente recebido na ETE (Figura 16), percebe-se que o aumento da vazão de efluente é proporcional a produção. Com o acréscimo da produção, a ETE da empresa também recebe uma carga maior de efluente, o que leva o autor a inferir sobre a existência de sobrecargas na ETE. Ao ser questionado sobre a operação da ETE durante os períodos de maior produção, o operador afirmou que realiza descarte de uma quantidade maior de efluente, diminuindo assim o tempo de tratamento do efluente, visando não gerar transbordos, fazendo com que o tratamento não apresente a eficiência requerida.

Na Figura 16, têm-se a relação de produção versus vazão do efluente, o que reforça a afirmativa do paragrafo anterior referente ao aumento da vazão

do efluente de entrada na ETE durante a maior parte do segundo semestre do ano estudado.

Figura 16: Produção X Vazão de Efluente – ETE.



Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

4.4 QUALIDADE DO EFLUENTE TRATADO X LEGISLAÇÕES AMBIENTAIS E PADRÕES PERTINENTES RECOMENDADOS PARA OS PROCESSOS DA EMPRESA

Será apresentada a seguir uma relação com os resultados do efluente tratado (de saída) da empresa estudada, visando a seu reuso nos processos de lançamento em corpo hídrico, jardinagem, sistema de geração de vapor, sistema de refrigeração e fabricação de cola da empresa estudada, baseando-se nos padrões ou legislações ambientais pertinentes.

4.5.1 LANÇAMENTO EM CORPOS HÍDRICOS

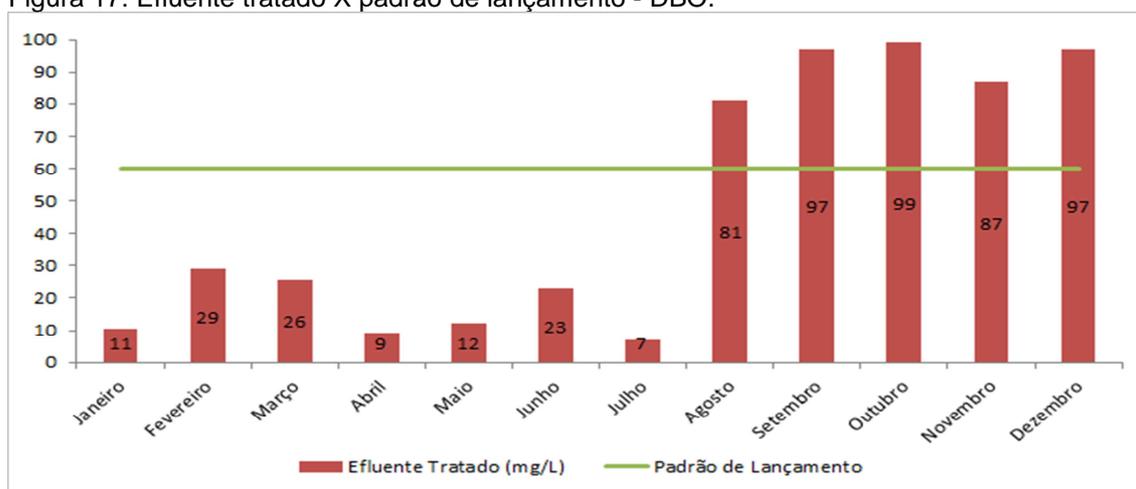
O reuso de efluente tratado pode se dar de forma indireta, através do lançando o efluente em corpo. Para isso, é importante avaliar a qualidade do efluente frente a padrões de lançamento do efluente em corpos hídricos e no segundo as recomendações encontradas na literatura.

Para lançamento de efluente em corpos hídricos empregam-se os padrões descritos na Resolução CONAMA 430/11 e na Deliberação Normativa conjunta COPAM/CERH-MG nº 1/08, do estado de Minas Gerais.

Para o parâmetro de DBO expostos na Figura 17, têm-se padrões para lançamento de efluentes na deliberação normativa COPAM/CERH-MG nº 1/08

(60 mg/L). Diante dos dados do efluente tratado, nota-se que no que tange a DBO de janeiro a julho variam de 7,1 a 29 mg/L, atendendo a deliberação normativa COPAM/CERH-MG nº 1/08. Já no período de agosto a dezembro esses valores aumentam significativamente, apresentando números entre 81 a 99 mg/L, dessa forma não atendendo aos padrões de lançamento.

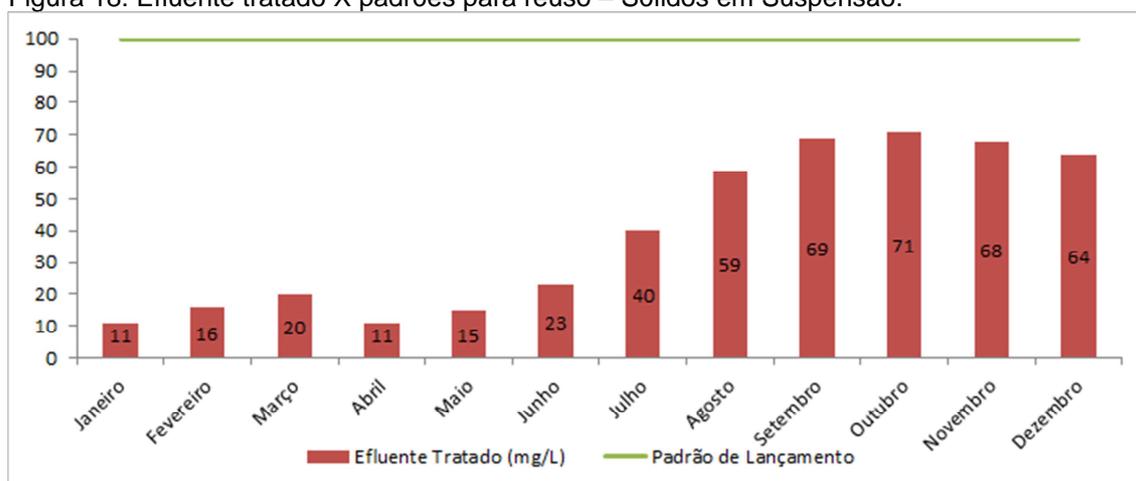
Figura 17: Efluente tratado X padrão de lançamento - DBO.



Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

Para lançamento em corpos hídricos os padrões de sólidos em suspensão são recomendados pela deliberação normativa COPAM/CERH-MG nº 1/08 (100 mg/L). Na Figura 18 observa-se que os dados apresentados encontram-se dentro dessa recomendação.

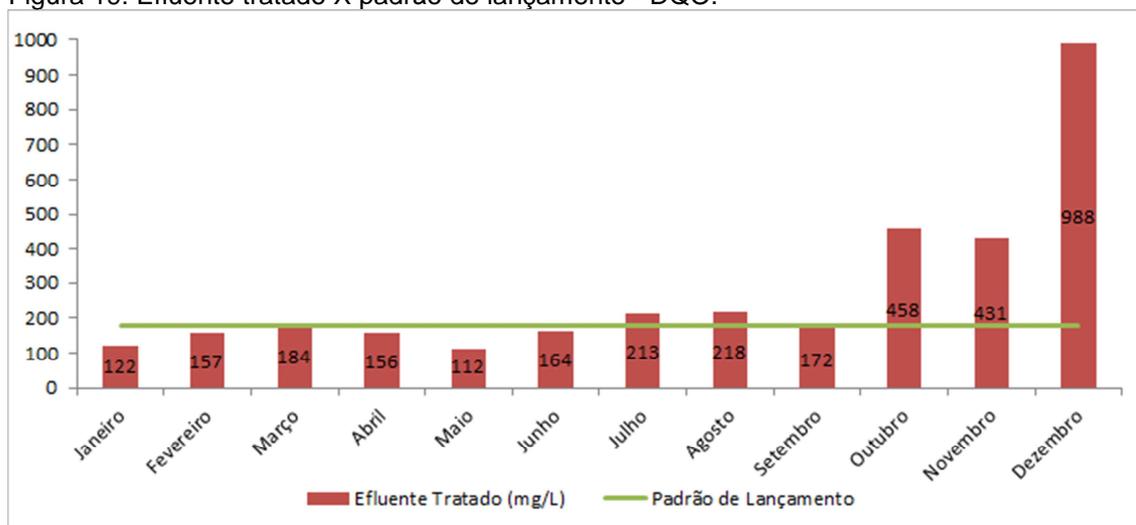
Figura 18: Efluente tratado X padrões para reuso – Sólidos em Suspensão.



Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

Para lançamento em corpos hídricos no que tange a DQO, a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 1/08 define que esse parâmetro não pode ser maior que 180 mg/L. Esse valor é ultrapassado em seis meses: março, julho, agosto, outubro, novembro e dezembro. O que também chama a atenção é que esse número teve uma baixa variação de janeiro a setembro, estando entre 112 a 218 mg/L. Já no período de outubro a dezembro esse número começa a variar de 431 a 988 mg/L. A Figura 19 apresenta essa descrição.

Figura 19: Efluente tratado X padrão de lançamento - DQO.

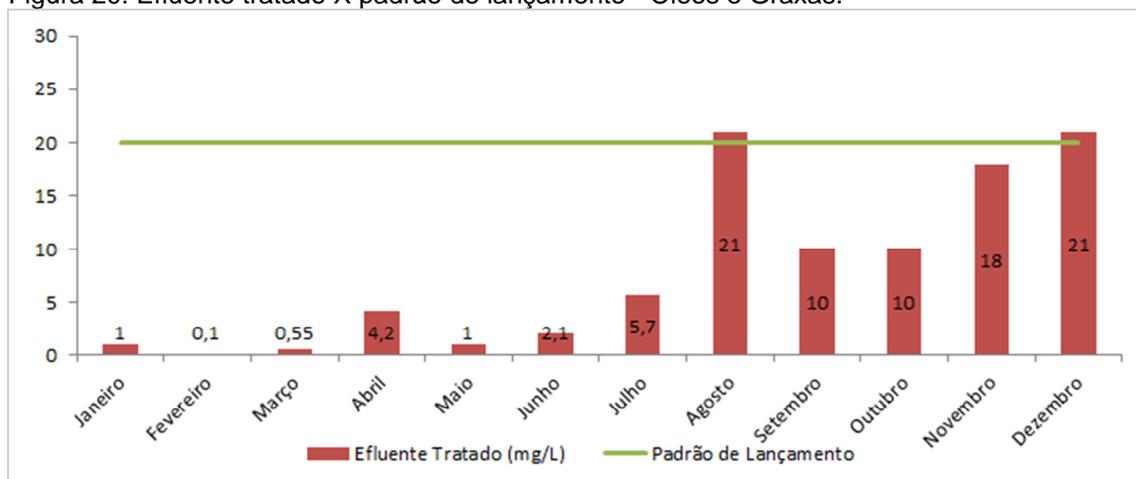


Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

Para lançamento em corpos hídricos no que tange a turbidez, não são definidos padrões pelas resoluções e deliberações disponíveis.

No que tange a óleos e graxas, a resolução estadual COPAM/CERH-MG nº 1/08 e a resolução federal CONAMA 430/11 fazem recomendações ambas padronizando 20 mg/L. Com base nos dados apresentados na Figura 20 esse padrão apenas foi ultrapassado nos meses de agosto e dezembro.

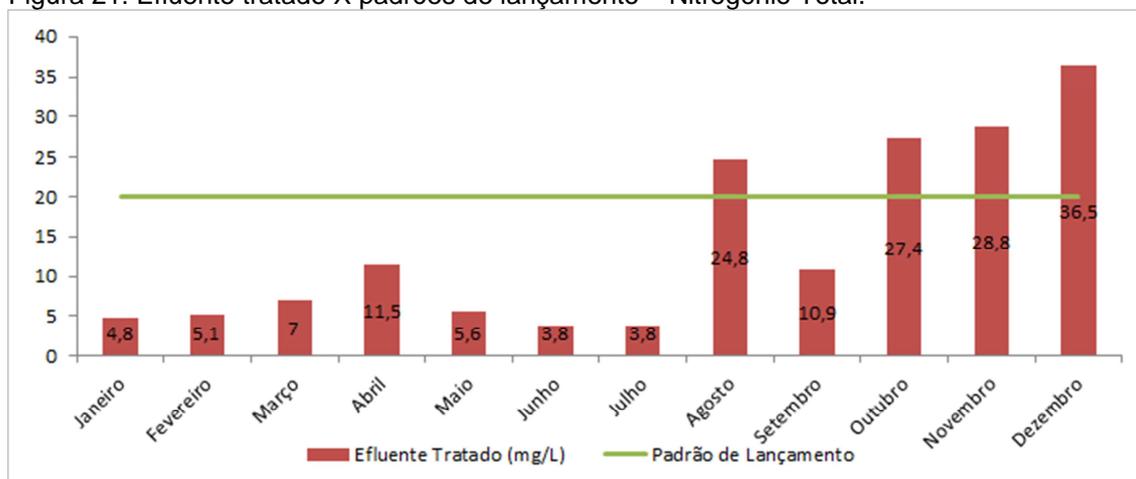
Figura 20: Efluente tratado X padrão de lançamento - Óleos e Graxas.



Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

Para lançamento no que tange a nitrogênio total usou-se a resolução CONAMA 430/11 e a COPAM/CERH-MG nº 1/08 que determinam 20 mg/L. Nos meses de agosto, outubro, novembro e dezembro, conforme mostra a Figura 31, a empresa não consegue atender ao padrão recomendado, variando de 24,8 a 36,50 mg/L (Figura 21).

Figura 21: Efluente tratado X padrões de lançamento – Nitrogênio Total.



Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

Numa visão geral, os dados avaliados pela empresa no que tange a lançamento (DBO, DQO, e Nitrogênio) não conseguem atender aos padrões recomendados pelas resoluções federais e estaduais conforme já exposto, principalmente durante os meses do segundo semestre.

O fato da empresa não conseguir atender as exigências legais cabíveis é um agravante porque a empresa estudada já utiliza o efluente para irrigação, fazendo dessa forma um lançamento indireto do efluente em corpos hídricos. Com essa ação a empresa pode estar criando um passivo ambiental e gerar complicações futuras para a organização, tais como notificações e multas, além de consequências ligadas a diminuição da disponibilidade hídrica, prejuízos para a saúde humana e o comprometimento da sustentabilidade do ambiente.

Com base nas avaliações físico-químicas utilizadas para avaliar a ETE em estudo na atualidade, não é possível fazer uma avaliação global da eficiência operacional da ETE, neste sentido, é necessário acrescentar no processo de monitoramento outros parâmetros que indiquem as características operacionais que possam contribuir em interferências diretas na ETE para melhorar a eficiência de remoção dos parâmetros já avaliados que são normalmente os recomendados na Resolução do CONAMA 430, como taxa de recirculação do lodo, vazão do Efluente Bruto e tratado, Taxa oxigenação do tanque de aeração, relação Alimento/Microrganismo e Fator de Carga Orgânica.

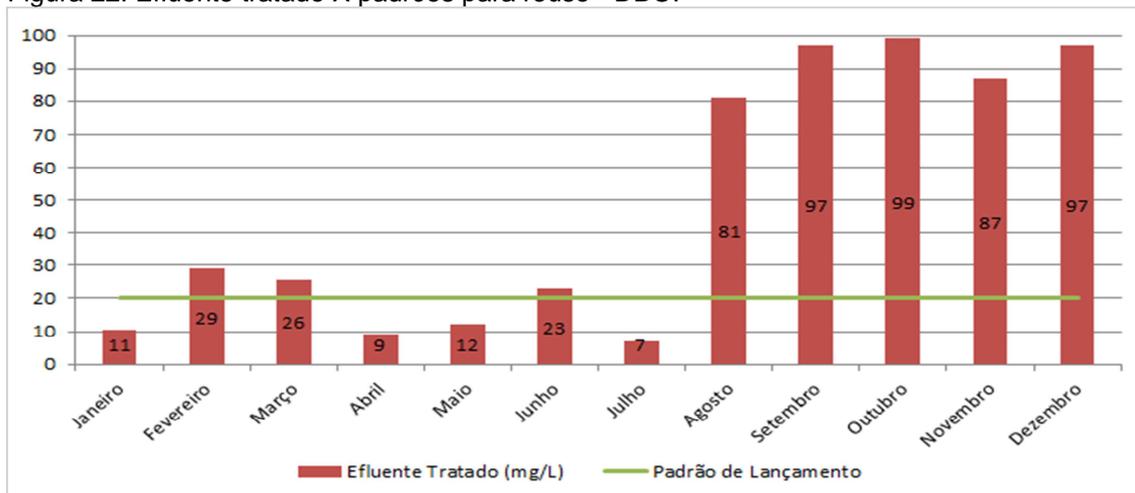
Este último representa a relação da quantidade de substrato total entrante (DBO afluente) com a quantidade de organismos presentes no sistema de tratamento (Sólidos Suspensos Totais do tanque de aeração). Para este parâmetro é recomendado em sistemas de lodo ativado valores na faixa de 0,2 a 0,6kgDBO5/kgSST/dia (CUTOLO, 1996). Sistemas que operam acima dessa faixa indicam sobrecarga orgânica na ETE.

Alguns desses parâmetros podem ser avaliados diariamente para permitir interferências no sistema em tempo hábil para evitar perdas de eficiência no processo de tratamento.

4.5.2 REUSO DE EFLUENTE PARA JARDINAGEM

Em relação aos padrões para reuso em irrigação têm-se as recomendações do Manual FIESP (2005). Na Figura 22, no que tange ao padrão recomendado pelo Manual FIESP (2005) para reuso (20 mg/L), os valores ultrapassam em três desses meses as recomendações do manual no período de janeiro a julho e todos os meses do período de agosto a dezembro.

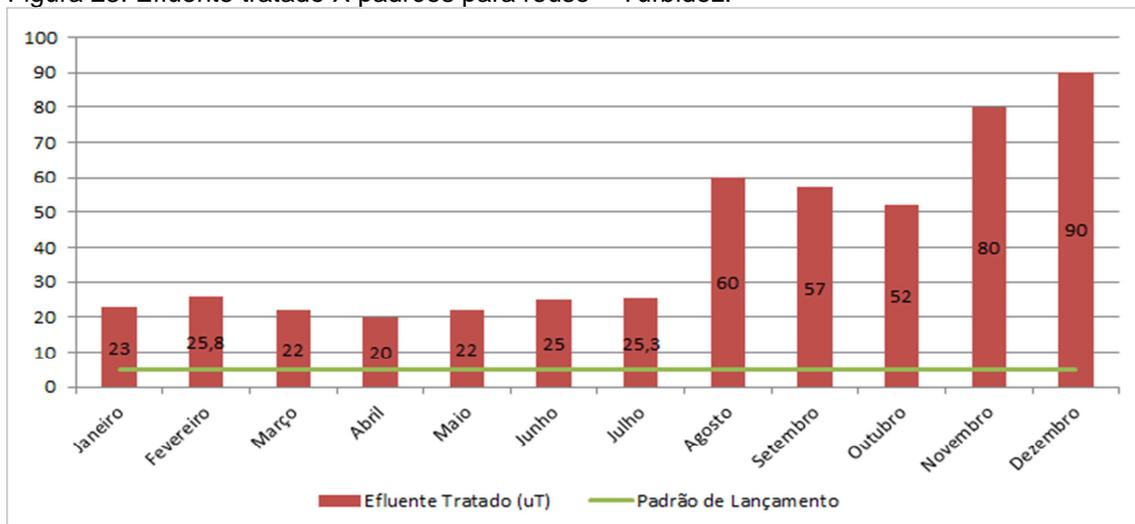
Figura 22: Efluente tratado X padrões para reuso - DBO.



Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

Para DQO o Manual FIESP (2005) não define padrões para reuso. Com relação à turbidez, para reuso, têm-se o padrão de 5 uT definido pelo Manual FIESP (2005). Conforme apresentado na Figura 23, tem-se que em nenhum dos doze meses esse padrão atende a especificação recomendada. De janeiro a julho esse valor oscila entre 20 a 25,8 uT e já no período de agosto a dezembro esse valor compreende-se entre 52 e 90 uT.

Figura 23: Efluente tratado X padrões para reuso – Turbidez.

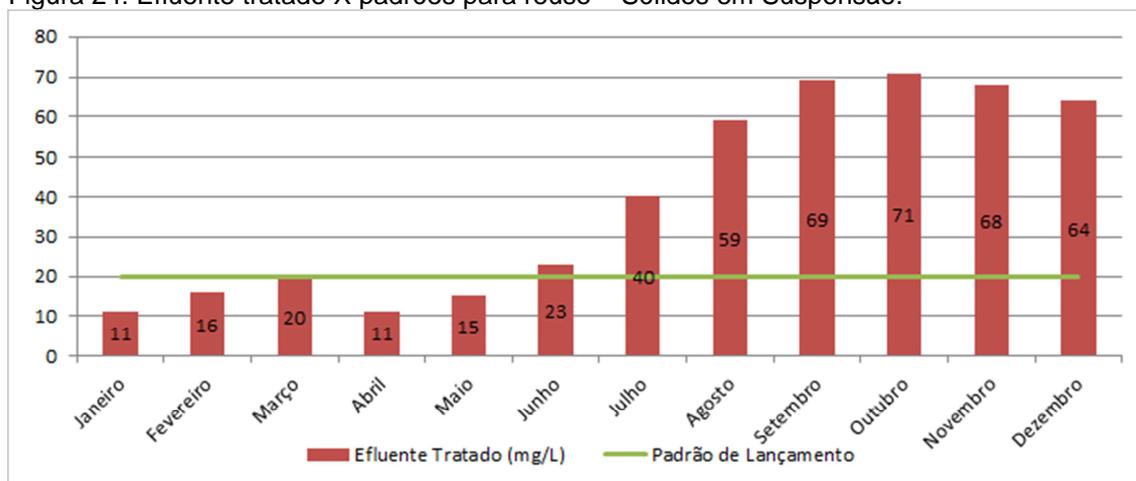


Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

Já no que tange a reuso, o Manual FIESP (2005) recomenda 20 mg/L. Observa-se que de janeiro a maio esse número varia de 11 a 20 mg/L. Já nos

meses de julho a dezembro o efluente tratado não atende a recomendação, compreendendo-se entre 40 e 71 mg/L, conforme Figura 24.

Figura 24: Efluente tratado X padrões para reuso – Sólidos em Suspensão.

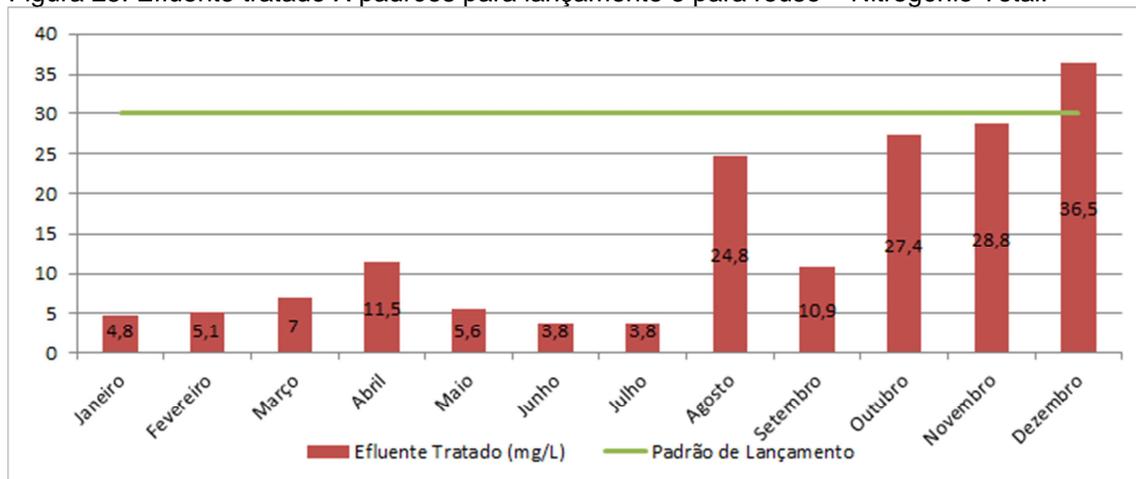


Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

Já no que tange a reuso, com relação aos dados de óleos e graxas, o Manual FIESP (2005) não faz recomendação para reuso.

Para reuso, o Manual FIESP (2005) determina 30 mg/L para o nitrogênio. Conforme Figura 25, o nitrogênio total apenas não consegue atender a esse parâmetro em dezembro, com 36,50 mg/L.

Figura 25: Efluente tratado X padrões para lançamento e para reuso – Nitrogênio Total.



Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

De acordo com os parâmetros escolhidos para avaliação do reuso do efluente tratado, ficou evidente o não atendimento para este fim, entretanto

outros parâmetros caberiam no processo de avaliação da eficiência da ETE para uma avaliação mais global. Parâmetros como pH, Fosfatos, toda a série de nitrogênio (Total e Amônia), Carbono orgânico total, temperatura, Coliformes termotolerantes, avaliação parasitológica e de metais pesados entre outros que indicassem a característica completa do efluente tratado e que este não ofereça riscos no reuso e que indique sua real capacidade de fertilização para o solo.

Emongor & Ramolemana (2004) irrigaram hortícolas e frutíferas com efluente tratado por lodos ativados e lagoas de maturação, o qual apresentava uma concentração média de nitrogênio amoniacal e nitrato igual a 0,16 mg L⁻¹ e 18 mg L⁻¹, respectivamente. A preocupação dos autores não era a concentração de nitrogênio amoniacal mas, sim, a alta concentração de nitrato nas águas utilizadas na irrigação; contudo, os autores não relataram problemas, em curto prazo, relativos ao excesso de nitrogênio.

De acordo com Hespanhol (2002), a presença de organismos patogênicos e de compostos orgânicos sintéticos na grande maioria dos efluentes disponíveis para reuso, principalmente naqueles oriundos de estações de tratamento de esgotos de grandes conturbações com polos industriais expressivos, classifica o reuso potável como uma alternativa associada a riscos muito elevados, tornando-o praticamente inaceitável. Além disso, os custos dos sistemas de tratamento avançados que seriam necessários levariam à inviabilidade econômico-financeira, não havendo, ainda, face às considerações anteriormente efetuadas, garantia de proteção adequada sem risco a saúde ou a qualidade do solo onde este se aplicaria.

