

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

BEATRIZ PREUSS CUSTÓDIO

OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES.
ESTUDO DE CASO: INDÚSTRIA DE TINTAS BASE ÁGUA

CRICIÚMA

2014

BEATRIZ PREUSS CUSTÓDIO

**OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES.
ESTUDO DE CASO: INDÚSTRIA DE TINTAS BASE ÁGUA**

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

Orientadora: MSc. Nadja Zim Alexandre

CRICIÚMA

2014

BEATRIZ PREUSS CUSTÓDIO

**OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES.
ESTUDO DE CASO: INDÚSTRIA DE TINTAS BASE ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental, no curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, com Linha de Pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Criciúma, 25 de novembro de 2014.

BANCA EXAMINADORA

Profª Engª Química Nadja Zim Alexandre – Mestre – UNESC – Orientadora

Profª Engª Ambiental Paula Tramontim Pavei – Mestre – UNESC

Prof. Engº Químico José Alfredo Dallarmi da Costa – Mestre – UNESC

Aos meus pais, Remi e Neusa, formadores do meu caráter, que me ensinaram a valorizar a ética e a educação, e a me dedicar a tudo o que faço.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e ao meu anjo da guarda, por guiarem meus passos e iluminarem meus caminhos.

Aos meus avós, pelo cuidado e carinho, e aos meus pais, pela dedicação, motivação, conselhos e abraços. Eu amo vocês!

Ao meu irmão, por tornar meus dias mais divertidos, e aos meus primos e tios, que sempre estão dispostos a me ajudar.

Ao Dr. Valmir Roman, por não medir esforços para possibilitar um excelente início para minha vida profissional.

À minha orientadora, Prof^a Nadja Zim Alexandre, pela paciência e orientação, e a todos os professores do curso de Engenharia Ambiental, por serem incansáveis educadores e mentores de novos profissionais.

À banca examinadora, professor Alfredo e professora Paula, por aceitarem o convite.

À empresa e ao meu supervisor de campo, engenheiro Ramires Antunes Rabelo, pela oportunidade concedida. A todos os funcionários, principalmente ao pessoal do laboratório e ao meu amigo Reginaldo Sávio, por aceitar este desafio e possibilitar a troca de conhecimento.

Ao meu namorado, companheiro e parceiro de todas as horas, Eduardo Bongioiolo, pela prontidão, paciência e amor.

**“É o tempo da travessia: e, se não ousarmos
fazê-la, teremos ficado, para sempre, à margem
de nós mesmos.”**

Fernando Teixeira de Andrade

RESUMO

Este estudo de caso teve como principal finalidade avaliar e otimizar o sistema de tratamento de efluentes de uma indústria de tintas base água. O tratamento físico-químico de clarificação seguido de filtração por carvão ativado apresentava problemas operacionais, acarretando no acúmulo de efluente bruto a ser tratado. Para atingir o objetivo proposto, foram realizados ensaios laboratoriais em *Jar Test* e ensaios de sedimentação, onde se determinaram as dosagens ideais de Ca(OH)_2 , Policloreto de Alumínio e Polímero Catiônico. Como forma de avaliar o processo, utilizaram-se como indicadores de desempenho a clarificação do efluente, a velocidade de sedimentação dos flocos e o volume de lodo formado. As dosagens ideais dos reagentes obtidas em laboratório foram de $1,6 \text{ g.L}^{-1}$ de Ca(OH)_2 para elevação do pH à 11, $360 \text{ a } 450 \text{ mg.L}^{-1}$ de Policloreto de Alumínio para proporcionar a coagulação; e $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$ de Polímero Catiônico para formação de flocos com características adequadas à sedimentação. Estes valores foram ampliados e aplicados na escala real para $1,6 \text{ m}^3$ de efluente bruto. Após a otimização do sistema, alcançou-se maior velocidade de tratamento e filtração, permitindo eliminar o acúmulo de efluente bruto no reservatório. A análise das características físico-químicas do efluente bruto e tratado mostrou que o padrão de DBO estabelecido legalmente não é atingido com o tratamento realizado, podendo ser necessário o tratamento biológico ou outra forma de tratamento para atendimento dos parâmetros legais. No entanto, como solução alternativa propôs-se o reúso do efluente tratado, gerando economia e evitando custos com a implantação de tratamento secundário. Sugeriu-se a adoção de maior tempo de decantação do efluente tratado no tanque de mistura, a troca do aerador por borbulhamento por um misturador mecânico e o redimensionamento do filtro prensa.

Palavras-chave: Efluentes industriais. Tratamento físico-químico. Coagulação. Floculação. Clarificação.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Floculador com agitador de paleta (A) e floculador de eixo vertical tipo fluxo axial. (B).....	25
Figura 2 – Tanques de armazenamento de resina.....	31
Figura 3 – Cores dos pigmentos recebidos em forma líquida.	32
Figura 4 – Tanque de descarte para limpeza de equipamentos.	33
Figura 5 – Calha de recepção de efluentes provenientes da limpeza de equipamentos.	34
Figura 6 – Sistema de captação de água proveniente da limpeza do prédio industrial.	34
Figura 7 – Fluxograma do processo produtivo de tintas base água e etapas geradoras de efluentes líquidos.....	36
Figura 8 – Reservatórios de recebimento do efluente para posterior tratamento.	37
Figura 9 – Aerador por borbulhamento localizado no tanque de mistura.	38
Figura 10 – Estação de Tratamento de Efluentes de tintas base água.	38
Figura 11 – Fluxograma do atual sistema de tratamento de efluentes de tintas base água.	40
Figura 12 – A) Hidróxido de Cálcio a 10%; B) Policloreto de Alumínio a 18%; C) Polímero Catiônico a 0,02%.	43
Figura 13 – Aspectos observados no efluente bruto.....	46
Figura 14 – Efluente após adição de PAC.....	47
Figura 15 – Efluente após adição de Polímero.....	48
Figura 16 – Sedimentação das amostras de diferentes valores de pH.....	51
Figura 17 - Volume de lodo gerado em função do pH com destaque do volume de lodo gerado (em mL) em 30 minutos de observação.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Faixas de pH ideais para coagulantes e floculantes.....	24
Tabela 2 – Parâmetros para lançamento de efluentes segundo CONAMA 430/11 e Lei Estadual 14.675/09.	29
Tabela 3 – Dados mensais relacionados à geração de efluentes no ano de 2014.	35
Tabela 4 – Caracterização do efluente bruto e tratado.	45
Tabela 5 – Resultados obtidos no primeiro ensaio para determinação de dosagens ideais.	47
Tabela 6 – Resultados obtidos no segundo ensaio para determinação de dosagens ideais.	48
Tabela 7 – Velocidades de sedimentação das amostras.	52
Tabela 8 – Comparação da situação inicial e da situação proposta para o tratamento de efluentes. Os dados se referem ao tratamento em batelada de 1,6 m ³ de efluente.	55
Tabela 9 – Economia mensal do consumo de reagentes no sistema de tratamento proposto. .	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAFATI	Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas
$Al_2(SO_4)_3$	Sulfato de Alumínio
$Al_n(OH)_mCl_{(3n-m)}$	Policloreto de Alumínio
ANA	Agência Nacional de Águas
$Ca(OH)_2$	Hidróxido de Cálcio
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
$Fe_2(SO_4)_3$	Sulfato Férrico
$FeCl_3$	Cloreto Férrico
$FeSO_4$	Sulfato Ferroso
FIRJAN	Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
NBR	Norma Brasileira
PAC	Policloreto de Alumínio
pH	Potencial Hidrogeniônico
rpm	Rotações por minuto
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SSed	Sólidos Sedimentáveis
SST	Sólidos Suspensos Totais
ST	Sólidos Totais
TOC	Carbono Orgânico Total

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 A INDÚSTRIA DE TINTAS	13
2.1.1 Tipos e Composições das Tintas	13
2.1.2 Processo Produtivo de Tintas Base Água.....	15
2.1.3 A Água na Produção de Tintas	16
2.2 EFLUENTES INDUSTRIAIS	16
2.2.1 Sistemas de Tratamento de Efluentes	17
2.2.2 Resíduos Gerados no Tratamento de Efluentes	20
2.2.3 Produtos para Coagulação e Floculação	22
2.2.4 Ensaio de Tratabilidade	25
2.2.5 Ensaio de Sedimentação	26
2.3 DESTINAÇÃO DO EFLUENTE TRATADO	27
2.3.1 Reúso do efluente tratado	27
2.3.2 Lançamento em corpos receptores	28
3 METODOLOGIA.....	31
3.1 PROCESSO PRODUTIVO	31
3.2 GERAÇÃO DE EFLUENTES	33
3.3 SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES	37
3.4 DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS LABORATORIAIS	41
3.4.1 Materiais e equipamentos	41
3.4.2 Ensaio em <i>Jar Test</i> e Ensaio de Sedimentação	42
3.5 DEFINIÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES IDEAIS E AMPLIAÇÃO DE ESCALA ...	44
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS	45
4.1 CONCENTRAÇÕES IDEAIS.....	49
4.1.1 Cálculo da concentração ideal de alcalinizante (Ca(OH) ₂)	49
4.1.2 Cálculo da concentração ideal de coagulante (PAC)	49
4.1.3 Cálculo da concentração ideal de Polímero Catiônico.....	50
4.2 VELOCIDADES DE SEDIMENTAÇÃO	50
4.3 APLICAÇÃO EM ESCALA REAL	54
4.4 DESTINAÇÃO DO LODO	55
4.5 REÚSO DA ÁGUA	56
4.6 ECONOMIA DO PROCESSO	56
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	58
REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

O ritmo crescente da produção industrial das últimas décadas vem gerando danos indesejáveis ao meio ambiente, bem como a preocupação em relação a estes. A poluição de corpos hídricos tornou-se um dos maiores e mais constantes impactos ambientais, e como tal, deve ser controlada e minimizada.

