

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC

CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

RENATA MILIOLI VIEIRA

**PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO DO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA
DE TINTAS COM O OBJETIVO DE REÚSO NO PROCESSO PRODUTIVO**

CRICIÚMA

2017

RENATA MILIOLI VIEIRA

**PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO DO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA
DE TINTAS COM O OBJETIVO DE REÚSO NO PROCESSO PRODUTIVO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de Bacharel no curso de Engenharia Química da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador (a): Maria Alice Prado Cechinel

CRICIÚMA

2017

RENATA MILIOLI VIEIRA

**PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO DO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA
DE TINTAS COM O OBJETIVO DE REÚSO NO PROCESSO PRODUTIVO**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Bacharel, no Curso de Engenharia Química da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Processos Industriais.

Criciúma, 29 de junho de 2017.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Maria Alice Prado Cechinel - UNESC - Orientadora

Christian Volpato – Químico Industrial - Supervisor de Estágio

Prof. Dr. Michael Peterson - UNESC

**Dedico este trabalho as minhas amadas,
Roselane e Beatriz.**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida. Agradeço pela oportunidade de acordar a cada manhã, poder enfrentar as dificuldades e possibilitar o meu amadurecimento.

Agradeço a minha mãe Roselane Milioli e minha irmã Beatriz Milioli Vieira pelo amor incondicional e incentivo dado a todas as minhas escolhas.

Agradeço aos meus avós Delci Buzanelo Milioli e Severino Milioli por todo amor e dedicação ao longo da vida.

Agradeço ao meu namorado Felipe Da Silva Daniel por toda paciência e por compreender os meus momentos de ausência e por estar ao meu lado nos momentos mais difíceis.

Agradeço a minha orientadora Maria Alice Prado Cechinel por toda a atenção, conhecimento transmitido e dedicação para a construção deste trabalho.

Agradeço aos meus amigos e colegas de faculdade, em especial a Renata Vitória Rosso, Paula Ostetto, Janaína Tasca, Vanessa Sartor, Amanda da Silva Serafim e Maria Rosso por todo companheirismo e amizade em todos os momentos.

Agradeço a todos os professores que passaram pela minha graduação, em especial Luiz Rodeval Alexandre por todos os ensinamentos e pela contribuição na construção deste trabalho. E também ao Prof. Dr. Michael Peterson por aceitar o convite de compor a banca examinadora e poder enriquecer este trabalho.

Agradeço aos meus colegas de trabalho pelo apoio e pela oportunidade de por em prática os ensinamentos adquiridos na graduação, em especial ao meu Supervisor de Estágio Christian Volpato e aos colegas Ramires Rabello e Reginaldo por toda ajuda ofertada para a elaboração deste trabalho.

“Uma sociedade se define não só pelo que cria, mas pelo que se nega a destruir”.

John C. Sawhill

RESUMO

O processo de produção de tintas arquitetônicas a base de água da empresa em estudo consome uma quantidade significativa de água, não somente como insumo da tinta, mas também para lavagem dos equipamentos para “setup” do processo. Por este motivo, propõe-se o reúso do efluente tratado a fim de gerar benefícios ambientais e econômicos para a empresa. Através dos dados de monitoramento do efluente bruto e tratado pela ETE e de alguns ensaios físico-químicos realizados, foi possível diagnosticar que a qualidade da água pós-tratamento não é adequada para reúso no processo como insumo ou para lavagem dos equipamentos utilizados na formulação, devido ao fato de o efluente tratado ainda conter elevadas concentrações de DBO, DQO e sólidos totais, além de alterações nos parâmetros de cor, turbidez e dureza total, podendo prejudicar a qualidade do produto. Como objetivo de melhorar a qualidade da água tratada para seu reúso, foram propostas algumas ações, como a substituição da utilização do carbonato de cálcio por hidróxido de sódio no tratamento físico-químico, obtendo uma economia de 63,5% no descarte de lodo. Com o intuito de reduzir as concentrações de DQO e DBO, foi estudada a implantação de sistemas de lodos ativados, diagnosticando-se inviável devido a baixa biodegradabilidade do despejo e a implantação de processo oxidativos avançado por reação de Fenton, sendo o mais eficiente para as características do efluente.

Palavras-chave: Reúso da água; Tratamento de Efluente; Indústria de tintas; Tecnologias de tratamento de águas residuais.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação de Vazões de retirada e consumo de água em diferentes atividades.	14
Figura 2 – Relação de captação de água por produto entre os anos de 2006 e 2015 do setor da indústria química.	16
Figura 3 - Ilustração do processo de separação de soluções em água por meio de membranas e a formação do concentrado de impurezas.	27
Figura 4 – Fluxograma representativo de processo Fenton aplicado a tratamento de efluentes.....	30
Figura 5 – Leitor de oxigênio dissolvido do fabricante YSI, modelo pró ODO, semelhante ao utilizado nos ensaios.	34
Figura 6 – Determinador de umidade (Quimis) utilizado no ensaio de sólidos totais.	35
Figura 7 - A fabricação da tinta em setores.....	37
Figura 8 – Fluxograma do sistema de tratamento empregado atualmente na empresa: das etapas do tratamento até lançamento do efluente tratado na rede fluvial.	39
Figura 9 – Relação entre a quantidade de efluente tratado (colunas em azul) e a quantidade de lodo gerado (colunas em vermelho) no ano base de 2016.	41
Figura 10 - Médias anuais do monitoramento de pH do efluente bruto (colunas em azul) e do efluente tratado (colunas em vermelho), correspondente aos anos entre 2012 e 2016.	42
Figura 11 – Médias anuais do monitoramento de DBO do efluente bruto (a) e do efluente tratado (b), correspondente aos anos entre 2012 e 2016.	43
Figura 12 – Médias anuais do monitoramento de DQO do efluente bruto (colunas em azul) e do efluente tratado (colunas em vermelho), correspondente aos anos entre 2014 e 2016.	44
Figura 13 – Médias anuais do monitoramento de sólidos totais (ST) do efluente bruto (colunas em azul) e do efluente tratado (colunas em vermelho), correspondente aos anos entre 2012 e 2016.	45
Figura 14 – Médias anuais do monitoramento de sólidos sedimentáveis (SS) do efluente bruto (colunas em azul) e do efluente tratado (colunas em vermelho), correspondente aos anos entre 2012 e 2016.	46

Figura 15 – Médias anuais do monitoramento de óleos e graxas totais do efluente bruto (colunas em azul) e do efluente tratado (colunas em vermelho), correspondente aos anos entre 2012 e 2016.	47
Figura 16 - Lodo formado pela adição de cal (à esquerda) e adição de soda (à direita) na etapa de neutralização.	50
Figura 17 – Valores de oxigênio dissolvido, em mg/L, em função do tempo em minutos.	54
Figura 18 – Fluxograma de proposta de otimização para a estação de tratamento de efluente com o objetivo de reúso da água.	55
Figura 19 – Fluxograma da proposta de implantação do processo Fenton com o objetivo de reduzir as concentrações de DQO e DBO, para futuro reúso da água. ..	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Efeito dos lançamentos aos cursos d'água e os diferentes tipos de contaminação (X = mais frequente; XX = mais importante).	11
Tabela 2 - Produtos comumente utilizados em tratamentos físico-químicos.....	25
Tabela 3 – Agentes oxidantes mais empregados e seus respectivos potenciais de oxidação.....	28
Tabela 4 – Combinações do peróxido com oxidantes e os principais poluentes alvos.	29
Tabela 5 - Composição geral de uma tinta arquitetônica formulada na empresa alvo do estudo.....	37
Tabela 6 – Parâmetros avaliados para o efluente tratado pela estação de tratamento de efluentes e valores de referência.	48
Tabela 7 – Média dos resultados obtidos utilizando diferentes agentes neutralizantes no tratamento de 1600 kg de efluente (capacidade de uma batelada).....	51
Tabela 8 - Resultados de sólidos totais obtidos pelo determinador de umidade da amostra após o tratamento e sólidos totais somente do sobrenadante utilizando a cal e soda cáustica respectivamente.	51
Tabela 9 – Avaliação econômica da substituição do agente neutralizante no tratamento de uma batelada de efluente bruto (1600 kg).....	52
Tabela 10 – Médias anuais de DQO e DBO entre os anos de 2014 à 2016 e a relação entre os parâmetros.....	53
Tabela 11 – Relação das quantidades de peróxido de hidrogênio (H ₂ O ₂) e sal de Ferro (Fe ²⁺) para obter DQO final de 3000 mg/L de DQO por batelada de 1550 L...	57

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1.1 Objetivo geral	12
1.1.2 Objetivos específicos.....	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 POLUIÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS	14
2.2 LEGISLAÇÕES AMBIENTAIS PARA OS RECURSOS HÍDRICOS	11
2.2.1 Legislações de reúso de água	12
2.3 GESTÃO EFICIENTE DOS RECURSOS HÍDRICOS: O REÚSO DA ÁGUA.....	13
2.3.1 O reúso da água nas indústrias	15
2.4 TINTAS ARQUITETÔNICAS: CONCEITO E DEFINIÇÃO	17
2.4.1 Efluentes da indústria de tintas	18
2.5 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES E REÚSO DE ÁGUA.....	22
2.5.1 Tratamentos biológicos	22
2.5.2 Tratamentos físico-químicos	24
2.5.3 Tratamentos por meios físicos	25
2.5.4 Tratamentos por membranas	26
2.5.5 Tratamentos por Processos Oxidativos Avançados (POA)	27
2.6 PROJETO E EXECUÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES	30
3 METODOLOGIA	32
3.1 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE TRATAMENTO ATUAL.....	32
3.2 ENSAIOS DE BIODEGRADABILIDADE	33
3.3 ENSAIOS DE TRATABILIDADE: SUBSTITUIÇÃO DO AGENTE NEUTRALIZANTE.....	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1 O PROCESSO PRODUTIVO DE TINTAS IMOBILIÁRIAS A BASE DE ÁGUA...36	
4.2 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE TRATAMENTO ATUAL.....	39
4.3 PROPOSTA DE MELHORIA DE DESEMPENHO DO SISTEMA DE TRATAMENTO ATUAL POR SUBSTITUIÇÃO DO AGENTE NEUTRALIZANTE.....	49
4.4 AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO EFLUENTE PARA IMPLANTAÇÃO DE TRATAMENTO BIOLÓGICO.....	52

4.5 PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO DO TRATAMENTO DE EFLUENTE EMPREGADO COM O OBJETIVO DE REÚSO DA ÁGUA	54
5 CONCLUSÃO	59
REFERÊNCIAS.....	61
ANEXOS	66

1 INTRODUÇÃO

A intensa industrialização nas últimas décadas, juntamente com o crescimento dos centros urbanos aumentou o uso dos recursos hídricos, despertando a preocupação da sociedade para este problema. A intensa exploração dos recursos naturais gerou maiores emissões de resíduos, principalmente os resíduos hídricos (esgotos e efluentes industriais), que eram inicialmente despejados em corpos hídricos sem nenhum tratamento, contaminando-os com bactérias, protozoários, toxinas, etc. Estes mesmos corpos hídricos também eram utilizados para o abastecimento público de água das cidades e, com a ingestão da água contaminada, começaram a surgir vários tipos de doenças, influenciando diretamente na saúde da população.

O agravamento dos problemas de saúde pública devido à poluição da água culminou no surgimento de políticas ambientais. Foram instituídas legislações mais rigorosas somadas ao aumento da fiscalização pelos órgãos ambientais, com o objetivo de controlar a contaminação dos recursos hídricos pelas indústrias e, assim, delimitar padrões de uso da água e lançamento de efluentes nos cursos d'água.

Atualmente, devido a pressão da sociedade, do mercado e de órgãos ambientais associados à escassez hídrica e a manutenção da qualidade do recurso, as indústrias começaram a investir em metodologias mais eficientes para a gestão do uso dos recursos hídricos, disseminando a prática do reúso da água, com o objetivo de racionalizar o seu consumo e reduzir a emissão de efluentes aos corpos d'água. Desta forma, o setor industrial tem investido em pesquisas e implantação de rotas tecnológicas para a reutilização dos efluentes oriundos do processo produtivo.

De acordo com a ABRAFATI (2017), o segmento de tintas é um dos ramos mais importantes no mercado mundial. O Brasil é o quarto maior produtor mundial do segmento e possui mais de 400 empresas instaladas em todo território nacional. Uma das subdivisões do setor de tintas é o segmento de tintas arquitetônicas a base de água, voltada para pinturas do ramo da construção civil.

A produção de tintas arquitetônicas demanda uma quantidade significativa de água em seu processo, tanto na sua composição, mas também

para limpeza de equipamentos. Estima-se que para produção de 1000 m³ de tintas são usados cerca de 100 à 400 m³ de água tratada. Como o processo exige um alto consumo de água, há uma preocupação com a racionalização do uso dos recursos hídricos e com a conveniente implantação de programas de reúso de água.

Muitas empresas no país, inclusive a de tintas arquitetônicas, estão implantando projetos de tratamento para reutilizar o efluente oriundo de seus processos, evitando o descarte na natureza, o que é chamado de ciclo fechado da água. Para verificar se a implantação de um sistema de tratamento para reúso da água será eficiente, deve-se levar em consideração vários fatores, como o estudo das características físico-químicas do efluente oriundo do processo, para assim, determinar o método de tratamento mais viável.

A escolha do tratamento que será aplicado depende também da finalidade a qual a água de reúso será destinada, podendo o recurso hídrico ser aplicado para retorno ao processo produtivo, utilizando-o novamente como insumo do produto, aplicado em outras áreas da planta industrial, como água de consumo para lavagem de pátios, equipamentos e outras utilidades.

Pelas condições de disponibilidade e de qualidade da água, a prática do reúso da água será cada vez mais disseminada. O reúso da água, não resulta somente em benefícios diretos para a empresa em que se aplica esta prática, mas também resulta em benefícios sociais e ambientais para toda a região, garantindo a preservação do recurso hídrico para as futuras gerações.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral propor uma otimização no processo de tratamento de efluentes oriundo da produção de tintas a base de água, a fim de reutilizar o efluente no processo produtivo.

1.1.2 Objetivos específicos

- Compreender, por meio de pesquisa bibliográfica, os fundamentos para o processo de tratamento de efluentes industriais;
- Identificar a origem do efluente gerado pela indústria de tintas a base de água e sua composição;
- Identificar e examinar os dados de monitoramento de entrada e saída da estação de tratamento de efluente - ETE;
- Analisar as instalações da ETE e o tratamento empregado atualmente visando melhorias necessárias para a sua otimização.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

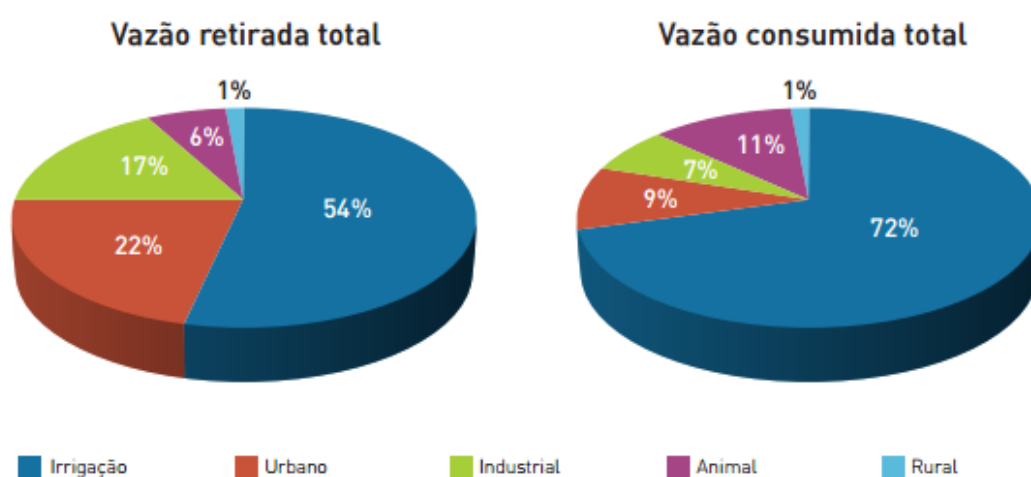
2.1 POLUIÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Conforme Leme (2014), a água é um recurso natural renovável finito, fundamental para a sobrevivência dos seres vivos, e por esta razão é intensamente utilizada em praticamente todas as atividades humanas, como para abastecimento público, uso industrial, irrigação, conservação da fauna e flora, geração de energia entre outras atividades.

Ainda segundo Leme, dos 97,3 % da massa de água existente na superfície terrestre está acumulada nos oceanos na forma de água salgada e 2,7% estão na forma de água doce. Entretanto, o seu maior uso provém das correntes dos rios, que corresponde a apenas 0,01% do total de água do planeta.

De acordo com o relatório da Agência Nacional das Águas – ANA (2015), o segmento industrial é o terceiro maior em uso de água do País em termos de vazão de retirada dos rios e o quarto em consumo, atrás apenas do uso urbano e irrigação, como apresentado na Figura 1:

Figura 1 - Relação de Vazões de retirada e consumo de água em diferentes atividades.



Fonte: ANA (2015) apud ABIQUIM (2016).

Conforme ABIQUIM (2016), o segmento industrial de fabricação de produtos químicos ocupa o quarto lugar no ranking do número de captações em rios de domínio da União.

O aumento progressivo populacional das cidades gerou também um progressivo aumento das atividades agrícolas e da pecuária para suprir a demanda crescente de alimentos. Esses fatores, juntamente com o acelerado desenvolvimento industrial, foram as principais causas dos lançamentos de resíduos sólidos e líquidos nos rios, lagos e mares, gerando impactos ambientais, redução da qualidade de vida e o desequilíbrio dos ecossistemas (LEME, 2014).

Ainda conforme Leme, à medida que a população continuava aumentando, os núcleos urbanos eram formados onde a disponibilidade de água era mais abundante. Assim, os cursos de água se tornaram ao mesmo tempo fonte de abastecimento e também o veículo natural de escoamento do esgoto doméstico e das águas residuárias industriais e agrícolas geradas pelo homem.