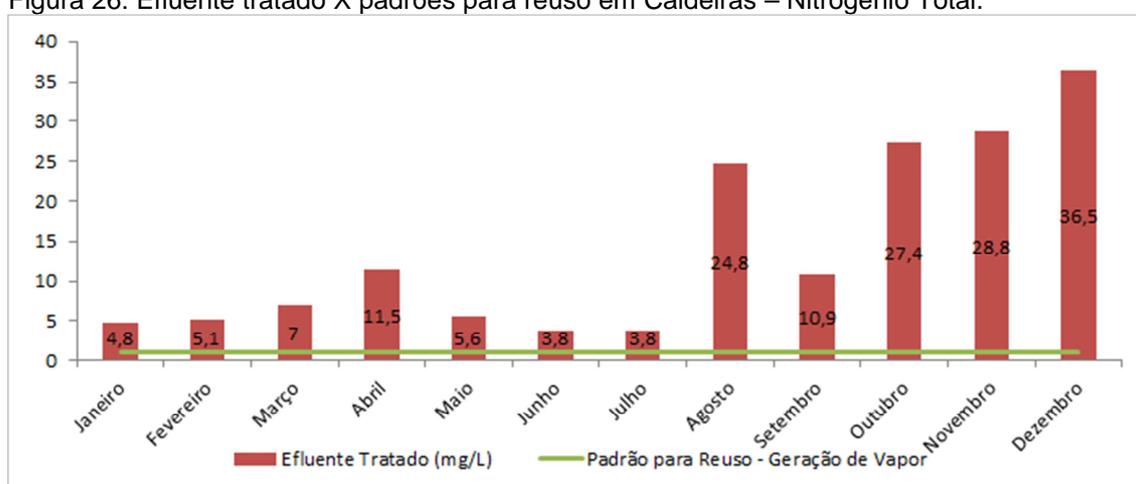
4.5.3 AVALIAÇÃO DO REUSO DE EFLUENTE PARA GERAÇÃO DE VAPOR

Para caldeiras de média Pressão (10 a 50 bar), que é o caso da caldeira da empresa estudada, ainda não existem padrões recomendados para esse reuso em resoluções federais, estaduais ou municipais no Brasil. Apenas o Manual da FIESP (2005) recomenda padrões para SDT, dureza, alcalinidade, pH, DQO, SST, compostos orgânicos, nitrogênio, sílica, alumínio, cálcio, magnésio, bicarbonato, cobre, zinco, OD, entre outros.

Os dados de nitrogênio total, sólidos totais, sólidos em suspensão e DQO serão apresentados a seguir, comparando-se com os valores sugeridos pelo manual. Os demais padrões recomendados pelo Manual (op. cit) não são avaliados pela organização.

Conforme a Figura 26, com relação ao parâmetro de nitrogênio total, percebe-se que os valores estão bem mais altos que os recomendados pelo Manual FIESP (2005) (1 mg/L). Durante todos os meses do ano, os menores valores alcançados variam de 3,8 a 7 mg/L, nos meses de janeiro, fevereiro, março, maio, junho e julho. Nos meses de abril e de agosto a dezembro, esses valores variam de 10,9 a 36,50 mg/L.

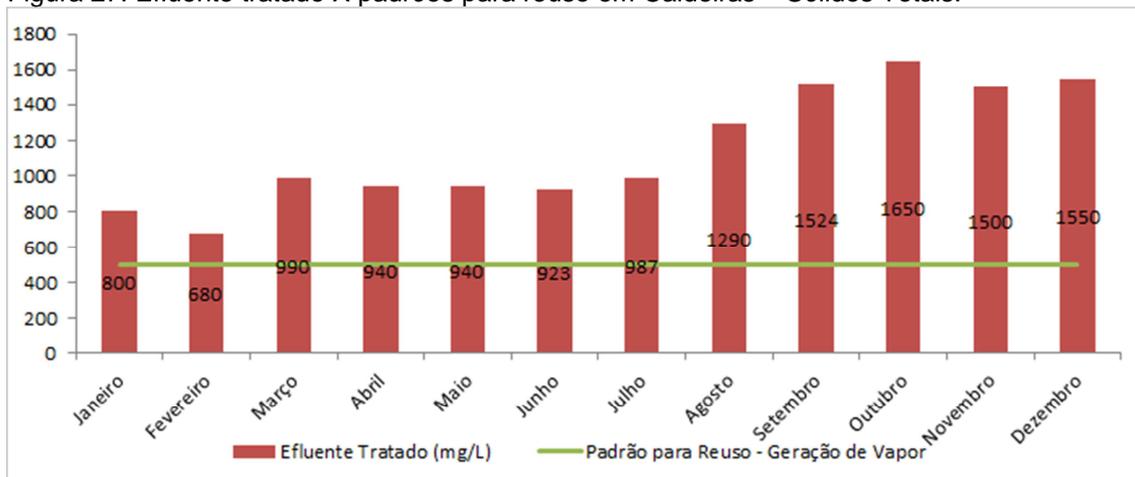
Figura 26: Efluente tratado X padrões para reuso em Caldeiras – Nitrogênio Total.



Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

Com relação aos parâmetros de sólidos totais o parâmetro recomendado é de 500 mg/L, porém durante todo o ano os resultados de saída do efluente da ETE em questão encontram-se entre 680 e 1650 mg/L. De janeiro a julho, esses números se concentram entre 680 e 990 mg/L, já de agosto a dezembro, esses números passam a se concentrar de 1290 a 1650 mg/L. Em síntese, em nenhum dos meses esse valor consegue atender ao parâmetro recomendado. A Figura 27 demonstra esses dados.

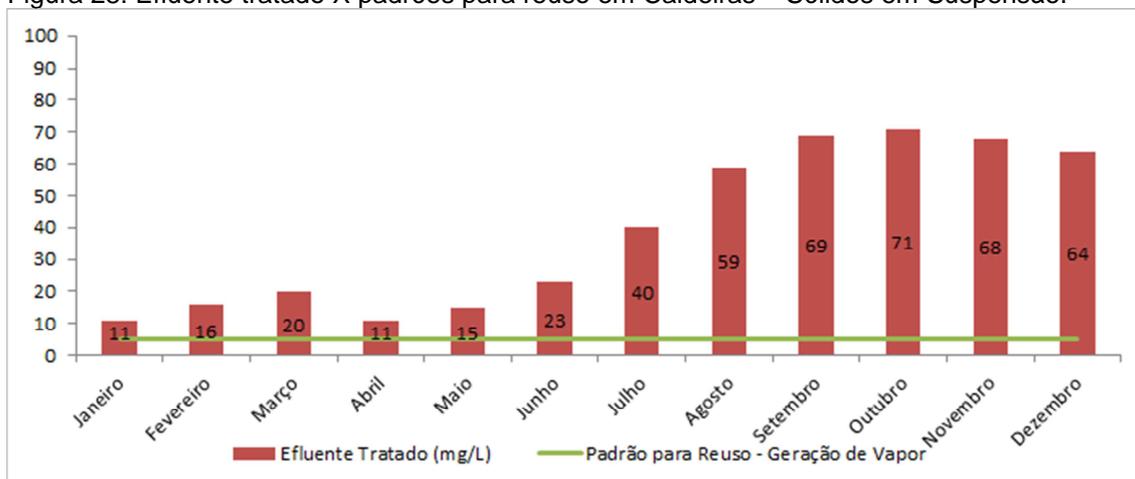
Figura 27: Efluente tratado X padrões para reuso em Caldeiras – Sólidos Totais.



Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

Conforme demonstra a Figura 28, os parâmetros de sólidos em suspensão o parâmetro recomendado pelo manual é de 5 mg/L porém em nenhum dos meses o efluente de saída consegue atender a esse parâmetro. De janeiro a julho esse valor varia de 11 mg/L a 23 mg/L. De julho a dezembro esse valor aumenta bastante, variando de 40 mg/L a 71 mg/L.

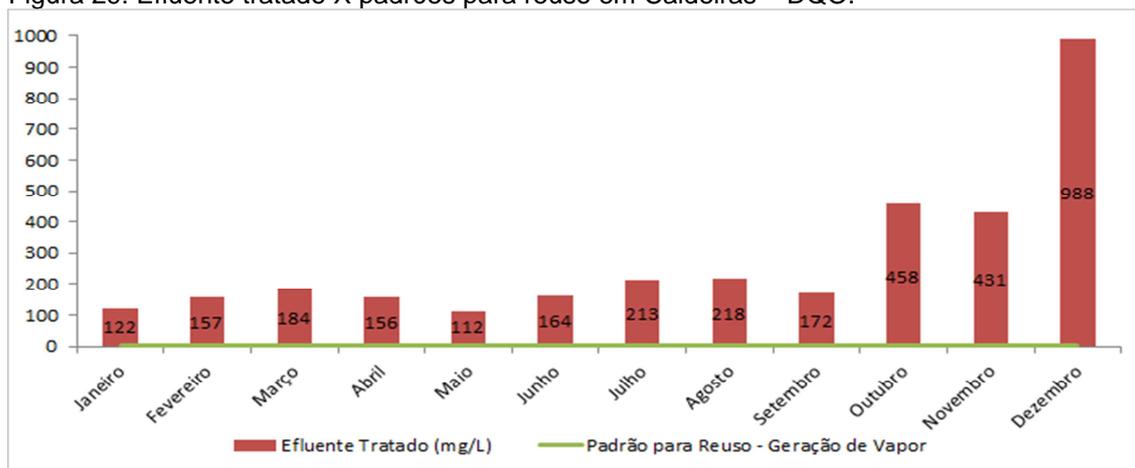
Figura 28: Efluente tratado X padrões para reuso em Caldeiras – Sólidos em Suspensão.



Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

Para os parâmetros de DQO o parâmetro recomendado é de 5 mg/L porém em nenhum dos meses o efluente de saída consegue atender a esse parâmetro. De janeiro a setembro esse valor varia de 112 mg/L a 218 mg/L. De outubro a dezembro esse valor cresce bastante, variando de 491 mg/L a 988 mg/L, conforme mostra a Figura 29.

Figura 29: Efluente tratado X padrões para reuso em Caldeiras – DQO.



Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

Os dados de pH não foram apresentados anteriormente pois a empresa não possui o registro desses dados. Ela monitora diariamente mas não arquiva o histórico. Segundo o operador que faz as avaliações diariamente, os valores recomendados por esse manual que sugere números entre 8,2 a 10 não são extrapolados. Recomenda-se que esses dados sejam registrados e analisados, visando avaliar a eficiência da ETE, além de serem tomadas medidas preventivas de controle.

Como não são monitorados pela empresa os parâmetros de SDT, dureza, alcalinidade, pH, DQO, SST, Compostos Orgânicos, Nitrogênio, sílica, alumínio, cálcio, magnésio, bicarbonato, cobre, zinco, OD, conforme sugestão do Manual FIESP, recomenda-se que a empresa passe a monitorar esses parâmetros visando evitar prejuízos para o equipamento. Os parâmetros não monitorados são fundamentais para a verificação da qualidade da água nesse sistema.

Diante dos dados apresentados tem-se que a qualidade do efluente não atende aos padrões para reuso direto em sistemas de geração de vapor. A eficiência da ETE precisa ser monitorada e tratamentos adicionais precisam ser aplicados visando adequar esse efluente aos padrões recomendados. Uma outra possibilidade viável seria a possibilidade de dissolver o atual efluente gerado pela organização em água potável.

4.5.4 REUSO DE EFLUENTE PARA SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

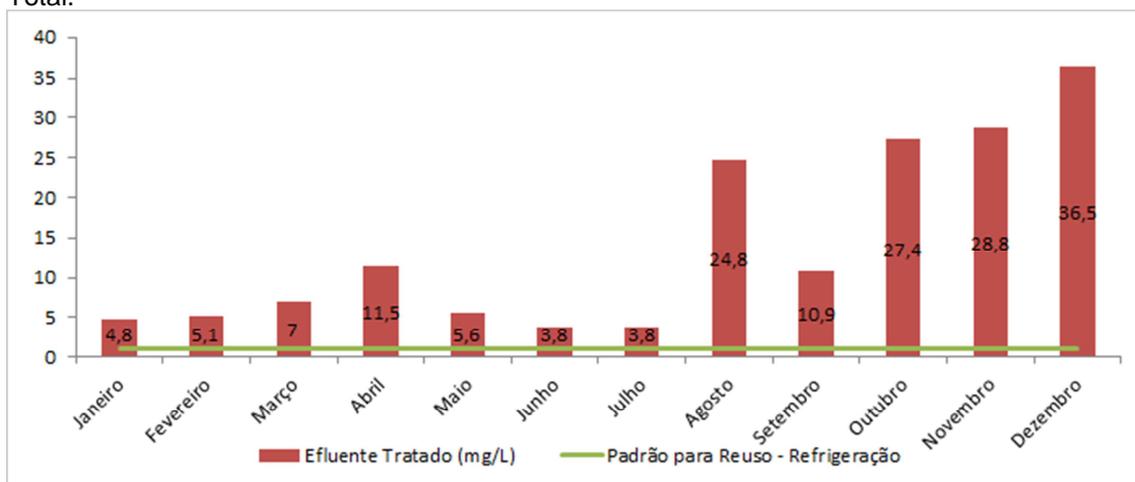
O sistema de refrigeração de ar da empresa estudada é um sistema aberto com recirculação. Assim como nos demais processos da empresa, é utilizada a água potável fornecida pela Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. – EMBASA para alimentação do sistema. O casco e o espelho dos trocadores de calor do sistema de resfriamento, assim como as tubulações, são compostos de aço carbono, já o feixe de tubos dos trocadores é composto de cobre. A vazão de alimentação desse sistema varia entre 800 a 1000 m³/dia.

Para os sistemas de refrigeração por não haver parâmetros legais em legislações no âmbito federal, estadual ou municipal, para esse estudo utilizou-se as recomendações disponíveis Manual FIESP (2004). Os dados de pH, segundo o operador que faz as avaliações diariamente, não extrapola os valores recomendados por esse manual que sugere números entre 6,9 – 9,0 (FIESP, 2004).

Não são realizadas pela empresa monitoramento dos parâmetros de condutividade, fosfato, sílica, ferro, zinco e sulfato, logo esses dados não serão apresentados neste estudo. Vê-se a necessidade de monitoramento por parte da empresa dos parâmetros de condutividade, fosfato, sílica, ferro, zinco e sulfato, importantes para a verificação de qualidade da água para processos de resfriamento.