Na sociedade contemporânea, a água é vista como recurso hídrico, e não mais como bem natural. A omissão em relação à quantidade e qualidade da água utilizada e descartada, somada ao crescimento populacional e à exploração descontrolada dos recursos naturais, intensificou sua escassez em determinadas regiões do planeta, e levou a uma crise socioambiental de aspectos sociais, econômicos, culturais e ambientais (BACCI; PATACA, 2008).

Neste sentido, este estudo busca aperfeiçoar o tratamento dos efluentes líquidos de uma indústria de tintas, reduzindo seus efeitos danosos ao meio ambiente.

Os efluentes industriais da empresa são gerados nas etapas de limpeza dos equipamentos e do piso da fábrica. Estas operações utilizam um volume considerável de água e conseqüentemente geram uma quantidade significativa de efluentes, contaminados pelos componentes das tintas produzidas.

Para evitar a degradação ambiental do solo e dos recursos hídricos e cumprir as normas ambientais, é de extrema importância que esses efluentes passem por tratamento antes de sua disposição final.

O tratamento deve ser adequado e eficiente, para que não comprometa a qualidade do ambiente e nem o processo produtivo, caso se adote o reúso do efluente. Sendo assim, a constante avaliação e otimização do sistema de tratamento garante a adequação do efluente aos padrões exigidos para o seu lançamento em corpos receptores ou às condições necessárias para o uso industrial. Além disso, o sistema de tratamento em questão nunca havia sido avaliado anteriormente, fazendo-se ainda mais importante a realização deste estudo.

Para garantir a eficiência da ETE, faz-se necessário que sua operação seja realizada de forma adequada, com as dosagens ideais de produtos químicos, tempo suficiente para clarificação do efluente nos decantadores, bem como para o condicionamento do lodo gerado.

O sistema de tratamento dos efluentes provenientes da produção de tintas base água da empresa estudada consiste no processo de clarificação química (coagulação e floculação), seguido de sedimentação e filtração por carvão ativado.

Diante da problemática exposta, este estudo tem como objetivo geral avaliar e otimizar o sistema de tratamento de efluentes de uma indústria de tintas base água. Para isso, pretende-se alcançar os seguintes objetivos específicos:

- a) Descrever o processo produtivo da indústria de tintas base água;
- b) Expor o sistema de tratamento de efluentes de tintas base água da atividade;
- c) Avaliar as condições atuais do efluente bruto e do efluente tratado;
- d) Parametrizar a ETE com relação ao uso e dosagem de produtos químicos;
- e) Avaliar a viabilidade de reúso do efluente tratado.

Para atender aos objetivos propostos foram realizados, com auxílio do *Jar Test*, ensaios laboratoriais para definição do pH e das dosagens ideais dos produtos utilizados no tratamento dos efluentes, sendo eles o Hidróxido de Cálcio (Ca(OH)_2), aplicado para elevar o pH do efluente, o Policloreto de Alumínio (PAC), empregado como coagulante, e Polímero (Polieletrólito) Catiônico como auxiliar de floculação. Os parâmetros de análise foram a velocidade de sedimentação dos flocos, a clarificação do efluente e o volume de lodo formado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A INDÚSTRIA DE TINTAS

O conceito de tinta é definido por Donadio e ABRAFATI (2011) como uma mistura de produtos químicos que são aplicados em uma superfície com a finalidade de conferir a esta acabamento, resistência ou proteção.

Há cerca de 30.000 anos, as tintas já eram utilizadas por sociedades nômades primitivas, provavelmente apenas como expressão artística, em pinturas rupestres. Porém, ao longo da história, as tintas começaram também a ser utilizadas com a finalidade de proteção de superfícies (MELLO; SUAREZ, 2012).

Industrialmente, as tintas foram introduzidas no mercado no ano de 1867, durante a Revolução Industrial, pois nesta ocasião também foram desenvolvidos equipamentos que facilitaram a produção de tintas em larga escala (FAZENDA, 2005).

Atualmente, o setor brasileiro de tintas é composto pelas linhas de tintas imobiliárias, automotivas e industriais (YAMANAKA *et al*, 2006), tendo sido o Brasil considerado, em 2012, o quinto maior produtor mundial de tintas, contando com tecnologia de ponta e competência técnica comparável à dos mais avançados centros mundiais (FERREIRA, 2012).

Segundo dados da ABRAFATI (2014), no ano de 2013 o volume de tintas produzidas no Brasil foi de 1,426 bilhão de litros, registrando crescimento de 2% em relação ao ano anterior e previsão de crescimento de 2 a 3% em relação ao ano seguinte.

2.1.1 Tipos e Composições das Tintas

Conforme Donadio; ABRAFATI (2011), as tintas podem ser classificadas quanto ao mercado atendido ou quanto à formação do revestimento. No primeiro caso, as mesmas classificam-se em:

- a) **Imobiliárias:** destinadas à construção civil; De acordo com a ABRAFATI (2014), essa linha representa cerca de 80% da produção de tintas de 2013;
- b) **Industriais:** utilizadas no processo industrial de fabricação de determinado produto, como *primers*, tintas em pó e tintas de cura por radiação;

- c) **Especiais:** tintas com outras finalidades, como demarcação de tráfego, tintas para madeira e principalmente repintura automotiva.

Quanto à classificação pela formação do revestimento (e sua secagem), as tintas podem ser classificadas como (YAMANAKA *et al*, 2006):

- a) **Lacas:** a película é formada através da evaporação do solvente;
- b) **Produtos látex:** a secagem se dá por coalescência (evaporação do solvente e fusão das partículas sólidas);
- c) **Produtos termo convertíveis:** a uma temperatura adequada, ocorre a reação entre duas resinas presentes na composição da tinta, promovendo sua secagem;
- d) **Sistemas de dois componentes:** os componentes da tinta são misturados no momento da pintura, onde ocorre a secagem em temperatura ambiente;
- e) **Tintas de secagem oxidativa:** a secagem ocorre pela ação do ar.

Independente da sua classificação, as tintas são compostas, em geral, por resinas, pigmentos, aditivos e solventes:

- a) **Resinas:** é a parte não volátil da tinta que tem a função de aglomerar as partículas de pigmentos, além de determinar o tipo de tinta ou revestimento empregado (FAZENDA, 2005). Também determinam as características físicas e químicas da tinta, como brilho e secagem. As mais comuns são as alquídicas, epoxídicas, acrílicas, poliéster, vinílicas e nitrocelulose (YAMANAKA *et al*, 2006);
- b) **Pigmentos:** conferem cor, opacidade, certas características de resistência e outros efeitos. Os pigmentos tem fina granulometria e são insolúveis no meio líquido em que se encontram (FAZENDA, 2005);
- c) **Aditivos:** envolvem uma grande quantidade de componentes químicos e conferem propriedades específicas às tintas, como bloqueadores dos raios UV, bactericidas, secantes, inibidores de corrosão, entre outros (YAMANAKA *et al*, 2006);
- d) **Solventes:** responsáveis pelo aspecto líquido da tinta. Podem ser solventes orgânicos ou água, e evaporam após a aplicação (YAMANAKA *et al*, 2006).

Além destes quatro componentes, ainda são utilizadas **cargas minerais** com características químicas e físicas, como brancura e granulometria, indispensáveis para a produção de tintas látex e seus complementos (YAMANAKA *et al*, 2006).

2.1.2 Processo Produtivo de Tintas Base Água

As tintas que utilizam a água como solvente surgiram a partir da necessidade de reduzir a periculosidade do processo produtivo e a poluição ambiental, em relação às tintas produzidas com solventes orgânicos. As vantagens das tintas base solvente em relação às tintas base água são sua menor toxicidade, redução de periculosidade e poluentes no ar e fácil adaptação às linhas de pintura. A secagem mais lenta surge como uma das principais desvantagens das tintas base água (FAZENDA, 2005).

Segundo Lima (2012), de maneira geral, a fabricação de tintas é composta por três etapas principais: pré-mistura, moagem (ou dispersão) e completagem:

- a) **Pré-mistura:** tem por objetivo principal a incorporação do pigmento (em pó) em um veículo líquido, até que esta mistura se torne homogênea e estável (LIMA, 2012). Para tanto, utiliza-se geralmente um disco dispersor de alta velocidade, que quebra os aglomerados mecanicamente, através das forças de dispersão de impacto e atrito (FAZENDA, 2005);
- b) **Moagem:** o produto pré-misturado é submetido à dispersão, por meio de moinhos de bolas, verticais ou horizontais, a fim de chegar à condição finamente dividida (LIMA, 2012). O moinho de bolas é um cilindro giratório horizontal, mais comumente carregado de bolas de cerâmica ou de aço, que dispersa a mistura por cisalhamento e impacto nas paredes internas do moinho (FAZENDA, 2005).

Os moinhos verticais são dispersores contínuos que utilizam areia para a dispersão dos pigmentos. Bombeia-se a base de moagem (pigmento e veículo líquido) através de uma câmara cilíndrica de agitação intensa contendo areia. A mistura passa em sentido ascendente pelo moinho, sendo retida e moída pela areia, efetuando a dispersão por forças de cisalhamento. Em seguida, essa mistura atravessa uma tela que separa o líquido da areia (FAZENDA, 2005).

Os moinhos horizontais são adaptações dos moinhos verticais, porém com maior eficiência, pois a energia cinética é maior, permitindo a moagem de misturas com viscosidades mais altas e com pigmentos de difícil dispersão (FAZENDA, 2005);

- c) **Completagem:** etapa de diluição da mistura (pigmento líquido) em água (solvente). Inicia-se pela pesagem da água e adição do pigmento disperso na mesma. Em seguida ocorre, através de moinhos, a distribuição uniforme do pigmento no veículo líquido, chamada trituração. A etapa posterior é a diluição e secagem, na qual a pasta formada pela trituração é misturada com outros produtos que darão as propriedades desejadas à tinta. O produto segue então, para o controle de qualidade, tintagem (adição do pigmento para conferir a cor exata), e filtragem, onde a tinta passa por filtro para remoção de partículas sólidas de poeira ou sujeira. O último passo é o de embalagem, no qual o produto final é envazado (LIMA, 2012).