Os principais efeitos causados pela poluição e contaminação dos recursos hídricos, devido ao lançamento dos efluentes gerados pelo homem são (LEME, 2014):

- Redução do padrão de qualidade da água usada para abastecimento populacional;
- Destruição da fauna e da flora aquática resultando na redução do poder diluidor e autodepurador dos rios;
- Redução do potencial hidráulico;
- Perigo a saúde pública, resultando no aumento de doenças veiculadas pela água;
- Redução das atividades esportivas e lazer, e;
- Exigência de tratamentos mais sofisticados e de custos mais elevados para garantir o grau de potabilidade da água.

A Tabela 1 apresenta os efeitos colaterais do lançamento de esgotos e efluentes industriais na forma bruta nos corpos de água.

Tabela 1 - Efeito dos lançamentos aos cursos d'água e os diferentes tipos de contaminação (X = mais frequente; XX = mais importante).

Fontes de Poluição e contaminação	Tipos de poluição e contaminação	Danos à fauna e flora	Danos à saúde humana	Limitação à irrigação e indústria	Limitação a lazer e esporte
Lançamento de esgotos domésticos	Microbiológica direta	XX	XX	-	XX
	Microbiológica indireta	-	XX	X	-
	Eutrofização	XX	X	X	XX
Lançamentos de águas residuárias	Metais pesados	X	XX	X	-
	Petroquímicos	-	X	X	-
	Gorduras	-	-	X	XX
	Papel e papelão	XX	-	-	X
	Praguicidas	X	XX	-	-
Lançamentos de águas residuárias	Detergentes	X	-	-	X
	Substâncias radioativas	-	XX	X	-
	Temperatura	X	-	X	-
	Materiais sólidos	-	-	X	X
	Extração de areia e pedra	X	-	X	-
Atividade Agrícola	Aubos	X	X	-	-
	Agrotóxicos	X	XX	-	-

Fonte: Munoz (1992) apud Leme (2014).

Observa-se que lançamento de águas residuárias, fornecem mais tipos de poluição e contaminações aos corpos d'água em relação aos outros lançamentos, destacando-se o lançamento de metais pesados, que fornecem danos à fauna e flora, à saúde humana, a irrigação e a indústria nos tipos mais frequentes e importantes. Além da contaminação com metais pesados, as contaminações por praguicidas e substâncias radioativas são consideradas importantes, pois são as mais prejudiciais à saúde humana.

2.2 LEGISLAÇÕES AMBIENTAIS PARA OS RECURSOS HÍDRICOS

A Resolução CONAMA 357/2005 classifica os corpos d'água em cinco classes:

- 1) Águas de classes especiais: destinadas ao abastecimento com consumo humano, com desinfecção, a preservação do equilíbrio natural e ambientes aquáticos;
- 2) Águas de classe 1: destinadas ao consumo humano com tratamento simplificado, a proteção do ambiente aquático, a recreação e irrigação;
- 3) Águas de classe 2: designadas a abastecimento humano após tratamento convencional, à aquicultura e a pecuária;
- 4) Águas de classe 3: diferencia-se das demais pois é destinada ao abastecimento humano após tratamento convencional e avançado;
- 5) Águas de classe 4: designam-se a navegação e harmonia paisagística.

A resolução CONAMA Nº 430/2011 determina que o lançamento de efluente de qualquer fonte poluidora poderá ser realizado nas águas classificadas, somente se tiver enquadrado nos padrões de qualidade relatados no artigo. Os parâmetros podem ser encontrados no ANEXO 1. Os parâmetros podem ser encontrados no ANEXO A.

No estado de Santa Catarina está em vigor a Lei nº 14.675, de 13 de abril de 2009, que institui o Código Estadual do Meio Ambiente. O Capítulo VII, Seção 2 trata sobre os padrões de qualidade dos recursos hídricos. Em caso de conflito normativo, em alguns dos parâmetros exigidos nas legislações ambientais, prevalece a legislação mais restritiva (SANTA CATARINA, 2009).

Quando a água é destinada para abastecimento e consumo humano, esta deve estar de acordo com os padrões exigidos pela Portaria nº 2.914 de dezembro de 2011 (BRASIL, 2011), que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água e seu padrão de potabilidade.

2.2.1 Legislações de reúso de água

Segundo Fink e Santos (2003), até a criação da Constituição de 1988, a água era dada como fonte inesgotável. A consciência de que o recurso era escasso e precisava de um tratamento jurídico mais cauteloso surgiu com a criação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) em janeiro de 1997.

A lei PNRH (BRASIL, 1997) destaca, em várias ocasiões, a necessidade de racionalizar a água como forma de preservar o recurso para o futuro da população. Porém, a ênfase da legislação incide na racionalização do uso primário da água. Pouco ou quase nada houve de preocupação legislativa no Brasil para fixação de princípios e critérios para reúso da água (Setti, 1995 apud Fink e Santos, 2003)

Cechinel (2016) cita a falta de normas para reúso de águas residuárias no Brasil:

Atualmente, o Brasil não possui normas e padrões específicos para regulamentar o reúso de águas residuárias, adotando, em geral, padrões internacionais, tais como OMS e EPA, e orientações técnicas de instituições privadas para nortear as práticas de reúso. Porém, existem projetos de lei em tramitação na câmara dos deputados, tais como a PL 2427/2015 e a PL 182/2015, que visam regulamentar e incentivar a reutilização de recursos hídricos no País. (Cechinel, 2016, pg 27.)

O projeto de Lei 182/2015 prevê o estabelecimento de normas para incentivo a empreendimentos ou expansão de redes necessárias para a reutilização de águas residuárias pelas indústrias, como forma de combater o desperdício.

O projeto de Lei 2427/2015, dispõe sobre incentivos tributários para estimular a prática de reutilização de recursos hídricos no país, como relata artigo 3º e 4º do projeto:

Art. 3º As pessoas jurídicas produtoras ou distribuidoras de água de reúso terão direito a redução de 50% (cinquenta por cento) do imposto sobre a renda e adicionais calculados com base no lucro da exploração da atividade de venda de água ou tratamento de água de reúso.

Art. 4º Ficam reduzidas a zero a alíquota da Contribuição para o PIS/Pasep e da COFINS incidentes sobre a receita obtida com a venda ou tratamento de água de reúso. (PL 2427/2015).

2.3 GESTÃO EFICIENTE DOS RECURSOS HÍDRICOS: O REÚSO DA ÁGUA

Segundo o Manual de Gestão eficiente dos Recursos Hídricos elaborado pela Associação Brasileira da Indústria Química – ABIQUIM (2016), devido à atual situação de escassez hídrica, intensificou-se as discussões sobre a necessidade das empresas em priorizarem a gestão dos recursos hídricos. A adoção de um processo de gerenciamento do uso de água pode minimizar a fragilidade da empresa em relação ao seu suprimento e conflitos com a comunidade, reduzindo, assim, riscos ao seu negócio.

De acordo com Philippi Junior (2003), a questão-chave, de como enfrentar a relação demanda/oferta de água é invariavelmente a necessidade de serem estabelecidas políticas adequadas e a implementação sistemas de gestão efetivos. A ABIQUIM alerta que a ineficiência da gestão sustentável dos recursos hídricos, acarretará em uma série de consequências negativas à empresa. Para minimizar os riscos de uma gestão ineficiente, as indústrias devem se tornar mais independente do fornecimento de água para os seu processo produtivo, aumentando a eficiência no uso do recurso.

O relatório da Confederação Nacional da Indústria - CNI “Água, Indústria e Sustentabilidade” de 2013, relata as oportunidades e desafios que as empresas sofrerão devido a crescente demanda de água:

Oportunidades e desafios para o setor industrial irão emergir dessa situação. O maior controle sobre os produtos e processos é uma tendência que coloca em pauta novas exigências ao desenvolvimento tecnológico e à inovação.

Atender à crescente demanda global com menor pressão sobre os recursos naturais, entre os quais a água, já está na agenda dos negócios. As empresas que responderem a esses desafios com maior agilidade e soluções inteligentes estarão à frente no quesito competitividade. (CNI, 2013, p. 12).

Uma das alternativas que se aponta para o enfrentamento do problema demanda/oferta de água é o seu reúso. Muitos pesquisadores acreditam que a sobrevivência do ser humano relaciona-se com sua capacidade de reaproveitamento dos recursos escassos, em particular a água, bem como sua proteção, recuperação e reúso (PHILIPPI JUNIOR, 2003).

O Centro Nacional para o Desenvolvimento Sustentado do Abastecimento de Água – NCSWS, afirma que com o crescimento populacional de até 80% nas áreas urbanas, em 2025, a população com escassez de água será dez vezes maior do que a atual. Além disso, o grupo cita que o reúso e a recirculação da água são os únicos métodos para aumentar o suprimento após o esgotamento de água superficial e do aquífero subterrâneo.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde – OMS (1973) (apud Brega Filho e Mancuso, 2003), há três tipos de reúso:

- reúso indireto: ocorre quando a água já usada uma ou mais vezes para uso industrial ou doméstico é descarregada em águas superficiais ou subterrâneas e é utilizada novamente a jusante de forma diluída;
- reúso direto: é a utilização planejada de efluentes tratados para irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável;
- reciclagem interna: é o reúso da água internamente às instalações industriais, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição.

Westerhoff (1984) apud Brega Filho e Mancuso (2003) classifica o reúso da água em duas grandes categorias, o reúso potável e reúso não potável. O reúso potável pode ser subdividido em duas modalidades o reúso potável direto, que consiste em reutilizar o esgoto recuperado por tratamentos avançados em sistemas de água potável, e o reúso potável indireto que consiste no lançamento de esgotos tratados em corpos de água para diluição e purificação e subsequente captação para uso potável.

O reúso não potável abrange várias finalidades. O reúso não potável pode ser empregado para fins agrícolas, fins industriais, recreacionais, domésticos e aquicultura.

2.3.1 O reúso da água nas indústrias

Conforme Hespanhol (2003), o reúso da água para fins industriais pode ser visto sob vários aspectos, devido a diversas possibilidades existentes tanto no contexto interno, quanto ao externo às indústrias. Hespanhol classifica estas modalidades como:

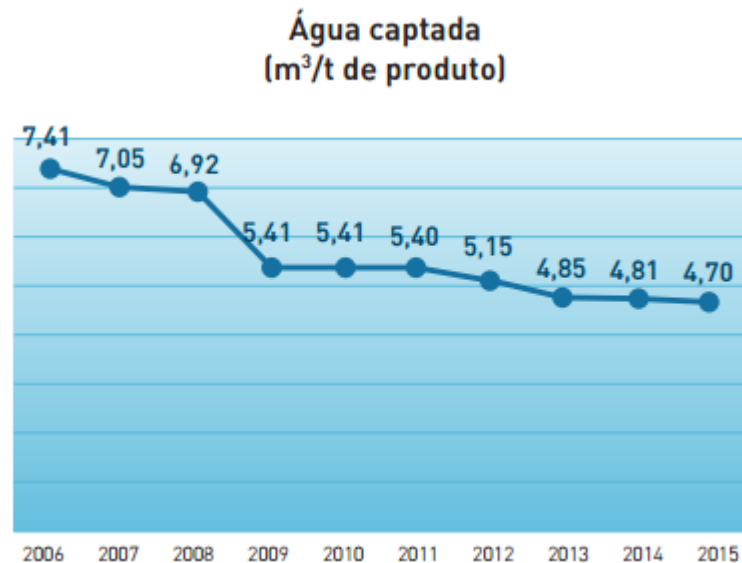
- Reúso macroexterno: Esta modalidade pode ser efetuada por companhias municipais ou estaduais que fornecem esgotos ou efluentes tratados como água de utilidade para as indústrias. O sistema de tratamento adicional para atender os novos padrões de qualidade, e o sistema de distribuição deve ser viabilizado. É viável se uma rede de indústrias se associarem a este programa de reúso. Os usos mais comuns desta modalidade são para uso em torres de resfriamento, caldeiras, lavagens de peças e outros processos.

- Reúso macrointerno: Consiste no reúso interno da água para diversos fins sem possuir um uso específico. Esta modalidade está cada vez mais conquistando espaço nas indústrias, devido aos elevados custos da água industrial no Brasil. Esta tendência deve ampliar ainda mais, pelo futuro surgimento de novas legislações associados aos instrumentos de outorga e cobrança pela utilização dos recursos hídricos tanto no quesito de tomada de água, quanto aos despejos de efluentes.

- Reúso interno específico: Consiste em efetuar a reciclagem de efluentes de quaisquer processos, nos próprios processos no quais são gerados, ou em processos que se desenvolvam em sequência e que suportam a qualidade do efluente gerado. Um exemplo deste reúso são as águas de lavagens de indústrias de pinturas, que são recicladas no próprio processo.

Conforme dados da ABIQUIM (2016), entre os anos 2006 e 2015 o setor da indústria química reduziu 36% da captação de água por tonelada de produto, como ilustra a Figura 2.

Figura 2 – Relação de captação de água por produto entre os anos de 2006 e 2015 do setor da indústria química.



Fonte: Abiquim (2016).

Além de diminuir o consumo do recurso, o setor aumentou a quantidade de efluente reciclado em seus processos de 4% em 2009 para 7% em 2015. Estes dados ressaltam como a gestão eficiente dos recursos hídricos passou a ser questão de alta relevância para as indústrias, com foco em três objetivos principais: redução da captação de água, minimização a geração de efluentes e aumento do reúso.

Segundo a ABIQUIM 2016, qualquer efluente pode ser reutilizado desde que esteja conforme a qualidade da água exigida para o uso pretendido. A água pode ser utilizada no mesmo processo ou em um processo alternativo, no mesmo parque fabril ou exportado para outra unidade (ABIQUIM, 2016). A quantidade e qualidade desta água dependem de uma série de fatores, principalmente a fonte geradora do efluente, como exemplo água de lavagem, rejeitos e purga; o número de vezes em que a água foi reciclada, podendo reduzir ou aumentar as concentrações de contaminantes; as características dos produtos e superfícies em contato com a água de reúso; as reações químicas que ocorrem durante o processo produtivo e de aditivos utilizados para a correção das características físico-químicas da água.

Entretanto, é importante avaliar a viabilidade de instalações de tratamento de efluentes para reúso de água. A melhor justificativa para a aprovação, diante de cenários de escassez hídrica é a demanda operacional da empresa pelo recurso.

Conforme Hespanhol, 2003, para a implantação do projeto de reúso, deve-se realizar a caracterização do efluente, encontrar possíveis usos deste efluente na linha de produção e dimensionar as tecnologias necessárias para adquirir o padrão de qualidade desejado para determinado fim.

O reúso pode ser aplicado a distintas categorias de qualidade e aos diversos níveis de tratamento, podendo ser secundário, terciário e quaternário ou avançado. Além deste ponto técnico, as diferentes rotas tecnológicas devem ser avaliadas do ponto de vista econômico e operacional. Em cada processo de produção aplica-se a rota tecnológica mais adequada, visando o melhor uso da tecnologia disponível a um custo viável.

Conforme a ABIQUIM, o reúso da água residuária pode ser economicamente muito viável, agregando a isto, um retorno ambiental considerável:

Reutilizar efluentes é uma alternativa econômica atraente e ajuda a conservar um bem essencial para as gerações futuras. O seu uso econômico também reduz a quantidade de resíduos enviados para instalações de tratamento e reduz ainda mais os custos de tratamento (ABIQUIM, 2016, pg 25).

2.4 TINTAS ARQUITETÔNICAS: CONCEITO E DEFINIÇÃO

Conforme Associação Brasileira de Fabricantes de Tintas – ABRAFATI (2017), tinta é uma composição química formada por uma dispersão de pigmentos em uma emulsão de um ou mais polímeros que, ao ser aplicada na forma de uma película fina sob uma superfície, tem como função principal proteger, colorir e embelezar uma superfície.

Segundo Diniz (2009), um dos mais importantes segmentos do mercado de tintas se refere aos produtos utilizados na linha arquitetônica, também conhecida como linha imobiliária, decorativa ou tintas para construção civil.

As tintas decorativas atualmente assumem uma nova finalidade de, não somente proporcionar o embelezamento, mas também em proteger os materiais em que são aplicados, como no caso de alvenaria, por exemplo, paredes novas e repintadas, forros tijolos e blocos e também podem ser aplicadas em madeira (Diniz, 2009).

As tintas imobiliárias de se subdivide em duas categorias: as tintas à base solvente, que geralmente são utilizadas para pintura em madeira, e as tintas a base de água, que são utilizadas para pintura em alvenaria.

Conforme Diniz (2009), as tintas a base de água, também conhecidas como tintas látex, são os produtos de maior comercialização mundial. O custo-benefício aliado à facilidade de aplicação fizeram com que o emprego deste produto obtivesse um elevado crescimento no campo das tintas imobiliárias, além da forte tendência global de minimizar o uso de solventes orgânicos, ocorrendo a substituição gradual de produtos à base solvente por revestimentos à base látex.

Fazenda afirma ainda que as formulações de tintas à base de água são bastante complexas, sendo normalmente compostas de 15 a 20 componentes. O autor ressalta a importância do equilíbrio entre as matérias-primas e a qualidade da água utilizada:

O perfeito equilíbrio desse tipo de tinta depende de estudos integrados entre polímeros, pigmentos em pó ou pré-dispersos, cargas “extensoras”, aditivos surfactantes, agentes coalescentes e até mesmo a água, que deve ser verificada quanto a sua dureza, condutividade e possível contaminação bacteriana (DINIZ, 2009, pg 690).

2.4.1 Efluentes da indústria de tintas

De acordo com Yamanaka et al (2006), a água é o recurso natural mais consumido no setor de tintas à base aquosa, sendo utilizada para diversos fins. Grande parte é incorporada no produto, outra parcela é utilizada nas operações de limpeza e lavagens de tanques e máquinas, além do uso na área de utilidades e manutenção. Yamanaka ainda ressalta que o uso descontrolado deste insumo pode acarretar a crescente degradação das reservas, levando a urgente necessidade de adoção de uma política racional de consumo.