Conforme Figura 30, observa-se que em nenhum dos meses o padrão recomendado de 1 mg/L consegue ser atendido pela empresa estudada, apresentando valores mais altos a partir do mês de agosto.

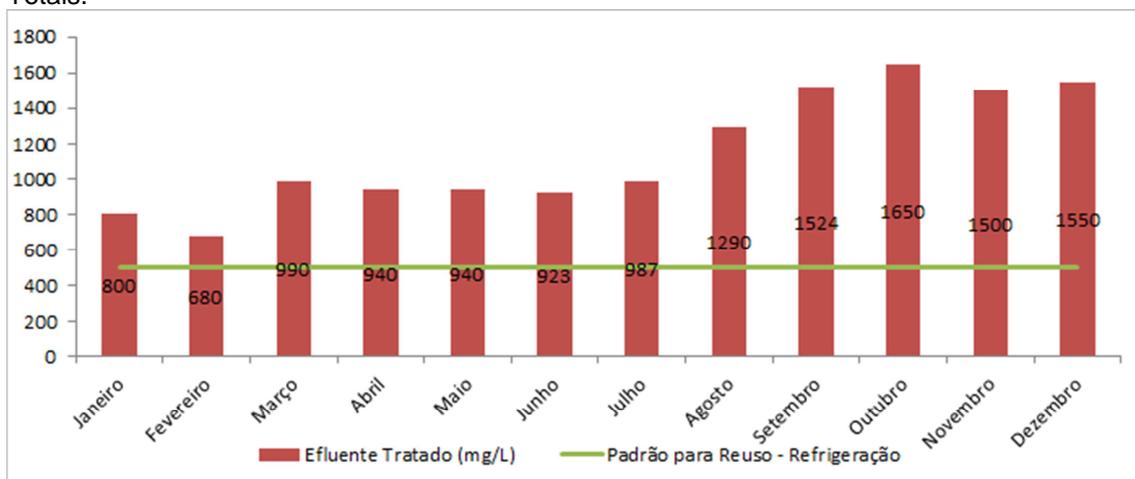
Figura 30: Efluente tratado X padrões para reuso em Sistemas de Refrigeração – Nitrogênio Total.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela própria empresa.

Na Figura 31, é possível perceber que em nenhum dos meses essa recomendação de 500 mg/L consegue ser atendida pela organização, apresentando valores mais altos a partir do mês de agosto.

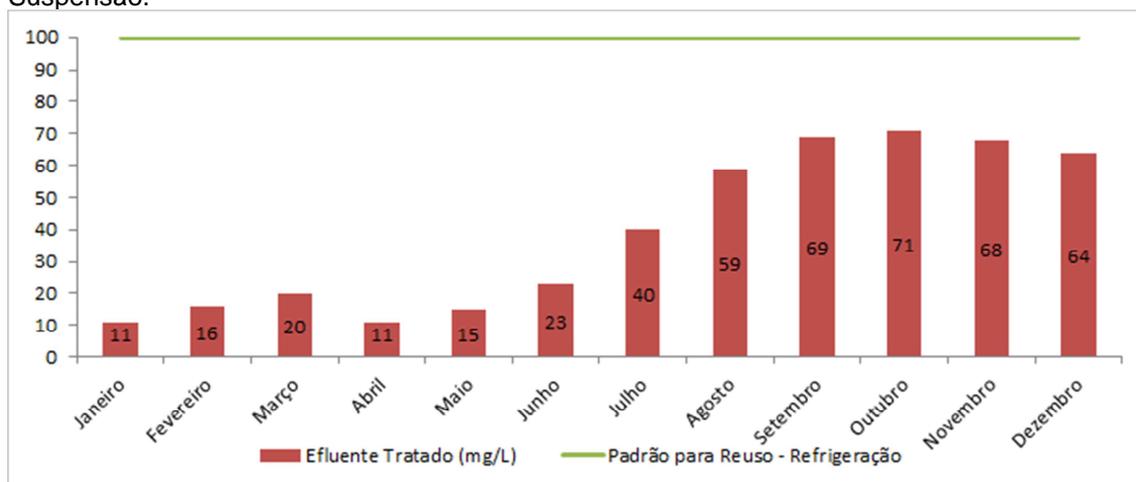
Figura 31: Efluente tratado X padrões para reuso em Sistemas de Refrigeração – Sólidos Totais.



Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

Na Figura 32, a recomendação para o monitoramento dos Sólidos em Suspensão consegue ser atendida pela organização. De agosto a dezembro encontram-se as concentrações mais altas, porém dentro dos padrões recomendados.

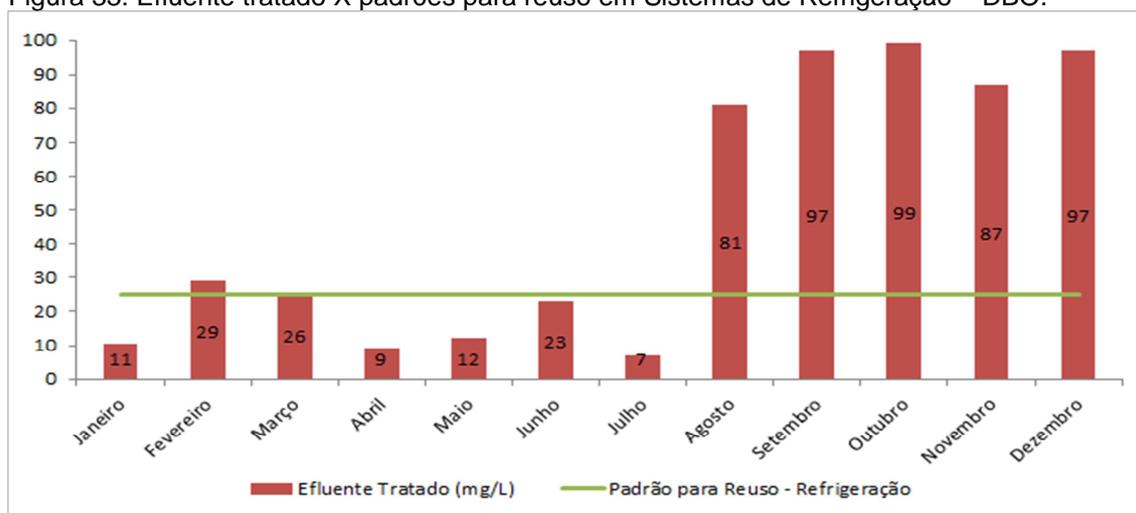
Figura 32: Efluente tratado X padrões para reuso em Sistemas de Refrigeração – Sólidos em Suspensão.



Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

Na Figura 33, percebe-se que o padrão foi atendido em apenas cinco meses (no mês de janeiro e no período de abril a julho).

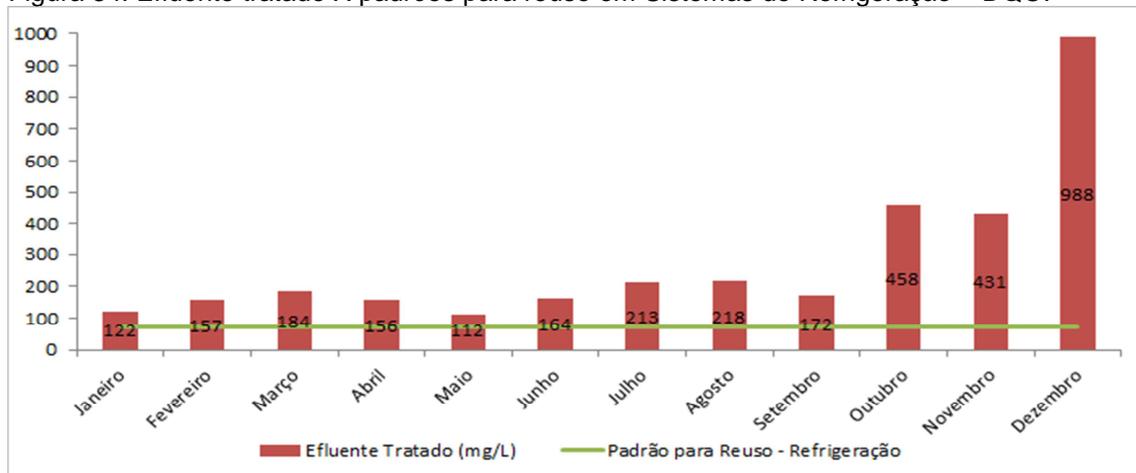
Figura 33: Efluente tratado X padrões para reuso em Sistemas de Refrigeração – DBO.



Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

Na Figura 34, observa-se que em nenhum dos meses esse valor foi atendido pela organização, concentrando-se de forma mais alta de outubro a dezembro.

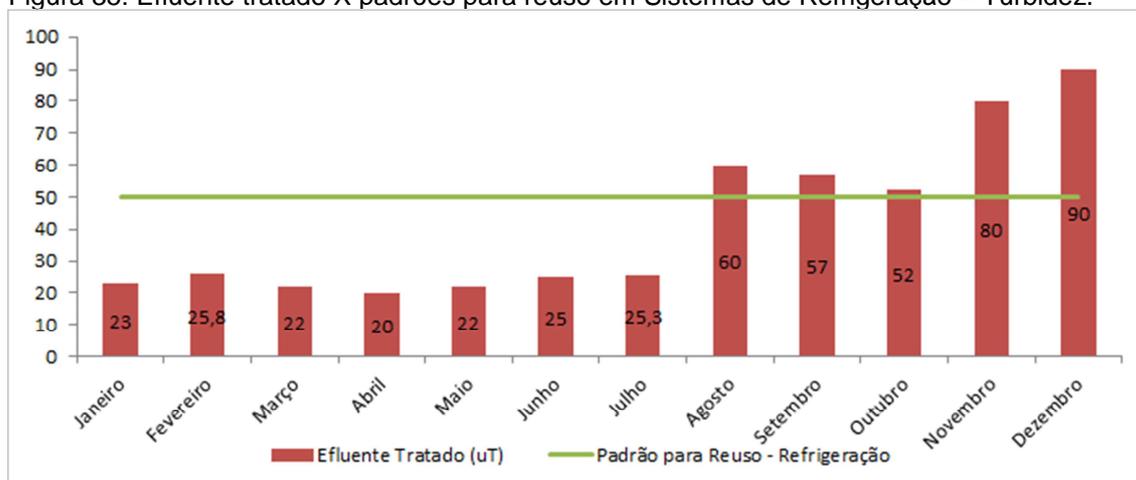
Figura 34: Efluente tratado X padrões para reuso em Sistemas de Refrigeração – DQO.



Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

Para os padrões de Turbidez, nos meses de agosto a dezembro esse padrão não consegue ser atendido pela organização, como mostra a Figura 35.

Figura 35: Efluente tratado X padrões para reuso em Sistemas de Refrigeração – Turbidez.



Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

A ausência de atendimento aos parâmetros e/ou recomendações para a qualidade do efluente para reuso pode acarretar em inúmeros prejuízos para a organização, tais como incrustações e depósitos, gerando purgas elevadas, gerado principalmente pelos sólidos totais e em suspensão; desgaste do equipamento e degradação da qualidade do produto, gerado tanto pelos

sólidos totais e em suspensão, quanto pelas elevadas concentrações de dureza, ferro e manganês.

A ausência de controle de nos parâmetros de DBO e DQO também podem influenciar na formação de espumas e crescimento biológico, que por sua vez também influenciará nas incrustações e depósitos, gerando purgas elevadas, desgaste do equipamento e degradação da qualidade do produto.

4.5.4 REUSO DE EFLUENTE NO PROCESSO INDUSTRIAL

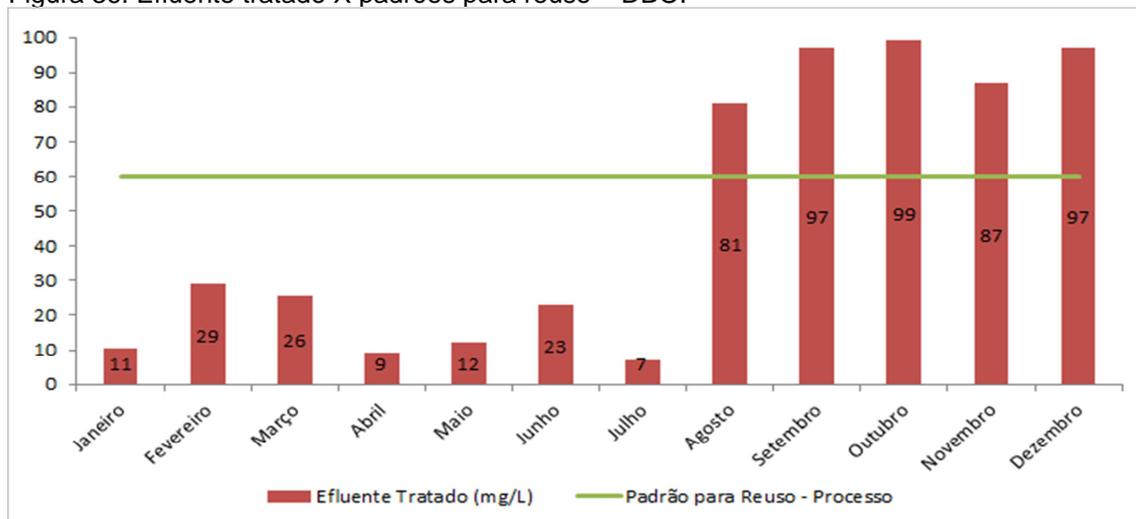
Além dos processos estudados, a empresa tem também a Central de Colas (Figura 43, item A) como a área de maior consumo para a organização, representando 570 m³ por mês. Para esse processo também é utilizada a água da concessionária. Uma das possibilidades para redução de custo pela organização seria o reuso de efluente na fabricação da cola de amido utilizada para a fabricação do papelão ondulado, como já é praticado em uma das unidades da empresa em estudo que possui praticamente as mesmas características do processo estudado.