2.1.3 A Água na Produção de Tintas

Segundo Giordano (2004), a indústria em geral utiliza a água de várias maneiras, como lavagem de máquinas, tubulações e pisos, sistemas de resfriamento e geradores de vapor, etapas do processo industrial, incorporação ao produto, uso por parte dos funcionários (banheiros, refeitórios), entre outros.

Tratando-se especificamente da indústria de tintas, a água pode ser considerada como o recurso de maior utilização, pois está presente em todo o processo produtivo. Além de ser incorporada ao produto (no caso da tinta base água), ela é empregada na lavagem de equipamentos e instalações industriais, na área de utilidades e manutenção (YAMANAKA *et al*, 2006).

2.2 EFLUENTES INDUSTRIAIS

Na indústria de tintas, a maior fonte de geração de efluentes está nas operações de limpeza dos equipamentos entre lotes de cores diferentes. Quando os equipamentos são esvaziados, após o uso, e a próxima formulação é diferente, eles são lavados com água, solventes e/ou solução de NaOH (YAMANAKA *et al*, 2006). Giordano (2004) recomenda a redução do consumo de água para lavagens de equipamentos e pisos industriais como a primeira medida de controle a ser adotada.

A composição desses efluentes advindos do processo de lavagem varia devido à diversidade de matérias-primas utilizadas pelas diferentes empresas, mas todos contêm altas concentrações de solventes (no caso de tintas base solvente) e sólidos suspensos, geralmente coloridos, que requerem tratamento (YAMANAKA *et al*, 2006).

Segundo Cavalcanti (2009), os principais poluentes constituintes das águas residuais industriais, não apenas do setor de tintas, e seus efeitos são:

- a) **Substâncias orgânicas biodegradáveis:** reduzem o oxigênio em cursos d'água. Podem ser proteínas, carboidratos e gorduras biodegradáveis, medidas através da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO) ou Carbono Orgânico Total (TOC);
- b) **Óleos e graxas:** inibem a aeração natural dos corpos d'água;
- c) **Sólidos em suspensão:** sua sedimentação pode formar bancos de lodo em rios e conseqüente decomposição anaeróbia, formando gás sulfídrico;
- d) **Gosto e odor:** proveniente de substâncias orgânicas, é preocupante em águas destinadas ao abastecimento;
- e) **Metais:** produtos tóxicos;
- f) **Nitrogênio e fósforo:** relevante quando os corpos receptores forem lagos, represas e áreas de lazer, por serem precursores do processo de eutrofização;
- g) **Cor e turbidez:** impedem a penetração de luz solar e causam problemas estéticos;
- h) **Substâncias dissolvidas:** dificultam o reúso indireto do efluente em função da dificuldade que alguns íons apresentam de serem removidos em estações de tratamento de efluentes convencionais.

Nos efluentes industriais da produção de tintas, especificamente, os poluentes são variados, devido à diversidade de matérias-primas utilizadas em cada indústria.

2.2.1 Sistemas de Tratamento de Efluentes

A principal finalidade dos sistemas de tratamento de efluentes industriais é o atendimento à legislação ambiental. Em alguns casos, busca-se também o reúso do efluente tratado (GIORDANO, 2004).

O regime de operação do tratamento de efluentes é classificado em contínuo ou periódico, dependendo do volume gerado diariamente. No tratamento contínuo, os efluentes entram e saem do reator constantemente, com fluxo contínuo ou intermitente, conhecido por batelada. No processo por batelada são estabelecidos ciclos de operações onde ocorrem todas as etapas do tratamento. Já no regime periódico, os efluentes são armazenados durante certo

período e tratados posteriormente, pois é utilizado em indústrias com baixas vazões (NUNES, 2004).

Os métodos existentes para a remoção dos contaminantes presentes nos efluentes industriais são classificados em físicos, químicos e biológicos, e podem ocorrer através de operações unitárias (métodos físicos) ou processos unitários (métodos químicos e biológicos) isolados ou em diferentes combinações (CAVALVANTI, 2009).

Os processos físicos envolvem as forças físicas, enquanto nos processos químicos são utilizados produtos químicos ou outras reações químicas. Já os processos biológicos são caracterizados pela atividade biológica na qual substâncias orgânicas biodegradáveis são convertidas em gases ou adsorvidas por microrganismos (CAVALCANTI, 2009).

Os métodos de tratamento têm seus níveis listados abaixo conforme sugerido por Nunes (2004):

- a) **Tratamento preliminar ou tratamento físico:** remove sólidos grosseiros e flutuantes, e matéria mineral sedimentável. Os equipamentos utilizados são grades, desarenadores (caixas de areia), caixas de retenção de óleo e gordura, e peneiras;
- b) **Tratamento primário ou tratamento físico-químico:** remove matéria orgânica ou inorgânica (preferencialmente) em suspensão, e parcialmente a DBO. As etapas de tratamento incluem processos químicos seguidos por operações unitárias onde se utilizam a precipitação química (coagulação, floculação e decantação) e a flotação por ar dissolvido;
- c) **Tratamento secundário ou biológico:** remove matéria orgânica dissolvida e em suspensão. Os processos mais utilizados são lodos ativados, lagoas de estabilização, sistemas anaeróbios com alta eficiência, lagoas aeradas e filtros biológicos;
- d) **Tratamento terciário ou avançado:** são aplicados quando se requer efluentes de alta qualidade ou remoção de substâncias que não são removidas nas etapas anteriores. São utilizados a adsorção em carvão ativo, osmose reversa, eletrodialise, troca iônica, filtros de areia, remoção de nutrientes, oxidação química e desinfecção (remoção de organismos patogênicos).

Os processos ou operações unitárias devem ser escolhidos conforme sua adequação à natureza dos contaminantes (CAVALCANTI, 2009). A relação entre a DQO e a DBO (DQO/DBO), por exemplo, é essencial na escolha do tratamento adequado. Se essa relação for menor que 2,5, o efluente é facilmente biodegradável. Se esse valor estiver entre

2,5 e 5 a escolha do tratamento biológico deve ser cautelosa, para que haja uma remoção desejável da carga orgânica. Já em caso de a relação DQO/DBO ser maior que 5, é pouco provável que o processo biológico seja bem sucedido, surgindo a oxidação química como processo alternativo (JARDIM; CANELA, 2004).

Conforme Giordano (2004), os sistemas de tratamento de efluentes das indústrias de tintas objetivam reduzir a carga orgânica, a concentração de metais e a toxicidade, sendo compostos por processos físico-químicos, geralmente seguidos por processos biológicos. Comumente, o sistema inicia com a equalização do efluente, seguido de coagulação-floculação e sedimentação (tratamento primário), e termina com o processo de lodos ativados (tratamento secundário).

Segundo Melo (2013), os processos de tratamento físico-químicos envolvem a adição de soluções químicas a um efluente que possui componentes na forma solúvel e particulada, e as alterações físico-químicas realizadas podem ter relação com a condutividade, potencial redox, temperatura, oxigênio dissolvido e principalmente com o pH.

Normalmente, os processos físico-químicos visam a clarificação do efluente através da aglutinação de partículas em suspensão mediante adição de coagulantes e floculantes. O processo coagulação-floculação reduz os sólidos em suspensão e parte dos coloidais. Conseqüentemente, a fração de DBO que se encontra na forma particulada, também é removida. Apresenta boa eficiência para remoção de turbidez e de alguns tipos de metais dissolvidos na fase líquida, transformando-os em hidróxidos metálicos e removendo-os por precipitação (CAVALCANTI, 2009).

Ainda segundo Cavalcanti (2009), a clarificação química é dividida em quatro fases, sendo elas neutralização, coagulação, floculação e sedimentação.

Neste processo, a neutralização tem por objetivo a eliminação de cargas superficiais responsáveis pela repulsão entre as partículas carregadas eletricamente devido à adsorção de íons presentes na água (CAVALCANTI, 2009), enquanto que a coagulação, ou simplesmente mistura rápida, é a mistura de um coagulante ao efluente. Nesta etapa ocorre a aglomeração das partículas e conseqüente formação de flocos. A mistura rápida também pode ser aplicada com o intuito de provocar a precipitação química de metais e matéria orgânica, através da elevação do pH com alcalinizantes (NUNES, 2004). A etapa seguinte é a floculação, onde ocorre a mistura lenta de um polímero com o efluente já coagulado, facilitando o choque entre as partículas. A formação de flocos maiores facilita sua posterior remoção por sedimentação sob ação da gravidade, flotação ou filtração (ABNT, 1992).

A clarificação ocorre em função da separação dos flocos devido à diferença de densidade, onde, através da ação da gravidade, os flocos se depositam no fundo dos tanques de sedimentação ou são removidos na parte superior (escuma) nos tanques de flotação por ar dissolvido (BARBOSA, 2011).

Os tempos de reação para mistura rápida de coagulantes são normalmente baixos (poucos segundos). Para a floculação, os tempos de reação são mais longos, exigindo mistura lenta de 10 a 15 minutos, para preservação dos flocos (CAVALCANTI, 2009).

Os fatores que podem influenciar o processo de clarificação química são: o tipo de coagulante, quantidade de coagulante e floculante, pH do efluente, e velocidade de agitação (CEMIN, 2012).

Como complementação ao tratamento físico-químico, comumente utiliza-se a adsorção. Segundo Tchobanoglous (1991), a adsorção é o processo por meio do qual substâncias solúveis são coletadas de uma determinada interface.

Nunes (2004) cita a turfa, a cinza, a areia, o carvão vegetal e o carvão ativado como algumas das principais substâncias adsorventes empregadas em sistemas de tratamento. O carvão ativado possui área superficial elevada e porosa, com a propriedade de regeneração, ou seja, é possível a reativação de seu poder de adsorção. Ele é eficiente na remoção de cor, nutrientes como fosfatos e nitratos, sólidos em suspensão, matéria orgânica não biodegradável, entre outros.

