



Faculdade de Pindamonhangaba



Brígida Lamim de Sousa

**TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS ORIUNDOS DE
PROCESSOS INDUSTRIAIS COM TINTAS, RESINAS E
VERNIZES, VISANDO SEU REUSO**

PINDAMONHANGABA-SP

2014



Faculdade de Pindamonhangaba



Brígida Lamim de Sousa

TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS ORIUNDOS DE PROCESSOS INDUSTRIAIS COM TINTAS, RESINAS E VERNIZES, VISANDO SEU REUSO

Projeto apresentado como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Tecnólogo em Processos Químicos pelo Curso de Tecnologia em Processos Químicos da Faculdade de Pindamonhangaba.

Orientador: Prof. Esp. Wlamir Gomes da Silva Braga

PINDAMONHANGABA-SP

2014



Faculdade de Pindamonhangaba



Brígida Lamim de Sousa

**TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS ORIUNDOS DE PROCESSOS
INDUSTRIAIS COM TINTAS, RESINAS E VERNIZES, VISANDO SEU REUSO**

Projeto apresentado como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Tecnólogo em Processos Químicos pelo Curso de Tecnologia em Processos Químicos da Faculdade de Pindamonhangaba.

Data: 10/12/2014

Orientador: Prof. Esp. Wlamir Gomes da Silva Braga

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof.

Faculdade de Pindamonhangaba

Assinatura_____

Prof.

Faculdade de Pindamonhangaba

Assinatura_____

Prof.

Faculdade de Pindamonhangaba

Assinatura_____

Aos amigos que permanecem ao meu lado dando sentido a cada conquista, principalmente àqueles que fazem parte desta.

Em especial a minha mãe Rosana e minha irmã Gaia pelos momentos que deixei de me dedicar a elas em troca desse objetivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por não permitir que as dificuldades em meu caminho fossem maiores que minha vontade de seguir.

A minha irmã Gaia e minha mãe Rosana por me incentivarem a seguir o meu objetivo.

Ao meu cunhado Warllis por me apoiar e se dispor a me ajudar diante das dificuldades.

A instituição Fapi-Funvic que incentivou e se dispôs a favor do meu crescimento na área acadêmica, profissional e pessoal, tornando possível esta conquista.

Ao professor Wlamir Braga por se disponibilizar a orientar este trabalho em função do meu crescimento acadêmico.

Ao professor Orlando Silva por auxiliar nas correções deste trabalho oferecendo conhecimento.

A empresa na qual faço parte e abriu suas portas para que essa pesquisa pudesse ter seguimento oferecendo meios para que a mesma fosse concluída.

“Julgue seu sucesso pelas coisas que você teve que renunciar para conseguir”.

Dalai Lama

RESUMO

A reutilização dos recursos naturais vem sendo um tema bastante abordado nos últimos anos. Além de reduzir gastos, a preservação destes recursos é cada dia mais indispensável para a garantia de uma vida com qualidade. A pesquisa apresentada estuda um método simples para o tratamento de efluentes industriais de tintas e vernizes, de forma a garantir o reuso da água tratada nos processos de lavagens em *setups* durante as trocas de produção. O tratamento do efluente é formado por um conjunto de processos já conhecidos de coagulação, decantação, clarificação, filtração e neutralização, que garantem a remoção dos sólidos dispersos e diversos compostos químicos presentes na água. No seguimento produtivo estudado não são necessários processos mais complexos para o tratamento, uma vez que a água tratada é destinada apenas para lavagem dos equipamentos sujos com tintas, vernizes e resinas. O tratamento estudado promoveu uma remoção de sólidos acima de 90%, levando a conclusão de que é possível aplica-lo na empresa. Este tratamento e o reuso da água tratada estabelecem um ciclo fechado, promovendo maior controle na geração de resíduos e reduzindo o consumo de água nos processos de produção. A aplicação deste estudo pode gerar economia no uso da água dentro do processo produtivo e promove o uso responsável e sustentável do recurso natural, diminuindo também a geração de efluentes para tratamento externo.

Palavras chaves: Sustentabilidade. Reuso da Água. Tratamento de Efluentes Líquidos.

ABSTRACT

The reuse of natural resources has been a very discussed topic in recent years. Addition to reducing costs, the preservation of these resources is increasingly vital for the guarantee of a quality life. The presented research studies a simple method for the treatment of industrial effluents from paint and varnish, to ensure reuse of treated water in the process of washing in setups during production changes. The treatment of the effluent is formed by a set of known processes like coagulation, sedimentation, clarification, filtration and neutralization, to ensure the removal of dispersed solids and various chemical compounds present in the water. In the studied area, more complex processes are not necessary for treatment, once the treated water is intended only to wash the dirty equipment with paints, resins and varnishes. The study treatment promoted a solids removal above 90%, leading to the conclusion that it is possible to apply it in the company. With treatment and water reuse a closed cycle is set, promoting greater control in waste generation and reducing water consumption in production processes. The application of this study can generate savings in water use within the production process and promotes its responsible use and sustainable, decreasing the generation of dump to external treatment.

Key words: Sustainability. Water Reuse. Wastewater Treatment.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrões de qualidade para água de reuso, estabelecidos pela NBR 13969/97 (ABNT, 1997) -----	17
Tabela 2: Parâmetros de qualidade de água para reuso industrial (CIRRA, 2004)-----	18
Tabela 3 - Resultado da caracterização do efluente bruto-----	29
Tabela 4 - Resultado da análise de coagulação com sulfato de alumínio e PAC -----	29
Tabela 5 - Resultado da coagulação com três tipos de polímeros-----	31
Tabela 6 - Quantidade média de reagentes a serem utilizados -----	32
Tabela 7 - Resultado das análises de bancada com PAC-----	32
Tabela 8 - Resultado da análise de quantidade do polímero catiônico -----	32
Tabela 9 - Resultado da análise de quantidade do polímero anfótero -----	33
Tabela 10 - Análise do tempo de reação-----	33
Tabela 11 - Resultado da análise de agitação -----	33
Tabela 12- Quantidade final de reagentes a serem utilizados-----	33
Tabela 13 - Resultado da caracterização da água do efluente tratado -----	37
Tabela 14 - Conversão de volumes gastos por litro -----	39
Tabela 15 - Estimativo do gasto mensal com reagentes -----	39

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Informações adaptadas dos principais coagulantes e floculantes utilizados (KURITA, 2010).....	22
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Resultado da coagulação com Sulfato de Alumínio	30
Figura 2 - Resultado de coagulação com Policloreto de Alumínio (PAC).....	31
Figura 3 - Fluxograma do processo de tratamento	34
Figura 4 - Resultado da coagulação e floculação do efluente	35
Figura 5 - Agitação com carvão ativado.....	36
Figura 6 - Filtração para retirada do carvão ativado e outros sólidos dispersos.....	36
Figura 7 - Água após tratamento	37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 Histórico	13
2.1.1 CRIAÇÃO DE ÓRGÃOS E LEGISLAÇÕES PARA DEFESA DOS RECURSOS NATURAIS	13
2.2 Impactos Ambientais Causados por Resíduos e Efluentes Industriais	15
2.3 Padrões da Água para Reuso	17
2.4 Caracterização do Efluente	18
2.4.1 PROCESSO DE GERAÇÃO DO DESPEJO	19
2.5 Processos de Tratamento de Efluentes Industriais	19
2.5.1 PROCESSOS FÍSICOS	20
2.5.2 PROCESSOS QUÍMICOS	21
3 MÉTODO	24
3.1 Coleta de Amostras	24
3.2 Caracterização do Efluente	24
3.3 Ensaios de Bancada para o Tratamento do Efluente	25
4 RESULTADOS	29
4.1 Caracterização Inicial do Efluente	29
4.2 Ensaios de Bancada	29
4.3 Tratamento	34
4.4 Caracterização Final	37
5 DISCUSSÃO	38
6 CONCLUSÃO	41
REFERÊNCIAS	42
ANEXO	45

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho estuda um método de tratamento de efluentes industriais de tinta, resinas e vernizes para sua reutilização em lavagem de *setups*, que são as paradas para trocas de lotes. Nestas paradas é necessária a lavagem dos cilindros sujos gerando o efluente que será alvo do estudo.

Em todo o mundo as indústrias exercem um esforço para minimizar a agressão ambiental que se resulta durante os processos de produção de seus bens. Em casos onde o efluente é gerado por indústrias de tintas, a avaliação para seu tratamento varia de acordo com a quantidade de matéria prima, reagentes e métodos de processamento. Nestes efluentes pode haver sais, corantes, pigmentos, metais e outros compostos orgânicos de estruturas variáveis.

O tratamento de efluentes é estudado a partir de diferentes processos físicos e químicos, tendo como objetivo a redução da emissão de substâncias poluentes no meio ambiente. Ainda é possível após o tratamento indicado para o efluente, reutilizar este para novos processos industriais.

De acordo com o Art. 3º da Lei Nº 12305/2010, a destinação final ambiental adequada de resíduos segue especificações admitidas pelos órgãos competentes de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública, à segurança e a minimizar os impactos ambientais. Entende-se que de fato a preocupação com o meio ambiente deve pertencer a todos assim como as consequências dos impactos causados.

A reutilização de águas de lavagem seguidas de um prévio tratamento e com o devido controle de manuseio desta, evita o desperdício das fontes naturais e o descarte inapropriado do efluente com resíduos no meio ambiente, sem agregar grandes custos para a organização.