A empresa fabrica dois tipos de cola: a cola comum e a cola resistente à água. Para o produto final (a cola) duas características são comumente monitoradas pelo fabricante da cola: temperatura e viscosidade.

Com base nos parâmetros já adotados para reuso de efluente por outra empresa do mesmo ramo e características praticamente semelhantes, foi feito o estudo do atual efluente de saída da empresa, visando entender a possibilidade de reuso e os principais pontos de melhoria para tornar esse reuso viável. São definidos valores para DBO, DQO, fósforo, nitrogênio, sólidos sedimentáveis, turbidez e óleos e graxas, que a empresa em estudo já faz avaliações, e os parâmetros de chumbo total e cor aparente, que ainda não são avaliados.

Na Figura 36 têm-se que a empresa recomenda 60 mg/L para o parâmetro de DBO. Em alguns meses do ano a empresa consegue atender a esse parâmetro recomendado, porém de agosto a dezembro esse número é ultrapassado.

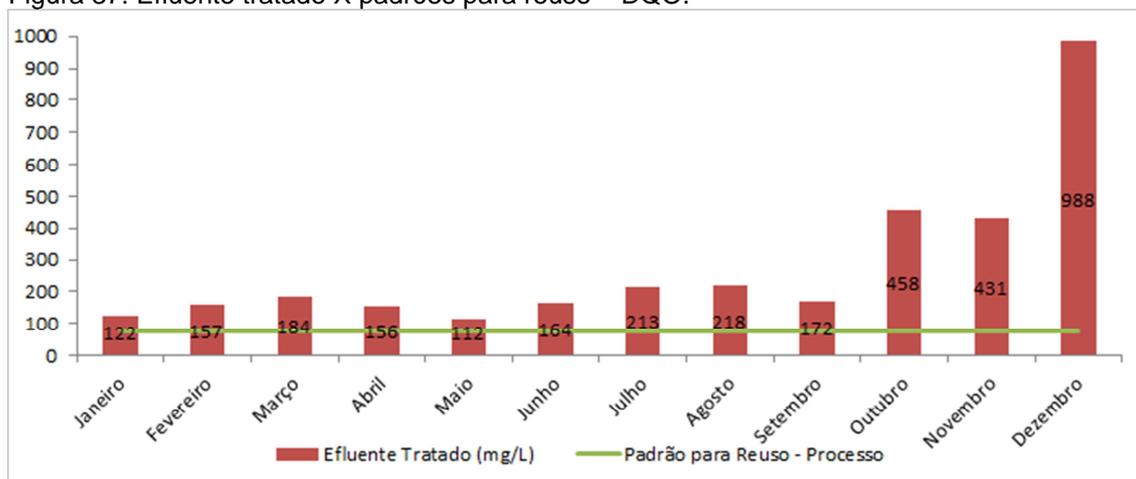
Figura 36: Efluente tratado X padrões para reuso – DBO.



Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

Com relação a DQO, a recomendação é de 75mg/L, onde a empresa ultrapassa esses valores durante todos os meses do ano, conforme Figura 37.

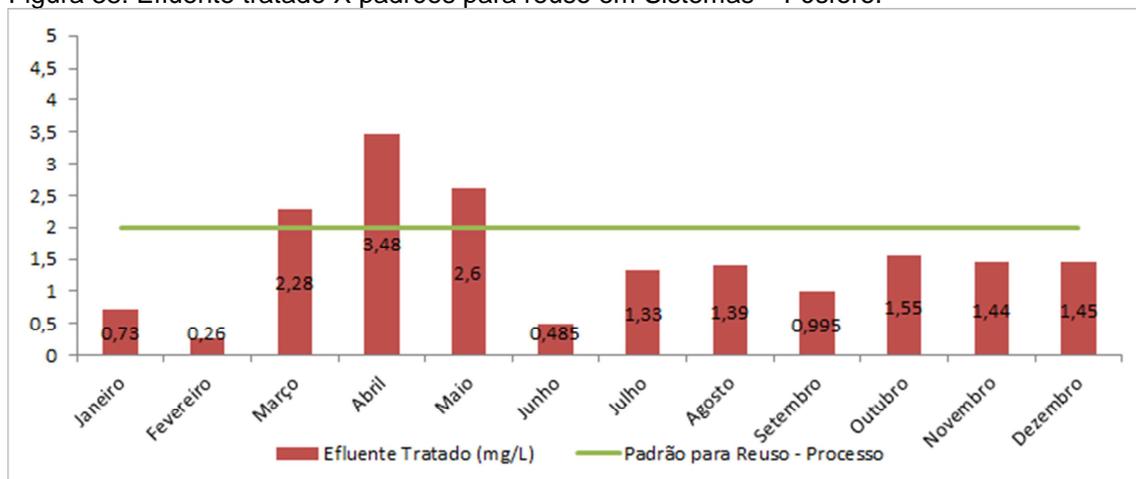
Figura 37: Efluente tratado X padrões para reuso – DQO.



Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

No que tange ao parâmetro Fósforo, o recomendado é 2 mg/L. Apenas nos meses de março, abril e maio esse padrão não consegue ser atendido, conforme Figura 38.

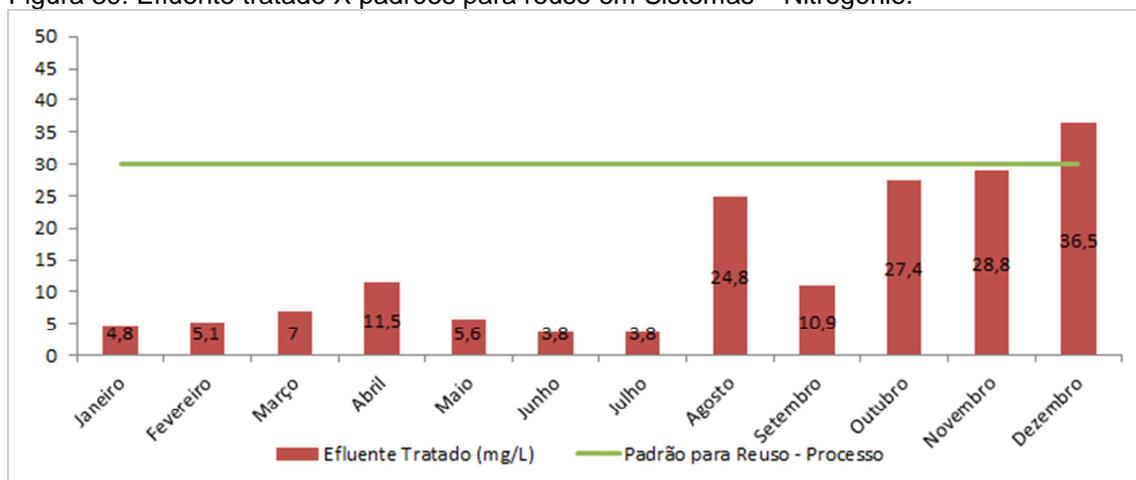
Figura 38: Efluente tratado X padrões para reuso em Sistemas – Fósforo.



Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

No que tange ao parâmetro nitrogênio, o recomendado para esse uso é 30 mg/L. Apenas no mês de dezembro esse padrão consegue ser ultrapassado, conforme Figura 39.

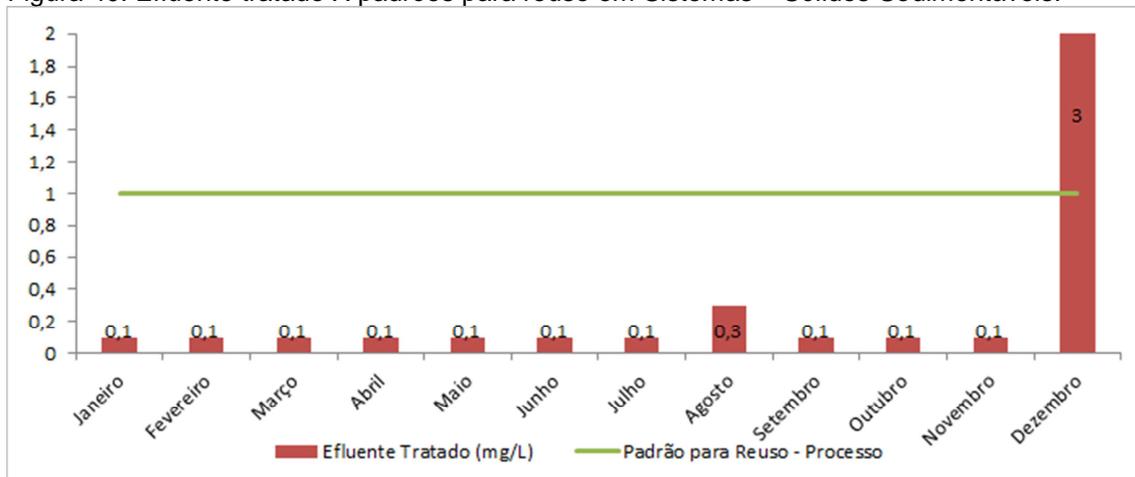
Figura 39: Efluente tratado X padrões para reuso em Sistemas – Nitrogênio.



Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

Com relação a sólidos sedimentáveis, o recomendado para esse uso é 0,1 mg/L. Apenas nos meses de agosto e dezembro esse padrão consegue ser ultrapassado, conforme Figura 40.

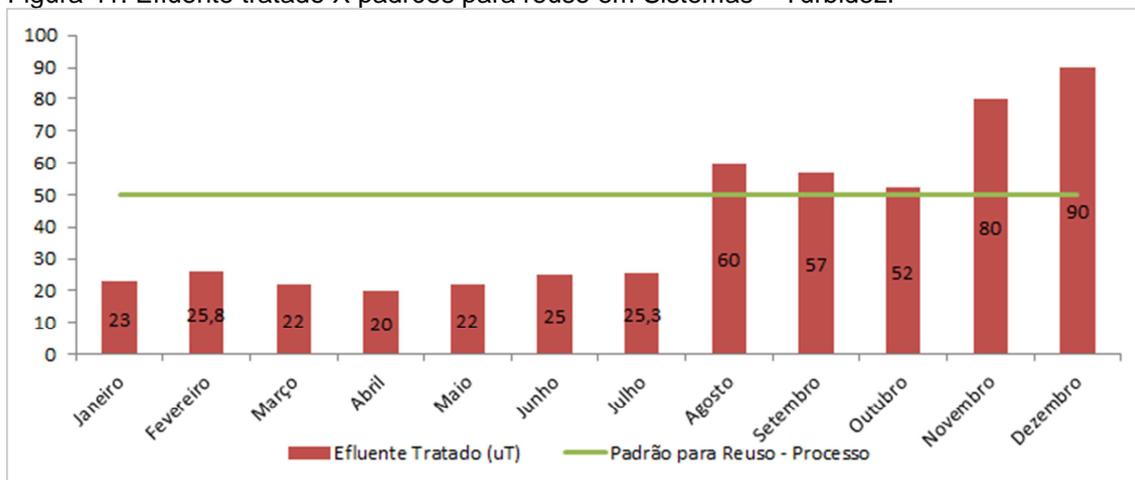
Figura 40: Efluente tratado X padrões para reuso em Sistemas – Sólidos Sedimentáveis.



Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

Com relação a turbidez, o recomendado para esse uso é 50 uT. Apenas nos meses de agosto a dezembro esse padrão consegue ser ultrapassado, conforme Figura 41.

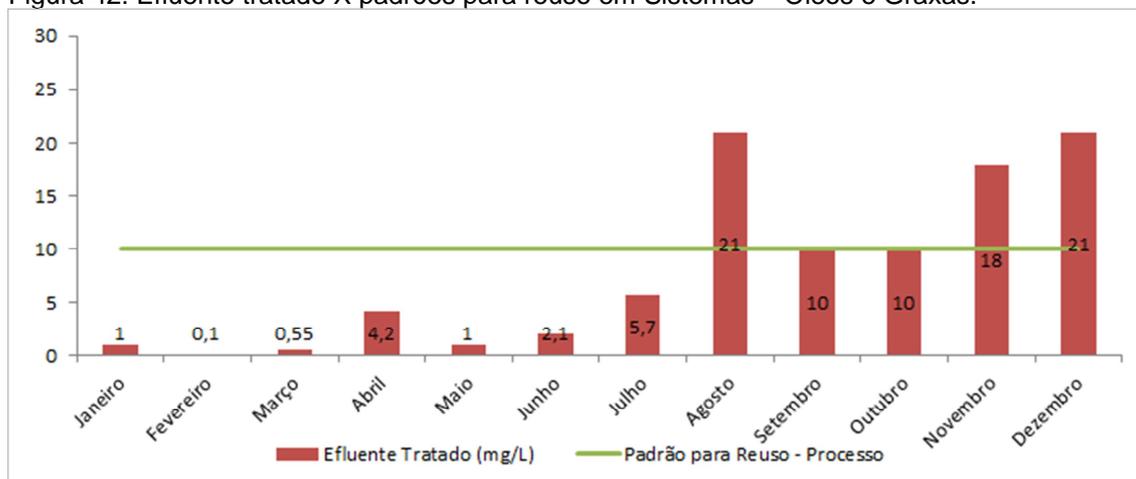
Figura 41: Efluente tratado X padrões para reuso em Sistemas – Turbidez.



Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

Com relação a Óleos e Graxas, o recomendado para esse uso é 10 mg/L. Apenas nos meses de agosto, novembro e dezembro esse padrão não atende a recomendação, conforme Figura 42.