No caso de tratamento físico-químico por coagulação-floculação, em que a eficiência de remoção do substrato não atinge valores satisfatórios como nos sistemas biológicos, é possível obter um tratamento completo, combinando-se um sistema de carvão ativado à jusante. (NUNES, 2004, p. 185).

2.2.2 Resíduos Gerados no Tratamento de Efluentes

A sedimentação da suspensão formada pelo processo de coagulação e floculação gera o chamado “lodo químico”, que deve ter sua umidade reduzida ao máximo antes da destinação final (NUNES, 2004). Os sólidos contidos nos lodos provêm do material presente nos efluentes e dos produtos químicos adicionados para seu tratamento (CAVALCANTI, 2009).

A quantidade de lodo gerada no processo de clarificação química é maior que no processo de tratamento biológico. A concentração de sólidos varia de acordo com fatores como o tipo de lodo e de decantador, e com a frequência de remoção do lodo (NUNES, 2004).

Geralmente, o objetivo do manejo de lodo é sua disposição em aterro, com valor mínimo de sólidos de 20% (RICHTER, 2001).

O desaguamento do lodo (eliminação do excesso de água) pode ser feito através de processos de secagem naturais (leitos de secagem e lagoas de lodo), ou mecânicos (centrífugas, filtros a vácuo ou filtros prensa) (GIORDANO, 2004).

Nos leitos de secagem, o descarte do lodo é realizado de uma só vez, enchendo os leitos à sua altura máxima. Em seguida realiza-se a drenagem (duração de 24 a 48 horas), e a secagem natural do lodo (GIORDANO, 2004). Este é o processo de desaguamento mais utilizado nas indústrias de pequeno porte e com disponibilidade de área, porém sua desvantagem é a dificuldade de secagem do lodo quando da precipitação pluviométrica (visto que a maioria dos leitos não tem cobertura). As lagoas de lodo, por sua vez, são tanques que precedem a desidratação do lodo, onde o descarte é realizado de forma sobreposta. Quando estiverem cheias, faz-se necessária sua remoção. Esse tipo de processo de secagem é uma boa opção para lodos inorgânicos, e seu custo é mais baixo que o dos leitos de secagem, porém requer maior área (NUNES, 2004).

Em se tratando dos processos de secagem mecânicos, as centrífugas utilizam-se de força centrífuga para separar as fases líquida e sólida do lodo, enquanto os filtros a vácuo aplicam o vácuo em um tambor rotativo parcialmente mergulhado no lodo, onde, na parede do tambor, um meio filtrante retém os sólidos. Já os filtros prensa podem realizar a desidratação através da prensagem do lodo em esteiras (filtro prensa de esteiras), ou por meio de telas de pano (filtro prensa de placas), onde o lodo é distribuído e pressionado nos espaços entre as placas. A diferença mais considerável entre estes dois tipos de filtro prensa é que, enquanto o de esteiras funciona continuamente, o de placas realiza a filtragem em bateladas (NUNES, 2004).

O filtro prensa apresenta alto grau de confiabilidade e qualidade do efluente clarificado, produzindo tortas com teores elevados de sólidos (em torno de 35%). Seu ciclo de operação é dividido nas etapas de enchimento, filtração sob pressão máxima, e descarga da torta, e pode levar de 3 a 5 horas para se completar. Esse tempo de duração varia de acordo com a vazão da bomba de alimentação, o tipo de lodo, teor de sólidos, filtrabilidade do lodo e tipo, estado e grau de limpeza das telas (ANDREOLI, 2001). Os lodos provenientes do processo de coagulação, por exemplo, são de difícil desidratação, portanto exigem maior tempo de prensagem (RICHTER, 2001).

As telas de pano são ajustadas nas placas retangulares verticais em série, com orifícios para saída do líquido. O lodo é distribuído nos espaços entre as placas, e submetido a

pressões de aproximadamente 15 kg/cm², fazendo com que o efluente clarificado se separe da torta de lodo, sendo, esta, retirada após a abertura das placas. Após a desidratação, o lodo passa para a fase semissólida, chamado de “lodo seco”, e a partir de então é considerado um resíduo sólido (NUNES, 2004).

A definição da destinação do lodo deve ser baseada na NBR 10004:2004, que classifica os resíduos sólidos em Resíduos Perigosos (Classe I), e em Resíduos Não Perigosos (Classe II). Os Resíduos Não Perigosos são classificados quanto à sua solubilidade em água, e podem ser definidos como Não Inertes (Classe II A) e Inertes (Classe II B) (ABNT, 2004).

Segundo Nunes (2004), os lodos secos classificados como Não Perigosos podem ter como destinação a incineração, aterros sanitários de lixo urbano, compostagem, entre outros. Já os lodos secos considerados Perigosos podem ser encapsulados (solidificação em matrizes de cimento), queimados em fornos de cimento e co-processamento, enviados a aterro industrial, incinerados e enviados a aterro industrial de cinza, entre outros usos.

Em Santa Catarina, a Lei 14.675 (Código Estadual do Meio Ambiente), de 13 de abril de 2009, permite a instalação e o funcionamento de incineradores, desde que atendidas as normas que regulamentam o tratamento térmico de resíduos (SANTA CATARINA, 2009).

2.2.3 Produtos para Coagulação e Flocculação

Os produtos químicos (coagulantes e floculantes) que podem ser utilizados no processo de coagulação e flocculação são vários. Normalmente os coagulantes são formados a partir de sais inorgânicos com cátions polivalentes, geralmente de alumínio e ferro (⁺³); enquanto os floculantes são polímeros orgânicos de elevado peso molecular (NUNES, 2004).

2.2.3.1 Sulfato de alumínio (Al₂(SO₄)₃)

Devido à sua disponibilidade e baixo custo, o sulfato de alumínio é o *coagulante* inorgânico mais empregado no tratamento de água de abastecimento. No caso de efluentes industriais, porém, são necessárias elevadas dosagens e os resultados podem ser insatisfatórios (NUNES, 2004).

É fabricado a partir de hidrato de alumínio e comercializado com teor de alumina de 7 a 8%, em forma sólida (pó e granulado) e líquida (PAVANELLI, 2001).

2.2.3.2 Policloreto de alumínio ($\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3n-m}$)

Também conhecido como PAC, o policloreto de alumínio é um composto inorgânico (*coagulante*) com concentração de alumínio entre 10 e 25%. Comparados com os formados pelo Sulfato, os flocos formados por este produto são maiores e se formam mais rapidamente (SANTOS, 2011).

2.2.3.3 Hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)

Comercialmente chamada de cal hidratada, é o alcalinizante mais utilizado no tratamento de águas de abastecimento e efluentes industriais (NUNES, 2004). No segundo caso, ela pode ser adicionada como um precipitante a um despejo industrial ácido, formando carbonato de cálcio, que atua como agente *coagulante*. Quando não se utilizam sais de alumínio e ferro como coagulantes, a quantidade de cal necessária para a precipitação dos sais insolúveis é maior (CAVALCANTI, 2009).

2.2.3.4 Cloreto férrico (FeCl_3)

Devido à sua eficiência em larga faixa de pH, o cloreto férrico é o *coagulante* mais utilizado no tratamento de efluentes industriais (NUNES, 2004). É aplicado a despejos industriais objetivando a remoção de materiais coloidais e em suspensão, e sua principal característica é possuir alto teor de Fe^{+3} (mínimo de 38%). Possui forma líquida, total solubilidade em água e é bastante corrosivo (CAVALCANTI, 2009).

2.2.3.5 Sulfato ferroso (FeSO_4)

O objetivo do Sulfato Ferroso é formar o hidróxido ferroso, que por sua vez, precisa formar o hidróxido férrico insolúvel. Para tanto, é necessária a aeração ou oxidação do efluente, sendo este a principal desvantagem do uso deste *coagulante* (NUNES, 2004).

2.2.3.6 Sulfato férrico ($(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$)

Ácido e corrosivo, o sulfato férrico é encontrado na forma granular ou líquida, e é mais utilizado no tratamento de águas para abastecimento. Devido à sua baixa solubilidade,

ele pode agir em ampla faixa de pH e forma flocos mais densos e lodos mais compactos (PAVANELLI, 2001).

2.2.3.7 Polieletrólitos

Polieletrólitos são polímeros com grupos ionizáveis ao longo de sua cadeia, utilizados com eficácia sob a forma de *floculantes* ou resinas, e podem ser sintéticos ou naturais (amidos de mandioca, de milho e de batata). Geralmente são utilizados como coagulantes secundários ou auxiliares na floculação, reduzindo o consumo de coagulantes primários (CAVALCANTI, 2009).

São classificados, de acordo com seus tipos de carga, em catiônicos (carga positiva), aniônicos (carga negativa) e não iônicos (não possuem cargas) (NUNES, 2004).

Os polímeros catiônicos são eficazes para sólidos em suspensão negativamente carregados (indústrias têxteis, de papel e celulose, efluentes com produtos químicos orgânicos, entre outros). Já os polímeros aniônicos são usualmente aplicados em despejos que contenham sólidos positivamente carregados (galvanoplastia, siderúrgica, processos metalúrgicos). Os não iônicos são utilizados para floculação de despejos contendo suspensão ácida em associação com flocculantes inorgânicos (CAVALCANTI, 2009).

A Tabela 1 apresenta as faixas de pH nas quais os coagulantes e flocculantes apresentam maior eficiência.

Tabela 1 – Faixas de pH ideais para coagulantes e flocculantes.