Reduzir a geração de efluentes industriais e implantar um método de reutilização das águas provenientes das lavagens durante os *setups* promove a economia e o controle no uso da água.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Histórico

Cardoso, Rocha e Rosa (2004) explicam que a necessidade de encontrar meios para garantir uma vida com qualidade vem desde o momento em que o homem passou a formar sociedades e se preocupar com os meios em que vive. Os homens que viviam há muitos anos atrás, andavam em grupos e eram nômades, se alimentavam por onde passavam e permaneciam pouco tempo no local, não geravam grandes proporções de lixo e a natureza logo degenerava qualquer material orgânico deixado por eles. Com o decorrer do tempo o homem aprendeu a domesticar animais para se alimentar e desenvolveu meios para a agricultura. Com essas mudanças esses grupos começaram a se fixar em determinados locais principalmente próximos a rios. Houve o início da sociedade acarretando mais tarde a urbanização, manufatura e industrialização, conseqüentemente a taxa de resíduos gerados começa a causar certos danos a saúde devido as condições propícias a proliferação de microrganismos, insetos e doenças.

Levando em conta todo o crescimento e desenvolvimento urbano, com o decorrer do tempo acumularam-se diversos problemas ambientais de contaminação e exploração de recursos, onde se fez necessário a criação de órgãos responsáveis pela prevenção, controle e preservação destas áreas. Estes órgãos e conselhos foram distribuídos em âmbito federal e estadual como se pode ver a seguir.

2.1.1 CRIAÇÃO DE ÓRGÃOS E LEGISLAÇÕES PARA DEFESA DOS RECURSOS NATURAIS

Em âmbito federal, o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA é um órgão do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA e está colegiado ao Ministério do Meio Ambiente - MMA. O CONAMA foi criado a principio para assessorar e propor ao Conselho de Governo e demais órgãos ambientais, diretrizes e políticas ambientais, inserindo normas e padrões para dispormos de um ambiente ecologicamente equilibrado e que proporcione saúde essencial para a qualidade de vida. Este conselho trabalha coligado a outros órgãos ambientais como o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA e a Agencia Nacional de Águas – ANA (MMA, 2014).

A resolução Nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Esta é alterada pela resolução Nº 370/2006 que prorroga o prazo para complementação das condições e padrões de lançamento de efluentes, previsto no art. 44 da resolução nº 357, de 17 de março de 2005 (MMA, 2014).

A resolução Nº 430/2011 completa e altera a Nº 357/2005, dispõe sobre condições de lançamento de efluentes diretamente em corpos receptores, em emissário submarino e em redes de esgoto sanitário (MMA, 2014).

A Agência Nacional das Águas (ANA) começou suas atividades em julho de 2000, criada como desdobramento da Lei nº 9.443/97 (também conhecida como Lei das Águas), possui características institucionais e operacionais um pouco diferentes das demais agências reguladoras. A ANA disciplina a organização, a operacionalização, o controle e a avaliação dos instrumentos de gestão criados pela Política Nacional de Recursos Hídricos. Sendo assim ela ultrapassa os limites das bacias hidrográficas com rios de domínio da União, pois alcança aspectos institucionais relacionados à regulação dos recursos hídricos no âmbito nacional (ANA, 2014).

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA “é uma autarquia dotada de personalidade jurídica de direito público, autonomia administrativa e financeira, vinculada ao Ministério do Meio Ambiente, conforme Art. 2º da Lei nº 7.735, de 22 de Fevereiro de 1989” (IBAMA, 2014).

No âmbito estadual, no estado de São Paulo foi criado o Conselho Estadual do Meio Ambiente – CONSEMA em 1983 e serviu como primeiro passo para a formação da Secretaria do Meio Ambiente à qual é integrado. Suas atribuições são amplas e cuida da avaliação e acompanhamento da política ambiental, envolvendo tudo que se refere à preservação, conservação, recuperação e defesa do meio ambiente (CONSEMA, 2014).

A Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo - SMA por sua vez, foi criada em 1986 com o objetivo de preservar, melhorar e recuperar a qualidade do meio ambiente. A ela foi dada a responsabilidade de elaborar a Política Estadual de Meio Ambiente, a qual foi implantada em 1997. Esta política instituiu o Sistema Estadual de Administração da Qualidade Ambiental, Proteção, Controle e Desenvolvimento do Meio Ambiente e Uso dos Recursos Naturais – SEAQUA (SMA, 2014).

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB foi criada em 1968 pelo Decreto nº. 50.097. Sendo a agência do Governo do Estado de São Paulo responsável

pelo controle, fiscalização, monitoramento e licenciamento de atividades geradoras de poluição, com a preocupação fundamental de preservar e recuperar a qualidade das águas, do ar e do solo. Vinculada a Secretaria de Saúde, mais tarde se cria uma nova CETESB em 2009 quando entra em vigor a Lei 13.542. Esta nova CETESB passou a ser uma das cinco instituições mundiais da Organização Mundial de Saúde - OMS para questões de abastecimento de água e saneamento, tornando órgão de referência em consultoria do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD para questões ligadas a resíduos perigosos na América Latina (CETESB, 2014).

Na área de gestão de recursos hídricos do Estado de São Paulo se encontra o Departamento de Água e Energia Elétrica – DAEE, com atribuições conferidas por lei. Esta atua no atendimento aos municípios executando a Política de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo e coordenando o Sistema de Gestão de Recursos Hídricos de acordo com a Lei nº 7.663/91 (DAEE, 2014).

Principais leis em defesa do meio ambiente de acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2014):

- LEI Nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981 – Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação e dá outras providências.

- LEI Nº 7.347 de 24 de Julho de 1985 – Disciplina a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagismo (vetado) e dá outras providências.

- LEI Nº 9.605, de 12 de Fevereiro de 1998 – LEI DE CRIMES AMBIENTAIS – Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente e dá outras providências.

Os conselhos, departamentos e órgão estaduais atuam em harmonia com os federais para executar as leis, normas, resoluções e regulamentações para a efetiva preservação dos recursos naturais do meio ambiente, a fim de garantir o uso sustentável dos mesmos. Ainda existem órgão municipais que trabalham com os mesmos objetivos.

2.2 Impactos Ambientais Causados por Resíduos e Efluentes Industriais

De acordo com a CETESB (2014), normas foram criadas para controlar, tratar e designar devidos fins aos resíduos urbanos de saúde, construção civil e industrial. A falta de tratamento ou a disposição final precária destes resíduos causa sérios problemas envolvendo

aspectos sanitários, ambientais e sociais, gerando doenças, contaminação do solo, das águas subterrâneas e superficiais chegando à poluição do ar pelo gás metano (CETESB, 2014).

Quanto aos efluentes industriais, existem diversos meios de tratamento para adequar o efluente a padrões de lançamento ou de reuso. O efluente precisa ser classificado e tratado atendendo os padrões de qualidade impostos ao seu destino final.

O lançamento indevido de efluentes industriais de diferentes fontes ocasiona modificações nas características do solo e da água, podendo poluir ou contaminar o meio ambiente. A poluição ocorre quando esses efluentes modificam o aspecto estético, a composição ou a forma do meio físico, enquanto o meio é considerado contaminado quando existir a mínima ameaça à saúde de homens, plantas e animais (CIMA, 2014).

Conforme o Guia Técnico Ambiental da Indústria Gráfica (2003), nas indústrias gráficas, o efluente gerado possui inúmeras substâncias químicas orgânicas e inorgânicas. Na saída do processo produtivo podemos identificar solventes, soluções ácidas, alcalinas, metais pesados, emissão de compostos orgânicos voláteis (VOCs), resíduos de óleo, graxa e geração de demanda química de oxigênio (DQO) (SMA et al., 2003).

Segundo este mesmo guia, os impactos ambientais mais relevantes se estabelecem pelos seguintes resíduos:

- Borrões e resíduos de tinta: as tintas usadas na indústria gráfica possuem em sua composição alguns elementos denominados metais pesados como chumbo, cromo, cádmio entre outros. Esses metais além de tóxicos acumulam-se em nosso organismo podendo atingir altas concentrações em função da dosagem presente no corpo. Afetam o sistema nervoso, provocam deformação em fetos e em casos extremos, podem levar o indivíduo a morte. Este tipo de resíduo, uma vez lançado no meio ambiente através de efluentes líquidos, gasosos ou resíduos sólidos podem de alguma forma atingir homens e animais (SMA et al., 2003).

- Solventes e estopas: os solventes usados na indústria gráfica para diluição e limpeza, em sua maioria, são compostos derivados de petróleo, como tolueno, xileno, nafta, entre outros. Estes compostos, quando lançados sem o menor cuidado no meio ambiente, tanto em forma de solventes como impregnados, geram problemas de contaminação ambiental no solo, em águas superficiais ou subterrâneas. Podem causar danos respiratórios por conta dos vapores lançados e por sua absorção cutânea. Sua contaminação e absorção causam riscos ao sistema nervoso, aos rins, fígado e pulmões (SMA et al., 2003).

2.3 Padrões da Água para Reuso

A NBR 13969/97 descreve sobre o reuso de esgoto doméstico e indica seu uso para determinados fins e determina padrões de água não potável. O reuso desta água pode ser para irrigação dos jardins, lavagem de pisos e dos veículos automotivos, descarga dos vasos sanitários, manutenção paisagística dos lagos e canais com água, entre outros (ABNT, 1997).

Conforme a NBR 13969/9, esta é a classificação da água de acordo com a finalidade de seu reuso:

Classe 1 – Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes.

Classe 2 – Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes.

Classe 3 – Reuso nas descargas dos vasos sanitários.

Classe 4 – Reuso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.

Na tabela 1, são estabelecidos os parâmetros para o padrão de água para reuso, seguindo a NBR 13969/97.