Ainda conforme Yamanaka, a maior fonte de efluentes líquidos no processo de tintas a base de água está na operação de lavagens dos tanques e equipamentos para inicializar uma produção de lote de cor diferente da produzida anteriormente. A lavagem acontece geralmente com água, solventes, soluções de

NaOH entre outros. O efluente gerado destas lavagens contém altas concentrações de sólidos suspensos que requerem tratamento.

Há variações significativas de efluentes entre diferentes empresas, devido à diversidade de matérias-primas existentes que podem compor a formulação das tintas. Esta diversidade, aliada a diferentes consumos de água são as causas principais para variações entre os resultados analíticos do mesmo parâmetro entre efluentes de diferentes empresas (Yamanaka et al, 2006).

Dentre os parâmetros poluentes que podem conter em um efluente líquido do setor destacam-se DBO, DQO e sólidos devido a alta carga de sólidos e pH elevado, e óleos e graxas, que serão descritos a seguir.

2.4.2.1 Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO

Segundo Nunes (2012), DBO é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica bioquimicamente. É um dos parâmetros mais importantes na medição da poluição orgânica e na quantificação de material orgânico para efeito de dimensionamento de reatores biológicos. Todo constituinte oxidável presente em um efluente quando entra em contato com um curso d'água será forçadamente oxidado por meio de reações químicas e bioquímicas, resultando em um consumo de oxigênio dissolvido na massa líquida, o que acarretará uma diminuição de oxigênio ao longo do rio.

Estes compostos oxidáveis em presença de nutrientes e microrganismos são oxidados a dióxido de carbono (CO_2), água e compostos inorgânicos. Estas reações podem ser detectadas por meio da análise de Demanda Biológica ou Bioquímica de Oxigênio – DBO (CAVALCANTI, 2009).

A DBO é um parâmetro importante, pois revela a quantidade de oxigênio que seria consumida na degradação de um efluente, sem necessitar o conhecimento da natureza e a concentração dos constituintes do próprio efluente. A DBO é o parâmetro mais utilizado no controle da poluição da água, detectando o efeito do lançamento de efluentes tratados e não tratados na vida biológica de um corpo receptor (CAVALCANTI, 2009).

Conforme o CONAMA 430/2011, o valor máximo permitido de DBO para o lançamento do efluente aos corpos d'água é de 60 mg/L ou 60% de remoção em relação ao efluente bruto. A legislação do estado de Santa Catarina, porém, é mais

restritiva e a quantidade que deve ser obedecida para o lançamento é de 60 mg/L ou 80% de remoção.

2.4.2.2 Demanda Química de Oxigênio – DQO

De acordo com Cavalcanti (2009) a Demanda Química de Oxigênio é a quantidade necessária de oxigênio para oxidar o conteúdo orgânico total de um despejo, não somente a parcela biodegradável. Esta oxidação acontece por meio do dicromato ou permanganato de potássio em meio ácido.

A resolução CONAMA, 430/2011 não exige um valor máximo de DQO para o lançamento do efluente, porém este parâmetro é muito importante para verificação da qualidade do efluente e para avaliação de outros parâmetros.

A DQO corresponde diretamente a matéria-orgânica presente no efluente. Altas concentrações deste tipo poluente na água de reúso podem acarretar em diversos problemas, principalmente se a água será reutilizada novamente como insumo na fabricação do produto.

2.4.2.3 Sólidos

Segundo Skoronski (2008), sólidos correspondem a toda matéria orgânica que permanece como resíduo após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura e tempo pré-estabelecidos. As operações de secagem, calcinação e filtração determinam as diversas frações de sólidos presentes no efluente, que são:

- Sólidos Totais: é considerado o resíduo restante no recipiente após a evaporação em uma estufa a cerca de 105°C, até o peso permanecer constante.
- Sólidos Suspensos: é a porção de sólidos totais que fica retido em um filtro que propicia a retenção de partículas de diâmetro $\geq 1,2 \mu\text{m}$.
- Sólidos Voláteis: É a porção de sólidos perdida após a calcinação da amostra a 550 - 600°C após uma hora para sólidos totais ou dissolvidos voláteis ou para 15 minutos para sólidos suspensos voláteis em forno mufla.
- Sólidos Fixos: Porção de sólidos restante após a calcinação da amostra a 550 - 600°C após uma hora para sólidos totais ou dissolvidos fixos ou para 15 minutos para sólidos suspensos fixos em forno mufla.

- **Sólidos Sedimentáveis:** Porção em suspensão que sedimenta sob a ação da gravidade durante o período de uma hora a partir de um litro da amostra em repouso (SKORONSKI 2008).

A legislação Conama 430/11 exige a remoção de 20% de sólidos totais em relação ao efluente bruto.

2.4.2.4 Óleos e Graxas

Conforme Cavalcanti (2009), óleos, graxas, ceras e gorduras são ésteres de álcool ou glicerol com ácidos graxos solúveis em hexano ou éter de petróleo. Os óleos podem ser encontrados na forma total, livre, emulsionada ou solúvel:

- **Óleo total:** é o conteúdo total do óleo em um despejo;
- **Óleo livre:** é a parcela do óleo separado por meio de um funil de separação após vigorosa agitação e seguida de repouso. O conteúdo da parcela subnadante inclui o óleo solúvel e emulsionado;
- **Óleo solúvel:** é a parcela de óleo medido no filtrado do subnadante ser submetido a filtração em papel filtro úmido e a ataque ácido;
- **Óleo emulsionado:** É a diferença entre o óleo medido no subnadante e o óleo solúvel (CAVALCANTI, 2009).

A legislação estadual 14.675/2009 exige que para o descarte de despejos contendo óleo e graxas, deve-se encontrar no limite máximo de 30 mg/L. Atualmente são empregados diversos tipos de tratamentos para remoção dos poluentes contidos nos despejos industriais. Estes tratamentos variam entre tratamentos classificados como convencionais a tratamentos classificados como avançados, podendo ser implantado um ou mais tipo de tratamento, dependendo das características do efluente. Efluentes oriundos de processos de tintas costumam possuir pH elevados e alta carga de sólidos devido ser característico das especificações do produto, além de serem considerados instáveis pois podem sofrer bastante variações nas suas características em virtude da demanda do processo produtivo. De acordo com ABIQUIM (2016), quando a água pós-tratamento é destinada ao reúso, reque tipos de tratamentos mais sofisticados.

2.5 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES E REÚSO DE ÁGUA

De acordo com o Manual de Gestão da ABIQUIM (2016), a escolha da tecnologia de tratamento de efluente mais adequada dependerá diretamente das características do efluente gerado pelo processo produtivo e de uso final.

Segundo Cavalcanti (2009), os tratamentos de efluentes que podem ser aplicados são os tratamentos biológicos, tratamentos convencionais por meio físicos, e meio físico-químicos, além dos tratamentos por adsorção, membranas, eletroquímicos e meios oxidativos.

2.5.1 Tratamentos biológicos

De acordo com Cavalcanti (2009), a degradação biológica das águas residuárias se dá pela ação de microrganismos que metabolizam a matéria orgânica carbonácea e nitrogenada, estabilizando-a na forma de subprodutos. A matéria orgânica dissolvida e dividida presente no efluente é, então, floculada e pode ser separada por processos físicos como sedimentação, flotação ou filtração (CAVALCANTI, 2009).

Os principais objetivos do tratamento biológico são a remoção da matéria orgânica presente nos despejos industriais, especialmente a matéria-orgânica carbonácea como a DBO, DQO e TOC; e a remoção de nutrientes como fósforo e nitrogênio, além da remoção parcial de compostos orgânicos tóxicos.

O tratamento biológico pode ser desenvolvido sob várias formas, todos derivados de processos que ocorrem naturalmente na natureza. Estes processos podem ser acelerados artificialmente pelo controle da ação dos microrganismos sobre o substrato.

O processo biológico pode ser dividido em processo aeróbio, onde há a disponibilidade de oxigênio molecular; processo anóxicos, onde há indisponibilidade de oxigênio molecular; e processo anaeróbio, onde há ausência total de oxigênio. Pode haver também a combinação entre estes processos. Os processos biológicos podem ser aplicados por meio de lodos ativados, digestores, filtros biológicos e lagoas de estabilização (CAVALCANTI, 2009).

Com relação aos lodos ativados, Cavalcanti (2009) afirma que este processo é o mais difundido dos processos aeróbicos, sendo bastante utilizado na depuração de diversos tipos de despejos industriais, estando associado ao pré e pós-tratamentos físicos, físico-químicos e avançados.

O material orgânico é utilizado como fonte de alimentos pelos microrganismos, podendo estes ser fungos e/ou bactérias. A mistura do efluente e o lodo biológico é realizada por meio de agitação e aeração em tanques ou reatores. Em seguida, há a separação do efluente tratado por intermédio da decantação, filtração ou flotação, e uma parte do lodo retorna ao tanque, descartando-se o excesso (MANCUSO, 2003).

De acordo com Cavalcanti (2009), para projetar um sistema de lodos ativados deve-se levar em consideração pelo menos três parâmetros importantes. O primeiro é o Fator de Carga (A/M), que consiste na relação entre o alimento (A) e a massa de microrganismos (M). O segundo parâmetro é a idade do lodo (θ), que corresponde à quantidade de lodo excedente extraída dos sistemas de lodos. E por fim, o tempo de detenção hidráulico, que é a relação entre o volume do reator e a vazão afluyente.

A modalidade mais aplicada de lodos ativados é o sistema convencional, também conhecido como plug-flow, que é representado por um tanque de aeração, decantador secundário e dispositivo de reciclo de lodo. Outras modalidades também são aplicadas como os lodos de mistura completa, reator sequencial em batelada, aeração prolongada entre outros (CAVALCANTI, 2009).

Conforme Mancuso (2003), o processo de tratamento de águas residuárias por lodos ativados é bastante flexível, podendo ser combinado com outros quando se deseja tratamento com alta eficiência, razão pela qual é incorporado em vários sistemas de tratamento e reúso.

Para as lagoas de estabilização, Nunes (2012) relata que o tratamento de despejos industriais por este método é considerado o mais simples dos sistemas utilizados, pois possui fácil operação e manutenção, simplicidade de construção, baixo custo operacional e não necessitam de equipamentos mecânicos. A única desvantagem é o requisito de grandes áreas de terreno.

As lagoas de estabilização podem ser classificadas em lagoas anaeróbicas, facultativas, facultativas aeradas, aeradas de mistura completa, decantação e maturação (NUNES 2012).

De acordo com Mancuso (2013), nas lagoas aeradas acontece a estabilização da matéria orgânica através da oxidação bioquímica, no qual o oxigênio necessário é suprido por aeradores artificiais. Já nas lagoas anaeróbicas a matéria orgânica em suspensão deposita-se no fundo entrando e, digestão

anaeróbia, a parcela deste material contida no líquido sofre uma estabilização anaeróbica parcial.

2.5.2 Tratamentos físico-químicos

Os processos convencionais de tratamentos físico-químicos de clarificação têm como objetivo a aglutinação de partículas em suspensão contidas nos efluentes industriais através da adição de floculantes ou coagulantes, promovendo a redução de sólidos em suspensão, coloidais, carga orgânica e outros poluentes (CAVALCANTI, 2009).

O processo de clarificação de águas por meio de processos físico-químicos acontece quatro fases: a neutralização, coagulação, floculação e sedimentação.

A neutralização consiste na eliminação das cargas eletrostáticas superficiais responsáveis pela repulsão entre as partículas, principalmente hidroxilas presente na água. A coagulação é o processo de aglomeração das partículas em suspensão finamente divididas ou em estado coloidal por meio de adição de um coagulante adequado, havendo, assim, a formação de partículas floculantes ou flocos. Por fim, A floculação, e posterior separação de fases (sedimentação), é induzida por meio da neutralização das forças eletrostáticas repulsivas que impedem a aglomeração de partículas e a precipitação (CAVALCANTI, 2009).

Os coagulantes ou floculantes, utilizados no processo de coagulação/floculação são compostos cátions polivalentes geralmente Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} e Ca^{2+} , que neutralizam a cargas elétricas das partículas. A Tabela 2 mostra a relação dos produtos químicos mais utilizados no tratamento físico-químico.

A maior parte dos coloides presentes em despejos industriais formam cargas negativas. Por este motivo, a coagulação é induzida pela adição de cátions de valências elevadas. Os coagulantes utilizados no processo de coagulação/floculação são compostos catiônicos polivalentes, geralmente Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} e Ca^{2+} , que neutralizam a cargas elétricas das partículas. Os coagulantes derivados de compostos de alumínio, como o cloreto de alumínio (PAC) e o sulfato de alumínio citados na tabela, são os mais convencionais nos tratamentos de efluentes, sendo o sulfato de alumínio é o coagulante inorgânico mais utilizado no mundo (CAVALCANTI, 2009).

Tabela 2 - Produtos comumente utilizados em tratamentos físico-químicos.

Tipos de Coagulante	Tipos de Floculante	Ajuste de pH
Aluminato de Sódio	Polímeros Catiônicos	Ácido Clorídrico
Bentonita	Polímeros Aniônicos	Ácido Sulfúrico
Cloreto de Alumínio (PAC)	Polímeros Não Iônicos	Carbonato de Cálcio (Cal Hidratada)
Sílica Ativada		Carbonato de Sódio
Sulfato de Alumínio		Carbonato de Sódio (Barrilha)
Sulfato Férrico		Gás Carbônico
Sulfato Ferroso		Hidróxido de Sódio (Soda Cáustica)
		Silicato de Sódio

Fonte: ABIQUIM (2016).

Os polímeros são responsáveis pela floculação das partículas em suspensão transformando-as em partículas maiores que posteriormente são removidas por meio da flotação, decantação e filtração. Os polímeros mais utilizados são os catiônicos e aniônicos. Os polímeros catiônicos são eficientes quando aplicados a sólidos em suspensão carregados negativamente. São geralmente empregados em tratamentos de indústrias têxteis, papel e celulose, usinas de açúcar, cervejarias e efluentes contendo produtos químicos orgânicos. Os polímeros aniônicos são eficientes para sólidos em suspensão carregados positivamente, geralmente aplicados em efluentes oriundos de siderúrgicas, galvanoplastia, processos metalúrgicos entre outros (CAVALCANTI, 2009).

Para efetuar o processo de coagulação/floculação é, geralmente, necessária a neutralização do efluente por meio do ajuste de pH. Os agentes neutralizantes mais utilizados são citados na Tabela 2, destacando-se o carbonato de cálcio, cal ou calcário, e o hidróxido de sódio, mais conhecido como soda cáustica. Para abaixamento do pH, os reagentes mais utilizados são o ácido sulfúrico e ácido clorídrico.

2.5.3 Tratamentos por meios físicos

Os tratamentos convencionais por meios físicos englobam as operações unitárias que envolvem métodos físicos para a clarificação de águas e efluentes. Os

métodos mais conhecidos são a separação de sólidos grosseiros por meio de grades e peneiramento, tanques de equalização, separação de óleo por gravidade e sedimentação.

A sedimentação é um processo natural de separação de fases sólido-líquido que tem como princípio a ação da gravidade. Nos tratamentos de efluentes, a sedimentação é utilizada para a separação de areia, sólidos sedimentáveis, lodos biológicos e químicos (CAVALCANTI, 2009).

2.5.4 Tratamentos por membranas

Conforme Mancuso (2003), o uso de membranas semipermeáveis é uma tecnologia recente no campo de tratamento e purificação de água. Calvacanti (2009) afirma que esta modalidade vem sendo cada vez mais difundida e obtendo grande êxito, sendo aplicado em processos mais avançados e permitindo inclusive a reciclagem para finalidades nobres.

A ABIQUIM (2016) define membrana como uma película fina que separa duas fases e atua como uma barreira seletiva para transportar o material. Para a água fluir através da membrana é necessário algum tipo de força motriz, geralmente a pressão hidráulica para promover a separação.

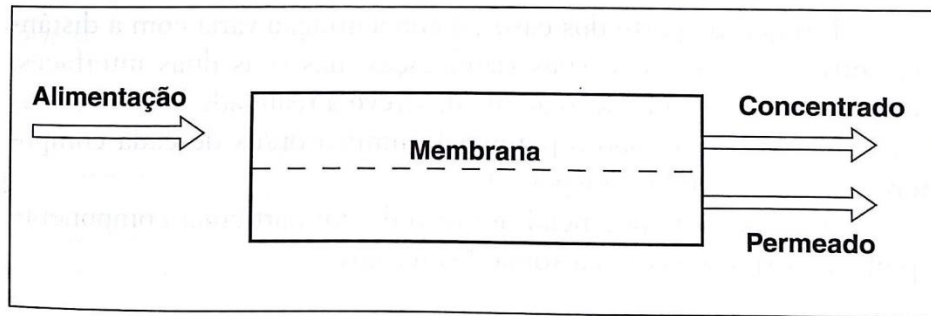
Mancuso (2003) explica que quando uma membrana semipermeável é utilizada para separação de soluções em água, esta passa pelos poros em decorrência da força motriz que comanda o processo, separando parte de suas impurezas originais na forma de um concentrado, como é mostrado na Figura:

De acordo com Cavalcanti (2009), há quatro tipos de separação utilizando membranas:

- **Microfiltração:** é o mais antigo processo de separação utilizando membranas. São utilizadas membranas porosas com diâmetro variando de 0,1 a 3 μm . A pressão de operação varia de 30 a 170 kPa.
- **Ultrafiltração:** situa-se entre a micro e a nanofiltração. O diâmetro dos poros fica na faixa de 0,025 a 0,1 μm , e a pressão de operação se encontra entre 70 a 190 kPa.
- **Nanofiltração:** na nanofiltração o diâmetro dos poros é na ordem de 0,001 μm , sendo que a pressão varia entre 500 a 3500 kPa.

- Osmose reversa: As membranas de osmose reversa apresentam poros com diâmetro menor que $0,001 \mu\text{m}$, A pressão de operação variam entre 1500 kPa até 15000 kPa.

Figura 3 - Ilustração do processo de separação de soluções em água por meio de membranas e a formação do concentrado de impurezas.



Fonte: Mancuso (2013).