PRODUTOS	FAIXAS DE pH
Sulfato de alumínio ¹	5 – 8
Policloreto de alumínio ²	8,5 – 9
Sulfato ferroso ¹	8,5 – 11
Sulfato férrico ³	4,5 – 12
Cloreto férrico ¹	5 – 11
Polieletrólito catiônico ⁴	1 – 14
Polieletrólito aniônico ⁴	7 – 14
Polieletrólito não iônico ⁴	1 – 8

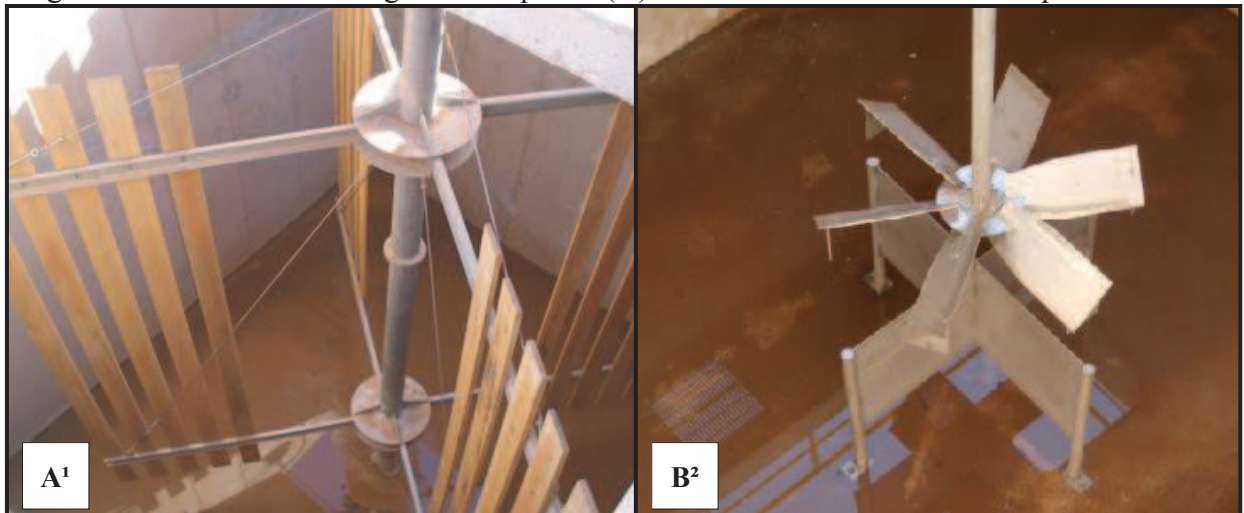
Fonte: ¹NUNES (2004); ²SANTOS (2011); ³PAVANELLI (2001); ⁴CAVALCANTI (2009)

Para definição dos produtos mais adequados ao efluente específico, se fazem necessários estudos prévios de floculação realizados com auxílio de equipamentos conhecidos, como o *Jar Test* (CAVALCANTI, 2009).

Na estação de tratamento de efluentes, os reagentes (coagulantes e floculantes) devem ser dispersos homogêaneamente no efluente, com o auxílio de misturadores mecânicos (necessidade de um tanque de mistura) ou hidráulicos (aproveitamento da calha Parshall, ressaltos ou pontos de maior turbulência) (CAVALCANTI, 2004).

Os misturadores mecânicos mais utilizados em tratamento de efluentes são o Floculador com agitador de paleta (Figura 1A) e o Floculador de eixo vertical tipo fluxo axial (Figura 1B) (CAVALCANTI, 2009).

Figura 1 – Floculador com agitador de paleta (A) e floculador de eixo vertical tipo fluxo axial.



Fonte: ¹WASSERLINK [2014]; ²GUARUJÁ [2014]

2.2.4 Ensaios de Tratabilidade

Os ensaios em escala de bancada são indispensáveis para a concepção de sistemas de tratamento, especialmente de efluentes industriais, pois suas características são únicas, sendo o método mais eficaz para definição do tratamento adequado e de seus parâmetros de projeto, sob o aspecto técnico e econômico (CAVALCANTI, 2009).

Para o tratamento físico-químico através de coagulação-floculação, os ensaios são realizados no equipamento “*Jar Test*”, e simulam, em laboratório, um processo existente ou a ser implantado em escala real. Seu principal objetivo é determinar as seguintes variáveis (CAVALCANTI, 2009):

- a) Tipos de coagulantes e floculantes mais adequados ao despejo específico;
- b) Concentração desses produtos;
- c) Efeito da temperatura, pH ótimo de floculação e/ou remoção de poluentes específicos;
- d) Tempo de reação com os produtos químicos adicionados;
- e) Sequência correta de adição dos coagulantes e floculantes;
- f) Tempo de decantação e característica dos flocos;
- g) Gradientes de velocidade e potência necessária à formação de flocos;
- h) Avaliação da performance do processo físico-químico com relação a um ou mais poluentes específicos.

Enfatiza-se aqui, a importância do aperfeiçoamento de sistemas de tratamento de efluentes industriais para adequação às normas aplicáveis, reúso do efluente tratado, redução de custos, entre outros. A eficiência de estudos neste sentido já foi comprovada por vários autores, entre eles Fontanella (2003), Zanette (2004) e Colonetti (2014).

2.2.5 Ensaio de Sedimentação

A sedimentação é o fenômeno físico no qual partículas em suspensão apresentam movimento descendente no líquido em que se encontram, por influência da força da gravidade (DI BERNARDO *et al*, 2002).

Em laboratório, os ensaios de sedimentação são realizados com provetas, monitorando-se a concentração volumétrica de sólidos em função do tempo (AROUCA, 2007).

A dinâmica da sedimentação pode ser dividida em cinco etapas. Na primeira, a suspensão encontra-se homogênea, ou seja, todas as partículas estão dispersas no meio líquido. Na segunda etapa, as partículas de maior densidade se deslocam para o fundo da proveta, enquanto as de menor densidade mantêm-se em equilíbrio. Lentamente, na etapa seguinte, as partículas de menor densidade vão superando a força exercida pelo líquido, em sentido oposto, e movimentando-se também para o fundo da proveta. A quarta etapa é caracterizada pela formação da região de compactação através da sedimentação das partículas com diferentes velocidades, que começam a sofrer o efeito de resistência ao movimento. Acima desta região, encontra-se o líquido clarificado. Na etapa final, há a acomodação do leito de partículas compactadas, que apresenta pequena variação de altura (FRANÇA; CASQUEIRA, 2007).

Os fatores que influenciam o processo de sedimentação são a densidade, o diâmetro e a natureza da partícula, e a porcentagem de sólidos. Considerando o diâmetro, quanto maior, mais rapidamente a partícula sedimenta. Quanto à sua natureza, partículas que apresentem forma aproximada à esférica sedimentam com maior facilidade que as de forma irregular. Já a porcentagem de sólidos é inversamente proporcional à velocidade de sedimentação, ou seja, quanto mais sólidos, menor a velocidade (FRANÇA; CASQUEIRA, 2007).

2.3 DESTINAÇÃO DO EFLUENTE TRATADO

Após tratamento, o efluente pode ser reintroduzido no processo produtivo e em processos auxiliares ou lançado diretamente em corpos hídricos. No primeiro caso, o efluente deve atender às características exigidas pelo processo ao qual se destina, e no segundo, deve atender aos parâmetros estabelecidos legalmente.

2.3.1 Reúso do efluente tratado

A adequação das indústrias ao novo cenário nacional, submetidas às pressões pela melhoria da competitividade e por condicionantes ambientais, faz com que a prática de reúso de água dentro da própria empresa se torne mais viável que o abastecimento pelo sistema público ou a aquisição de água de reúso produzida por companhias de saneamento (FIRJAN, 2006).

Motivadas por critérios ambientais, econômicos, técnicos ou legais, muitas indústrias já adotam o reúso da água (TELLES; COSTA, 2007).

Visando regulamentar as práticas de reúso, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos aprovou, em 28 de novembro de 2005, a Resolução nº 54, que “estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências”. Esta resolução, em seu artigo 2º, define os seguintes conceitos relativos ao reúso da água:

- I - água residuária: esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não;
- II - reúso de água: utilização de água residuária;
- III - água de reúso: água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas;

IV - reúso direto de água: uso planejado de água de reúso, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos;

V - produtor de água de reúso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que produz água de reúso;

VI - distribuidor de água de reúso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que distribui água de reúso; e

VII - usuário de água de reúso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que utiliza água de reúso. (BRASIL, 2005, p. 1).

Segundo Telles e Costa (2007), a indústria proporciona grandes possibilidades de reúso em função da variedade de processos e situações onde a água é utilizada. A aplicação dessa técnica pode ocorrer através do reúso indireto dos efluentes, quando a água tem características adequadas para ser reutilizada em outro processo sem passar por tratamento, ou através do reúso de efluentes tratados (FIRJAN, 2006).

O processo de tratamento necessário para possibilitar o reúso da água depende de como ela foi utilizada anteriormente e quais os fins a que ela se destina. Para chegar a essa definição, faz-se necessário conhecer suas características e efeitos (MANCUSO; SANTOS, 2003).

Os principais benefícios do reúso no setor industrial são a otimização na utilização dos recursos hídricos, benefícios referentes à imagem ambiental da empresa, garantia na qualidade da água tratada, descarte mínimo de efluentes (TELLES; COSTA, 2007) e redução dos custos relacionados à cobrança pelo uso da água (FIRJAN, 2006).

No Brasil, a cobrança pelo uso de recursos hídricos é um dos instrumentos de gestão da Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997). Atualmente, esse instrumento foi implementado em apenas algumas bacias hidrográficas do país, principalmente nos Estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais. Em Santa Catarina ainda não há cobrança (ANA, 2014).

2.3.2 Lançamento em corpos receptores

A Resolução CONAMA 430, de 13 de maio de 2011, e a Lei Estadual nº 14.675, de 13 de abril de 2009, determinam padrões de qualidade para lançamento de efluentes em corpos hídricos. Os valores dos parâmetros físico-químicos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros para lançamento de efluentes segundo CONAMA 430/11 e Lei Estadual 14.675/09.