Tabela 1 - Padrões de qualidade para água de reuso, estabelecidos pela NBR 13969/97 (ABNT, 1997)

Parâmetro	Unidade	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
pH	-	6,0 a 8,0	-	-	-
Turbidez	NTU	<5,0	<5,0	<10,0	-
Coliforme fecal	NMP/100ml	<200	<500	<500	<5.000
SDT	mg/L	<200	-	-	-
Cloro residual	mg/L	0,5 a 1,5	0,5	-	-
OD	mg/L	-	-	-	>2,0

Em uma tabela divulgada pelo Manual de Conservação e Reuso da Água (2004) divulgado pela ANA, são indicados os parâmetros de qualidade de água para reuso industrial, estes podem ser observados na tabela 2 que segue abaixo. Quando se deseja reutilizar uma água não potável para uma determinada atividade, este padrão de água deve seguir alguns parâmetros para que não ofereça riscos a atividade e nem ao indivíduo que entrará em contato com esta água.

Tabela 2: Parâmetros de qualidade de água para reuso industrial (CIRRA, 2004)

Indústria e Processo	Cor (UH)	Alcalinidade CaCO ₃	Cloreto	Dureza CaCO ₃	Ferro	Manganês	pH	Sulfato	SDT	Sól. Suspensos	Sílica	Magnésio
Têxtil												
Engomagem	5			25	0,3	0,06	6,5-10		100	5		
Lavagem	5			25	0,1	0,01	3,0-10,5		100	5		
Branqueamento	5			25	0,1	0,01	2,0-10,5		100	5		
Tingimento	5			25	0,1	0,01	3,5-10,0		100	5		
Papel e Celulose												
Proc. Mecânico	30		1000		0,3	0,1	6,0-10					
Proc. Químico												
Não Branqueamento	30		200	100	1	0,5	6,0-10			10	50	12
Branqueado	10		200	100	0,1	0,06	6,0-10			10	50	12

2.4 Caracterização do Efluente

De acordo com a Norma Brasileira — NBR 9800/1987, “efluente líquido industrial é o despejo líquido proveniente do estabelecimento industrial, compreendendo emanções de processo industrial, águas de resfriamento poluídas, águas pluviais poluídas e esgoto doméstico.” Até pouco tempo não existia a preocupação de caracterizar a geração de efluentes líquidos industriais e de analisar seus impactos no meio ambiente. Hoje a legislação vigente e a conscientização ambiental fazem com que algumas indústrias desenvolvam atividades para quantificar e qualificar a vazão e a composição dos efluentes industriais (ABNT, 1987).

A maior fonte de geração de efluentes está nas operações de lavagem entre lotes de cores diferentes. Uma vez descarregados os equipamentos, estes são lavados (com água, solventes, solução de NaOH). São gerados efluentes que contêm altas concentrações de solventes e sólidos suspensos, geralmente coloridos, que requerem tratamento (CETESB. Tintas e Vernizes, 2006).

O Centro de Informação Metal Mecânica (2014) afirma que caracterizar um efluente depende de análises físicas, químicas e biológicas, que por sua vez dependem do segmento da indústria, do período de operação e das matérias primas utilizadas. O efluente líquido industrial pode ser solúvel ou com sólidos em suspensão, pode apresentar coloração e odores, pode ainda conter resíduos orgânicos ou inorgânicos. As determinações físicas deste efluente devem caracterizar temperatura, cor, turbidez, sólidos entre outros, as químicas envolvem pH, teor de matéria orgânica, metais entre outros, e as biológicas devem identificar bactérias, protozoários, vírus ente outros (CIMM, 2014).

O Guia Tintas e Vernizes da CETESB explica que os principais poluentes que causam efeitos ao meio ambiente são: óleos e graxas, solventes, pigmentos e fosfatos. Conforme já visto os efeitos variam desde a degradação ambiental por alteração nos aspectos biológicos

como na composição química causando toxicidade e contaminação por metais pesados aos seres humanos (CETESB - Tintas e Vernizes, 2006).

Neste trabalho, a caracterização do efluente se torna importante para que se analise também a eficiência do processo no tratamento do efluente em questão, e principalmente para comprovar a remoção dos resíduos presentes na forma de sólidos em suspensão.

2.4.1 PROCESSO DE GERAÇÃO DO DESPEJO

Na fábrica onde o efluente é estudado, o processo de produção da fita de borda se baseia em três passos que geram o efluente. O primeiro é a impregnação do papel preparando o seu fundo para a impressão da tinta, em seguida a impressão e por último a aplicação do verniz que promove o acabamento.

Na impregnação do papel entram resina ureia formol, resina acrílica, resina melamina formol, água e álcool 96^oGL. Na impressão entram tinta base água acrílica, tinta base água caseína, verniz base água melamínico e corantes.

O efluente residual é gerado nas lavagens dos cilindros que aplicam a impregnação, o *primer*, a tinta e o verniz. Nas trocas de lote onde ocorrem as paradas chamadas de *setups*, a máquina têm seus cilindros lavados para a produção de um novo lote com uma nova cor. A água usada nestas lavagens é coletada em baldes e em seguida despejada em *containers* de polietileno de alta densidade, onde se acumulam e geram um volume médio diário de 1200 a 1500 litros de efluente bruto.

Para diminuir este volume de efluente bruto gerado, a fábrica já estuda a implantação das lavagens em cascatas, indicada pelo Guia Técnico Ambiental Tintas e Vernizes – Série P+L divulgado pela CETESB. Nesta técnica se reaproveita águas de segunda e terceira lavagem para a primeira e segunda lavagens da próxima parada, reduzindo consideravelmente o gasto diário de água e o volume de efluente gerado.

2.5 Processos de Tratamento de Efluentes Industriais

De acordo com Giordano (2009), após a caracterização do efluente industrial, deve-se determinar quais processos de tratamento são aplicáveis ao efluente bruto obtido, para então destiná-lo a um tratamento adequado. Após o tratamento se obtém um efluente dentro do padrão de emissão ou dentro do padrão para reutilização em novos processos de produção. De

forma geral se aplicam as seguintes operações: peneiramento, aeração, coagulação, floculação, sedimentação, filtração, neutralização e desinfecção.

Os tratamentos físicos muitas vezes são os primeiros a serem aplicados como fase primária de tratamento. Atuam apenas na separação de fases permitindo a depuração dos efluentes. As substâncias contaminantes neste caso não são degradadas nem eliminadas. Com a separação, pode-se obter mesmo que em volume menor uma concentração de poluentes que ainda é o problema a ser resolvido (FREIRE, R. S. et al., 2000).

O processo de tratamentos químico vem sendo alvo de muitos estudos em busca de avanços nestes métodos, tendo grande aplicabilidade em sistemas ambientais. Ainda se encontra a mesma dificuldade existente nos processos físicos, já que em diversos processos químicos temos a transformação de fase para a separação desta, mas não a eliminação dos poluentes (FREIRE, R. S. et al., 2000).

Segundo a avaliação de Pelegrini (2000), os mecanismos de tratamento por meio biológico são os mais comuns, por atenderem grandes volumes de efluentes, transformando compostos orgânicos tóxicos em CO_2 e H_2O entre outros, com baixo custo. Neste processo é preciso ter uma área territorial grande e um tempo relativamente longo para que ocorra a degradação, e em alguns casos onde a mistura de compostos orgânicos e inorgânicos é grande, este sistema não se torna tão eficiente (FREIRE, R. S. et al., 2000).

Os processos de tratamento a serem adotados, as suas formas construtivas e os materiais a serem empregados são considerados a partir dos seguintes fatores: a legislação ambiental regional; o clima; a cultura local; os custos de investimento; os custos operacionais; a quantidade e a qualidade do lodo gerado na estação de tratamento de efluentes industriais; a qualidade do efluente tratado; a segurança operacional relativa aos vazamentos de produtos químicos utilizados ou dos efluentes; explosões; geração de odor; a interação com a vizinhança; confiabilidade para atendimento à legislação ambiental; possibilidade de reuso dos efluentes tratados (GIORDANO, 2009, p. 6).

2.5.1 PROCESSOS FÍSICOS

De acordo com Giordano (2009), os processos físicos são:

- Gradeamento: é um método utilizado com o objetivo de remover sólidos grosseiros que possam provocar entupimento e causar aspectos indesejáveis na unidade de tratamento. Estas grades podem ser de limpeza mecânica ou manual e o espaçamento entre as barras varia de 0,5 a 2 cm.

- Peneiramento: este processo remove sólidos com diâmetros superiores a 1 mm, capazes de provocar entupimentos ou em efluentes com alta carga orgânica. As peneiras utilizadas apresentam malhas com barras triangulares e o espaçamento varia de 0,5 a 2 mm. A

limpeza pode ser mecânica ou estática, sendo que na presença de misturas gordurosas se indica a limpeza mecânica com escovas. O uso das peneiras é muito recomendado em diversos segmentos industriais, pois facilita nos processos seguintes e otimiza os resultados finais.

- Separação água/óleo: este é um processo físico que se realiza pela existência da diferença de densidade entre as frações oleosas e a água. Nos casos onde a água é mais densa, o produto oleoso é removido pela superfície. Quando a borra oleosa é mais densa, esta se retira por limpezas de fundo do tanque. Este processo não retira óleos emulsionados, neste caso é necessária outra etapa de tratamento.

- Sedimentação: este processo é aplicado de acordo com as características do efluente. Esta etapa funciona como uma clarificação, o material que se deposita no fundo do tanque deve ser mantido por um tempo determinado, para que não ocorra atividade microbiana na formação de lodos orgânicos. Neste caso devido a anaerobiose da atividade microbiana, ocorre a formação de gases que podem levar a flutuação de aglomerados de lodos e até liberação de gás sulfídrico. Em sedimentações de lodos inorgânicos pode-se aplicar um tempo maior para a formação de lodos. A limpeza do tanque de sedimentação pode ser com mecanização ou não e no caso de materiais flutuantes utiliza-se a remoção por espuma.