Mancuso (2003) cita que o emprego de membranas apresenta algumas vantagens em relação a outras tecnologias, como exemplo o fato de a operação poder ser realizada em temperatura ambiente, já que não necessita de troca de fase; não há necessidade de regeneração, visto que a separação ocorre sem acúmulo de impurezas no interior dos poros e, deste modo, o sistema é projetado para trabalhar continuamente, sem ciclos de regeneração. Além disso, neste tipo de tecnologia não há necessidade de aditivos químicos, como os processos convencionais de clarificação.

2.5.5 Tratamentos por Processos Oxidativos Avançados (POA)

Processos oxidativos avançados, ou POA, é uma classe de tecnologias de tratamento de água que podem ser adicionados a tratamentos de efluentes com uma ampla gama de aplicações (ABIQUIM, 2016).

O processo baseia-se no potencial de algumas substâncias em oxidar outras substâncias orgânicas e inorgânicas. A oxidação completa converte um composto orgânico específico em gás carbônico (CO_2) e água, embora isto quase nunca aconteça devido à presença de contaminantes.

Os processos oxidativos avançados estão sendo cada vez mais empregados no tratamento de determinados tipos de despejos industriais contendo substâncias orgânicas recalcitrantes à ação biológica de microrganismos, ou seja, despejos onde o nível de biodegradação é considerado baixo ou até nulo (CAVALCANTI, 2009).

As substâncias oxidantes mais utilizadas nos processos oxidativos, são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Agentes oxidantes mais empregados e seus respectivos potenciais de oxidação.

Oxidantes	Potencial de Oxidação (V)
Flúor	3,06
Oxigênio (atômico)	2,42
Radical Hidroxila (\bullet OH)	2,80
Ozônio	2,20
Peróxido de Hidrogênio	1,78
Cloro	1,36

Fonte: Cavalcanti (2009).

Por meio da Tabela 3, observa-se que o agente oxidante com maior potencial de oxidação eletroquímica é o flúor, com potencial correspondente a 3,06 V. O cloro possui potencial de oxidação mais baixo em relação ao flúor, correspondente a 1,36, porém é um dos mais utilizados nos processos oxidativos classificados como clássicos. Já os agentes ozônio e peróxido de hidrogênio são altamente empregados nos processos oxidativos avançados.

O objetivo de qualquer tratamento oxidativo avançado é gerar e utilizar o radical \bullet OH livre, que é um forte agente oxidante capaz de destruir compostos que não podem ser oxidados por oxidação convencional. A reação de oxidação consiste em romper as ligações químicas e transferir elétrons do contaminante para o oxidante. Deste modo, o contaminante é oxidado enquanto o oxidante é reduzido.

As combinações entre os oxidantes mais conhecidas são (Cavalcanti, 2009):

- Peróxido de Hidrogênio/Ultravioleta/Ferro;
- Peróxido de hidrogênio/Ferro (Fe^{2+}) – Reação de Fenton;
- Ozônio/ Ultravioleta;

- Ozônio/Peróxido de Hidrogênio;
- Ozônio/Peróxido de Hidrogênio/Ultravioleta.

O peróxido de Hidrogênio (H₂O₂) é um dos reagentes mais característicos dos processos oxidativos avançados. Apesar de ser bastante reativo, é relativamente estável e de fácil aquisição. O peróxido de hidrogênio pode ser aplicado diretamente em águas residuárias ou em combinações com outros oxidantes como é mostrado na Tabela 4 (CAVALCANTI, 2009).

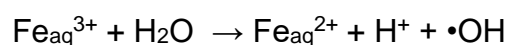
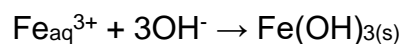
Tabela 4 – Combinações do peróxido com oxidantes e os principais poluentes alvos.

Tipos de combinações	Poluentes Alvos
Aplicação direta	Cianetos, Sulfetos, Sulfitos, Nitritos, DQO e Metais pesados.
POA – Fenton	Fenóis, corantes, derivados de petróleo, DQO.
POA Ozônio e Peróxido	Amônia, corantes, recalcitrantes em geral.
POA e Peróxido ativado com UV	Fenóis, corantes e DQO.

Fonte: Cavalcanti (2009).

A aplicação de peróxido de hidrogênio para a reação de Fenton vem sendo bastante empregado em tratamentos de efluentes. O processo Fenton consiste em um processo catalítico homogêneo em fase aquosa que utiliza sais de ferro (Fe²⁺) como catalisador e o peróxido como agente oxidante em meio ácido.

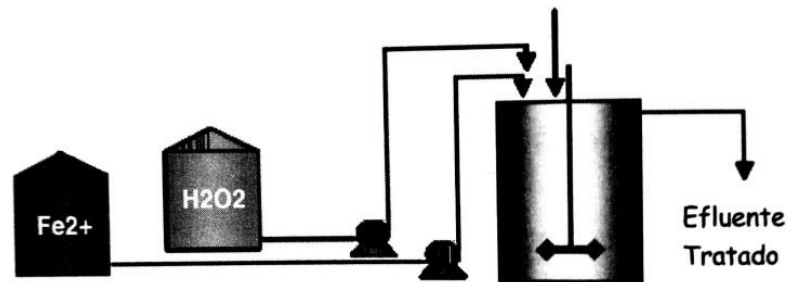
O ferro adicionado ao peróxido gera radicais hidroxilados, como mostra as equações:



A

Figura 4 ilustra o fluxograma do processo Fenton empregado em tratamentos de efluente.

Figura 4 – Fluxograma representativo de processo Fenton aplicado a tratamento de efluentes.



Fonte: Peróxidos do Brasil (S/D) apud Cavalcanti (2009).

O processo Fenton vem obtendo êxito para a remoção de cor e redução das concentrações de DQO e DBO em diversos tipos de despejos industriais. Segundo Rodrigues et al (S/D), análises realizadas em efluente oriundo de lavagem de recicladora de plásticos aplicando-se o processo Fenton, foi eficiente na redução de 91,2% das concentrações de DBO e 87,2% na concentrações de DQO.

Carissimi e Rosa (2012) analisaram aplicação do processo Fenton para tratamento de chorume proveniente de aterro de resíduos sólidos urbanos. Foi constatado que houve uma remoção em torno de 80% nos valores de DQO e a viabilidade no emprego do processo.

2.6 PROJETO E EXECUÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Para a inicialização de um projeto de estação de tratamento de efluentes vários fatores são importantes e devem ser levados em consideração. A caracterização do efluente gerado no processo é essencial para determinar qual tipo de tecnologia é mais eficaz para a remoção ou redução das concentrações dos poluentes monitorados.

É extremamente importante verificar também a vazão de efluente, geralmente em m^3/h ou m^3/dia , para o dimensionamento de uma estação que atenda a capacidade de tratamento e, através da vazão, verificar a viabilidade da

implantação de um tratamento contínuo ou em batelada. Cavalcanti (2009) ressalta que, no caso de indústrias que possuem vários processos geradores de efluentes que operam independentemente, é conveniente montar um balanço de massa individualizado para cada processo e complementar com um balanço de massa global.

A área disponível para a implantação também é um fator de importância para o dimensionamento da estação, pelo fato de que alguns tipos de tratamento requerem áreas maiores em relação a outras tecnologias. A escolha do tipo de tecnologia a ser empregada não dependerá somente das características do efluente, mas também da natureza do corpo receptor que determinará o grau de tratamento, e também das possibilidades de reúso do efluente pós tratado e qual tipo do reúso específico será aplicado (CAVALCANTI, 2009).

3 METODOLOGIA

3.1 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE TRATAMENTO ATUAL

Para realizar a avaliação dos parâmetros físico-químicos do efluente e da eficiência do tratamento aplicado, foram coletados os resultados de monitoramento do efluente bruto e efluente tratado dos últimos cinco anos, por meio de levantamento dos formulários de registro da empresa. Esta avaliação do histórico do efluente foi realizada, pois é essencial avaliar o comportamento e as características do efluente bruto gerado no processo, e assim verificar a eficácia do tratamento atualmente aplicado atualmente. Para melhor entendimento dos dados, realizou-se a média anual de cada parâmetro monitorado.

Após a identificação dos dados de monitoramento, realizou-se a comparação com os valores exigidos pela legislação mais restritiva. Deste modo, conseguiu-se diagnosticar a eficiência do tratamento empregado em relação ao cumprimento da legislação e também se a qualidade do efluente tratado é adequada para reúso no processo produtivo.

Entretanto, alguns parâmetros de qualidade da água, como cor, condutividade, turbidez, ferro e dureza total não são atualmente monitorados no efluente tratado. Segundo Diniz (2009), estes parâmetros citados são considerados importantes para se obter um diagnóstico mais efetivo sobre a qualidade do efluente para reúso no processo. As análises físico-químicas desses parâmetros foram realizadas pelo Laboratório de Águas e Efluentes Industriais situado no IPARQUE/UNESC.

Além do diagnóstico prévio da eficiência do tratamento, realizado pelo levantamento dos dados de monitoramento coletados, o funcionamento da estação de tratamento foi acompanhado *in loco*, observando a realização das bateladas e analisando o procedimento operacional interno.

Foram registradas as quantidades necessárias de agentes químicos para a elevação do pH, agentes coagulantes e floculantes e também a remoção e descarte do lodo gerado. Analisou-se também a estrutura dos equipamentos para o tratamento e os reservatórios de efluente bruto e tratado.

As informações coletadas foram usadas para a avaliação final da eficiência da estação de tratamento e para propor ações de melhoria, com objetivo de aprimorar seu desempenho e reusar o efluente tratado no processo.

3.2 ENSAIOS DE BIODEGRADABILIDADE

Para verificar a possibilidade de implantação de um sistema de tratamento biológico adicional ao tratamento do efluente da indústria de tintas, é fundamental considerar alguns quesitos importantes, dentre eles a biodegradabilidade do lodo.

Para avaliar as condições de biodegradabilidade do efluente deve-se considerar os parâmetros de Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Biológica de Oxigênio (DBO) (CETESB, 2009). A biodegradabilidade do efluente é obtida através dos ensaios de Taxa de Depleção de Oxigênio, que fornece a relação entre a quantidade de oxigênio em miligramas consumida por grama de sólidos em suspensão voláteis contidos na biomassa por hora.

A Taxa de depleção de oxigênio é obtida por determinação da taxa de consumo de oxigênio (R_r), que por sua vez é determinada por meio de um eletrodo de oxigênio dissolvido (OD), que mensura o decaimento do oxigênio por um intervalo de tempo. O ensaio consiste em colocar o eletrodo de oxigênio dissolvido em contato com a amostra de efluente sob agitação constante e medir o teor de OD em intervalos de tempo de 30 segundos. Após obtenção dos dados de OD, plota-se uma curva com os valores de OD em função do tempo. A Taxa de Consumo de Oxigênio é obtida pela tangente da parte reta da curva. A Figura 5 mostra o equipamento leitor de oxigênio dissolvido utilizado no ensaio.

A Taxa de Depleção de Oxigênio pode ser encontrada por meio da equação 3:

$$TDO = \frac{\text{Taxa de Consumo de Oxigênio } (R_r)}{\text{tempo} \times \text{Sólidos Suspensos Voláteis}} \quad (3)$$

O valor de sólidos suspensos voláteis foi determinado através de testes realizados pelo Laboratório de Águas e Efluentes Industriais, situado no IPARQUE/UNESC.

Figura 5 – Leitor de oxigênio dissolvido do fabricante YSI, modelo pró ODO, semelhante ao utilizado nos ensaio.



Fonte: Tecnal (2017).

3.3 ENSAIOS DE TRATABILIDADE: SUBSTITUIÇÃO DO AGENTE NEUTRALIZANTE

Para verificar a eficácia de agentes neutralizantes no tratamento físico-químico empregado na empresa, realizaram-se experimentos em três bateladas denominadas de “piloto”, substituindo o carbonato de cálcio, comumente denominada de cal e que é utilizada atualmente no processo de tratamento, por uma solução de hidróxido de sódio, comumente denominada soda cáustica, com concentração de 40% fornecida pela empresa Waltrick.

A adição de hidróxido de sódio foi realizada manualmente até atingir a faixa de trabalho do pH, que encontra-se entre os valores de 10 e 11. Posteriormente, adicionou-se o policloreto de alumínio (PAC) de nome comercial ZN PAC 18, fornecida pela Waltrick e o polímero catiônico também fornecida pela Waltrick, em solução a 15%, conforme o procedimento padrão interno. Após a homogeneização completa dos reagentes, coletou-se em um béquer de vidro uma alíquota de 1000 mL de amostra, e acompanhou-se a sedimentação do lodo formado. Este procedimento foi realizado em triplicata. A quantidade de sólidos totais

presentes no sobrenadante das amostras após a retirada do lodo foi mensurada com equipamento determinador de umidade, como ilustra a Figura 6.

Figura 6 – Determinador de umidade (Quimis) utilizado no ensaio de sólidos totais.



Fonte: Autora (2017).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 O PROCESSO PRODUTIVO DE TINTAS IMOBILIÁRIAS A BASE DE ÁGUA

A estação de tratamento de efluentes, que é objeto de estudo deste trabalho, situa-se em uma empresa de tintas e solventes que atua há mais de 30 anos no mercado. Uma de suas unidades é dedicada exclusivamente à produção de complementos e tintas arquitetônicas à base de água. Em seu portfólio, possui uma classe de tinta denominada de tinta de alto rendimento, que aceita altas taxas de diluições. Para possuir este diferencial, o produto possui elevado teor de sólidos, o que torna o efluente gerado do processo produtivo extremamente característico.

As condições do efluente bruto oriundo do processo sofrem grandes variações, sendo considerado um efluente instável. Isto se deve ao fato de que são fabricados produtos com características diferentes e, conseqüentemente, dependendo da demanda de produção podem alterar as condições do efluente.

A produção de tintas imobiliárias a base de água consiste basicamente em um processo de mistura das matérias-primas constituintes. Baseia-se em dispersões aquosas conhecidas como emulsões acrílicas, misturadas com água, cargas minerais, pigmentos e aditivos. A composição geral da tinta arquitetônica formuladas na empresa e as concentrações de cada componente estão dispostas na Tabela 5.

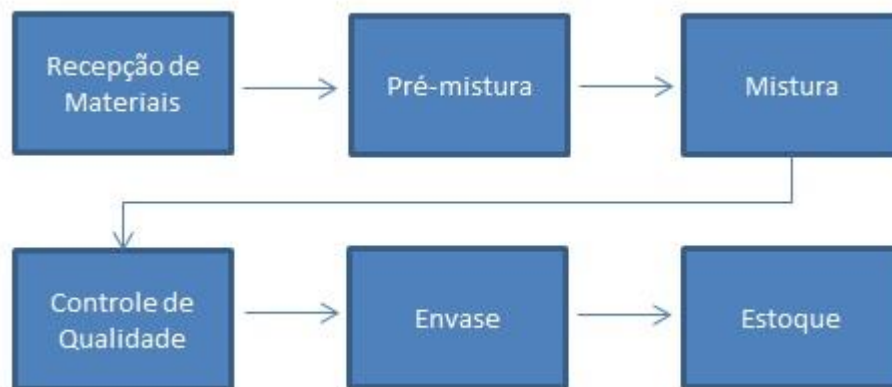
Tabela 5 - Composição geral de uma tinta arquitetônica formulada na empresa alvo do estudo.

Matéria-Prima	Concentração (%)
Água	28 – 40
Resina (Emulsão Acrílica)	22 – 38
Cargas minerais	04 – 33
Pigmentos	06 – 20
Aditivo antiespumante	0,10 – 0,15
Aditivo umectante e dispersante	0,40 – 0,50
Aditivos Surfactantes	0,30 – 0,35
Aditivo Bactericida	0,10 – 0,15
Aditivo Fungicida	0,15 – 0,25
Aditivo Coalescente	1,50 – 2,50
Aditivo Amoníaco	0,10 – 0,25
Aditivo Inibidor de corrosão	0,10 – 0,15
Aditivo Espessante	0,30 – 2,00

Fonte: Autora (2017).

O processo da fabricação da tinta arquitetônica da empresa é ilustrado pela Figura 7 e pode ser dividido em seis setores principais.

Figura 7 - A fabricação da tinta em setores



Fonte: Autora (2017).

Na recepção de materiais há o recebimento das matérias-primas citadas anteriormente e das embalagens necessárias para o envase dos produtos. As matérias-primas são cadastradas e rotuladas com o código interno e seguem para o estoque de matérias-primas.

O processo de produção das tintas inicia-se no setor de pré-mistura. Nesta etapa, os pigmentos que chegam do fornecedor em forma de pó, são misturados com emulsão, água e aditivos e sofrem o processo de moagem em moinhos com esferas de zircônio, formando os concentrados de pigmentos.

No setor de Mistura, acontece a formulação da tinta arquitetônica. A água, emulsão acrílica, concentrado de pigmentos, cargas minerais e aditivos são adicionados em um tanque. A mistura é dispersa com o auxílio de cowles por um tempo pré-determinado.

Após a dispersão, a tinta é encaminhada ao setor de controle de qualidade onde são realizadas as análises de parâmetros como densidade, viscosidade, poder de cobertura, lavabilidade e acerto de cor. Com a aprovação dos parâmetros analisados, o lote de tinta é liberado e encaminhado ao setor de Envase.

Nesta etapa o lote é envasado, etiquetado, plastificado e encaminhado para o Estoque. Depois de finalizado este ciclo, acontece o “setup”, ou seja, os moinhos, tanques, cowles (dispersores) e outros equipamentos utilizados na formulação da tinta são lavados com água com intuito de evitar a contaminação do próximo lote a ser produzido. A água utilizada para a lavagem é encaminhada para a estação de tratamento de efluente (ETE) e é submetida ao tratamento físico-químico.

A água é uma das matérias-primas mais utilizadas na formulação dos produtos da linha de tintas imobiliária. De acordo com os dados fornecidos pela empresa, de 1 de janeiro à 1 de junho de 2017, já foram consumidos aproximadamente 1 milhão e 500 mil litros de água, cerca de 300 mil litros por mês. Esta vazão foi consumida somente como matéria-prima dos produtos. Este consumo é considerado baixo, pois a demanda de produção neste primeiro semestre de 2017 foi considerada de baixa intensidade em comparação com os últimos semestres, onde o consumo já chegou o dobro do volume consumido até junho deste ano.