Parâmetros	CONAMA 430/11	Lei 14.675/09
pH	5 - 9	6 - 9
Óleos minerais	20 mg/L	-
Óleos vegetais e gorduras animais	50 mg/L	30 mg/L
DBO ₅	Remoção mínima de 60%	60 mg/L ou redução de 80% ⁽¹⁾
Arsênio total	0,5 mg/L	0,1 mg/L
Bário total	5,0 mg/L	-
Boro total (não se aplica em águas salinas)	5,0 mg/L	-
Cádmio total	0,2 mg/L	0,1 mg/L
Chumbo total	0,5 mg/L	-
Cianeto total	1,0 mg/L	-
Cianeto livre	0,2 mg/L	-
Cobre total	-	0,5 mg/L
Cobre dissolvido	1,0 mg/L	-
Cromo hexavalente	0,1 mg/L	0,1 mg/L
Cromo trivalente	1,0 mg/L	-
Estanho total	4,0 mg/L	-
Ferro dissolvido	15,0 mg/L	-
Fluoreto total	10,0 mg/L	-
Manganês dissolvido	1,0 mg/L	-
Mercúrio total	0,01 mg/L	0,005 mg/L
Níquel total	2,0 mg/L	1,0 mg/L
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L	-
Prata total	0,1 mg/L	0,02 mg/L
Selênio total	0,3 mg/L	0,02 mg/L
Sulfeto	1,0 mg/L	-
Zinco total	5,0 mg/L	1,0 mg/L

⁽¹⁾ Remoção de 80% em sistema biológico

Fonte: BRASIL (2011); SANTA CATARINA (2009). Adaptado pelo autor, 2014

Portanto, em todos os parâmetros comparados, a Legislação Estadual de Santa Catarina apresenta-se mais restritiva que a Legislação Federal, contudo, esta última regulamenta um número de variáveis maior que a lei catarinense.

Além dos parâmetros físico-químicos, o CONAMA 430/11 também cita a necessidade do atendimento a critérios ecotoxicológicos estabelecidos por órgão competente,

de maneira que o efluente não cause efeitos tóxicos aos organismos aquáticos do corpo receptor. Nesse sentido, a Portaria FATMA nº 17, de 18 de abril de 2002, estabelece os limites máximos de toxicidade aguda para efluentes de diferentes origens em Santa Catarina (SANTA CATARINA, 2002).

3 METODOLOGIA

3.1 PROCESSO PRODUTIVO

O processo de fabricação de tintas base água da linha imobiliária se inicia pelo recebimento das matérias-primas, sendo elas: pigmentos (orgânicos e inorgânicos), resinas a base de látex acrílico, cargas inertes e aditivos minerais. As resinas são recebidas em caminhões-tanque e descarregadas, com o auxílio de bombas, diretamente em dois tanques de fibra com volume de 110 m³, localizados no exterior do prédio industrial (Figura 2). As outras matérias-primas são recebidas em suas embalagens originais (caixas, sacos de papel, bombonas plásticas e tonéis), descarregados manualmente e armazenados em setores específicos.

Figura 2 – Tanques de armazenamento de resina.



Fonte: Autor, 2014

Após o recebimento, todas as matérias-primas são amostradas e testadas no Laboratório de Controle de Qualidade, a fim de avaliar suas especificações e garantir sua qualidade.

A partir de então, inicia-se a produção da tinta propriamente dita, tendo, o pigmento branco, caminho diferente dos pigmentos coloridos. O pigmento branco é recebido

em forma de pó, e para ser utilizado no processo, deve chegar à forma líquida, através das etapas de mistura e moagem. Os pigmentos coloridos, por sua vez, já são recebidos na fase líquida, e não precisam ser misturados e moídos, indo direto para a etapa de completagem (formulação).

Na etapa de mistura, o pigmento branco é misturado apenas à água, formando uma suspensão aquosa (base branca).

Já na etapa de moagem, são utilizados moinhos de esferas para fazer com que a granulometria do pigmento branco, já na forma de base, diminua, adequando-o às características das tintas.

A etapa de completagem, mais conhecida pelos funcionários como formulação, é responsável pelas características do produto final e pela diferenciação dos tipos de tintas (emborrachadas, econômicas, premium, standards, complementos e tintas para pisos). O processo é realizado em tanques de dispersão, e se inicia com a inserção de água, seguida dos aditivos, carga mineral, pigmentos e resinas. Para a formulação da cor adequada da tinta, os pigmentos coloridos são misturados com o pigmento branco, em porcentagens pré-definidas, para chegar à tonalidade desejada. Os pigmentos coloridos recebidos são: Amarelo Óxido, Preto, Vermelho Óxido, Amarelo, Azul, Verde, Carmim, Vermelho (Laranja) e Vermelho, conforme ilustra a Figura 3.

Figura 3 – Cores dos pigmentos recebidos em forma líquida.

Nome
Amarelo Oxido R-BR
Preto PRQ
Vermelho Oxido B-BR
Amarelo 2GXD-BR
Azul AR-BR
Verde 3 GLS
Carmim FBB-BR
Vermelho GG(laranja)
Vermelho FGR

Fonte: Autor, 2014

Após a finalização do produto, ele é encaminhado ao laboratório de Controle de Qualidade para análises de brilho, cor, secagem, viscosidade, cobertura, pH, densidade, trinca e aplicação.

Ao ser aprovado pelo Laboratório, o produto segue para a filtragem e envase, onde passa por um filtro de organza, para retirada de possíveis resíduos, e é envasado automaticamente através de sistemas de injeção por bombas de diafragma.

O processo produtivo termina com a embalagem, armazenamento sobre *pallets* no interior do prédio industrial, e expedição.

3.2 GERAÇÃO DE EFLUENTES

Os tanques de dispersão, utilizados na formulação das tintas, e o maquinário de envase, são limpos sempre que há troca da coloração da tinta que está sendo produzida. Eles são lavados em tanques de descarte no interior da fábrica (Figura 4), sendo o efluente dessa atividade canalizado para containers, que servem de reservatório. Deste reservatório, o efluente é transferido para a caixa de passagem (Figura 5), e desta para a estação de tratamento.

Todo o prédio industrial conta com um sistema de calhas que drena o efluente gerado na limpeza do piso também para a estação de tratamento (Figura 6).

Figura 4 – Tanque de descarte para limpeza de equipamentos.



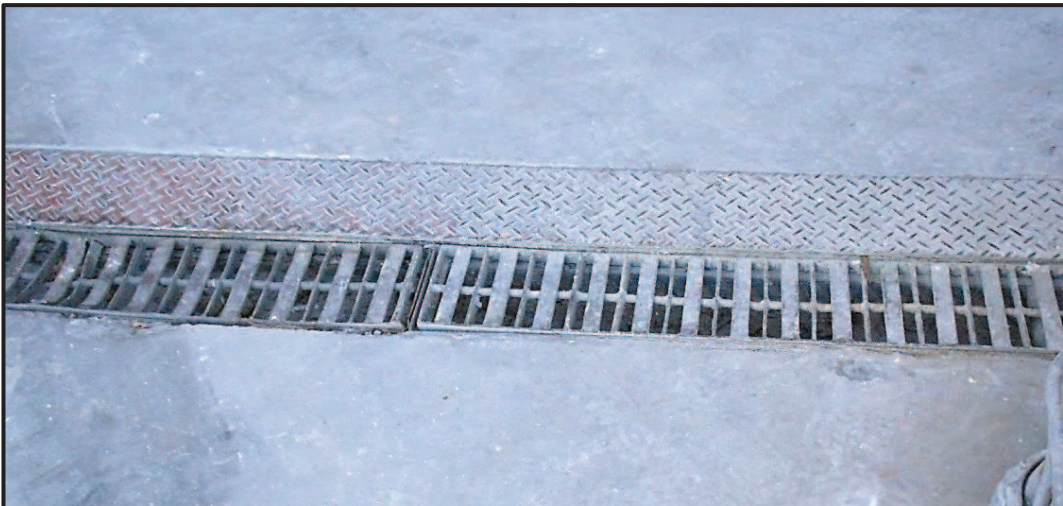
Fonte: Autor, 2014

Figura 5 – Calha de recepção de efluentes provenientes da limpeza de equipamentos.



Fonte: Autor, 2014

Figura 6 – Sistema de captação de água proveniente da limpeza do prédio industrial.



Fonte: Autor, 2014

A Tabela 3 apresenta dados da produção mensal de tintas base água, bem como da geração de efluente bruto e tratado, e do volume de lodo formado.

Tabela 3 – Dados mensais relacionados à geração de efluentes no ano de 2014.