- Filtração: neste processo se utiliza um meio poroso para a separação de uma mistura de sólidos dispersos em água. Conforme a facilidade que o líquido tem em atravessar o meio, pode-se reter diversos tipos de sólidos em suspensão. Para efluentes industriais a filtração por membranas vem sendo mais aplicada, pois possui alta eficiência na retenção de moléculas orgânicas responsáveis pela presença de cor e toxicidade. As membranas são empregadas de acordo com a remoção que se pretende do meio, podendo ser de microfiltração, ultrafiltração ou nanofiltração.

- Flotação: este processo de separação também é utilizado como clarificação ou diminuição do lodo. Esta separação se baseia na inserção de bolhas de ar no meio aquoso, as partículas deslocam-se para a superfície onde podem ser recolhidas por escoamento ou raspagem superficial. Esta técnica deve ser aplicada em efluentes que se encontram com alto teor de óleos e graxas ou detergentes.

2.5.2 PROCESSOS QUÍMICOS

Giordano (2009) explica que os processos químicos contam com agentes como: coagulantes, floculantes, oxidantes, neutralizantes, entre outros. Este processo promove a

remoção de poluentes clarificando o efluente, ou condiciona este para que sejam retirados e tratados nos processos subsequentes.

- **Coagulação:** neste processo promove-se a desestabilização das partículas dispersas na água para que estas sejam removidas com maior facilidade por processos de filtração. Para a formação adequada de flocos, precisa se estabelecer a partir de testes experimentais as condições ideais para a eficiência do processo. Quando o processo de coagulação se dá em ótimas condições, os processos posteriores são conseqüentemente bem sucedidos, pois está é uma das principais etapas do tratamento. (ALBUQUERQUE, M. B. et al., 2002)

- **Floculação:** este processo completa a coagulação, onde não é necessariamente um processo químico, pois consiste principalmente na agitação que é relativamente baixa. Com esta movimentação, as impurezas presentes na água se chocam com as espécies hidrolisadas pelo processo de coagulação, formando flocos que serão separados por filtração. A floculação depende principalmente da faixa de pH, da temperatura, da quantidade de sólidos dispersos e principalmente de um processo de coagulação eficiente (FERREIRA; FRANCISCO; POHLMAM, 2011).

No quadro 1 é possível observar os principais reagentes utilizados nos processos químicos de coagulação e floculação do efluente.

Quadro 1 - Informações adaptadas dos principais coagulantes e floculantes utilizados (KURITA, 2010)

Coagulante/Floculantes	Função
Al₂(SO₄)₃ – Sulfato de Alumínio PAC – Policloreto de Alumínio Fe Cl₃ – Cloreto Férrico FeSO₄ – Sulfato Ferroso	Cátions polivalentes (Al ³⁺ , Fe ³⁺ , Fe ²⁺ , etc) neutralizam as cargas elétricas das partículas suspensas e os hidróxidos metálicos (Ex.: Al ₂ (OH) ₃), ao adsorverem os particulados, geram uma floculação parcial.
Ca(OH)₂-Hidróxido de Cálcio	Usualmente utilizado como agente controlador do pH. Porém, os íons cálcio atuam também como agentes de neutralização das cargas elétricas superficiais, funcionando como um coagulante inorgânico.
Polímeros Aniônicos e Não-Iônicos	Geração de “pontes” entre as partículas já coaguladas e a cadeia do polímero, gerando flocos de maior diâmetro.
Polímeros Catiônicos	Neutralização das cargas elétricas superficiais que envolvem os sólidos suspensos e incremento do tamanho dos flocos formados (via formação de pontes). Usualmente utilizado no tratamento de lamas orgânicas.
Policátions	São polieletrólitos catiônicos de baixo peso molecular, os quais possuem como função principal a neutralização das cargas elétricas superficiais e aumento do tamanho dos flocos. Utilizados em substituição ao floculantes inorgânicos convencionais

- Filtração por carvão ativado: a empresa Naturaltec (2011) informa que este processo se baseia na separação por adsorção, onde diversas impurezas orgânicas e até alguns íons metálicos se fixam na superfície e nos poros do carvão ativado onde ele atua com ação de purificar, descolorir, recuperar e remover odores (NATURALTEC, 2011).

Após estes processos, avalia-se a água final e corrige-se o pH para que esta possa ser reutilizada em novos processos de produção da própria indústria, minimizando os gastos com água e possíveis contaminações.

3 MÉTODO

3.1 Coleta de Amostras

De acordo com Gandhi Giordano (p.19, 2009) “As amostras dos efluentes brutos servem para quantificar a carga poluidora, verificar a sua variabilidade, definir o processo de tratamento, dimensionar os sistemas de tratamento e para verificar as suas eficácia e eficiência”.

O material de estudo é gerado em uma fábrica, onde durante o processo de produção foram coletadas amostras utilizando garrafas de polietileno de alta densidade para o armazenamento. Em cada processo de lavagem desta fábrica sai um conjunto de resíduos que pode ser diferente dependendo do lote que está sendo processado, portanto para formar um efluente total, foi necessário juntar as amostras de cada equipamento em uma única. Neste efluente temos uma composição bem completa com todos os produtos utilizados nos processos de produção.

As amostras foram coletadas semanalmente, gerando um volume em torno de 5 litros por semana. Deste volume foram retiradas para cada análise realizada um volume de 600 ml. A quantidade de reagentes utilizada para o volume de 600 ml foi convertido para o volume de 1 litro ao final das análises com o propósito de facilitar posteriormente o cálculo do custo com estes reagentes.

3.2 Caracterização do Efluente

A caracterização do efluente pode ser solicitada a uma empresa terceirizada que recebe a amostra coletada e analisas as características que se deseja obter para a avaliação do efluente inicial e final. Esta análise é passo inicial para a escolha do procedimento e dos reagentes a serem aplicados.

No caso em estudo a caracterização do efluente foi realizada na própria fábrica, se tratando apenas da análise de três características: pH, turbidez e teor de sólidos. Estas características foram escolhidas diante do objetivo do tratamento, onde se pretende basicamente retirar os resíduos sólidos em suspensão e diminuir ao máximo os aspectos de cor e odor.

Os materiais utilizados para a caracterização do efluente foram: turbidímetro, pHmetro, placa de petri, papel alumínio, balança analítica e estufa.

O pH foi medido com o auxílio do pHmetro da marca QUIMIS modelo Q400AS, onde se utilizou o efluente a uma concentração tal qual para a leitura. O equipamento realiza a leitura do potencial hidrogeniônico presente na solução através de um conjunto de eletrodos, este foi adequadamente calibrado, e utilizado de acordo com a metodologia fornecida pelo fabricante.

O teor de sólidos foi realizado segundo a norma ABNT NBR 15315 com o auxílio de uma balança analítica da QUIMIS modelo 0520-310, e as amostras separadas foram levadas à estufa com circulação de ar também fabricada pela QUIMIS modelo Q316M. A temperatura de ensaio foi de 150°C e o tempo de residência na estufa foi de 2 horas.

A turbidez foi medida através do turbidímetro fabricado pela HACH modelo Ratio XR, seguindo a metodologia padrão de leitura do equipamento indicada pelo fabricante.

As análises foram realizadas em triplicata e, portanto calculada a média tirada diante dos resultados. Quanto aos aspectos de cor e odor, estes foram observados pelo próprio analista, onde se percebeu a intensidade destas características identificando as como impróprias ou não para o reuso.

3.3 Ensaios de Bancada para o Tratamento do Efluente

Para as análises do estudo de tratamento do efluente foram utilizados os seguintes materiais: copo de Béquer de 1000 mL, agitador microprocessado QUIMIS 0520-310, pipetas de vidro, pera, proveta de 100 e 500 mL, papel filtro qualitativo, cronômetro, policloreto de alumínio (PAC) com 16% em teor de alumínio, polímero anfótero em solução a 1%, polímero catiônico em solução a 1%, hidróxido de sódio em solução a 50%, carvão ativado e o efluente total tal qual.

Macedo (2007) explica que a remoção de sólidos e impurezas através da sedimentação simples nem sempre apresenta um resultado satisfatório, portanto é necessário o uso de produtos químicos coagulantes que reagem com a alcalinidade do meio, com o auxílio de polímeros que se formam com uma carga superficial positiva (hidróxidos). Estes atraem as partículas em suspensão com cargas negativas formando aglomerados maiores, que caracterizam a floculação, alcançando uma velocidade de sedimentação maior e facilitando a separação.

Para o processo de tratamento se utilizou um conjunto de produtos que possuem a função de auxiliar a separação de sólidos e impurezas de acordo com a composição geral do efluente. Esse conjunto de reagentes e as concentrações usadas foram determinados por análises na qual se avaliou a melhor eficiência do processo.

Os coagulantes estudados foram o Sulfato de Alumínio e o PAC (Policloreto de Alumínio), no qual se escolheu o que dentro do processo apresentou maior eficiência. Após a escolha do coagulante foram avaliados os tipos de polímeros e as quantidades de reagentes a serem utilizadas junto com o tempo necessário para o tratamento.

Visando o projeto de ETAs, o procedimento recomendado para a realização dos ensaios de bancada é o de se fixar os tempos e os gradientes de velocidades médios de mistura rápida e de floculação, bem como a velocidade de sedimentação (esta última em se tratando de ETA de ciclo completo), e variar as condições de coagulação (tipo e dosagem de produto químico, e pH de coagulação) (ALBUQUERQUE, M. B. et al., p. 2, 2002).