O volume consumido de água utilizada para a lavagem dos equipamentos utilizados na produção, no mesmo período, foi entre 1500 a 3000 litros por dia, aproximadamente 45 mil litros por mês, considerando 20 dias de trabalho. No total 345 mil litros de água foram consumidos por mês diretamente para a produção de tintas e 13 % deste valor são destinados para limpeza de tachos e outros equipamentos.

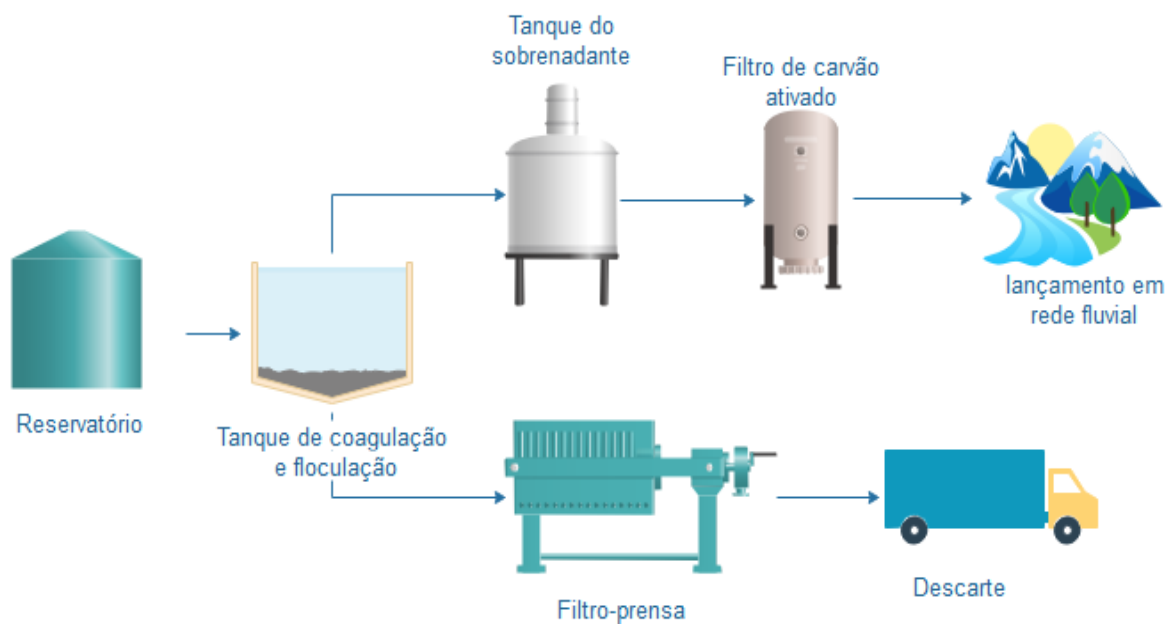
4.2 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE TRATAMENTO ATUAL

Como já apresentado, a geração do efluente oriundo da fabricação de tintas a base de água é proveniente das etapas de lavagem dos equipamentos que são utilizados na formulação da tinta para o início da produção de um lote com características diferentes. A Figura 8 apresenta o fluxograma simplificado do processo de tratamento aplicado ao efluente.

O efluente gerado pelo processo de produção de tintas é enviado para o tanque reservatório, com capacidade total de 11000 kg, e submetido a um processo de tratamento físico-químico feito a batelada. O tanque de floculação-decantação é carregado com 1600 kg de efluente por batelada.

Após o carregamento no tanque de floculação-decantação, é realizada a adição de aproximadamente 2 kg de carbonato de cálcio. Este reagente é adicionado para a elevação do pH até a faixa de trabalho, na faixa entre 10 e 11. A mistura é homogeneizada através de aeração, até completa dissolução do carbonato.

Figura 8 – Fluxograma do sistema de tratamento empregado atualmente na empresa: das etapas do tratamento até lançamento do efluente tratado na rede fluvial.



Fonte: Autora (2017).

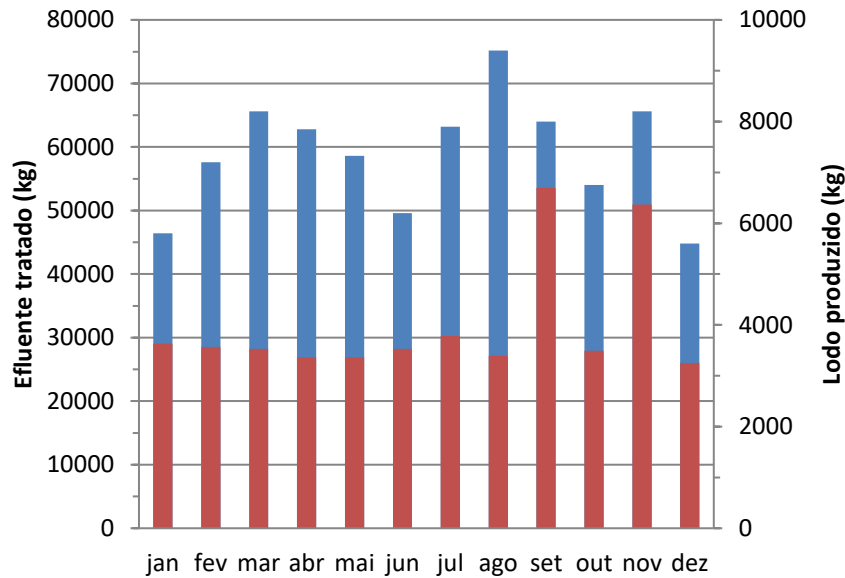
Em seguida, adiciona-se aproximadamente 5 kg de policloreto de alumínio (PAC), responsável pela coagulação das partículas. A mistura é, então, homogeneizada por cerca de dez minutos. Em seguida, adiciona-se uma solução aquosa de polímero catiônico com concentração de 15% previamente formulada, que tem como função a criação de flocos, que potencializa o processo de sedimentação e formação do lodo. O lodo é enviado para um filtro-prensa, onde o excesso de água é removido, em seguida é pesado e enviado para o descarte em aterro sanitário. O sobrenadante líquido é submetido a testes *in loco* de pH e sólidos sedimentáveis e, em seguida, é descartado em uma rede fluvial.

As quantidades adicionadas de carbonato de cálcio, policloreto de alumínio e polímero catiônico podem sofrer variações de acordo com as características do efluente. Existem tipos de tintas que possuem maior quantidade de sólidos, proveniente das cargas minerais e pigmentos, como exemplo, as tintas acrílicas de acabamento fosco. Se lotes destas tintas são produzidos em maior quantidade, o efluente gerado possuirá um maior teor de lodo a ser removido, conseqüentemente.

A Figura 9 apresenta o levantamento da quantidade de efluente tratado e a quantidade de lodo gerado devido ao tratamento, no ano base de 2016 respectivamente. Observa-se que a quantidade de efluente tratado no ano de 2016 foi de 663000 kg, aproximadamente, enquanto que a quantidade de lodo gerado foi de aproximadamente 48000 kg. Em termos médios, foram tratados 59000 kg de efluentes, gerando cerca de 4000 kg de lodo mensais, que representa uma remoção de 7%. A quantidade média de logo gerada por batelada de tratamento é de 110 kg.

Através da Figura 9 também se observa que entre janeiro e agosto a quantidade de lodo gerada manteve-se constante, enquanto que um aumento na geração de lodo nos meses de setembro e novembro é observado. Este resultado está em concordância com a variabilidade da produção de tintas, visto que nesses meses houve uma alta produção de tintas com maior teor de sólidos.

Figura 9 – Relação entre a quantidade de efluente tratado (colunas em azul) e a quantidade de lodo gerado (colunas em vermelho) no ano base de 2016.

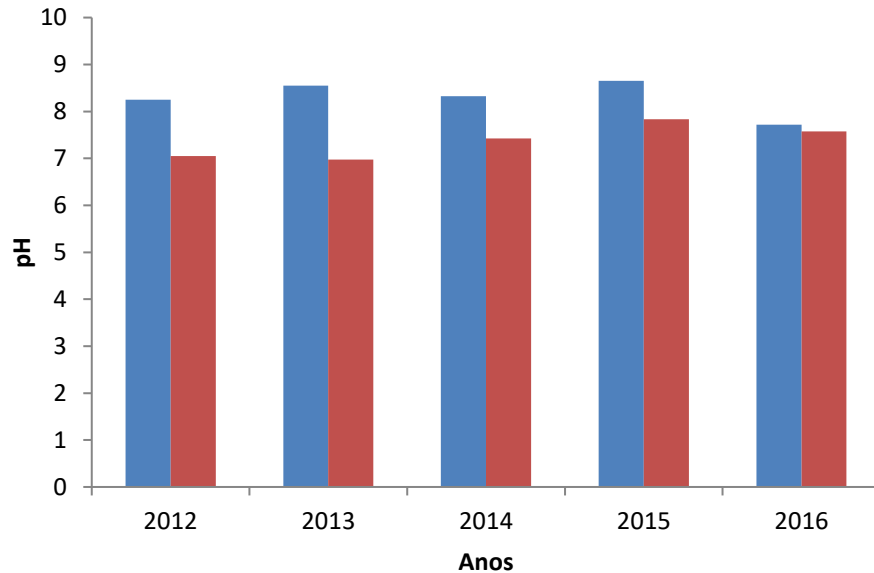


Fonte: Autora (2017).

Para a avaliação dos parâmetros físico-químicos do efluente e da eficiência do tratamento aplicado, os resultados das análises de monitoramento realizadas entre os anos de 2012 e 2016 para os parâmetros Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), pH, óleos e graxas totais, sólidos totais e sedimentáveis foram contabilizados. Para melhor visualização, realizou-se a média dos resultados anuais de 2012 a 2016, para o efluente bruto e tratado.

A Figura 10 apresenta as médias anuais dos resultados obtido de pH para o efluente bruto e tratado, entre os anos de 2012 e 2016. Analisando os dados da figura, observa-se que os valores de pH obtidos para o efluente bruto variam entre 7,7 e 8,6. Os valores de pH do efluente encontram-se nesta faixa devido a ser característico das tintas fabricadas. Já o valor de pH do efluente tratado variou entre 7,1 e 7,83. O abaixamento do pH é ocasionado pelo próprio processo físico-químico em que o efluente é submetido. Os resultados obtidos na estação de tratamento de efluentes estão em concordância com a faixa exigida pela Legislação Estadual 14675/09, que exige que a água, para ser lançada no corpo receptor deve-se encontrar na faixa de pH entre 6 e 9, e que para este parâmetro, é a legislação mais restritiva.

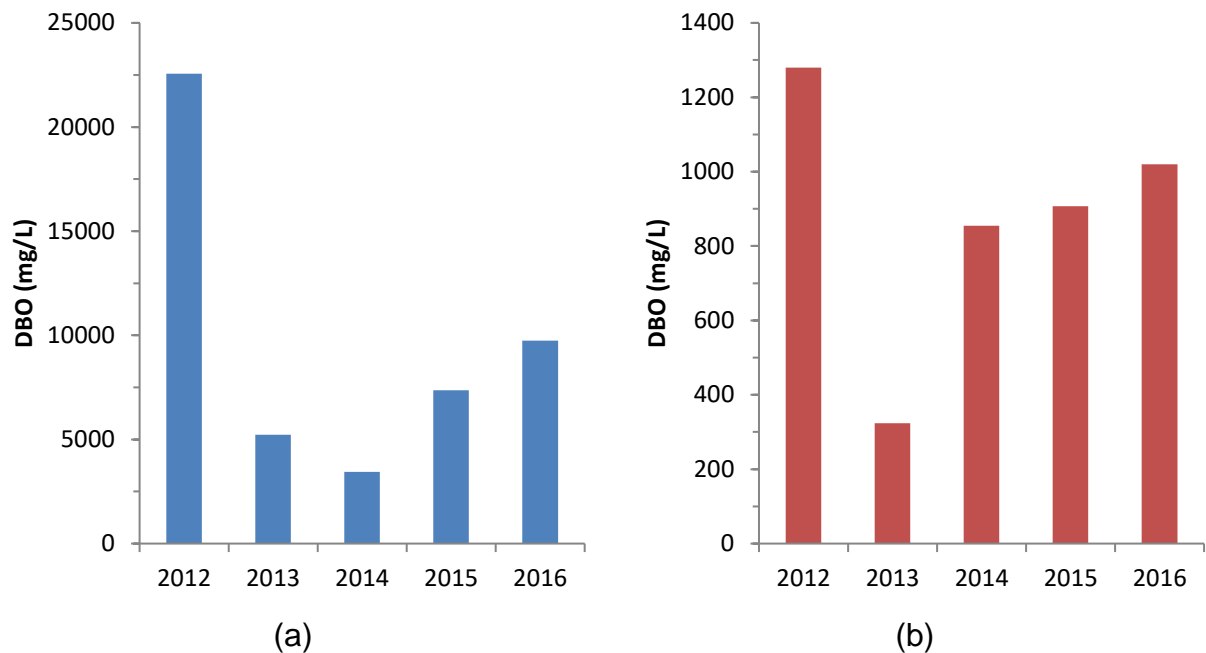
Figura 10 - Médias anuais do monitoramento de pH do efluente bruto (colunas em azul) e do efluente tratado (colunas em vermelho), correspondente aos anos entre 2012 e 2016.



Fonte: Autora (2017).

As Figuras 11 e 12 mostram as médias anuais obtidas pelo monitoramento dos parâmetros de DQO e DBO. As concentrações de DQO começaram a ser monitoradas no ano de 2014. Não há exigência de padrão de lançamento deste parâmetro pela legislação vigente, porém optou-se pelo seu monitoramento, devido a sua relação direta com a DBO, sendo este parâmetro exigido pela legislação.

Figura 11 – Médias anuais do monitoramento de DBO do efluente bruto (a) e do efluente tratado (b), correspondente aos anos entre 2012 e 2016.

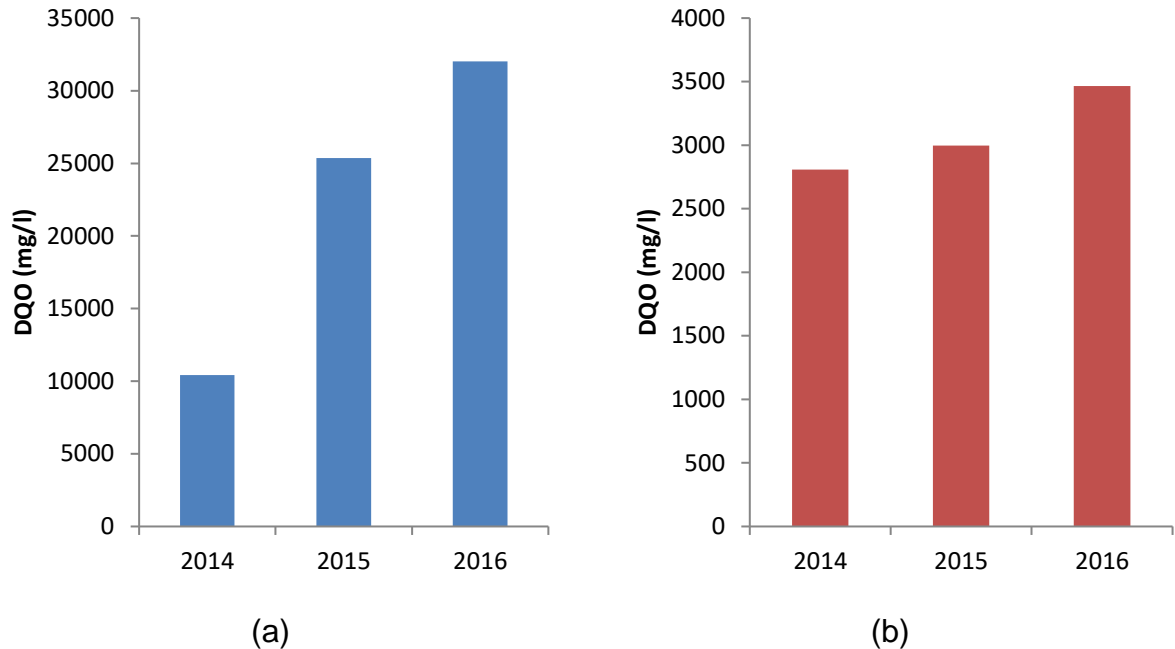


Fonte: Autora (2017).

Conforme apresentado na Figura 11, observa-se que o efluente possui um valor de DBO relativamente alto, se comparado com o valor exigido para lançamento pela legislação de 60mg/L. Esse resultado deve-se, provavelmente, à quantidade elevada de sólidos proveniente de cargas e pigmentos orgânicos em meio aquoso. Apesar da alta concentração de DBO, o tratamento atual do efluente cumpriu com a exigência da legislação estadual, removendo-se mais de 80% da quantidade de DBO apresentada. Entretanto, no ano de 2014 as médias de remoção não se enquadraram na legislação. Ações para a correção desta não conformidade foram tomadas por meio de melhorias na estação de tratamento, sendo que nos anos seguintes, a taxa de remoção de no mínimo 80% voltou a ser atendida, conforme a Legislação Estadual.

O lançamento de um efluente que não está em conformidade com a legislação efetuado em um corpo de água é considerado um crime ambiental, sujeito a multas, prestação de serviços ou até suspensão das atividades. Por esse motivo, a constante avaliação da qualidade do efluente tratado é importante para comprovação do atendimento aos requisitos legais.

Figura 12 – Médias anuais do monitoramento de DQO do efluente bruto (colunas em azul) e do efluente tratado (colunas em vermelho), correspondente aos anos entre 2014 e 2016.



Fonte: Autora (2017).