Mês	Consumo de água (L)	Efluente Bruto (L)	Lodo de ETE (Kg)	Efluente Tratado (L)	Produção (L)
Jan	245.000	54.400	10.580	43.820	817.995
Fev	200.000	46.900	10.950	35.950	739.360
Mar	358.000	40.000	7.695	32.305	620.908
Abr	349.000	38.400	6.030	32.370	599.831
Mai	271.000	64.000	14.649	49.351	709.721
Jun	368.000	62.000	12.300	49.700	632.793
Jul	318.000	54.400	13.440	40.960	702.000
Ago	323.000	54.400	6.550	47.850	628.047
Set	474.000	67.200	8.695	58.505	988.036

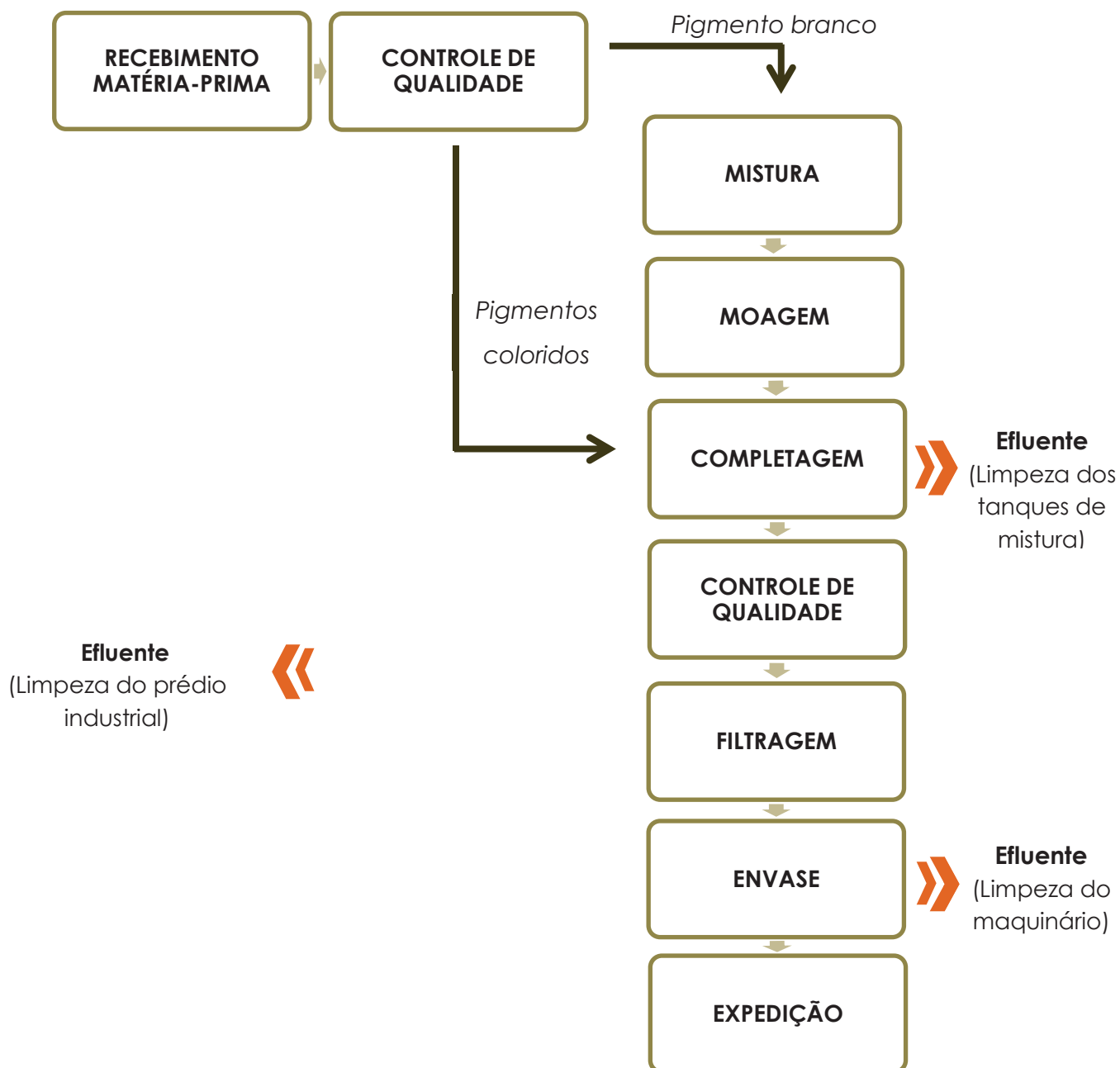
Fonte: Dados da empresa, 2014

É possível constatar que há grande variação dos parâmetros produtivos da empresa, visto que todos eles dependem da produção e das características das tintas produzidas, que por sua vez, dependem das exigências do mercado consumidor.

Do volume de água consumida mensalmente, entre 11 e 23% vão para a estação de tratamento em forma de efluente bruto. Deste volume, são obtidos aproximadamente 80% de efluente tratado.

A Figura 7 apresenta o fluxograma do processo produtivo de tintas base água, bem como identifica as etapas nas quais há geração de efluentes.

Figura 7 – Fluxograma do processo produtivo de tintas base água e etapas geradoras de efluentes líquidos.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2014

3.3 SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

A indústria objeto deste estudo trata seus efluentes através do processo físico-químico conhecido como clarificação química, seguido de filtração por carvão ativado. O tratamento é realizado em bateladas de 1 a 2 vezes por dia, dependendo das características do efluente gerado.

O sistema é composto por três reservatórios de recebimento do efluente (Figura 8), sendo dois com capacidade para 3.000 L e um com capacidade para 5.000 L; um tanque de mistura com capacidade para 1.600 L dotado de aerador por borbulhamento (Figura 9), filtro prensa com 26 placas de dimensão 40x40 cm, um tanque de armazenamento para o efluente filtrado e um filtro de carvão ativado.

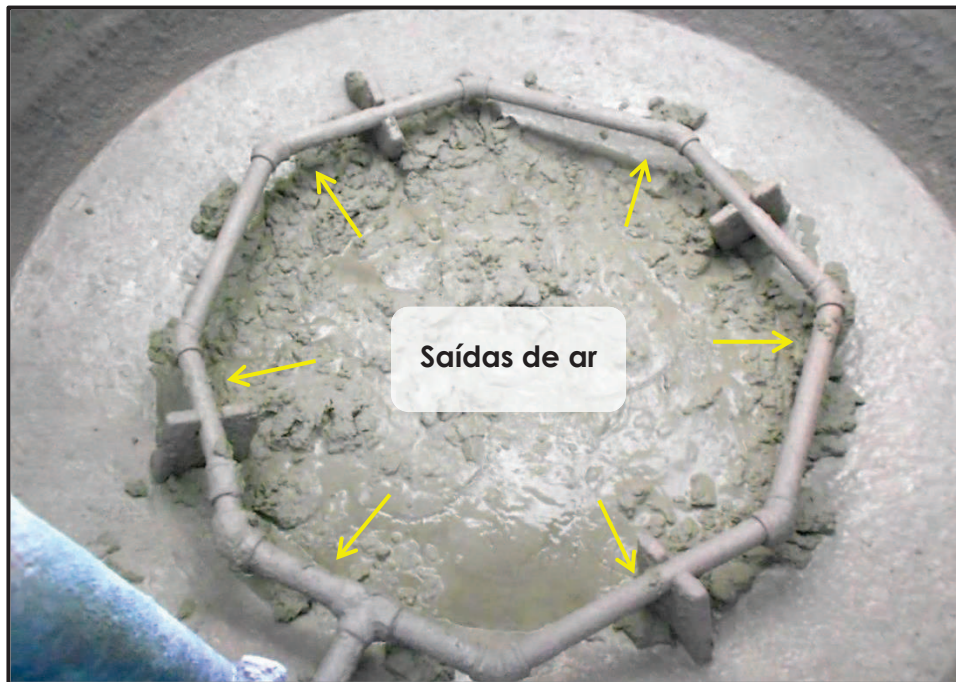
A Figura 10 apresenta a Estação de Tratamento de Efluentes da empresa.

Figura 8 – Reservatórios de recebimento do efluente para posterior tratamento.



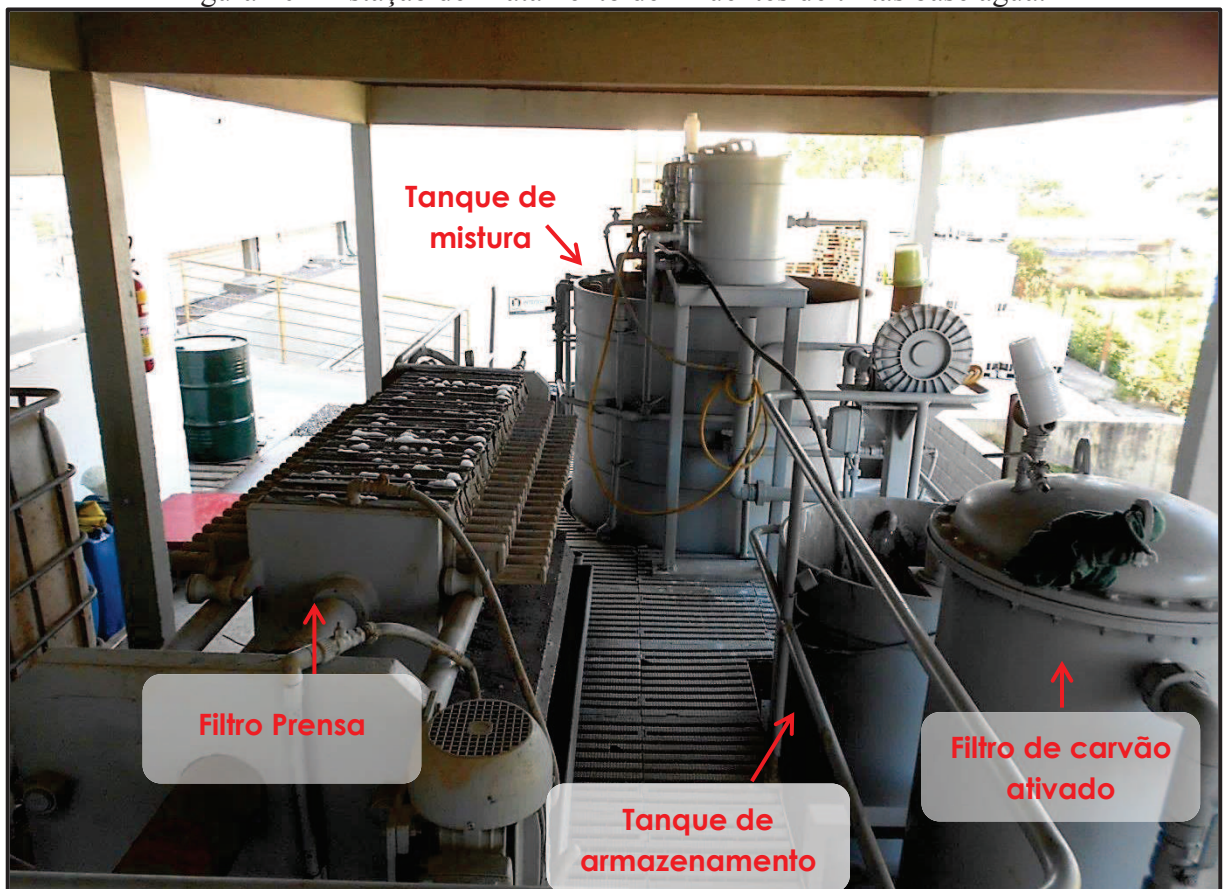
Fonte: Autor, 2014

Figura 9 – Aerador por borbulhamento localizado no tanque de mistura.