De acordo com o procedimento descrito acima, é possível encontrar as melhores condições para o tratamento, visando maior eficiência e economia no uso dos reagentes e do processo. Este procedimento é realizado em *Jar Test* ou teste de jarros, um equipamento onde se podem variar as dosagens em seis amostras para uma análise só. Diante das análises realizadas com as variações de reagentes, pH de coagulação, tipo de agitação e tempo de reação e decantação, pode-se montar uma tabela com os dados coletados localizando o meio ótimo para o tratamento.

Antes de se estipular concentrações e tempo de reação, foram feitas análises prévias para definir que reagentes apresentavam melhor desempenho comparando os resultados de coagulação e remoção de sólidos. Dentro destas avaliações se encontrou um conjunto de reagentes que se apresentaram mais eficientes e com estes foi dada sequência aos procedimentos de ensaio de bancada.

Primeiramente procurou-se identificar qual coagulante apresenta maior eficiência, seguindo o procedimento de tratamento onde, se elevou o pH com hidróxido de sódio para 10,0, adicionou-se 20 mL de polímero aniônico e 20 mL de polímero anfótero. Após 5 minutos de agitação média, o pH foi reduzido para 6,0 com sulfato de alumínio onde ocorreu a coagulação do meio em agitação lenta. O mesmo procedimento foi reproduzido com o uso do PAC.

Após a escolha do coagulante diante do resultado obtido, o próximo reagente a ser escolhido é o polímero onde o procedimento realizado para a escolha do coagulante é reproduzido, fixando apenas o coagulante escolhido, neste caso o PAC e variando o polímero entre catiônico, anfótero e aniônico.

A partir dos dados recolhidos após as análises com os polímeros, se identifica qual responde melhor com o coagulante e as análises passam a ser realizadas com os reagentes escolhidos. Nos ensaios realizados dois polímeros se mostraram satisfatórios atuando em conjunto com o PAC, por tanto foram escolhidos para serem utilizados juntos neste tratamento.

Com o coagulante e os polímeros que apresentaram melhores resultados definidos, realizou-se uma análise prévia para determinar quantidades necessárias destes reagentes para o tratamento, tirando uma média destas análises para os ensaios de bancada.

A partir da quantidade média encontrada, montou-se um conjunto de testes para simular um *jar test*, e realizaram-se as análises para encontrar as condições ótimas para o tratamento.

Os testes foram realizados com três variações em cada aspecto. Estes testes nos indicaram quantidades melhores de coagulante, auxiliar coagulante, faixa de pH de coagulação, além do tempo e modo de agitação.

O primeiro reagente testado foi o coagulante, no qual se estabeleceu uma variação de três valores em quantidades próximas da média encontrada nas análises prévias.

Durante esta análise o procedimento para desestabilizar as ligações entre os sólidos foi invertida, então primeiramente se reduziu o pH para um intervalo entre 3 e 4, o efluente ficou em agitação por 10 minutos e em seguida se adicionaram os polímeros. A mistura permaneceu em agitação por mais 10 minutos e o procedimento foi finalizado com a elevação do pH para 6,5, onde ocorreu o início da coagulação.

A alteração no procedimento onde se reduziu o pH e depois elevou-se, melhorou a formação dos flocos, e diminuiu a quantidade de hidróxido de sódio usado no processo.

Nesta análise se observa que quanto maior a quantidade do coagulante utilizada, menor é a quantidade de polímeros, porém em questão de custo que será apresentada mais a frente, é mais viável diminuir a quantidade de coagulante e aumentar a de polímero.

A segunda e terceira análises de bancada estudou a quantidade dos polímeros necessária para a quantidade de coagulante encontrada na análise anterior. O objetivo é encontrar uma quantidade menor do reagente analisado, sem interferir na eficiência do processo, portanto se fixa o volume do coagulante escolhido.

Diante destas análises, se identificou uma quantidade menor de polímeros sem o aumento da quantidade de coagulante, mantendo o resultado do processo satisfatório.

Dentro das análises realizadas pôde-se montar uma quantidade ideal de reagentes para o processo. No entanto deve-se verificar o tempo de reação e velocidade de agitação. Com as

quantidades de reagentes definidas é possível determinar o tempo e o meio ideal para a conclusão do processo, de forma a atingir o melhor resultado.

Três análises foram realizadas onde se variou o tempo necessário para a efetivação do processo. A partir desta análise se observou qual intervalo de tempo mínimo é necessário para que ocorra a reação se obtenha um bom resultado.

Para se determinar o melhor tipo de agitação, foram analisadas amostras submetidas ao processo já determinado diante as análises anteriores, variando apenas o modo de agitação em lento, moderado e rápido. O modo de agitação mais eficiente é escolhido como padrão e será o utilizado durante todo o processo de tratamento.

A quantidade de hidróxido de sódio não foi analisada nos ensaios de bancada, pois sua utilização é apenas para controle da faixa pH. No começo dos estudos utilizou-se o hidróxido de sódio a uma concentração de 10% em solução, onde a quantidade para o controle de pH variava entre 59 a 75 mL/L. Para diminuir a quantidade optou-se utilizar a soda com uma concentração maior, esta então passou a ter uma concentração de 50% em solução. De acordo com as análises posteriores, observou-se que a quantidade de hidróxido de sódio utilizada fica em média 1,5 mL/L.

Em todas as análises se obteve a mesma variação no tempo de decantação dos flocos, que ficou entre 0,16 a 25 mL/s. Neste caso se observou que o efluente varia sua carga de acordo com os compostos utilizados em cada dia, tendo respostas diferentes diante da característica dos flocos e do tempo de decantação. Contudo é possível estabelecer estas variáveis.

4 RESULTADOS

4.1 Caracterização Inicial do Efluente

Na tabela 3 encontram-se os resultados para a análise de caracterização inicial do efluente bruto. Diante do objetivo do tratamento, se escolheu três parâmetros para a análise, estes são apresentados abaixo.

Tabela 3 - Resultado da caracterização do efluente bruto

Parâmetros	1ª Leitura	2ª Leitura	3ª Leitura	Média
pH	7,29	7,95	7,63	7,62
Turbidez (UNT)	>400	>400	>400	>400
Teor de Sólidos (%)	4,21	4,16	4,35	4,24

A estimativa de desvio padrão do pH e do teor de sólidos são apresentados abaixo:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N-1}}$$

$$S \approx 0,30 \text{ pH}$$

$$S \approx 0,10 \text{ Teor de sólidos}$$

4.2 Ensaio de Bancada

Dos coagulantes analisados se obteve um coagulante com o resultado mais satisfatório, este é apresentado na tabela 4.

Tabela 4 - Resultado da análise de coagulação com sulfato de alumínio e PAC

Coagulante	Tamanho dos flocos	Característica
Sulfato de Alumínio	Pequeno	Bem dispersos
PAC	Médio	Dispersos

Diante da resposta à análise observada nas figuras 1 e 2, é possível observar o resultado que indica o PAC com maior eficiência na formação dos flocos, portanto este foi escolhido para a realização do tratamento.

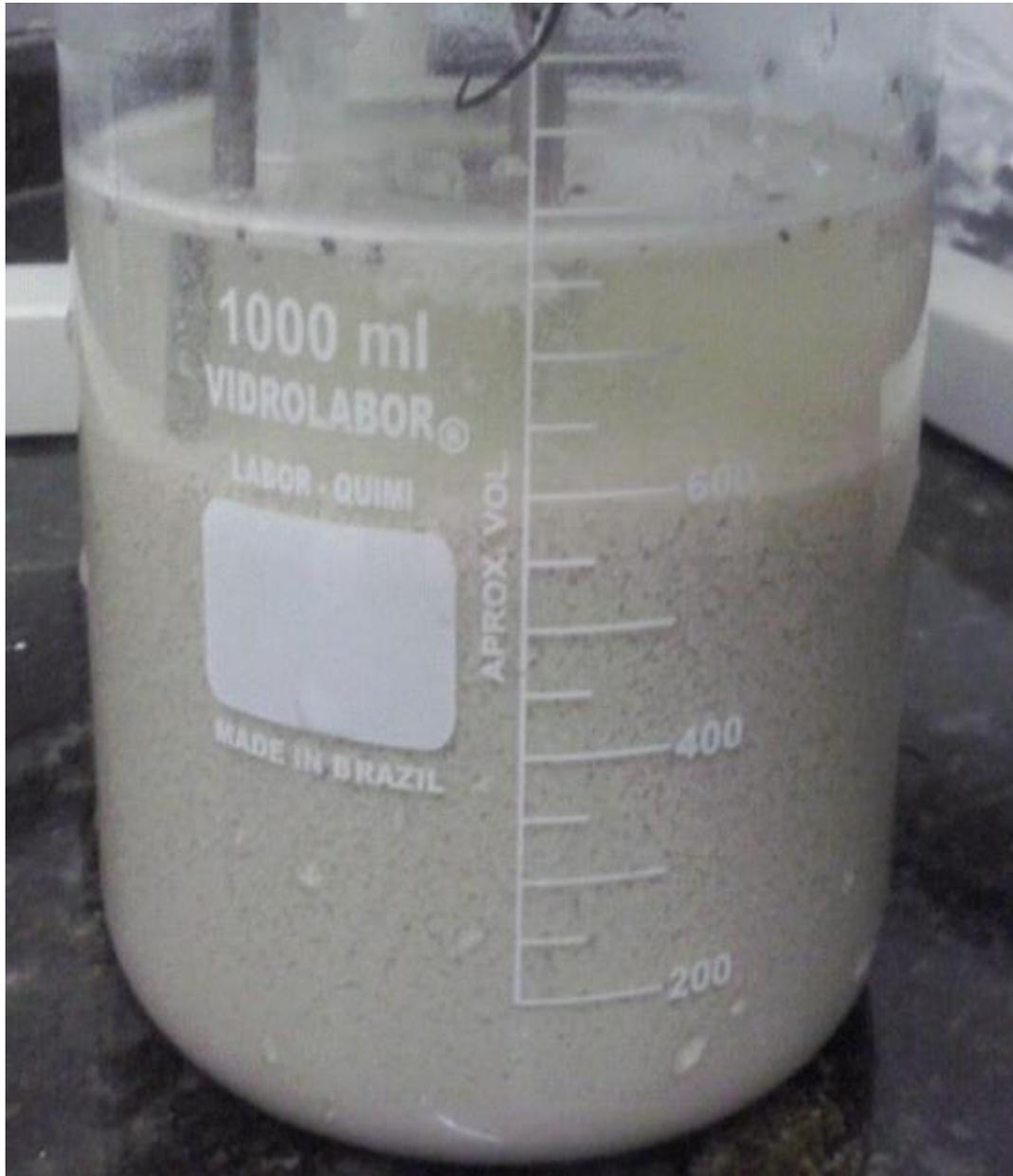


Figura 1 - Resultado da coagulação com Sulfato de Alumínio



Figura 2 - Resultado de coagulação com Policloreto de Alumínio (PAC)

Após as análises com os polímeros, dois destes apresentaram melhores resultados, sendo assim escolhidos para o processo. Na tabela 5 é possível identificar os polímeros que apresentaram os melhores resultados de coagulação.