A Figura 12, por sua vez, apresenta os resultados médios anuais do monitoramento de DQO no efluente bruto e tratado. Conforme já citado anteriormente, a Legislação CONAMA 430/11 não contempla este parâmetro, porém o seu monitoramento é importante para avaliar o comportamento do efluente e a quantidade de oxigênio necessário para oxidar a matéria orgânica presente, conforme descrito por Cavalcanti (2009). Observa-se que o valor da DQO apresentou um comportamento crescente com o passar dos anos, podendo-se diagnosticar que o efluente possui um alto valor de carga orgânica. A remoção média da DQO nos anos apresentados foi de 73,1 % para 2014, 88,1 % para 2015 e 89,1 % para 2016.

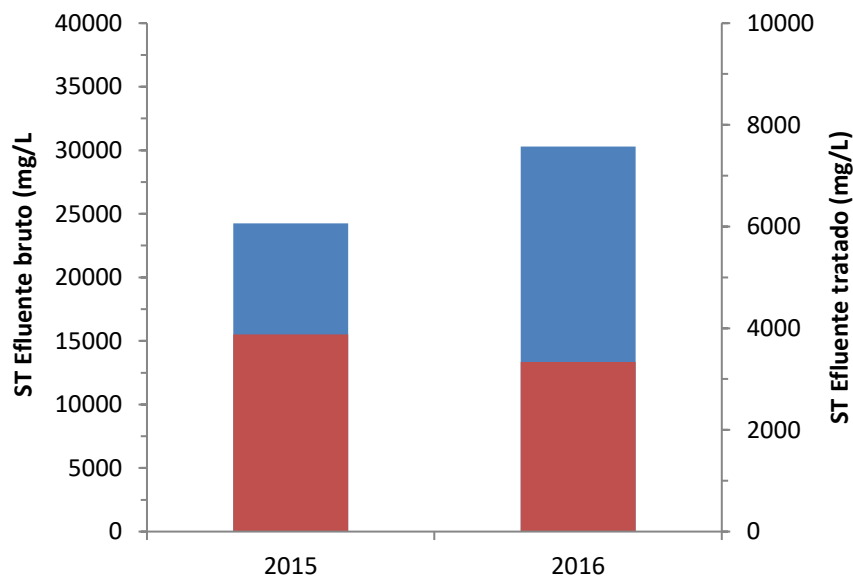
Apesar da alta remoção nos valores de DBO e DQO no efluente tratado, ainda é possível verificar que esses valores são elevados, a média das concentrações obtidas no tratado é 877,3 mg/L para DBO e 3089,58 mg/L para DQO.

Para um possível reúso do efluente tratado no processo produtivo, são necessárias ações complementares para a redução desses valores obtidos após o tratamento atual submetido ao efluente. A presença de um alto índice de material

orgânico na água pode comprometer a qualidade do produto final, podendo acarretar em um apodrecimento da tinta dentro da embalagem. Para esta finalidade, a remoção de DBO e DQO deve ser a máxima possível e testes de estabilidade devem ser realizados para avaliar se água pós-tratamento comprometerá a qualidade do produto. Mesmo se esta água for reutilizada para lavagem de tachos e equipamentos de utilização direta na formulação da tinta, a remoção de DBO e DQO ainda será necessária, porém em padrões bem menos rigorosos.

A Figura 13 apresenta os valores médios obtidos para o parâmetro sólidos totais para o efluente bruto e efluente tratado entre os anos de 2015 e 2016.

Figura 13 – Médias anuais do monitoramento de sólidos totais (ST) do efluente bruto (colunas em azul) e do efluente tratado (colunas em vermelho), correspondente aos anos entre 2012 e 2016.



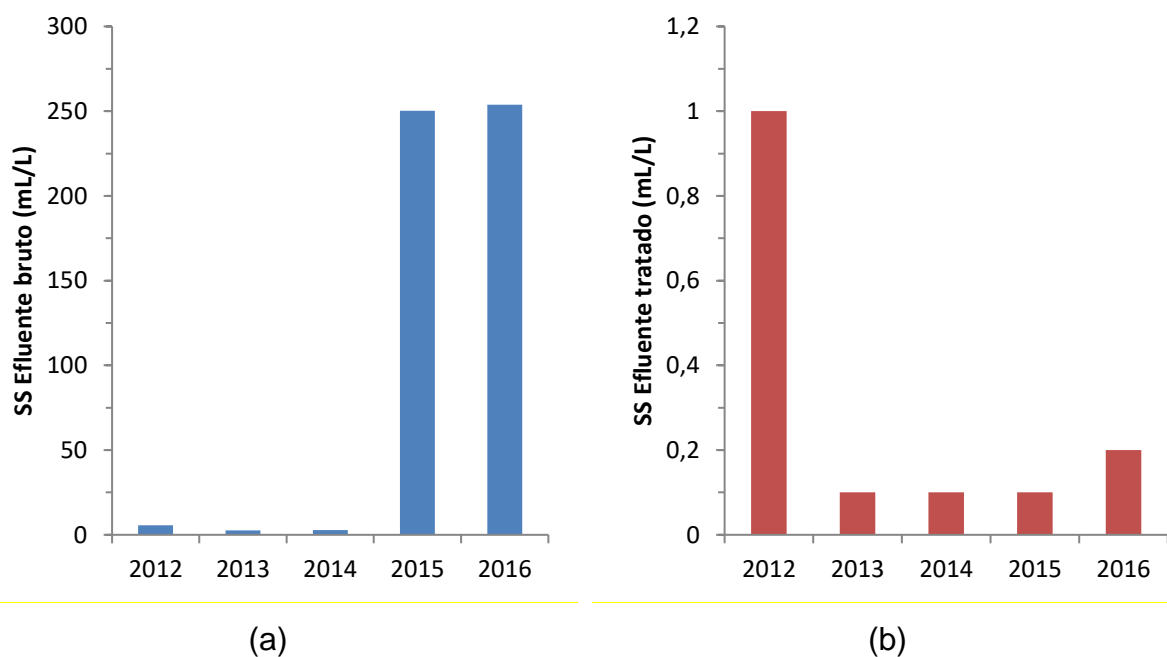
Fonte: Autora (2017).

Nota-se que a quantidade de sólidos totais do efluente bruto é consideravelmente grande. Nos anos de 2015 e 2016, a produção de tintas aumentou significativamente em comparação com os anos anteriores. Não foi possível obter dados específicos do volume total produzido nestes anos, porém é possível estimar que a produção de tintas de alto rendimento, que apresenta em sua composição cargas minerais e pigmentos que elevam a quantidade de sólidos do produto, tenha acompanhado o crescimento.

Conforme citado anteriormente, a legislação CONAMA 430/11 exige a redução de 20% dos sólidos totais em relação ao efluente bruto. Atentando-se a figura, observa-se que esta remoção é atendida, com valores de remoção de 84 % para o ano de 2015 e 88,9 para o ano de 2016. Entretanto, a quantidade de sólidos totais presentes do efluente após o tratamento ainda é considerada alta. Não é recomendado o reúso de um efluente tratado que possui alto teor de sólidos. Caso esse efluente seja utilizado, por exemplo, para lavagem de um tacho de formulação, após a evaporação da água os sólidos poderão ficar contidos no equipamento, e posteriormente, podem prejudicar a qualidade do produto que será produzido neste mesmo tacho.

As Figuras 14 e 15 apresentam as médias anuais obtidas para os sólidos sedimentáveis e óleos e graxas totais presentes no efluente bruto e tratado. Observa-se que os valores obtidos para os parâmetros sólidos sedimentáveis e óleos e graxas totais sofreram grandes oscilações nos últimos anos, tanto para o efluente bruto como para o efluente tratado.

Figura 14 – Médias anuais do monitoramento de sólidos sedimentáveis (SS) do efluente bruto (colunas em azul) e do efluente tratado (colunas em vermelho), correspondente aos anos entre 2012 e 2016.

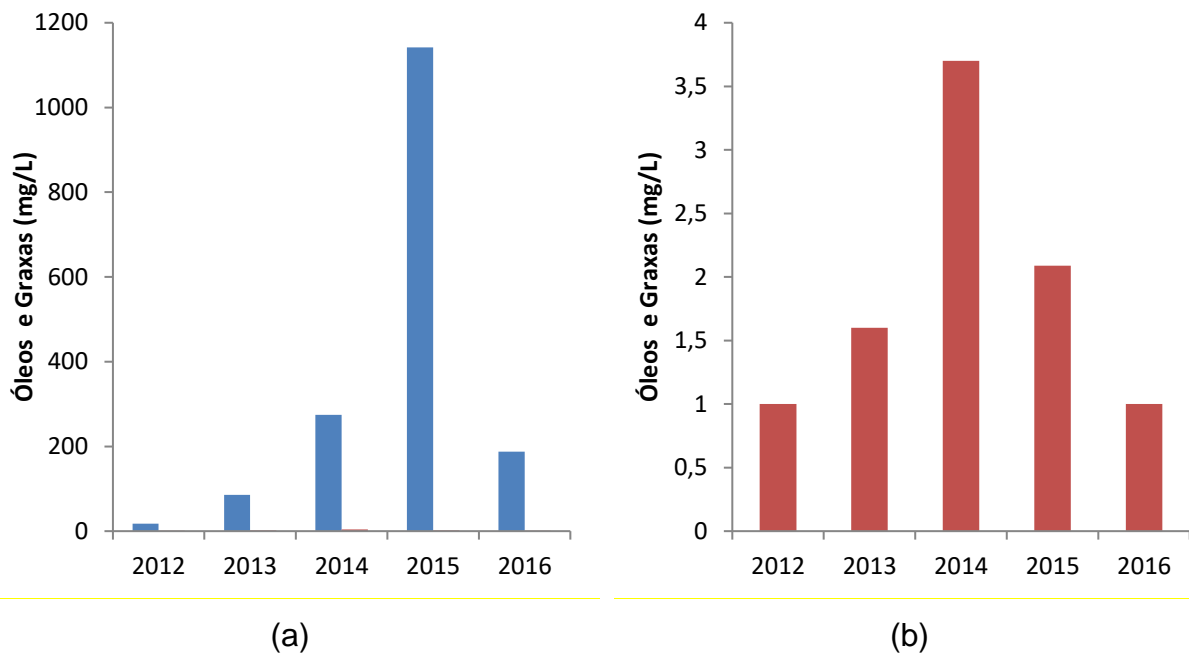


Fonte: Autora (2017).

Nos anos de 2015 e 2016, foi observado um considerável aumento na produção de tintas de alto rendimento, que apresentam maiores concentrações de

cargas e pigmento, o que pode justificar o aumento significativo da presença de sólidos sedimentáveis em relação aos anos anteriores, como já comentado para o parâmetro sólidos totais. Porém, analisando-se os resultados obtidos para o efluente tratado, em ambos os casos há uma excelente remoção, contemplando a legislação vigente, que exige o padrão para lançamento de 1 mg/L de sólidos sedimentáveis.

Figura 15 – Médias anuais do monitoramento de óleos e graxas totais do efluente bruto (colunas em azul) e do efluente tratado (colunas em vermelho), correspondente aos anos entre 2012 e 2016.



Fonte: Autora (2017).

Nos dados de monitoramento do parâmetro de óleos e graxas foi possível observar que as concentrações apresentam grandes oscilações, destacando-se os valores do ano de 2015 do efluente bruto. Neste ano, a média apresentou-se elevada, devido a um ponto isolado no monitoramento, no valor de 3893 mg/L. O ponto foi considerado apenas de ser um caso isolado e o motivo do elevado valor não foi diagnosticado na ocasião. O resultado do efluente tratado no mesmo monitoramento encontrou-se no valor de 4,15 mg/L, sendo relativamente menor que o exigido pela legislação. Apesar das oscilações, obteve-se o atendimento ao requisito máximo de 30 mg/L, exigida pela Lei Estadual 14.675/09.

Avaliando todos os parâmetros físico-químicos monitorados pela estação de tratamento de efluentes, conclui-se que o sistema atual de tratamento consegue contemplar as exigências da legislação ambiental vigente para descarte em corpos d'água. Porém, a qualidade da água de saída da ETE não é adequada para o seu reúso no processo produtivo. Para reúso do efluente de saída é preciso empregar algumas medidas de melhoria no sistema de tratamento, especialmente no que diz respeito aos parâmetros DBO, DQO e sólidos totais.

Para um completo diagnóstico do efluente tratado, visando seu reúso no processo produtivo, o efluente de saída da ETE foi submetido a análises de cor, turbidez, condutividade e dureza. Estes parâmetros foram analisados, pois, conforme Diniz (2009), são importantes para garantir a integridade e qualidade dos produtos. Os testes listados foram realizados em parceria com o Laboratório de Análises de Efluentes Industriais, localizado no IPARQUE/UNESC. A Tabela 6, apresenta os resultados obtidos e os valores de referência, conforme Portaria nº 2914 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011).

Tabela 6 – Parâmetros avaliados para o efluente tratado pela estação de tratamento de efluentes e valores de referência.

Parâmetro Avaliado	Resultado	Referência
Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)	4750,00	-
Cor aparente (μH)	117	15
Dureza Total (mg/L)	663	500
Ferro Total (mg/L)	0,1	0,3
Turbidez (NTU)	11,2	5

Fonte: Autora (2017).

Avaliando-se os resultados apresentados na Tabela 6, verifica-se que o valor de condutividade é consideravelmente elevado, apesar de não haver valor de referência para este parâmetro. Entretanto, é importante mensurá-lo, pois este parâmetro está diretamente ligado à presença de íons na solução, que dependendo da sua natureza, pode reagir com polímeros da resina, prejudicando a qualidade da tinta.

Os parâmetros cor e turbidez estão, por muitas vezes, relacionados com sólidos em suspensão. Por isto, é importante para a qualidade do produto que estejam em quantidades mínimas na água utilizada. O valor obtido para o parâmetro

de cor está bastante elevado, cerca de 8 vezes o valor de referência. Os valores turbidez e dureza também se apresentaram levemente acima do permitido. O parâmetro de ferro total foi o único que encontrou-se abaixo do valor de referência.

Com base em todos os resultados obtidos e apresentado, conclui-se que a qualidade atual do efluente de saída não é adequada para o seu retorno no processo produtivo, pois nas condições apresentadas há a possibilidade de comprometimento das propriedades da tinta final, podendo prejudicar a sua estabilidade. Contudo, o efluente tratado nestas condições pode ser direcionado para outras utilidades, como lavagens de pátios e equipamentos, desde que não entram em contato com equipamentos destinados à formulação.

4.3 PROPOSTA DE MELHORIA DE DESEMPENHO DO SISTEMA DE TRATAMENTO ATUAL POR SUBSTITUIÇÃO DO AGENTE NEUTRALIZANTE

O tratamento físico-químico implantado para o tratamento de efluentes na indústria de tintas utiliza como forma de neutralização do pH do efluente o carbonato de cálcio. A cal é considerada um ótimo agente neutralizante, porém, segundo Cavalcanti (2009), possui como desvantagem a geração de uma quantidade elevada de lodo. Em despejos com pH entre cinco e nove pode haver, inclusive, a formação de lodo granulado ou incrustante.

Para diminuir a quantidade de lodo descartado, realizam-se teste de substituição da cal por hidróxido de sódio (NaOH), outro agente neutralizante. Ainda conforme Cavalcanti (2009), a soda cáustica além de possuir alta capacidade de reação, tem como produtos finais os sais de sódio, que são considerados solúveis, diminuindo-se a formação de lodos.

A Figura 16 mostra as amostras coletadas após ensaios com adição de cal e adição de soda cáustica, respectivamente, bem como a decantação do lodo formado. Ao realizar a comparação entre a amostra que foi utilizada a cal e a amostra que foi utilizada soda cáustica, observa-se que a amostra com cal (à esquerda) gerou uma quantidade maior de lodo quando comparada com a amostra com soda (à direita). É notável também que a amostra com cal obteve uma quantidade de lodo em suspensão que não decantou, diferente da amostra com soda, que obteve um sobrenadante mais clarificado. A diferença de cor é causada

pela diferença de pigmentação, não sendo causada pela substituição dos agentes neutralizantes.

Figura 16 - Lodo formado pela adição de cal (à esquerda) e adição de soda (à direita) na etapa de neutralização.



Fonte: Autora (2017).

Os resultados médios obtidos nos ensaios de neutralização realizados com a cal e a soda cáustica são apresentados na Tabela 7.

Observa-se que para atingir a faixa de pH ideal de trabalho, que situa-se entre 10 e 11, a quantidade necessária de soda foi de 1 kg, duas vezes menor em relação a quantidade de cal, que foi de 2 kg. Além disso, o volume de lodo formado na amostra com a adição de cal foi de 50% do volume total da amostra, enquanto que para a amostra com adição de hidróxido o volume gerado foi de 30 %. O resultado obtido está de acordo com o apresentado Cavalcanti (2009), visto que os sais de sulfato de cálcio, formados na reação da cal, apresentam baixa solubilidade ocasionando sua precipitação, e conseqüentemente, maior geração de lodo.

Tabela 7 – Média dos resultados obtidos utilizando diferentes agentes neutralizantes no tratamento de 1600 kg de efluente (capacidade de uma batelada).

Parâmetros	Agente Neutralizante	
	Cal	Soda Cáustica (40%)
pH inicial	7,8 ± 0,5	7,5 ± 0,5
pH final	10,3 ± 0,3	10,5 ± 0,3
Quantidade adicionada (kg)	2,0 ± 0,6	1,0 ± 0,3
Volume de lodo formado em 1000 mL	500 ± 50	300 ± 50

Fonte: Autora (2017).

A quantidade de sólidos totais, mensurada com um determinador de umidade, tanto do lodo quanto do sobrenadante, são apresentadas na Tabela 8..

Tabela 8 - Resultados de sólidos totais obtidos pelo determinador de umidade da amostra após o tratamento e sólidos totais somente do sobrenadante utilizando a cal e soda cáustica respectivamente.

Agente Neutralizante	Sólidos Totais (%)	Sólidos Totais do Sobrenadante (%)
Cal	5,62	0,10
Soda Cáustica 40 %	1,72	0,074

Fonte: Autora (2017).

De acordo com a Tabela 8, o percentual de sólidos totais da amostra com soda é 30,6 % menor em relação a amostra com cal. Este fato comprova a redução de lodo gerado com a utilização de soda cáustica. Também houve uma diminuição de sólidos do sobrenadante, resultado que pode ser observado na Figura 165, onde a amostra com cal, à esquerda, possui uma quantidade maior de sólidos em suspensão. Deste modo, pode-se concluir que o uso de soda como agente neutralizante, não só reduziu a geração de lodo, mas também resultou em um efluente tratado de maior qualidade.