Figura 42: Efluente tratado X padrões para reuso em Sistemas – Óleos e Graxas.



Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

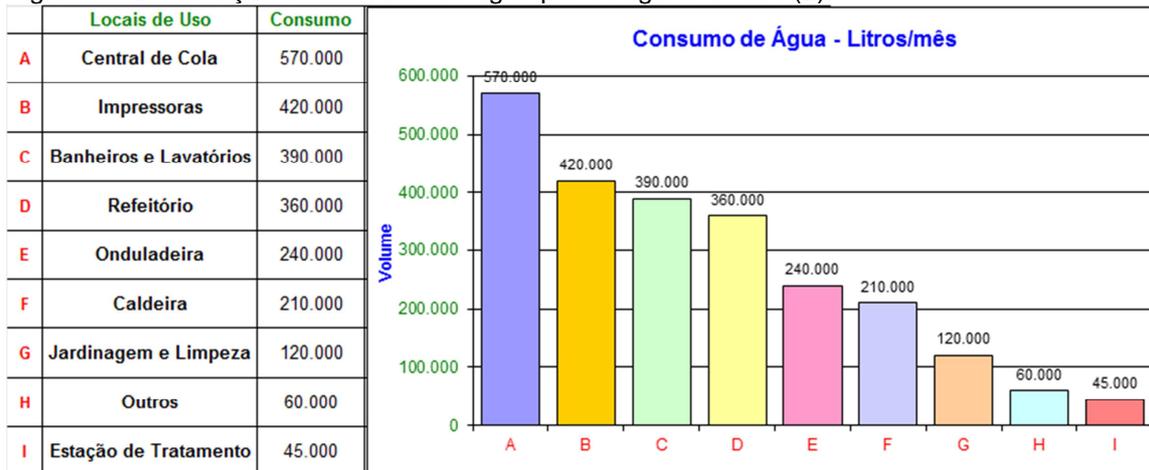
Com base nas análises acima, têm-se que nas condições atuais esse efluente também não conseguiria ser utilizado nesse processo sem a existência de um tratamento prévio, uma vez que não consegue atender a todos os padrões de qualidade recomendados pela própria organização para este fim.

Além disso, a empresa precisa realizar avaliações de chumbo total, condutividade e cor aparente, uma vez que são parâmetros recomendados pela empresa que já utiliza esse efluente para este fim. Os valores recomendados são: chumbo total (inexistente) e cor aparente (1,0 HZ).

4.5 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA DEMANDA DE ÁGUA POR SETOR

Foi realizada uma análise para avaliação quantitativa da demanda de água por setor. Com essa avaliação, percebeu-se que os processos mais consumidores de água no ano de 2012 são a fabricação de cola, máquinas impressoras, banheiros e lavatórios, máquina ondulateira e caldeira. Na Figura 43 têm-se esses valores por setor, onde se avalia que o consumo médio mensal de água na empresa é de 2.400 m³.

Figura 43: Distribuição do consumo de água por categoria de uso (L).



Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

A ETE projetada pela organização possui capacidade para tratamento de 1.800 m³/mês, uma capacidade inferior ao consumo de água mensal, fator preocupante uma vez que todo o efluente gerado pela organização é direcionado para a estação, porém, segundo entrevista com os envolvidos, uma parte da água consumida transforma-se em vapor ou fica retida no sistema de refrigeração, além de outras perdas inerentes ao processo, com isso eles informam que, em termos quantitativos, a ETE projetada conseguiria atender a vazão de efluente de forma satisfatória. Nos momentos de aumento de produção a ETE funciona muito próximo ao seu limite, porém até o momento nunca ultrapassou o limite máximo projetado.

4.6 PÓS-TRATAMENTO DO EFLUENTE TRATADO E TECNOLOGIAS APLICÁVEIS VISANDO REUSO

Diante dos dados obtidos para o efluente tratado na referida indústria, é evidente a necessidade de intervenções no processo operacional da ETE e polimento do efluente do efluente, a começar pela avaliação da dosagem dos coagulantes utilizados, a qual necessitaria de um estudo envolvendo os ensaios Jar-test.

Realizar testes de bancadas com Jar Test é interessante para nos momentos em que existe maior produção, avaliar de forma mais precisa as dosagens do sulfato de alumínio e soda cáustica, visando melhorar a eficiência

dos auxiliares de coagulação, ou seja, visando aumentar a eficiência da unidade de tratamento físico-químico do efluente.

Como se percebe no efluente de entrada uma carga muito grande de turbidez e sólidos (Apêndice C), recomenda-se que a empresa faça uso de Jar Test para avaliar a dosagem dos coagulantes, tais como soda caustica e sulfato de alumínio. Em momentos de maior produção, essas dosagens devem ser aumentadas. Caso mesmo com o aumento da dosagem, o efluente não consiga atender aos padrões recomendados, a empresa deverá adicionar ao processo algum agente auxiliar de coagulação (polímero).

Além disso, a empresa poderá também aplicação de um tratamento terciário para controle dos parâmetros de qualidade que não atendem aos de padrões necessários para reuso do efluente, nas quatro situações: Sistemas de Jardinagem, Geração de vapor, Sistema de Refrigeração e Fabricação de Cola. Neste sentido é fundamental que seja adicionado ao processo atual da ETE um pós-tratamento ou polimento do efluente final.

O tratamento terciário a ser empregado nesse sistema tem a finalidade de conseguir remoções adicionais de poluentes do efluente em questão, antes de sua descarga no corpo receptor e/ ou para recirculação em sistema fechado. Essa operação é também chamada de “polimento”.

Apesar de se tratar de águas para usos distintos, os sistemas mais utilizados que fazem o polimento (clarificação) de água e de efluentes são semelhantes. Os processos de polimento aplicam-se fundamentalmente aos efluentes, pois as etapas de clarificação e desinfecção já estão intrínsecas aos processos de tratamento de água. Estes podem passar basicamente por etapas de remoção de sólidos suspensos, filtração e remoção de compostos dissolvidos.

É preciso fazer uma análise das características do fluxo a ser tratado e qual a qualidade final requerida para se chegar à necessidade e recomendação de aplicação de cada uma das tecnologias, se isoladamente ou em conjunto.

O projeto de tratamento de efluentes para um caso pode não servir para outro. Sugere-se também a combinação de tratamentos para uma melhor eficiência na remoção de DBO, Sólidos e demais parâmetros monitorados e melhorias no processo operacional da ETE.

Recomenda-se a avaliação de intervenções visando melhorias no processo de lodos ativados, a exemplo de substituir o sistema de aeração ou aumentar a aeração no tanque de lodos ativados, Outra questão é avaliar o sistema de remoção e controle operacional visando obter a maior eficiência operacional projetada para o sistema (Almeida, 2014). Após isto, uma possível intervenção seria incluir mideas de MBBR no tanque de aeração (cerca de 50 % do volume do tanque) visando aumentar a biomassa que atua na remoção de carga orgânica sem causar prejuízos à clarificação do efluente e obter-se um efluente tratado com baixa DBO, SS e turbidez.

Outra possibilidade, caso fosse ainda necessário, seria instalar mais um tanque de tratamento anaeróbio, ou seja, um biofiltro anaeróbio ou um sistema *wetland* (Almeida, 2014) após o sistema de lodos ativados para polimento do efluente, ou seja, investir em tratamento biológico visando reduzir a carga orgânica e a remoção de sólidos do efluente, de forma ter-se o atendimento aos padrões da legislação e os padrões recomendado para o reuso em jardinagem e para o uso no processo industrial (central de cola). A definição de qual alternativa seguir seria com base na avaliação destas possibilidades frente aos recursos da empresa para estas intervenções.

Caso em uma segunda etapa, a empresa aderisse a um programa de descarga zero, a mesma deverá investir em soluções visando tratar o efluente para obter água que atenda a padrões recomendados mais restritivos, a exemplo de água para caldeira, ou seja, geração de vapor.

. Para tal uso, sugere-se avaliar, após a instalação do processo de polimento acima recomendado, viabilidade técnica e econômica de instalação de um sistema de remoção de dureza como abrandamento e/ou sais dissolvidos como processos de remoção por membrana de osmose reversa ou eletrofloculação.

O abrandamento teria a capacidade de remover a dureza do efluente, ou seja, sais de cálcio e magnésio, já os processos de remoção por membrana, removeria outros sais além destes. da ETE para implantação de uma etapa terciária em seu processo.

Uma metodologia que vem despontando com grande sucesso é o emprego da técnica de eletrofloculação que tem despertado bastante interesse, devido à sua simplicidade de operação e aplicação em diversos tipos de

efluentes e água potável dentre as quais: descontaminação de águas subterrâneas, tratamento de efluentes de indústria de processamento de coco, indústria de óleo, lavanderias e remoção de íon fluoreto, indústria de alimentos e remoção de polifenóis; tratamentos de efluentes de curtumes, entre outros.

Outra técnica viável seria a aplicação da tecnologia de separação por membrana por ser um sistema altamente eficiente, automatizado e econômico. A aplicação das membranas como tratamento terciário após o atual sistema de purificação já adotado pela organização, fazendo com que a organização consiga produzir efluente de alta qualidade para reutilização.

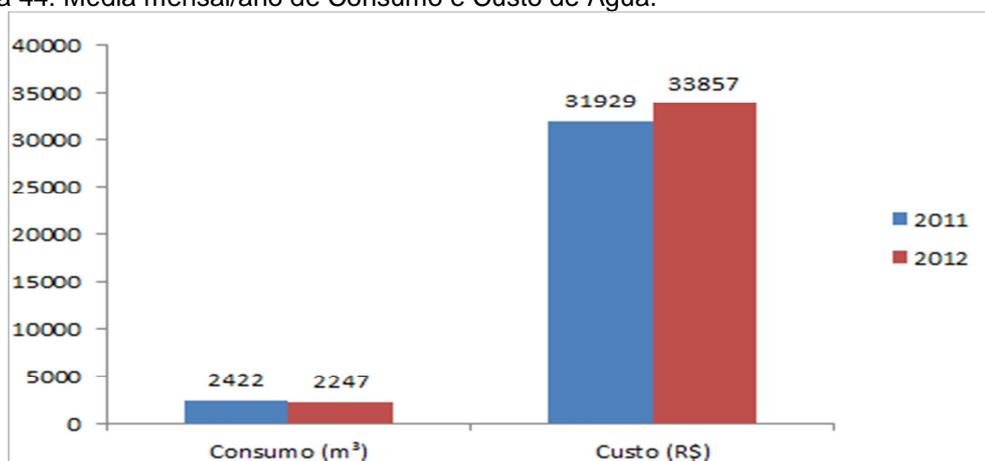
A empresa ainda poderá avaliar o uso de água potável juntamente com o efluente tratado (proporção 50:50, por exemplo). Essa poderia ser uma também uma tentativa para reduzir custos sem a necessidade de maiores alterações no processo.

Para Hespanhol (2002), a qualidade de água adequada para resfriamento de sistemas semi-abertos, é compatível com outros usos urbanos, não potáveis, tais como irrigação de parques e jardins, lavagem de vias públicas, construção civil, formação de lagos para algumas modalidades de recreação e para efeitos paisagísticos. Os sistemas de tratamento para reuso em unidades de refrigeração semi-abertos, por exemplo, são relativamente simples, devendo produzir efluentes capazes de evitar corrosão ou formação de depósitos, crescimento de microrganismos, formação excessiva de espuma e deslignificação de torres de resfriamento, construídas em madeira. Outras indústrias, que podem ser consideradas nas fases posteriores na implementação de um programa metropolitano de reuso, incluem água para produção de vapor, para lavagem de gases de chaminés, e para processos industriais específicos, tais como manufatura de papel e papelão, indústria têxtil, de material plástico e produtos químicos, petroquímicas, cortumes, construção civil, etc. Essas modalidades de reuso, envolvem sistemas de tratamento avançados e demandam, conseqüentemente, níveis de investimento elevados.

4.7 ANÁLISE DOS CUSTOS COM A AQUISIÇÃO DE ÁGUA

A água que abastece a empresa estudada vem da concessionária. Para a aquisição de água, através dos dados apresentados pela empresa, em 2011 a empresa teve um consumo mensal médio de 2422 m³, o que representou um custo mensal médio de R\$ 31.929. Embora em 2012 esse consumo mensal tenha sido menor, o custo mensal médio foi mais alto, representando R\$ 33.857. Esse fato se deu devido ao custo por m³ de água da concessionária ter passado de R\$13,25 para R\$15,06. Na Figura 44 é possível verificar o consumo x custo médio de água por ano pela empresa.

Figura 44: Média mensal/ano de Consumo e Custo de Água.



Fonte: elaborado pelo próprio autor a partir de dados fornecidos pela empresa de estudo.

Avaliando o atual consumo e custo da empresa com a aquisição de água da concessionária percebe-se que com o reuso do efluente em processos da organização, além de manter as metas de sustentabilidade exigidas pela sociedade de modo geral e pelos órgãos ambientais, o custo com essa aquisição também seria minimizado. Com a necessidade de novas tecnologias, o investimento na melhoria do processo seria pago com a própria redução da atual aquisição.

Ao investir em melhorias para o tratamento de efluente, tem-se que apenas conseguindo reutilizar esse efluente na Central de colas (setor de maior consumo e que não exige o uso de água potável, atualmente utilizada), a empresa em um ano conseguiria economizar uma média de R\$ 102.600,00 (cálculo realizado com base nos dados da Figura 53 com a Figura 54), ou seja, em um ano haveria o retorno desse investimento.