Tabela 5 - Resultado da coagulação com três tipos de polímeros

Polímero	Coagulação
Catiônico	Média
Aniônico	Pequena
Anfótero	Grande

Após a escolha dos reagentes foi estabelecida uma quantidade média de reagentes a serem utilizados para o tratamento, estas quantidades são apresentadas na tabela 6.

Tabela 6 - Quantidade média de reagentes a serem utilizados

Reagentes	Quantidades (mL/L)
Coagulante PAC (16%)	6
Polímero Catiônico (1%)	15
Polímero Anfótero (1%)	12

Na tabela 7 encontram-se os resultados obtidos após a análise de bancada para a quantidade de PAC a ser utilizada no tratamento.

Tabela 7 - Resultado das análises de bancada com PAC

Coagulante	Quantidade (mL)	Pol. Anfótero (mL)	Pol. Catiônico (mL)	pH de coagulação	Tamanho dos Flocos
PAC	3	5	10	6,80	Grande
	5	5	10	6,50	Grande
	7	3	8	6,50	Grande

Na tabela 8 são apresentados os resultados obtidos após a análise de bancada para a quantidade de polímero catiônico a ser utilizada no tratamento com o PAC.

Tabela 8 - Resultado da análise de quantidade do polímero catiônico

Polímero	Quantidade (mL)	Pol. Anfótero (mL)	PAC (mL)	pH de coagulação	Tamanho dos Flocos
Catiônico	5	8	3	6,50	Médio
	7	5	3	6,30	Grande
	10	5	3	6,60	Grande

Na tabela 9 encontram-se os resultados obtidos após a análise de bancada para a quantidade de polímero anfótero a ser utilizada no tratamento com o PAC e o polímero catiônico.

Tabela 9 - Resultado da análise de quantidade do polímero anfótero

Polímero	Quantidade (mL)	Pol. Catiônico (mL)	PAC (mL)	pH de coagulação	Tamanho dos Flocos
Anfótero	2	7	3	6,70	Médio
	5	7	3	6,70	Grande
	8	7	3	6,40	Grande

Na tabela 10 são apresentados os resultados obtidos após a análise de bancada para o tempo de reação nos intervalos do tratamento.

Tabela 10 - Análise do tempo de reação

Tempo de reação (min)	pH de coagulação	Tamanho dos flocos	Característica dos flocos
10	6,30	Médio	Bem dispersos
20	6,50	Grandes	Pouco dispersos
30	6,50	Grandes	Pouco dispersos

Na tabela 11 tem-se os resultados da análise dos tipos de agitação mais indicado para o tratamento.

Tabela 11 - Resultado da análise de agitação

Agitação	Tamanho dos flocos	Característica dos flocos
Lenta	Grandes	Pouco dispersos
Moderada	Grandes e médios	Pouco dispersos
Rápida	Médios e pequenos	Bem dispersos

Após os ensaios de bancada foram obtidas condições e quantidades de reagentes ideais para o tratamento, na tabela 12 são apresentadas as quantidades de reagentes encontradas após estes ensaios.

Tabela 12- Quantidade final de reagentes a serem utilizados

Reagentes	Quantidade (mL/L)
Coagulante PAC (16%)	5
Polímero Catiônico (1%)	11,60
Polímero Anfótero (1%)	8,30
Hidróxido de Sódio (50%)	1,50- 2

4.3 Tratamento

Diante das respostas obtidas nos ensaios foi possível entender como o efluente responde ao tratamento e identificar as etapas a serem seguidas. Com isso o processo estudado sugere então o fluxograma da figura 3.

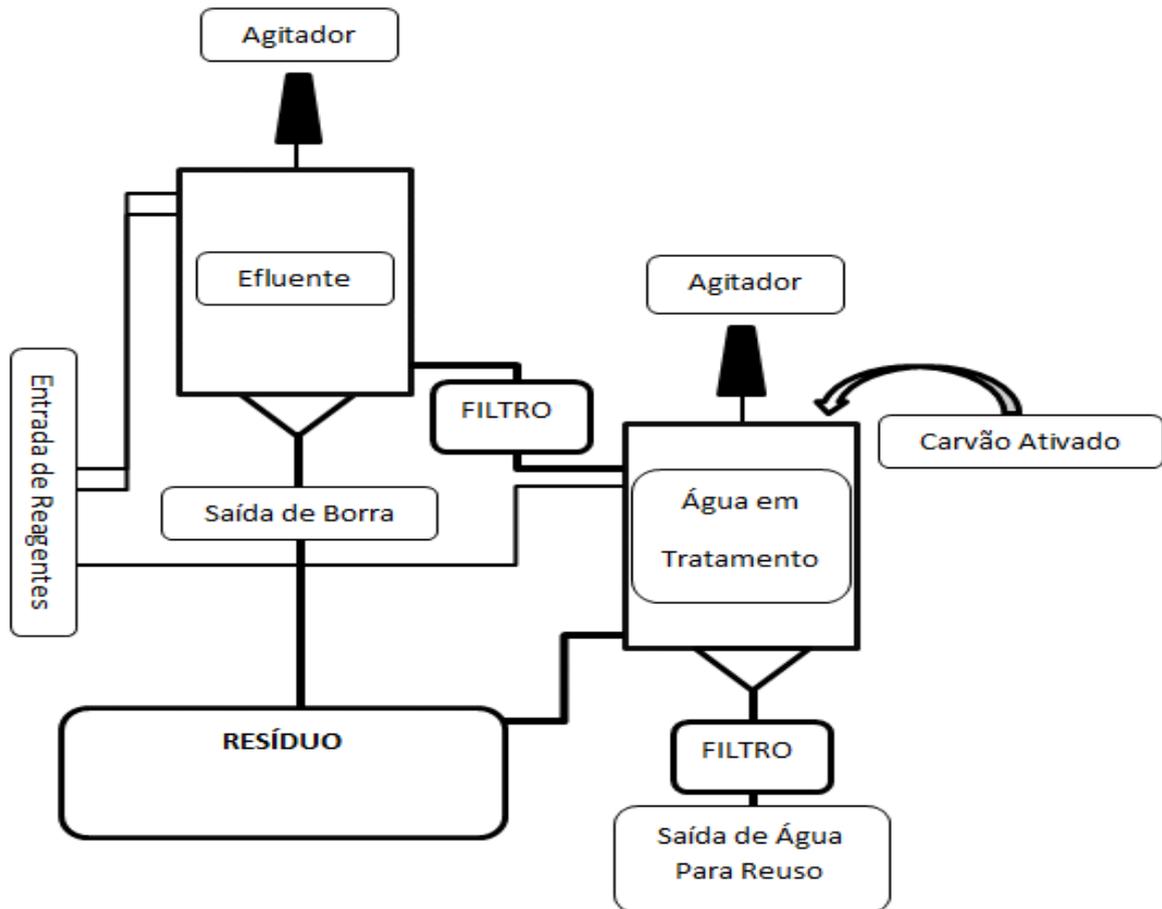


Figura 3 - Fluxograma do processo de tratamento

O processo se inicia com a mistura de todo o efluente gerado no dia anterior que é coletado em um tanque com misturador. O volume recebido neste tanque é usado como base para se calcular as quantidades médias de reagentes. O primeiro reagente inserido ao efluente é o PAC, que reduz o pH inicial até a faixa de 3 - 4, seguido de um tempo de reação variando entre 20 e 30 minutos com agitação moderada. Esta primeira etapa desestabiliza as ligações que mantêm os sólidos em dispersão, preparando o efluente para a formação dos flocos.

Na sequência são adicionados o polímero catiônico e o anfótero, o efluente passa novamente pelo tempo de reação de 20 a 30 minutos com agitação lenta. Os polímeros darão corpo e peso aos flocos, facilitando a separação.

A última etapa do processo de coagulação e floculação é a neutralização do pH, onde se adiciona o hidróxido de sódio lentamente até que seja alcançada a faixa de coagulação, que se encontra entre 6,5 – 7,0. Após a formação dos flocos, a agitação deve permanecer por alguns minutos, a fim de alcançar a maior quantidade de partículas sólidas dispersas no efluente.

É no tanque de coagulação que se realiza a maior parte do processo de separação, no momento em que se interrompe a agitação permitindo que os flocos decantem no fundo do tanque. O tempo de decantação dos flocos pode variar de 30 a 60 minutos, e em seguida a água já pode ser retirada do tanque passando por um filtro e sendo depositada em outro tanque com agitação, a próxima etapa é a de neutralização com carvão ativado.