Uma avaliação econômica foi realizada para verificar a viabilidade da substituição da soda por cal no tratamento do efluente da indústria de tintas. Para isso, tomaram-se como base os resultados obtidos para o tratamento de uma batelada de 1600 kg de efluente e os resultados podem ser observados na Tabela 9.

Os valores dos agentes neutralizantes e do custo do descarte de lodo foram fornecidos pela empresa.

Tabela 9 – Avaliação econômica da substituição do agente neutralizante no tratamento de uma batelada de efluente bruto (1600 kg).

Agente Neutralizante	Cal	Soda Cáustica
Preço do agente neutralizante (R\$/kg)	0,70	1,70
Preço do descarte de lodo (R\$/kg)	0,215	0,215
Quantidade de lodo formado por batelada (kg)	89,92	27,59
Custo de descarte de lodo por batelada (R\$)	27,07	10,08

Fonte: Autora (2017).

Apesar de que o preço da soda ser mais elevado em comparação com a cal, o preço final de descarte foi reduzido em 63,5 %. Isto foi possível visto que para tratar a mesma quantidade de efluente foi necessária a metade da quantidade de soda em relação a cal. Além disso, como o tratamento com soda gerou menor quantidade de lodo, o custo com o descarte também foi menor, podendo a substituição do agente neutralizando gerar uma economia para a empresa.

4.4 AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO EFLUENTE PARA IMPLANTAÇÃO DE TRATAMENTO BIOLÓGICO

Para a implantação de sistemas de tratamento biológico, é considerada uma relação entre a concentração de DQO e DBO. Por meio da DQO, permite-se identificar a presença de poluentes orgânicos persistentes ou recalcitrantes, enquanto que por meio da DBO permite-se somente a parcela biodegradável.

Quanto mais próxima for a concentração de DBO da concentração de DQO, mais fácil será a biodegradação do efluente. Segundo Jardim e Canela (2009), se a relação DQO/DBO for menor de 2,5 o efluente será facilmente biodegradável. Se a relação estiver entre 2,5 e 5 este efluente exigirá cuidados na escolha do processo biológico, podendo não ser eficaz. Se a relação DQO/DBO for maior que cinco, o efluente possui mínima condição de biodegradação.

Na Tabela 10 estão as médias anuais da concentração de DQO e DBO obtidas no efluente bruto dos últimos três anos e a relação entre os parâmetros.

Observa-se que a razão entre as concentrações de DQO e DBO obtida possuem valores entre 3,04 e 3,44, ou seja, situam-se na faixa considerada crítica para biodegradabilidade (entre 2,5 e 5,0). Deste modo, a implantação de um tratamento biológico pode ser arriscada e sua eficiência não é garantida. Estes valores mostram que a maior parte da matéria orgânica presente no efluente é material recalcitrante, não sendo biodegradável. Como o efluente gerado é proveniente das limpezas realizadas, é composto por restos de tintas que são retirados dos tachos. A tinta é composto por emulsão acrílica, aditivos, de origem sintéticas e pigmentos que não são propícios a biodegradação da matéria orgânica.

Tabela 10 – Médias anuais de DQO e DBO entre os anos de 2014 à 2016 e a relação entre os parâmetros.

Média anual	DQO	DBO	Razão $\frac{DQO}{DBO}$
2014	10450	3437,5	3,04
2015	25364,75	7360	3,44
2016	32029,25	9750	3,28

Fonte: Autora (2017).

Para um diagnóstico com maior precisão, o efluente foi submetido aos ensaios para a verificação da taxa de consumo de oxigênio (TCO) e taxa depleção de oxigênio (TDO). Os valores de TDO que podem servir como padrão são (CAVALCANTI, 2009):

- TDO maior que 20: Pode indicar que não haja sólidos voláteis suficientes para remoção de DBO;
- TDO entre 12 e 20: Esta taxa normalmente produz uma boa remoção de DBO e um lodo que sedimenta bem;
- TDO menor que 12: Pode indicar que há muito sólidos ou que pode haver ocorrência de toxicidade.

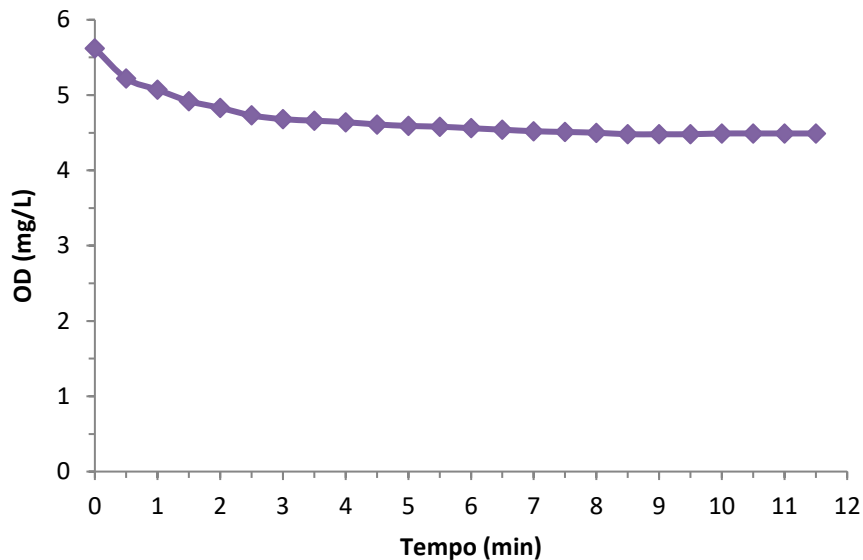
A Figura 17 ilustra os valores de oxigênio dissolvido, em mg/L, em função do tempo em minutos, obtendo o TCO.

Plotando-se o gráfico e a tangente a curva, obtém-se o valor de TCO de 0,87 mg/L.min. Com o valor de sólidos suspensos voláteis do efluente bruto igual a 20,75 g/L, obteve-se uma taxa de depleção de oxigênio de 2,5 mg/g.h. O valor

obtido é menor que 12 mg/g.h e, como dito por Cavalcanti (2009), isto pode ser explicado por uma alta quantidade de sólidos ou ocorrência de toxicidade.

O fato da taxa de depleção de oxigênio determinada ser menor que 12 mg/L.h, pode ser explicada pela origem do efluente bruto. Na formulação das tintas a base de água são adicionados aditivos denominados de aditivos de preservação, que são compostos por agentes bactericidas e fungicidas e que tem como ação combater de forma direta a presença microrganismos na tinta, evitando o seu apodrecimento.

Figura 17 – Valores de oxigênio dissolvido, em mg/L, em função do tempo em minutos.



Fonte: Autora (2017).

4.5 PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO DO TRATAMENTO DE EFLUENTE EMPREGADO COM O OBJETIVO DE REÚSO DA ÁGUA

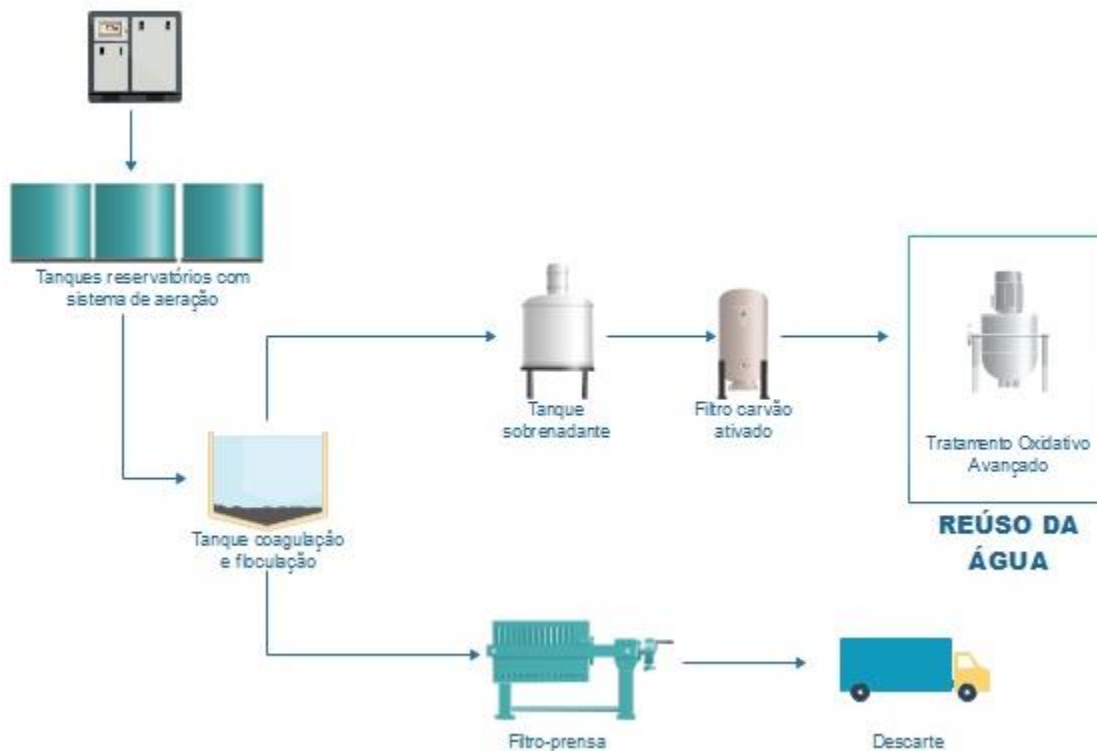
Como comentado anteriormente, a qualidade do efluente de saída da estação de tratamento não é adequada para reutilizá-la no processo produtivo como insumo ou na lavagem dos equipamentos que são utilizados diretamente na formulação das tintas, pois seu uso pode comprometer a qualidade do produto final.

Os parâmetros analisados que podem comprometer com mais gravidade a qualidade final produto são os parâmetros de DBO e DQO, que estão relacionados com a matéria orgânica presente, podendo, como já mencionado, agilizar o

apodrecimento da tinta, facilitando a proliferação de microrganismos e fazendo com que os agentes bactericidas e fungicidas não sejam tão eficientes.

Para que o tratamento de efluente consiga operar com maior eficiência, atendendo aos valores de DBO e DQO mínimos para seu reúso, são propostas algumas alternativas para a otimização do sistema. A Figura 18 apresenta um fluxograma simplificado com uma proposta de otimização para a estação de tratamento do efluente tratado com o objetivo de seu reúso.

Figura 18 – Fluxograma de proposta de otimização para a estação de tratamento de efluente com o objetivo de reúso da água.



Fonte: Autora (2017).

Ao avaliar o sistema de tratamento atual, foi observado que o reservatório em que fica armazenado o efluente bruto, é composto de três tanques, totalizando 11000kg de capacidade. À medida que é gerado o efluente, é adicionado ao tanque à espera da realização do tratamento. O efluente que acabou de ser gerado é adicionado no primeiro tanque, enquanto a quantidade de efluente que é retirado para tratamento, é removido do terceiro tanque. Ou seja, até o efluente que é adicionado ao primeiro tanque reservatório chegar ao terceiro tanque para ser tratado, pode levar alguns dias, permanecendo parado dentro do reservatório. Esta

forma de armazenamento, pode não ser adequada para este tipo de efluente, que possui pH elevado e alta carga de sólidos, que pode acarretar no aumento das concentrações de DBO.

Para melhorar a qualidade do efluente bruto a ser tratado, é proposta a implantação de um sistema de aeração por meio de ar comprimido nos tanques reservatórios. Este sistema já é utilizado na empresa para outras finalidades. Foi realizado um orçamento para a implantação deste sistema, resultando em um investimento de R\$ 12.000, 00, para implantação e acompanhamento do sistema de aeração e revestimento dos tanques.

A alternativa proposta para a redução nos valores de DQO e DBO seria a implantação de um tratamento oxidativo avançado com peróxido de hidrogênio e sais de ferro, caracterizando o processo Fenton, após o efluente ser submetido ao processo físico-químico. Este tipo de tratamento é proposto, pois possui um ótimo histórico em redução dos valores de DQO de acordo com a literatura e, conseqüentemente, redução dos valores de DBO, em efluentes com alto teor destes poluentes, como comentado anteriormente. Esta é uma eficiente alternativa para a redução destas concentrações, já que o efluente possui taxa de biodegradabilidade crítica, não sendo viável a implantação de um tratamento biológico como diagnosticado anteriormente.

A Figura 19 ilustra o fluxograma da proposta de implantação do processo Fenton no sistema de efluente.

Figura 19 – Fluxograma da proposta de implantação do processo Fenton com o objetivo de reduzir as concentrações de DQO e DBO, para futuro reúso da água.



Fonte: Autora (2017).

Para a implantação do tratamento oxidativo avançado por processo Fenton se faz necessário de um tanque de mistura para o peróxido, os sais de ferro e do efluente e também um tanque para armazenamento do efluente tratado que será reutilizado. Considerando a batelada de 1600 kg e o histórico de remoção de lodo de 7%, a quantidade de água que será submetida à reação de Fenton pode ser considerada, com uma faixa de segurança, de 1400 a 1550 L. Deste modo, levando-se em consideração a água a ser tratada e os reagentes envolvidos, será necessário um tanque de reação com capacidade de no mínimo 2000 L.

As quantidades de peróxido de hidrogênio e sais de ferro necessárias para uma eficaz oxidação da matéria orgânica são definidas por meio de ensaios de laboratório. Na falta dos dados experimentais, a literatura relata faixas ótimas para as relações de peróxido de hidrogênio e concentração de DQO de 2:1 e 3:1. As relações de peróxido de hidrogênio e sais de ferro mais aplicadas são 5:1 e 7,5:1. Estas faixas foram retiradas do Relatório Técnico da empresa Peróxidos do Brasil/SOLVAY. A empresa é fabricante de peróxido de hidrogênio e possui uma linha de pesquisa e desenvolvimento que realiza ensaios para a implantação de tratamentos com uso de peróxido.

Com base nestes dados, a Tabela 11 mostra as possíveis relações de DQO/peróxido de hidrogênio e peróxido de hidrogênio/sal de ferro considerando uma DQO de saída do efluente de 3000 mg/L.

Tabela 11 – Relação das quantidades de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e sal de Ferro (Fe^{2+}) para obter DQO final de 3000 mg/L de DQO por batelada de 1550 L.

Relação DQO: H_2O_2	Relação $H_2O_2:Fe^{2+}$	Quantidade H_2O_2 (mg/L)	Quantidade Fe^{2+} (mg/L)	Quantidade H_2O_2 para 1550 (kg)	Quantidade Fe^{2+} para 1550 L (kg)
1:2	5:1	6000	1200	9,3	1,86
1:2	7,5:1	6000	800	9,3	1,24
1:3	5:1	9000	1800	13,95	2,79
1:3	7,5:1	9000	1200	13,95	1,86

Fonte: Autora (2017).

As concentrações de H_2O_2 são calculadas em relação à quantidade, em mg/L, de DQO presente no efluente. A partir da relação de DQO e H_2O_2 , é calculada a relação de Fe^{2+} necessária para oxidação da matéria orgânica. A quantidade

necessária para tratar 1550 L de água varia de 9,3 a 13,95 kg de H_2O_2 e de 1,24 à 2,79 kg de Fe^{2+} .

O processo Fenton, além de reduzir as concentrações de DQO e DBO, possibilita a clarificação da água, melhorando também as condições de cor e turbidez, que nos ensaios realizados para o efluente tratado nas condições atuais, situaram-se fora dos valores de referência. Para obter a certeza da eficiência da redução de DQO e DBO através do processo Fenton, devem ser realizados testes mais específicos com o efluente real antes da implantação do sistema de tratamento.

5 CONCLUSÃO

O processo produtivo de tintas imobiliárias possui um elevado consumo de água, pois esta é usada diretamente como insumo na composição das tintas. O efluente da indústria de tintas é principalmente gerado devido ao setup de produção, onde acontece a limpeza dos tachos e equipamentos para a produção do próximo lote. No ano de 2016, foram tratados 663 m³ de efluente e, deste volume, 615 m³ foram descartados na rede fluvial.

Com os dados de monitoramento fornecidos pela empresa foi possível diagnosticar que a qualidade do efluente pós-tratamento não é adequada para o reúso por ainda possuir altas concentrações de DQO, DBO e sólidos. Análises de dureza total, cor, condutividade e turbidez foram realizadas e apresentaram valores elevados em comparação com a água utilizada atualmente. A qualidade da água de pós-tratamento só permite ser reutilizada para lavagem de pátios e maquinários não envolvidos no processo produtivo.

Através da avaliação da estação de tratamento de efluente atual, realizada *in loco*, constatou-se que, para uma melhor eficiência do tratamento, são necessárias ações de melhorias. O armazenamento do efluente bruto é inapropriado, podendo comprometer ainda mais a qualidade do efluente, dificultando seu tratamento. Através dos ensaios realizados diretamente em bateladas do tratamento físico-químico instalado, foi possível diagnosticar a viabilidade na substituição do agente neutralizante cal pela soda cáustica. O uso da soda, possibilita uma menor quantidade de produto para atingir a faixa de pH desejada e foi possível diminuir a quantidade de lodo químico gerado no processo, além de melhorar a qualidade do água clarificada. Por fim, cálculos de custo indicam que a substituição pode gerar uma economia de até 63,5% no descarte do lodo.

Para possível reúso da água pós-tratamento convencional, é necessária a redução nas concentrações de DQO e DBO. A implantação de tratamentos biológicos se apresentou inviável, pois o efluente apresenta uma taxa de biodegradabilidade crítica. O uso de aditivos biocidas e fungicidas na composição das tintas também inviabiliza a implantação do tratamento biológico, pois podem ocasionar toxicidade do lodo. Devido à taxa de biodegradabilidade crítica apresentada, foi proposta a implantação de tratamento oxidativo avançado com reação de Fenton, que vem obtendo êxito na redução nas concentrações de DBO e

DQO em efluentes industriais. Porém, ensaios mais aprofundados devem ser realizados para garantir a eficiência deste método no efluente estudado.