Em consulta feita a uma empresa de projeto e consultoria sobre projetos em ETE, estima-se que este recurso seria suficiente para realizar as intervenções visando melhorias no sistema de tratamento atual e polimento do efluente, visando adequá-lo à legislação de lançamento de efluente e também aos padrões recomendados para o reuso em jardinagem e na central de cola.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CONCLUSÕES

Este trabalho permitiu avaliar o desempenho de uma ETE de uma indústria do ramo de fabricação de caixas e chapas de papelão ondulado, sendo possível realizar um acompanhamento no comportamento dos parâmetros de qualidade da ETE, eficiência desses parâmetros, comparação com os padrões da legislação para lançamento do efluente em corpos hídricos e/ou padrões recomendados para reuso a fim de mostrar a possibilidade de direcionar o efluente para possíveis reuso na indústria.

A empresa possui estrutura física com capacidade para atender a vazão de efluente gerado pela unidade composta de processos físico-químicos para a remoção da matéria orgânica, porém foi identificado que o efluente de saída apresenta característica que não satisfaz os requisitos de qualidade exigidos pelas legislações existentes para lançamento em corpos hídricos, o que pode impactar no reuso indireto da água.

Ainda a partir dos estudos realizados, análises e dados obtidos pôde-se perceber grande variação da eficiência da estação de tratamento de efluentes da indústria em estudo. Foram percebidas oscilações nos valores de alguns parâmetros envolvidos em seu processo, que se deram principalmente pela variação da produção desta indústria, que alteraram e afetaram na qualidade dos despejos em questão. Sugere-se que essas variações de produção sejam previamente informadas ao gestor ambiental e aos operadores da ETE, uma vez que ações preventivas devem ser tomadas para que não haja prejuízos no bom funcionamento do sistema.

Além dos dados já monitorados pela empresa, sugere-se que outros parâmetros sejam monitorados visando avaliar o reuso da água, tais como condutividade, fosfato, sílica, alumínio, ferro, chumbo, manganês, cálcio, magnésio, sulfato, zinco, sulfato, dureza, cloretos e cor aparente. Esses parâmetros também ajudarão a eliminar futuros problemas relacionados a qualidade do efluente para reuso.

Os controles operacionais na ETE também não acontecem de forma eficaz. As análises são realizadas em laboratórios externos, o que dificulta o tempo de resposta e tomada de ações por parte do operador e ainda alguns parâmetros não conseguiram ser apresentados nesse estudo (pH, Oxigênio Dissolvido, Quantidade de lodo para descarte e Temperatura), pois o operador fazia o monitoramento mas não arquivava os resultados. Dessa forma, sugere-se que esses dados registrados sejam acompanhados pelo gestor da área e registrados numa planilha em meio físico ou digital, levando-se em consideração a necessidade do histórico desses dados para acompanhamento da performance da estação de tratamento estudada.

Recomenda-se à empresa melhoria tanto nas unidades de tratamento físico-químico quanto biológicas. Na unidade físico química, recomenda-se realizar testar as dosagens de coagulantes e auxiliares de coagulação e aumentar esta dosagem quando houver aumento de produção visando aumentar e manter a eficiência da ETE.

Quanto à sugestão de pós-tratamento do efluente tratado visando reuso, tem-se que inicialmente a empresa precisa adequar a operacionalização da ETE, pois a má operacionalização pode interferir na eficiência de remoção dos poluentes, como o choque de carga orgânica, etc. Dessa forma, para o polimento ser eficiente é preciso que o desempenho da ETE também esteja eficaz, pois se ainda estiver uma concentração elevada de sólidos suspensos, por exemplo, o polimento pode ser prejudicado.

Cabe ressaltar que a empresa poderia dispor de um investimento anual de R\$ 102.600,00 para melhorias na ETE e com isso conseguiria promover o reuso da água no processo, e gerar o retorno financeiro relacionado a redução do custo de água da concessionária.

5.2 PERSPECTIVAS FUTURAS

Como etapas futuras para esse trabalho têm-se:

- A necessidade de realização de testes de bancadas visando avaliar na prática a viabilidade dos tratamentos terciários recomendados pelo autor;
- Realização de monitoramento antes e após as intervenções da ETE visando ao reuso de água;
- Estudo de padrões visando ao reuso de água tanto para o uso em irrigação quanto para o uso no processo da empresa.

REFERÊNCIAS

ABREU-NETO, M. S. **Tratamento de águas residuárias de suinocultura em reator anaeróbio compartimentado seguido de reator UASB**. 2007. 192 f. (Dissertação) Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2007. Disponível em: <<http://www.fcav.unesp.br/download/pgtrabs/micro/m/3084.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2014.

ALMADA, R. B. **As potencialidades de reuso de efluente tratado no setor industrial**. 2009. 49 f. (Monografia) Especialização em Gestão Ambiental – Universidade Cândido Mendes, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://www.avm.edu.br/docpdf/monografias_publicadas/K210777.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2014.

ALMEIDA, E. S. Tratamento de efluentes. Brasília : Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, Departamento Nacional SENAI, 2014.

ALMEIDA, R. G. de. Aspectos legais para a água de reuso. **Vértices**, Campo dos Goytacazes, RJ, v. 13, n. 2, p. 31-43, mai./ago. 2011. Disponível em: <<http://essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/vertices/article/viewFile/1809-2667.20110012/701>>. Acesso em: 15 fev. 2015.

ANDRADE, L. H. **Tratamento de efluente de indústria de laticínios por duas configurações de biorreator com membranas e nanofiltração visando o reuso**. 2011. 231f. (Dissertação) Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/987M.PDF>>. Acesso em: 15 fev. 2015.

ANG, W. S.; YIP, N. Y.; TIRAFERRI, A.; ELIMELECH, M. Chemical cleaning of RO membranes fouled by wastewater effluent: Achieving higher efficiency with dual-step cleaning. **Journal of Membrane Science**, v. 382, p. 100–106, 2011.

AQUINO NETO, *et al.* Tratamento de resíduos de corante por eletrofloculação: um experimento para cursos de graduação em química. **Química Nova**, São Paulo, SP, v. 34, n. 8, p. 1468-1471, 2011.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.969**: tanques sépticos, unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos, projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997. Disponível em: <http://www.acquasana.com.br/legislacao/nbr_13969.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2015.

ASTOR, A. D.; TATIM, D. C. **Pesquisa em ciências sociais aplicadas: métodos e técnicas**. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

BAIRD, C. **Química ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookmam, 2002.

BERNARDI, C. C. **Reuso de água para irrigação**. (Monografia) Pós-graduação em Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada – Fundação Getúlio Vargas, Brasília, DF, 2003. Disponível em: <<http://www.iica.org.br/docs/publicacoes/publicacoesiica/cristinacosta.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2015.

BIXIO, *et al.* Reutilização de águas residuárias na Europa. **Desalination**, Austrália, v. 187, p. 89–101, 2006.

ANA. AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil - 2013**. Brasília: Agência Nacional de Águas,. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/webSite_relatorioConjuntura/pr ojeto/index.html>. Acesso em: 10 mar. 2015.

BRASIL. Constituição (1988), de 05 de outubro de 1988. Brasília, DF: **Presidência da República, Casa Civil**, 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm>. Acesso em: 27 fev. 2015.

BRASIL. Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934. Brasília, DF: **Presidência da República, Casa Civil**, 1934. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d24643.htm>. Acesso em: 25 fev. 2015.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Brasília, DF: **Presidência da República, Casa Civil**, 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm>. Acesso em: 27 fev. 2015.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Brasília, DF: **Presidência da República, Casa Civil**, 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. Acesso em: 20 fev 2015.

CAVALCANTE, L. M.; MACHADO, L. C. G. T.; LIMA, A. M. M. de. Avaliação do desempenho ambiental e racionalização do consumo de água no segmento industrial de produção de bebidas. **Ambiente & Água**, Taubaté, São Paulo, v. 8, n. 3, p. 191-212, set./dez. 2013.

CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **O problema da escassez de água no mundo**. 2015. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guas-Superficiais/37-O-Problema-da-Escassez-de-%C3%81gua--no-Mundo>>. Acesso em 10 mar. 2015.

CHEN, S., SUN, D., CHUNG, J. S. Simultaneous removal of COD and ammonium from landfill leachate using an anaerobic–aerobic moving-bed biofilm reactor system. **Waste Management**, v. 28, p. 339–346, 2007.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico em águas residuárias**. 2. ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2007.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº. 54, de 28 de novembro de 2005. **Diário Oficial da União**, 2006. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/legislacao/resolucoes/cnrh/54_2005_criterios_gerais_uso_agua.pdf>. Acesso em: 21 de fev. 2015.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº. 430, de 13 de maio de 2011. **Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente**, 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 21 fev. 2015.

COPAM. CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. Deliberação normativa conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008. **Conselho Estadual de Política Ambiental**, 2008. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>>. Acesso em: 20 out. 2014.

CRESPILHO, F.N.; SANTANA, C.G.; REZENDE, M.O.O. Tratamento de efluente da indústria de processamento de coco utilizando eletroflotação. **Química Nova**, São Paulo, SP, v. 3, 2004.

CUNHA, A. H. N.; OLIVEIRA, T. H. de; FERREIRA, R. B.; MILHARDES, A. L. M.; COSTA E SILVA, S. M. da. O reuso de água no Brasil: a importância da reutilização de água no país. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 1225-1248, 2011. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2011b/ciencias%20ambientais/o%20reuso.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2014.

CUTOLO, S. A. **Reuso de águas residuárias e saúde pública**. São Paulo: Annablume; Fapesp, 2009.

CUTOLO, S. A. **Dinâmica populacional da microfauna em sistemas de tratamento de esgotos pelo processo de lodos ativados**. 1996. 100f. Dissertação (Mestrado do Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública) Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

DEZOTTI, M. (Coord.) **Processos e Técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos**. Rio de Janeiro: E-Papers, 2008.

DIAS, B. A. C. **Utilização de efluentes sanitários tratados como água de reuso industrial na região metropolitana do Rio de Janeiro: uma avaliação preliminar**. Rio de Janeiro: Abes Rio, 2005.

EMONGOR, V. E.; Ramolemana, G. M. **Treated sewage effluent (water) potential to be used for horticultural production in Botswana**. *Physics and Chemistry of the Earth*, v.29, p.1101– 1108, 2004.

EPA. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidelines for water reuse. EPA 645-R-04-108**. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency, 2004.

FARIA, D. C. **Influência dos aspectos operacionais no desempenho do reator biológico de leito móvel (MBBR)**. 2010. 101 f. (Dissertação) Pós-graduação em Ciências do Ambiente – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2010. Disponível em: <<http://download.uft.edu.br/?d=5b162bce-d76a-41b4-83ab-6a816d7a8b17:DANIELLA%20COSTA%20FARIA.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2014.

FIESP. FEDERAÇÃO E CENTRO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Conservação e reuso de água**. Manual de orientações para o setor industrial. São Paulo, v. 1, 2004. Disponível em: <www.fiesp.com.br/arquivo-download/?id=1616>. Acesso em: 20 nov. 2014.

FIESP. FEDERAÇÃO E CENTRO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Conservação e reuso de água em edificações**. Manual de orientações para o setor industrial. São Paulo, v. 1, 2005. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/conservacao-e-reuso-de-aguas-em-edificacoes-2005/>>. Acesso em: 20 nov. 2014.

FIESP. FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Efluente Zero - 100% de reuso de efluentes industriais e sanitários na Petrom**. Disponível em: <<http://hotsite.fiesp.com.br/premioagua/cases.htm>>. Acesso em: 24. fev. 2015.

FEAM. FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Orientações básicas para operação de estações de tratamento de esgoto**. Fundação Estadual do Meio Ambiente: Belo Horizonte, 2006. Disponível em: <<http://www.feam.br/images/stories/arquivos/ETE%202.pdf>> Acesso em: 15 dez. 2014.

FIRJAN. FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Manual de conservação e reuso da água na indústria**. Rio de Janeiro: DIM, 2006.

GIACOBBO, A. **Biorreator à membrana aplicado ao tratamento de efluentes - Porto Alegre**. 2010. 92f. (Dissertação) Curso de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2010. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/26538/000759730.pdf?sequence=1.pdf>>. Acesso em 11 mar. 2015.

GUIDOLIN, J. C. **Reuso de efluentes**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, Ministério do Meio Ambiente, 2000.

HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NÓBREGA, R. **Processos de separação por membranas**. Rio de Janeiro: E-Papers, 2006.

HERMAMM, A. L. **Viabilidade de um sistema de reuso de água em uma propriedade rural de Cândido Godói – Rio Grande do Sul**. 2014. 66f. (Monografia) Curso de Engenharia de Ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2014. Disponível em:

<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2084/1/FB_COEAM_2013_2_02.pdf>. Acesso em 10 mar. 2015.

HESPANHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, RS, v. 7, n. 4, p. 75-95, out./dez. 2002. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/2371239d0aaf41e014681d6d437c79e7_f553b090dfd516bcc00c055844c42f21.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2014.

HESPANHOL, I.. Potencial de Reuso de Água no Brasil Agricultura, Industria, Municípios, Recarga de Aquíferos. RBRH - **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 7 n.4 Out/Dez 2002, 75-95

IPEA. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Relatório da pesquisa de campo sobre uso industrial da água: estimação de funções de demanda de água e custo de controle de poluição. Rio de Janeiro, 2004.

JARDIM, F. A; BRAGA, J. M. S; MESQUITA, M. M. F. Avaliação da eficiência do tratamento biológico de esgotos através da caracterização da microbiota da ETE Fonte Grande – Contagem – MG. 19^o CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 1997, Foz de Iguaçu/Paraná. Anais eletrônico, ABES, Foz de Iguaçu, 2005. CD-ROM.