O carvão ativado é adicionado proporcionalmente a quantidade de água no tanque e em seguida a mistura é submetida a uma agitação moderada apenas para facilitar o contato do carvão com a água e permitir a adsorção de material cromóforo e odorífero, a agitação dura em média 30 minutos. Novamente a água é filtrada, seu pH corrigido e em seguida distribuída para o reuso nas lavagens de cilindros durante os *setups* no processo de produção da fábrica.

Na figura 4 se observa o resultado da coagulação e floculação do efluente, onde a resposta foi positiva e de acordo com os ensaios se obteve uma coagulação ótima, o que nos leva ter também nas próximas etapas resultados ótimos.



Figura 4 - Resultado da coagulação e floculação do efluente

Após a separação da água resultante do processo de coagulação se aplica carvão ativado e agitação durante 30 minutos observado na figura 5, esta etapa melhora as

características da água quando esta ainda apresenta cor e odor após a floculação e a filtração secundária.

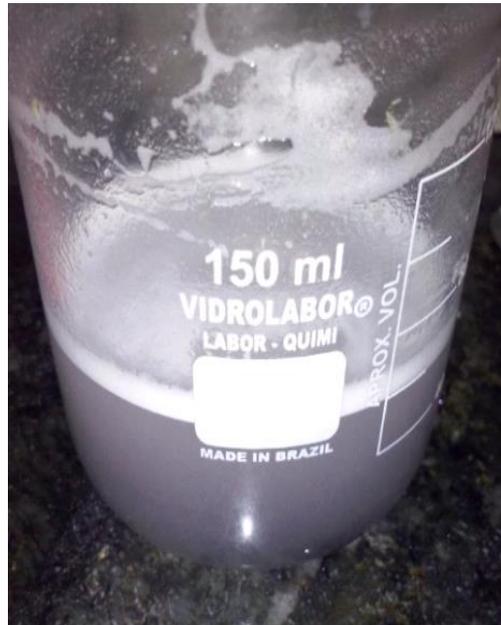


Figura 5 - Agitação com carvão ativado

A água é filtrada após o término da agitação e se obtém uma água sem odor com presença mínima de cor referente à pigmentação que persiste ao tratamento, porém pronta para sua reutilização sem oferecer danos ao processo produtivo.

Na figura 6 temos a filtração final, onde se observa o desprendimento de pigmentos presentes no afluente ainda em tratamento. Após esta etapa se obtém uma água sem presença significativa de cor e odor observada na figura 7.



Figura 6 - Filtração para retirada do carvão ativado e outros sólidos dispersos

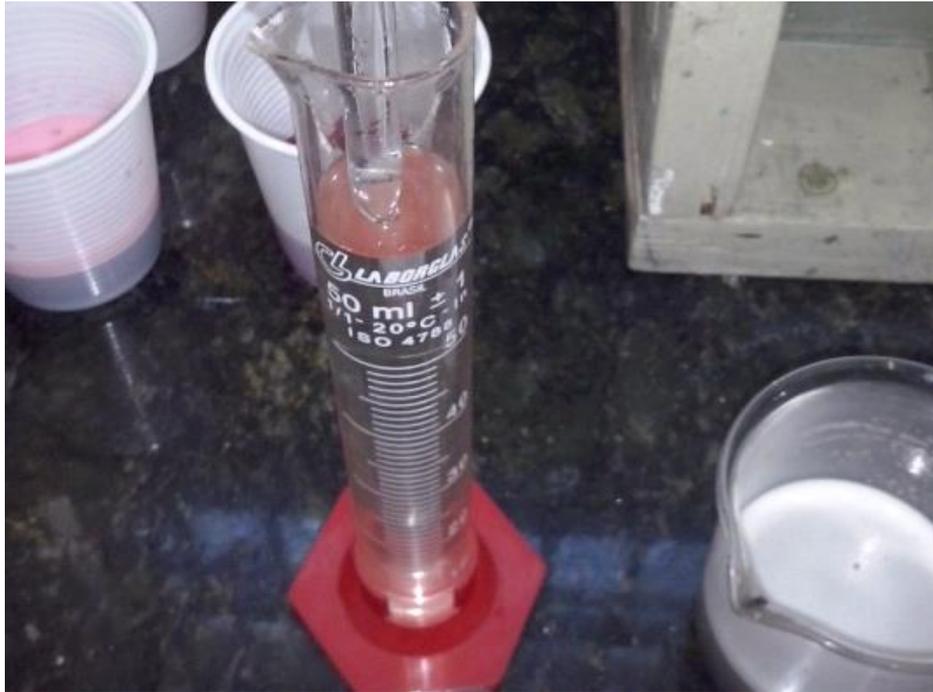


Figura 7 - Água após tratamento

4.4 Caracterização Final

A água resultante do tratamento foi analisada novamente nos aspectos de pH, turbidez e sólidos dispersos, no qual se avaliou a eficiência do processo. Estes resultados são apresentados na tabela 13.

Tabela 13 - Resultado da caracterização da água do efluente tratado

Parâmetros	1ª Leitura	2ª Leitura	3ª Leitura	Média
pH	6,81	7,23	6,72	6,92
Turbidez (UNT)	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
Teor de Sólidos (%)	<0,29%	<0,29%	<0,29%	<0,29%

A estimativa de desvio padrão do pH é apresentado abaixo:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

$$S \approx 0,07 \text{ pH}$$

5 DISCUSSÃO

Os resultados analíticos da tabela 13 comprovam que a remoção de sólidos aplicada ao efluente foi eficiente, pois comparando a média de teor de sólidos obtido no efluente inicial com a média obtida no efluente final, a remoção é superior a 90%. Com isso, o projeto que visa à reutilização da água residual para as lavagens dos equipamentos durante os *setups*, pode ser viabilizado para sua implantação, gerando economia, compromisso com o meio ambiente e sustentabilidade para a organização.

Apesar de não serem realizadas análises mais completas, o resultado obtido nos dá a resposta de que a proposta estudada tem chances concretas de ser realizada, e ainda deixa em aberto muitas oportunidades de melhoria.

Neste estudo foram analisadas técnicas simples para a remoção dos sólidos dispersos na água residual do processo de produção de uma fábrica. Esta fábrica utiliza produtos como tintas, resinas e vernizes, gerando um efluente com diversos compostos químicos. O objetivo de reutilizar as águas de lavagens de equipamentos para novas lavagens é de promover economia e controle dos resíduos gerados pela empresa.

O volume de efluente gerado por lavagens diariamente nesta fábrica fica em torno de 1000 a 1500 litros, e para a implantação do projeto, o tratamento pode ser realizado em sistema descontínuo, pois o uso da água em lavagens não exige fluxo contínuo no sistema.

Além do tratamento proposto para tornar o efluente reutilizável, existe a ideia de conciliar a este projeto o uso da lavagem em cascata visando uma produção mais limpa. Neste procedimento existe separação da água de primeira lavagem com a das demais, utilizando a água de última lavagem como água de primeira no próximo *setup*. Esta técnica promove uma redução na geração de efluente, produzindo um volume menor a ser tratado e economia de água no processo de produção.

Dentro do resultado estudado se estipulou um custo médio para o consumo de reagentes. O preço das matérias primas foi cotado por peso (kg), sendo assim se utilizou a massa específica do PAC para quantificar seu consumo, e para os demais reagentes se utilizou a concentração da solução preparada conforme a tabela 14.

Tabela 14 - Conversão de volumes gastos por litro

Reagente	Quant. (mL/L)	Quant. (g/L)	Quant. kg/L
PAC - 16% Al (ρ 1,32 g/mL)	5	6,6	0,0066
Hidróxido de Sódio (50%)	1,5	0,75	$7,5 \times 10^{-4}$
Polímero Anfótero (1%)	11,6	0,116	$1,16 \times 10^{-4}$
Polímero Catiônico (1%)	8,3	0,083	$8,3 \times 10^{-5}$

Na tabela 15 é apresentado o custo total com reagentes utilizados no tratamento em um período de um mês.

Tabela 15 - Estimativo do gasto mensal com reagentes

Reagente	Preço/kg	Consumo diário em kg (1500 L)	Consumo mensal em kg (22 dias)	Gasto mensal
PAC (16% Al)	R\$ 2,62	9,9	217,8	R\$ 570,64
Hidróxido de Sódio (50%)	R\$ 1,42	1,125	24,75	R\$ 35,15
Polímero Anfótero (1%)	R\$ 22,00	0,174	3,828	R\$ 84,21
Polímero Catiônico (1%)	R\$ 11,39	0,124	2,728	R\$ 31,07
Total em R\$/mês				R\$ 721,07

De acordo com valores médios levantados no mercado, o custo atual da água é de R\$ 14,25/m³, se colocarmos uma média de consumo de 1500 litros equivalente a 1,5 m³ por dia, no final de 22 dias trabalhados em média, teremos um gasto mensal de R\$ 470,25 só com a produção. Considerando que a empresa consiga reaproveitar 100% da água, este custo reduz para zero no processo produtivo, porém ainda que se mantenha uma média de 20% em uso de água para o processo de produção, a empresa teria ainda um gasto médio de R\$ 94,05. A redução de R\$ 376,20 em consumo de água pode entrar no processo de tratamento, reduzindo o custo de R\$ 721,07 para R\$ 344,87 ao mês no consumo de reagentes para o tratamento.

Diante dos cálculos acima, conclui-se que o reuso do efluente tratado ajuda a minimizar o custo do tratamento que já é inevitável, sem ter gastos com tratamentos externos ou com tratamentos mais complexos para atender os padrões de lançamento. Levando em consideração que todo o processo de armazenagem do resíduo que seria tratado externamente, e ainda todo o custo do tratamento terceirizado leva a entender que a economia deste projeto é ainda maior.