Por fim, recomenda-se verificar a qualidade da água tratada após implantação das melhorias propostas para averiguação das possibilidades do reúso do efluente como matéria-prima ou como água de limpeza. Independente da utilidade da água tratada, o seu reúso trará benefícios econômicos e ambientais para empresa e para a comunidade.

REFERÊNCIAS

ABIQUIM, Associação Brasileira da Indústria Química (Org.). **Manual de Gestão Eficiente dos Recursos Hídricos**. São Paulo: S. N., 2016. Disponível em: <http://www.abiquim.org.br/pdf/Manual_Recursos_Hidricos.pdf>. Acesso em: 31 maio. 2017.

ABRAFATI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE TINTAS **Tintas De Qualidade**: Livro de Rótulos ABRAFATI. São Paulo: Editora Blucher, 2017. p. 24-25.

ANA - AGENCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (Brasil). **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: Informe 2014**. Brasília: Cadernos de Recursos Hídricos, V. 2, 2015.

BRASIL, CÂMARA DOS DEPUTADOS. **Projeto de Lei 2427/2015**: Dispõe sobre incentivos para aumentar a reutilização de recursos hídricos no País. Disponível em: <http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra;jsessionid=983FE9A7C4F28404DEB841020E1EC145.proposicoesWebExterno2?codteor=1363147&filename=Tramitacao-PL+2427/2015>. Acesso em: 30 abril. 2017.

BRASIL, CÂMARA DOS DEPUTADOS. **Projeto de Lei 182/2015**: Dispõe sobre o reuso interno de água residual para fins industriais e dá outras providências. Disponível em: <http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1297867>. Acesso em: 30 abril. 2017.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Política Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 18 jun. 2017.

BRASIL, MINISTERIO DA SAUDE. **Portaria Nº 2.914 de 12 de Dezembro de 2011**: Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/asabesp_doctos/PortariaMS29141212201>

1.pdf>. Acesso em: 01 maio. 2017.

BREGA FILHO, Darcy; MANCUSO, Pedro Caetano Sanches. A escassez e o reúso de água em âmbito mundial. In: PHILIPPI JUNIOR, Arlindo (Org.). **Reúso de Água**. Barueri: Editora Manole, 2003. p. 01-21.

CARISSIMI, Elvis; ROSA, Ediane. **Tratamento de Chorume por Processos Oxidativos Avançados**. Bento Gonçalves: S.n., 2012. Disponível em: <<http://www.proamb.com.br/downloads>>. Acesso em: 15 maio 2017.

CAVALCANTI, José Eduardo W. de A.. **Manual de Tratamento de Efluentes Industriais**. São Paulo: Engenho Editora Técnica Ltda., 2009.

CECHINEL, Maria Alice Prado. **REMOÇÃO DE ÍONS METÁLICOS DE EFLUENTES PETROQUÍMICOS SINTÉTICOS USANDO MACROALGAS MARINHAS COMO BIODISSOLVENTES**. 2016. 141 f. Qualificação de Tese (Doutorado) - Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Variáveis de qualidade das águas. 2009**. Disponível em: <http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/variaveis.pdf>. Acesso em: 23 abril 2017.

CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (Brasil). **Água, Indústria e Sustentabilidade**. Brasília: S.n., 2013. 232 p. Disponível em: <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2013/09/23/4967/20131025113511891782i.pdf>. Acesso em: 01 maio 2017.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Nº 430 de maio de 2011**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Nº 357, de 17 de Março de 2005**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/>

res05/res35705.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2017.

DINIZ, Francisco. Aplicações Arquitetônicas. In: JORGE M. R. FAZENDA (São Paulo) (Org.). **Tintas: Ciência e Tecnologia**. 4. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2009. p. 676-690.

FINK, Daniel Roberto; SANTOS, Hilton Felício dos. A legislação de reúso de água. In: PHILIPPI JUNIOR, Arlindo (Org.). **Reúso de Água**. Barueri: Editora Manole, 2003. p. 261-290.

HESPANHOL, Ivanildo. Potencial de reúso de água no Brasil. In: PHILIPPI JUNIOR, Arlindo (Org.). **Reúso de Água**. Barueri: Editora Manole, 2003. p. 37-96.

JARDIM, Wilson F.; CANELA, Maria Cristina. **Fundamentos da Oxidação Química no Tratamento de Efluentes e Remediação de Solos**. Campinas: S. N., 2004. 11 p. Disponível em: <<http://lqa.iqm.unicamp.br/cadernos/caderno1.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2017.

LEME, Edson José de Arruda. **Manual Prático de Tratamento de Água Residuárias**. 2. ed. São Paulo: Edufscar, 2014.

MANCUSO, Pedro Caetano Sanches. Tecnologia de Reúso de Água. In: PHILIPPI JUNIOR, Arlindo (Org.). **Reúso de Água**. Barueri: Manole, 2003. p. 291-338.

MUNOZ, A. H.. **Depuración de aguas residuales**. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1992.

NUNES, José Alves. **Tratamento biológico de águas residuárias**. 3. ed. rev. ampl. e atual Aracaju: J. Andrade, 2012. 277 p.

OMS - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Reuse of Effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards**. Technical report series n. 517, Genebra, 1973.

PERÓXIDOS DO BRASIL. **Águas e Efluentes Industriais**. 2017. Disponível em: <<http://www.peroxidos.com.br/pt/aplicacoes/efluentes/index.html>>. Acesso em: 26 abr. 2017.

PERÓXIDOS DO BRASIL. **Tratamentos Oxidativos Avançados - Abatimento de DQO – Relatório Técnico**. S.N. 2017.

PHILIPPI JUNIOR, Arlindo. Reúso de Água: Uma tendência que se firma. In: PHILIPPI JUNIOR, Arlindo (Org.). **Reúso de Água**. Barueri: Editora Manole, 2003. p. 5-21.

RODRIGUES, Elisângela Garcia Santos et al. **Avaliação da eficiência do reagente de fenton no tratamento do efluente de lavagem de uma recicladora de plásticos para fins de reúso**. Paraíba: Realize, /. 8 p. Disponível em: <http://www.editorarealize.com.br/revistas/enect/trabalhos/Poster_647.pdf>. Acesso em: 15 maio 2017.

SANTA CATARINA, SECRETARIA DO ESTADO DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL. **Lei 14.675/09 - Código Estadual do Meio Ambiente**. Florianópolis, SC, 13 abr. 2009. Disponível em: <http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/20_12_2013_14.30.40.b479cb7a256a963c9e0bbf87bd860d38.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2017.

SETTI, M.do C.B. de C. **Reúso de Água – Condições de Contorno**. São Paulo, 1995. Escola Politécnica de São Paulo, Universidade de São Paulo.

SKORONSKI, Everton. **Introdução aos processos de condicionamento de água para reúso**. Florianópolis: S. N., 2008. 71 p.

TECNAL. **Oxímetro YSI – PRO ODO**. S/D. Disponível em: <<http://tecnal.com.br/pt/produtos/oximetro-ysi-pro-odo/>>. Acesso em: 20 maio 2017.

WESTERHOFF, G.P. **“Un update of research needs for water reuse”**. In: Water Reuse Symposium, 1984. San Diego, California, Proceedings, p. 1731 – 42.

YAMANAKA, Hélio Tadashi et al. **Guia Técnico Ambiental Tintas e Vernizes - Série P+L**. São Paulo: FIESP/SESI/SENAI/IRS, 2006. 70 p. Disponível em: <<http://www.crq4.org.br/downloads/tintas.pdf>>. Acesso em: 02 maio 2017.

ANEXOS

ANEXO A – Padrões de para lançamentos de efluentes aos copos d’água da TABELA I anexa à Legislação CONAMA 430/2011.

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

ANEXO B – Relatório de Ensaio de Sólidos Suspensos Totais do efluente Bruto emitido pelo Laboratório de Águas e Efluentes Industriais – IPARQUE/UNESC.



Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
Parque Científico e Tecnológico - IPARQUE
Instituto de Pesquisas Ambientais Tecnológicas - IPAT
Instituto de Alimentos - IALI

RELATÓRIO DE ENSAIO UNIFICADO Nº 137657/2017

DADOS DO CLIENTE

Cliente: Curso de Engenharia Química (72299) Orçamento de Análises nº 15392
Endereço: Avenida Universitária, 1105, Universitário Cidade: Criciúma
CEP: 88806-000
Fone: (48) 3431-2571
Interessado: Renata Milicli Vieira Campanha:
Projeto/contrato: **

DADOS DA AMOSTRAGEM

Data de coleta: 28/04/2017 10:00 Data de Entrada no Laboratório: 28/04/2017 13:00 Início das Análises: 04/05/2017 13:28
Descrição da amostra: Efluente bruto Nº Recebimento: 5899
Ponto de coleta: Reservatório
Aspecto da amostra: Nº amostra IPARQUE: 137657
Periodicidade: ** Coord. Geográficas: UTM
Tipo de amostragem: SIMPLES **
Temperatura da amostra (°C): **
Condições climáticas: ** Chuva nas últimas 24 hrs ? Não
Coletor: Interessado
Observações de campo: **

RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS

Físico-Químicas

Análise	Unidade	LQ	Resultado	VMP (1)	VMP (2)
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	100	36.980	NC	NC
Sólidos Suspensos Fixos (550°C)	mg/L	100	16.230	NC	NC
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L	100	20.750	NC	NC

Observações:

VMP(1): Resolução nº 430, de 13 de Maio de 2011 do CONAMA (Padrões de Lançamento de Efluentes)
VMP(2): Lei nº 14.875, de 13 de Abril de 2009 (Código Estadual do Meio Ambiente)
LQ: Limite de quantificação
NC: Parâmetro não contemplado para esta legislação.

Metodologia

Sólidos Suspensos Totais: SMEWW - Method 2540 D (Gravimétrico)
Sólidos Suspensos Fixos (550°C): SMEWW - Method 2540 E (Gravimétrico)
Sólidos Suspensos Voláteis: SMEWW - Method 2540 E (Gravimétrico)

Notas:

Os resultados apresentados no presente Relatório se aplicam somente à amostra ensaiada.
Este Relatório de Ensaio só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Revisores:

Mª Glória S. Santos - LABORATÓRIO DE ÁGUAS E EFLUENTES INDUSTRIAIS (em 22/05/2017 10:50).

Criciúma, 22 de maio de 2017

Mª Glória S. Santos
Coordenação Laboratórios
CRQ XIII - nº 13300056

ANEXO C – Relatório de Ensaio de Sólidos Suspensos Totais do efluente Tratado emitido pelo Laboratório de Águas e Efluentes Industriais – IPARQUE/UNESC.



Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
Parque Científico e Tecnológico - IPARQUE
Instituto de Pesquisas Ambientais Tecnológicas - IPAT
Instituto de Alimentos - IALI

RELATÓRIO DE ENSAIO UNIFICADO Nº 137658/2017

DADOS DO CLIENTE

Cliente: Curso de Engenharia Química (72299) Orçamento de Análises nº 15392
Endereço: Avenida Universitária, 1105, Universitário Cidade: Criciúma CEP: 88806-000
Fone: (48) 3431-2571
Interessado: Renata Milioli Vieira Campanha:
Projeto/contrato: **

DADOS DA AMOSTRAGEM

Data de coleta: 28/04/2017 10:00 Data de Entrada no Laboratório: 28/04/2017 13:00 Início das Análises: 02/05/2017 14:19
Descrição da amostra: Efluente tratado Nº Recebimento: 5899
Ponto de coleta: Reservatório
Aspecto da amostra: Nº amostra IPARQUE: 137658
Periodicidade: ** Coord. Geográficas: UTM
Tipo de amostragem: SIMPLES **
Temperatura da amostra (°C): **
Condições climáticas: ** Chuva nas últimas 24 hrs? Não
Coletor: Interessado
Observações de campo: **

RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS

Físico-Químicas

Análise	Unidade	LQ	Resultado	VMP (1)	VMP (2)
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	10	43	NC	NC
Sólidos Suspensos Fixos (550°C)	mg/L	10	< 10	NC	NC
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L	10	43	NC	NC

Observações:

VMP(1): Resolução nº 430, de 13 de Maio de 2011 do CONAMA (Padrões de Lançamento de Efluentes)
VMP(2): Lei nº 14.875, de 13 de Abril de 2009 (Código Estadual do Meio Ambiente)
LQ: Limite de quantificação
NC: Parâmetro não contemplado para esta legislação.

Metodologia

Sólidos Suspensos Totais: SMEWW - Method 2540 D (Gravimétrico)
Sólidos Suspensos Fixos (550°C): SMEWW - Method 2540 E (Gravimétrico)
Sólidos Suspensos Voláteis: SMEWW - Method 2540 E (Gravimétrico)

Notas:

Os resultados apresentados no presente Relatório se aplicam somente à amostra ensaiada.
Este Relatório de Ensaio só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Revisores:

Mª Glória S. Santos - LABORATÓRIO DE ÁGUAS E EFLOENTES INDUSTRIAIS (em 22/05/2017 10:56).

Criciúma, 22 de maio de 2017

Mª Glória S. Santos
Coordenação Laboratórios
CRQ XIII - nº 13300056

ANEXO D – Relatório de Ensaio de Cor, Condutividade, Turbidez, Dureza e Ferro Total do efluente tratado emitido pelo Laboratório de Águas e Efluentes Industriais – IPARQUE/UNESC.



Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
Parque Científico e Tecnológico - IPARQUE
Instituto de Pesquisas Ambientais Tecnológicas - IPAT
Instituto de Alimentos - IALI

RELATÓRIO DE ENSAIO UNIFICADO Nº 137934/2017

DADOS DO CLIENTE

Cliente: Curso de Engenharia Química (72299) Orçamento de Análises nº 15657
Endereço: Avenida Universitária, 1105, Universitário Cidade: Criciúma CEP: 88806-000
Fone: (48) 3431-2571
Interessado: Renata Milici Vieira Campanha:
Projeto/contrato: **

DADOS DA AMOSTRAGEM

Data de coleta: 11/05/2017 10:50 Data de Entrada no Laboratório: 11/05/2017 13:00 Início das Análises: 11/05/2017 15:54
Descrição da amostra: Efluente tratado (líquida) Nº Recebimento: 6002
Ponto de coleta: Reservatório
Aspecto da amostra: Nº amostra IPARQUE: 137934
Periodicidade: ** Coord. Geográficas: UTM
Tipo de amostragem: SIMPLES **
Temperatura da amostra (°C): **
Condições climáticas: ** Chuva nas últimas 24 hrs ? Não
Coletor: Interessado
Observações de campo: **

RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS

Metais

Análise	Unidade	LQ	Resultado	VMP (1)	VMP (2)
Ferro Total	mg/L	0,05	0,10	Obs(1)	NC

Físico-Químicas

Análise	Unidade	LQ	Resultado	VMP (1)	VMP (2)
Condutividade	uS/cm	1,0	4.750,0	NC	NC
Cor aparente	mg/L	1	117	NC	NC
Dureza Total	mg/L	1	863	NC	NC
Turbidez	NTU	0,1	11,2	NC	NC

Observações:

VMP(1): Resolução nº 430, de 13 de Maio de 2011 do CONAMA (Padrões de Lançamento de Efluentes)
VMP(2): Lei nº 14.875, de 13 de Abril de 2009 (Código Estadual do Meio Ambiente)
LQ: Limite de quantificação
NC: Parâmetro não contemplado para esta legislação.
Obs(1): A Resolução nº 430 do CONAMA contempla somente Ferro dissolvido com VMP de 15 mg/L.

Metodologia

Metais: SMEWW - Method 3120 B (ICP-OES)
Condutividade: SMEWW - Method 2510 B
Cor aparente: SMEWW - Method 2120 C / HACH - Method 8025
Dureza Total: Cromatografia Iônica
Turbidez: SMEWW - Method 2130 B (Nefelométrica)

Notas:

Os resultados apresentados no presente Relatório se aplicam somente à amostra ensaiada.
Este Relatório de Ensaio só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Revisores:

Mª Glória S. Santos - LABORATÓRIO DE ÁGUAS E EFLUENTES INDUSTRIAIS (em 23/05/2017 14:48).

Criciúma, 23 de maio de 2017

Mª Glória S. Santos
Coordenação Laboratórios
CRQ XIII - nº 13300056

ANEXO D – TABELA DE PADRÃO ORGANOLÉPTICO DE POTABILIDADE DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO DO Anexo X, DA PORTARIA Nº 2.914, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2011 DO MINISTÉRIO DA SAÚDE.

ANEXO X

Tabela de padrão organoléptico de potabilidade

Parâmetro	CAS	Unidade	VMP ⁽¹⁾
Alumínio	7429-90-5	mg/l	0,2
Amônia (como NH ₃)	7664-41-7	mg/l	1,5
Cloro	16887-00-6	mg/l	250
Cor Aparente ⁽²⁾		uH	15
1,2 diclorobenzeno	95-50-1	mg/l	0,01
1,4 diclorobenzeno	106-46-7	mg/l	0,03
Dureza total		mg/l	500
Etilbenzeno	100-41-4	mg/l	0,2
Ferro	7439-89-6	mg/l	0,3
Gosto e odor ⁽³⁾		Intensidade	6
Manganês	7439-96-5	mg/l	0,1
Monoclorobenzeno	108-90-7	mg/l	0,12
Sódio	7440-23-5	mg/l	200
Sólidos dissolvidos totais		mg/l	1000
Sulfato	14808-79-8	mg/l	250
Sulfeto de hidrogênio	7783-06-4	mg/l	0,1
Surfactantes (como LAS)		mg/l	0,5
Tolueno	108-88-3	mg/l	0,17
Turbidez ⁽⁴⁾		uT	5
Zinco	7440-66-6	mg/l	5
Xilenos	1330-20-7	mg/l	0,3

NOTAS:

- (1) Valor máximo permitido.
- (2) Unidade Hazen (mgPt-Co/L).
- (3) Intensidade máxima de percepção para qualquer característica de gosto e odor com exceção do cloro livre, nesse caso por ser uma característica desejável em água tratada.
- (4) Unidade de turbidez.