JIMENEZ, R. S.; BOSCO, S. M. D.; CARVALO, W. A. Remoção de metais pesados de efluentes aquosos pela zeólita natural escolecita – influência da temperatura e do ph na adsorção em sistemas monoelementares. **Química Nova**, São Paulo, SP, v. 27, n. 5, p. 734-738, 2004.

LEITE, A. M. F. **Reuso de água na gestão integrada dos recursos hídricos**. (Dissertação) Programa de Pós-graduação em Planejamento e Gestão Ambiental – Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2003.

MACHADO, B. J. F. **Reuso de efluentes em torres de resfriamento – estudo de caso**: Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro. 2005. 106 p. (Dissertação) Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Rio de Janeiro, 2005.

MAESTRI, R. S. **Biorreator à membrana como alternativa para o tratamento de esgotos sanitários e reuso de água**. 2007. 101f. (Dissertação) Mestrado em Engenharia Ambiental – Universidade Federal de Santana Catarina. Florianópolis, 2007.

MAIA, L. S. **Uso de carvão ativado em pó no tratamento biológico de lixiviados de aterros de resíduos**. 2012. (Dissertação) Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2012.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H.F. **Reuso de água**. Barueri, SP: Manole, 2003.

MARON JUNIOR, R. **Reuso de água em indústria metalúrgica rolamenteira: estudo de caso da SKF do Brasil Ltda.** 2006. 93 f. (Dissertação) Programa de Pós-graduação em Saneamento Básico – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-05092006-140534/pt-br.php>>. Acesso em: 30 nov. 2014.

MATOS, A. T.; CABANELLAS, C. F. G.; CECON, P. R.; BRASIL, M. S.; MUDADO, C. S. Efeito da concentração de coagulantes e do pH da solução na turbidez da água, em recirculação, utilizada no processamento dos frutos do cafeeiro. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 27, n. 2, p.544-551, 2007.

METCALF & EDDY, F. B. **Wastewater engineering – treatment, disposal and reuse.** Singapura: McGraw-Hill, 2003.

MIERZWA, J.C.; HESPANHOL, I. **Água na indústria: uso racional e reuso.** São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

MIERZWA, J.C.; SILVA, C.C.; RODRIGUES, L. D. B.; HESPANHOL, I. Tratamento de água para abastecimento público por ultrafiltração: avaliação comparativa através dos custos diretos de implantação e operação com os sistemas convencional e convencional com carvão ativado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.13, n.1, jan./mar., 2008.

MIGUEL, A. L. R. **Tratamento de águas residuais urbanas com recurso a processo em série de precipitação química e neutralização natural.** 2012. 104 f. (Dissertação) Mestrado em Engenharia do Ambiente – Instituto Politécnico de Beja, Escola Superior Agrária, Beja, Portugal, 2012. Disponível em: <<http://comum.rcaap.pt/bitstream/123456789/3978/1/Ultima%20revis%C3%A3o%20Ana%20Miguel3.pdf>>. Acesso em: 25 fev. 2015.

MORELLI, E. B. **Reuso de água na lavagem de veículos.** São Paulo: Universidade de São Paulo, 2005.

MUTHUKUMARAN, S.; NGUYEN, D. A.; BASKARAN, K. Performance evaluation of different ultrafiltration membranes for the reclamation and reuse of secondary effluent. **Desalination**, Austrália, v. 279. p. 383-389, 2011.

NASCIMENTO, M. **Reuso dos efluentes gerados no tratamento superficial preliminar à pintura automotiva.** 2012. 102f. (Dissertação) Programa de Engenharia Ambiental – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://dissertacoes.poli.ufrj.br/dissertacoes/dissertpoli330.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2014.

OLIVEIRA, P. G. F. de; MOREIRA, O. da C.; BRANCO, L. M. C.; COSTA, R. N. T.; DIAS, C. C. Eficiência de uso dos fatores de produção água e potássio na cultura da melancia irrigada com água de reuso. **Revista Brasileira de**

Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 16, n. 2, p. 153-158, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v16n2/v16n02a04>>. Acesso em: 10 mar. 2015.

PORRÉCA, L. M. **ABC do meio ambiente: água**. Brasília: IBAMA, 1998.

RIANI, J. C. **Utilização de resinas de troca-iônica em efluentes de galvanoplastia**. 2008. 117f. (Tese) Programa de Pós-graduação em Engenharia – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-30092008-151250/pt-br.php>>. Acesso em: 30 out. 2014.

RIGO, M. M.; RAMOS, R. R.; CERQUEIRA, A. A.; SOUZA, P. S. A.; MARQUES, M. R. C. Destinação e reuso na agricultura do lodo de esgoto derivado do tratamento de águas residuárias domésticas no Brasil. **Gaia Scientia**, v. 8, n. 1, p. 174-186, 2014. Disponível em: <<http://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/gaia/article/view/17550/11550>>. Acesso em: 04 mar. 2015.

RUSTEN, B.; EIKEBROKK, B.; ULGENES, Y.; LYGREN, E. Design and operations of the KalDNeS moving bed biofilm reactors, **Aquacultural Engineering**, v. 34, n. 3, p. 322-331, 2006.

SILVA, A. K. P.; FLORES, L. C.; GALDEANO, M. M.; TRINDADE DO VAL, P. **Reuso de água e suas implicações jurídicas**. 1. ed. São Paulo: MF – Navegar, 2003.

SILVA, J. D. da. ANDRADE, M. de. Reciclagem de efluentes no processo de tingimento sintético em uma indústria têxtil: estudo de caso. **E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial**, Florianópolis, v. 6, n. 1, p. 98-112, 2013. Disponível em: <<http://revista.ctai.senai.br/index.php/edicao01/article/view/248/294>>. Acesso em: 28 fev. 2015.

SILVA, M. F. da. **Avaliação e proposições de melhorias para a estação de tratamento de esgotos de Goiânia**. 2007. (Dissertação) Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia do Meio Ambiente – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

SILVA, L. D. C. e. **Avaliação da qualidade final de efluentes de lagoas de estabilização com vistas ao reuso urbano**. 2012. 57 f. (Dissertação) Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012. Disponível em: <http://www.repositorio.ufrn.br:8080/jspui/bitstream/123456789/16003/1/LigianneDCS_DISSET.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2015.

SILVA, S. V. da; PEREIRA, R. A; PIVELI, R. P. Monitoramento das características dos esgotos como instrumento de otimização do processo de

lodos ativados e suas implicações. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 2, dez. 2005.

SILVA, S. C. F. da. **Técnicas de oxidação avançada no tratamento de água para o consumo humano**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Minho, Portugal, 2012. Disponível em: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/29697/1/TESE_FINAL.pdf> . Acesso em: 25 fev. 2015.

SNSA. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Abastecimento de água: operação, manutenção e monitoramento de estações de tratamento de água**. Nível 1. Salvador, 2008. [guia do profissional em treinamento].

SOARES, R. R. **Os recursos hídricos brasileiros e o reuso de água no Brasil**. 2011. (Dissertação) Universidade Candido Mendes, Instituto a Vez do Mestre. Rio de Janeiro, 2011.

SOLETTI, J. I.; CALLADO, N.H.; CARVALHO, S.H.V.; PEDROSA, V.A.; NETO, C.L.P; BARBOSA, M. G. **Reciclagem/reuso de efluentes e resíduos da indústria de processamento de coco: relatório final**. Projeto FINEP: Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2005.

TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F.L. **Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse**. 4. ed. Nova York: McGraw–Hill, 2003.

TEIXEIRA, Priscila da Cunha. **Emprego da flotação por ar dissolvido no tratamento de efluentes de lavagem de veículos visando a reciclagem da água**. São Paulo: UNICAMP, 2003.

TRIVIÑOS, A. **Introdução à pesquisa em ciências sociais**. 1 ed. São Paulo: Atlas, 1987.

VIERO, A. F. **Avaliação do desempenho de um biorreator com membranas submersas para tratamento de efluente**. 2006. 174f. (Tese) Programa de Pós-graduação de Engenharia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Editora da Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

XIAO, *et al.* Feasibility of using an innovative PVDF MF membrane prior to RO for reuse of a secondary municipal effluent. **Desalination**, Austrália v. 311, p. 16-23, 2013.

YIN, R. K. **Case study research: design and methods**. London: Sage, 1984.

APÊNDICE A – Questionário aplicado ao Gestor Ambiental da empresa

Data: __/__/__

Horário – Início: _____

Término: _____

Contato na Empresa: _____

Cargo/Função: _____

Telefone: _____

Fax: _____

e-mail: _____

I Dados sobre a Empresa:

Razão Social: _____

Endereço da matriz: _____

Endereço da Unidade Fabril: _____

Número de empregados: _____

Setor industrial da Unidade Fabril: _____

Segmentos de mercado da Unidade Fabril: _____

1- Como funciona o processo de fabricação de caixas e chapas de papelão ondulado?

2- Qual o volume de produção da empresa no exercício de 2011 e 2012?

3- De onde a empresa adquire água para seus processos produtivos?

() Poços () Concessionária () Rio () Outros

4- Qual o consumo de água e custos associados praticados pela empresa em 2011 e 2012?

5- Qual o volume de água consumido por cada processo na empresa em 2012?

APÊNDICE B – Questionário aplicado aos Operadores da ETE

1- Como funciona o processo de tratamento de efluente da empresa?

2- Constantemente são realizadas manutenções nos equipamentos?

() SIM () NÃO

Qual a periodicidade?

3- Possuem laboratório próprio para análise da qualidade da água? Como são realizadas essas avaliações?

4- Quais são os monitoramentos que você realiza constantemente na ETE visando garantir a eficiência do processo?

5- Caso o efluente não apresente a eficiência necessária durante o tratamento, quais são os principais controles realizados?

6- São realizadas avaliações do efluente durante a operação da ETE? Como são realizadas as coletas de efluentes a serem enviados para análise? Quais são os locais destinados para essa coleta do material a ser avaliado?

7- Você possui treinamento específico para tratamento de efluentes? Você entende sobre a técnica de tratamento de efluentes com o uso de lodos ativados?

APÊNDICE C – Resultados de análise do efluente Bruto X Tratado.

DBO

Data	Bruto (mg/L)	Efluente Tratado (mg/L)
Janeiro	216	10,6
Fevereiro	919	29
Março	751	25,8
Abril	228	9,1
Maio	485	12
Junho	534	23
Julho	873	7,1
Agosto	428	81
Setembro	426	97
Outubro	940	99
Novembro	900	87
Dezembro	1000	97

TURBIDEZ

Data	Bruto (uT)	Efluente Tratado (uT)
Janeiro	298	23
Fevereiro	299	25,8
Março	270	22
Abril	250	20
Maio	282	22
Junho	266	25
Julho	234	25,3
Agosto	398	60
Setembro	390	57
Outubro	380	52
Novembro	600	80
Dezembro	686	90

SÓLIDOS EM SUSPENSÃO

Data	Bruto (mg/L)	Tratado (mg/L)
Janeiro	250	11
Fevereiro	231	16
Março	250	20
Abril	220	11
Maio	250	15
Junho	372	23
Julho	456	40
Agosto	364	59
Setembro	399	69
Outubro	423	71
Novembro	494	68
Dezembro	431	64

NITROGENIO TOTAL

Data	Bruto (mg/L)	Tratado (mg/L)
Janeiro	65,5	4,8
Fevereiro	39	5,1
Março	71	7
Abril	110	11,5
Maio	51	5,6
Junho	53,6	3,8
Julho	56,6	3,8
Agosto	65,5	24,8
Setembro	48,50	10,90
Outubro	79,2	27,4
Novembro	59,40	28,80
Dezembro	92,00	36,50

DQO

Data	Bruto (mg/L)	Efluente Tratado (mg/L)
Janeiro	1370	122
Fevereiro	1.835	157
Março	2.450	184
Abril	2280	156
Maio	1.770	112
Junho	1.830	164
Julho	2.150	213
Agosto	1530	218
Setembro	1370	172
Outubro	1341	458
Novembro	1.693	431
Dezembro	3770	988

OLEOS E GRAXAS

Data	Bruto (mg/L)	Tratado (mg/L)
Janeiro	80,20	1
Fevereiro	10,2	0,1
Março	45,2	0,55
Abril	95,00	4,20
Maio	67	1
Junho	87	2,1
Julho	65	5,7
Agosto	25,00	21
Setembro	12	10
Outubro	13	10
Novembro	45,00	18,00
Dezembro	67	21

FÓSFORO

Data	Bruto (mg/L)	Tratado (mg/L)
Janeiro	2,83	0,73
Fevereiro	0,899	0,26
Março	7,18	2,28
Abril	10,6	3,48
Maiο	16,8	2,6
Junho	1,54	0,485
Julho	4,13	1,33
Agosto	2,43	1,39
Setembro	1,49	0,995
Outubro	2,21	1,55
Novembro	1,79	1,44
Dezembro	1,83	1,45

SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS

Data	Bruto (mg/L)	Tratado (mg/L)
Janeiro	3,5	0,1
Fevereiro	4,5	0,1
Março	1	0,1
Abril	3,5	0,1
Maiο	13	0,1
Junho	6	0,1
Julho	3	0,1
Agosto	1,5	0,3
Setembro	0,2	0,1
Outubro	0,2	0,1
Novembro	0,3	0,1
Dezembro	6	3

SÓLIDOS TOTAIS

Data	Bruto (mg/L O2)	Tratado (mg/L O2)
Janeiro	1630	800
Fevereiro	1340	680
Março	1690	990
Abril	1670	940
Maiο	1840	940
Junho	1652	923
Julho	1456	987
Agosto	1710	1290
Setembro	2395	1524
Outubro	2700	1650
Novembro	2200	1500
Dezembro	2250	1550