Para se atingir um padrão mais adequado, serão necessárias mais análises e estudos para propor um tratamento mais eficiente para o reuso. Dentro do estudo realizado, algumas análises de caracterização não puderam ser feitas por falta de disponibilidade de recursos. Portanto fica aberta a sequencia deste estudo para melhorias tanto no aspecto físico de estrutura quanto no aspecto de desenvolvimento que podem gerar melhores resultados e menores custos.

6 CONCLUSÃO

Através do estudo realizado, se conclui que a proposta de reutilizar um efluente industrial aplicando um tratamento a este, pode melhorar os aspectos econômicos, sociais e ambientais de uma empresa ou organização. As vantagens que vêm com esta proposta devem ser consideradas, pois ainda que a redução do consumo do recurso água não seja esta ideia não seja da importância de todos, está a cada dia mais forte diante das mudanças climáticas já sentidas em todo o planeta.

Diante das análises realizadas é possível observar que não é necessário começar com grandes ideias ou projetos, mas que basta um primeiro passo para que tudo se torne possível, e a cada passo se encontrará uma nova mudança, uma nova proposta e conseqüentemente a melhoria continua.

O estudo apresentado diante dos conhecimentos obtidos no curso de Tecnologia em Processos Químicos propõe o uso da química a favor das empresas, das pessoas e do meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, M. B. et al. Ensaio de Bancada para Estimar a Perda de Carga e a Influência da Flocculação na Filtração Direta Descendente. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL. 28. 2002 **Anais...** Cancun – México, 2002.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Sobre a ANA. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/institucional/SobreaAna/Default.aspx>>. Acesso em: 20 de Maio de 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969**: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9800, NB 1032**: Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1987.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais. Alterada pela resolução nº 410/2009 e 430/2011. **Diário Oficial da União**. Brasília, 18 de março de 2005.

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

BRASIL. Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a política nacional do meio ambiente, seus fins e mecanismos de formação e aplicação e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, 02 de setembro de 1981.

BRASIL. Lei nº 7.347 de 24 de julho de 1985. Disciplina a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagismo (vetado) e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, 24 de julho de 1985.

BRASIL. Lei nº 12305, de 2 de agosto de 2010. Institui a política nacional de resíduos sólidos; altera a Lei nº 9605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, 3 agosto de 2010.

BRASIL. Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, 17 de fevereiro de 1998.

CARDOSO, A.A; ROCHA, J. C.; ROSA, A. H. Introdução à Química Ambiental. Editora Bookman. Porto Alegre, p. 29-33, 2004.

CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA. Efluentes Industriais. **Meio Ambiente**, 2014. CIMM. Disponível em: <http://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/3669-efluentes-industriais#.U3JHq_ldV4k>. Acesso: 18 de Maio de 2014

CENTRO INTERNACIONAL DE REFERÊNCIA EM REÚSO DE ÁGUA. Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. **Conservação e Reuso de Água - Manual de orientações para o setor industrial**. São Paulo, p. 28, 2004.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Histórico. CETESB. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/institucional/institucional/52-Hist%C3%B3rico>>. Acesso em: 16 de Maio de 2014.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Resíduos sólidos de saúde, urbanos e industriais. Introdução. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/residuos-solidos/Res%C3%ADduos-Urbanos/1-Introdu%C3%A7%C3%A3o> Acesso em: 16 de maio de 2014.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia Técnico Ambiental Tintas e Vernizes – Série P+L**. p.46. São Paulo: CESTESB, 2006.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (São Paulo, SP). Histórico. CONSEMA. Disponível em: < <http://www.ambiente.sp.gov.br/consema/>>. Acesso em 13 de novembro de 2014.

DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA (São Paulo, SP). O que é o DAEE. Disponível em: <http://www.dae.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=50&Itemid=29>.

FREIRE, R. S. et al. Novas Tendências para o Tratamento de Resíduos Industriais Contendo Espécies Organocloradas. Instituto de Química Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2000.

FERREIRA, M. A.; FRANCISCO, A. A., POHLMAM, P. H. M. Tratamento Convencional de Águas para Abastecimento Humano: uma abordagem teórica dos procedimentos envolvidos dos indicadores de referência. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. 2. 2011. Londrina. **Anais...** Londrina. 2011, p. 5.

GIORDANO, G. Apostila de Tratamento e Controle de Efluentes Industriais. UERJ - Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Histórico. IBAMA. Disponível em: < <http://www.ibama.gov.br/aceso-a-informacao/historico>>. Acesso em: 13 de novembro de 2014.

KURITA. **Soluções em Engenharia de Tratamento de Água**. Disponível em: <<http://www.kurita.com.br/adm/download/ETA.pdf>>. Acesso em: 30 de outubro de 2014.

MACEDO, J. A. B. **Águas & Águas**. 3º ed., Belo Horizonte: Jorge Macedo, 2007, cap. 4. (Série Revisada e Atualizada).

MATURATO, A. Dióxido de titânio pode causar impacto ambiental. Equipe Biotec AHG, 2009. Disponível em: <<http://www.biotec-ahg.com.br/index.php/pt/acervo-de-materias/meioambiente/536-dioxido-de-titanio-pode-causar-impacto-ambiental>>. Acesso em: 06 Abril 2014.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **CONAMA**. O que é CONAMA. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/estr.cfm>>. Acesso em 16 de Maio de 2014.

NATURALTEC. Tratamento de Água. São Paulo. Disponível em: <http://www.naturaltec.com.br/Carvao-Ativado.html> Acesso em 13 de outubro de 2014

NOGUEIRA, R. F. P; OLIVEIRA, M. C.; SILVA, M. R. A. Estudo da aplicação do processo foto-Feton solar na degradação de efluentes de indústria de tintas. **Eclética Química**. São Paulo, v.29, n.2, 2004. (versão impressa ISSN 0100-4670)

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. A secretária – Quem somos. SMA. Disponível em: < <http://www.ambiente.sp.gov.br/a-secretaria/quem-somos/>>. Acesso em 13 de novembro de 2014.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE et. al. Guia Técnico Ambiental da Indústria Gráfica, São Paulo, 2003.

ANEXO

Anexo A - Uma pequena relação de leis, decretos, portarias, resoluções, e normas técnicas procuram abordar, prevenir e cuidar de atividades que possam por sua vez oferecer danos ao meio ambiente por atividades humanas. Nota-se que a listagem abaixo não esgota a legislação sobre este assunto, portanto para casos específicos, deverão ser consultadas outras leis (SMA et al., 2003).

- LEI Nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981 – Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação e dá outras providências.

- LEI Nº 7.347 de 24 de Julho de 1985 – Disciplina a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagismo (vetado) e dá outras providências.

- LEI Nº 9.605, de 12 de Fevereiro de 1998 – LEI DE CRIMES AMBIENTAIS – Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente e dá outras providências.

- Decreto nº 50.877, de 29 de Junho de 1961 – Dispõe sobre o lançamento de resíduos tóxicos ou oleosos nas águas interiores ou litorâneas do País e dá outras providências.

- Decreto nº 2.657, de 3 de Julho de 1998 – Promulga a Convenção nº 170 da OIT, relativa à Segurança na Utilização de Produtos Químicos no Trabalho, assinada em Genebra, em 25 de Junho de 1990.

- Decreto nº 3.179, de 21 de Setembro de 1999 – Dispõe sobre a especificação das sanções aplicáveis às condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.

- Portaria MINTER Nº 53, de 1º de Março de 1979 – Dispõe sobre o destino e tratamento de resíduos.

- Resolução CONAMA Nº 1, de 23 de Janeiro de 1986 – Dispõe sobre a elaboração do estudo de Impacto Ambiental – EIA e respectivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA.

- Resolução CONAMA Nº 20, de 18 de Junho de 1986 – Dispõe sobre a classificação doces, salobras e salinas em todo o território nacional, bem como determinar os padrões de lançamento.

- Resolução CONAMA Nº 6, de 15 de Junho de 1988 – Dispõe sobre a geração de resíduos nas atividades industriais, e dá outras providências.

- Resolução CONAMA Nº 2, de 22 de Agosto de 1991 – Dispõe sobre as cargas deterioradas, contaminadas, fora de especificação ou abandonadas que deverão ser tratadas como fontes potenciais de risco para o meio ambiente até manifestação do Órgão de Meio Ambiente competente.

- Resolução CONAMA Nº 237, de 19 de Dezembro de 1997 – Dispõe sobre o Licenciamento Ambiental.

- NBR ISO 14001/96 – Sistema de gestão ambiental – Requisitos com orientação para uso. Esta norma informa quais requisitos para se obter um sistema da gestão ambiental, como desenvolver e implementar uma política que leve em conta os requisitos legais e os aspectos ambientais importantes (ABNT 2010).

- NBR ISO 14004/96 - descreve princípios, sistemas e técnicas de apoio para um sistema de gestão ambiental, prevê a implementação, manutenção e melhoria com outros sistemas de gestão (ABNT 2010).

- NBR ISO 19011/02 substituída pela NBR ISSO 19011/12 - Orienta sobre os princípios de auditoria, gestão de programas de auditoria, realização de auditorias de sistema de gestão da qualidade e auditorias de sistema de gestão ambiental (ABNT, 2012).

- NORMA CETESB L1.022 (1994) – Procedimento para a utilização de produtos biotecnológicos para tratamento de efluentes líquidos, resíduos sólidos e recuperação de locais contaminados.

- NORMA CETESB L10.101 (1988) – Resíduos sólidos industriais – Procedimento para tratamento no solo.