Fonte: Autor, 2014

Figura 10 – Estação de Tratamento de Efluentes de tintas base água.



Fonte: Autor, 2014

Inicialmente, o tanque de mistura recebe 1.600 L de efluentes (lavagem de maquinários, tanques e chão da fábrica) advindos do reservatório, através de uma bomba de recalque. Quando o tanque já está cheio, são adicionados 8 kg de PAC (Policloreto de Alumínio) em solução (concentração de 18%) para promover a coagulação do efluente, que é agitado por 20 minutos. Em seguida são adicionados 2 L de hipoclorito de sódio, deixando agitar por 3 minutos.

Ainda no tanque de mistura é adicionado 1 kg de cal diluída em água na concentração de 10%, agitando por 20 minutos, e 45 L de solução de polímero catiônico (floculante) com concentração de 0,01% a 0,05%, passando por 3 minutos de agitação.

As quantidades de produtos químicos citadas acima são aproximadas, pois o sistema é manual e não há dosadores. Além disso, essas quantidades também dependem das características de cada efluente que está sendo tratado, visto que há grande variação das mesmas. O pH do efluente é medido a cada etapa, cabendo ao operador inserir mais ou menos produto, conforme necessidade.

Todo o processo de clarificação química ocorre em mistura rápida, e logo em seguida o efluente é encaminhado ao filtro prensa. O tempo aproximado para que todo o lodo gerado no tanque (aproximadamente 700 kg de lodo ou suspensão contendo os sólidos floculados) passe pelo filtro prensa é de 6 a 8 horas, dependendo de sua concentração de sólidos. Como o filtro prensa não comporta tamanha quantidade de lodo (700 kg) de uma única vez, ele tem de passar por todas as suas etapas de funcionamento (enchimento, filtração e descarga) de 2 a 3 vezes por tanque de efluente tratado (1.600 L), gerando de 200 a 300 kg de lodo seco por batelada.

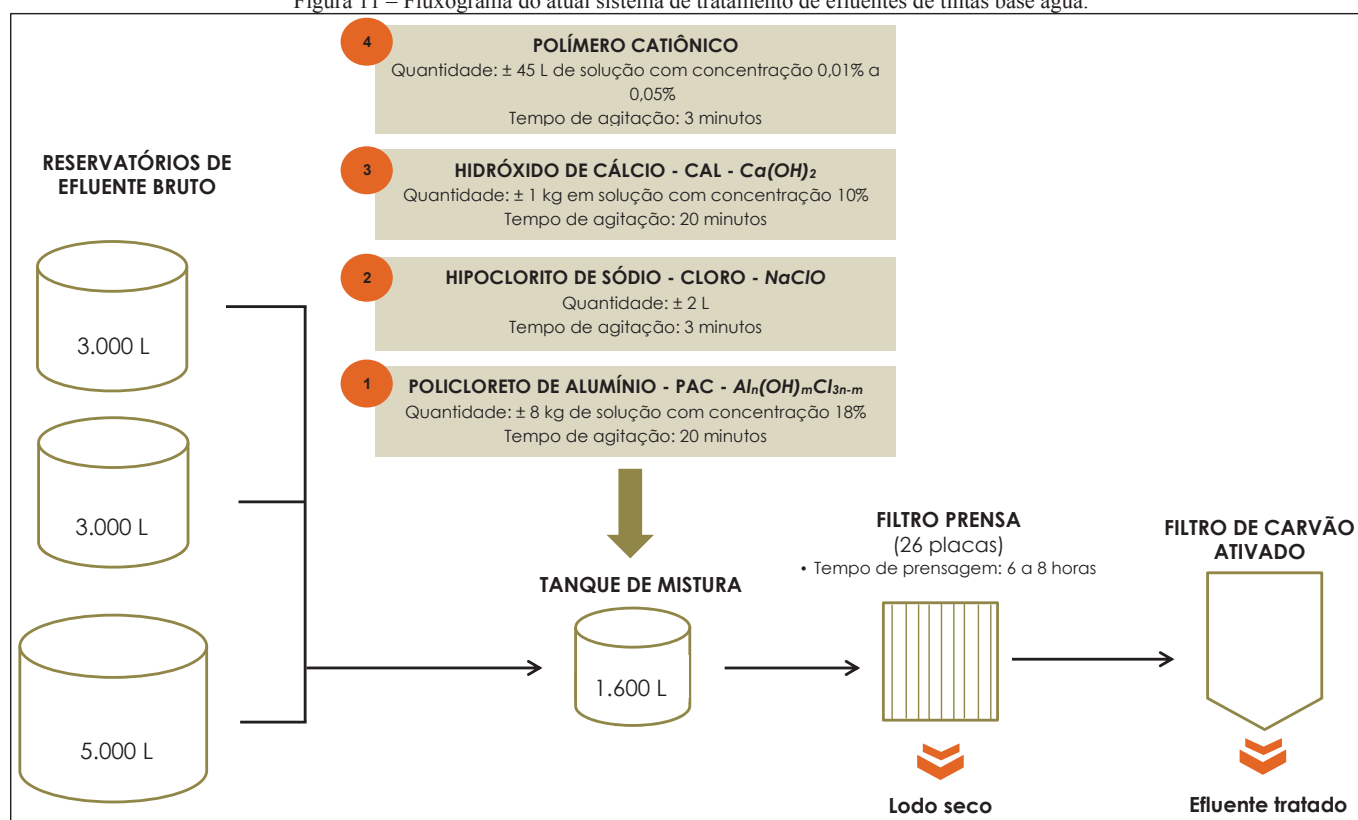
O efluente do filtro prensa posteriormente é encaminhado para o filtro de carvão ativado. No tanque de mistura, conforme o lodo vai decantando, as saídas laterais são abertas e o efluente já clarificado é encaminhado para o filtro de carvão ativado, sem passar pelo filtro prensa.

Ao final do processo de tratamento, o efluente segue para o sistema de drenagem pluvial, que desemboca no rio Maina. O lodo prensado pelo filtro é classificado como Classe II A – Não inerte, e encaminhado para aterro de resíduo industrial.

Mensalmente, lavam-se as placas do filtro prensa, e semanalmente é feito o processo de retrolavagem no filtro de carvão ativado.

A Figura 11 apresenta o fluxograma do sistema de tratamento de efluentes de tintas base água.

Figura 11 – Fluxograma do atual sistema de tratamento de efluentes de tintas base água.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2014

3.4 DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS LABORATORIAIS

Os ensaios em *Jar Test* foram realizados com base nas metodologias propostas por Di Bernardo et al (2002) e Cavalcanti (2009). Já para os ensaios de sedimentação, adaptou-se a metodologia de França e Casqueira (2007).

As amostras foram coletadas diretamente do tanque de mistura da ETE, antes do início do tratamento, armazenadas em bombonas de 10 L e transportadas para o laboratório da própria empresa. Os ensaios iniciaram-se imediatamente, de modo a manter inalteradas as características do efluente.

Optou-se por realizar dois ensaios em dias consecutivos, utilizando os efluentes disponíveis nos respectivos dias, para verificar se haveria alteração dos resultados devido às características do efluente.

3.4.1 Materiais e equipamentos

Os materiais e equipamentos utilizados para a execução dos ensaios laboratoriais foram os seguintes:

- a) Aparelho *Jar Test*, composto por três jarros com capacidade para 2 L cada, e com velocidade máxima de rotação de 260 rpm (MILAN - modelo JT102);
- b) Balança eletrônica (OHAUS);
- c) pHmetro (QUIMIS);
- d) Cronômetro digital (CRONOBIO);
- e) Picnômetro de 100 mL;
- f) Câmera fotográfica;
- g) Água destilada;
- h) Copos descartáveis;
- i) Vidrarias (béqueres, pipetas, pipetador e proveta);
- j) Hidróxido de cálcio diluído em solução de 10%;
- k) Policloreto de alumínio (PAC) com concentração de 18%;
- l) Polímero catiônico diluído a 0,02%.

3.4.2 Ensaios em *Jar Test* e Ensaios de Sedimentação

Durante os ensaios, foram adotados como parâmetros de controle a clarificação do efluente, a velocidade de sedimentação dos flocos e o volume de lodo formado.

Para avaliar a velocidade de sedimentação e o volume de lodo gerado, foram feitos ensaios de sedimentação em provetas. Os testes foram realizados no laboratório de controle de qualidade da própria indústria, sendo utilizadas as suspensões (efluente com as dosagens ideais dos produtos químicos) do segundo ensaio de *Jar Test*.

O tempo de observação considerado foi de 30 minutos, que é o tempo máximo aguardado atualmente pelos operadores da estação de tratamento em estudo. Registrou-se o volume de lodo decantado em intervalos regulares de 5 minutos, sendo os 5 primeiros minutos registrados em intervalos de 30 segundos. Observaram-se ainda os aspectos relativos às características dos flocos formados.

A melhor dosagem para clarificação do efluente foi avaliada mediante comparação visual.

Para verificar o efeito da alcalinidade no processo de clarificação química, foram testados três diferentes valores de pH (9, 10 e 11) mantendo-se as dosagens do coagulante e do floculante. Verificaram-se ainda os aspectos relativos à velocidade de sedimentação das partículas e às condições do lodo formado, uma vez que a empresa utiliza solução de Ca(OH)_2 para correção do pH com objetivo de obter um lodo mais espesso.

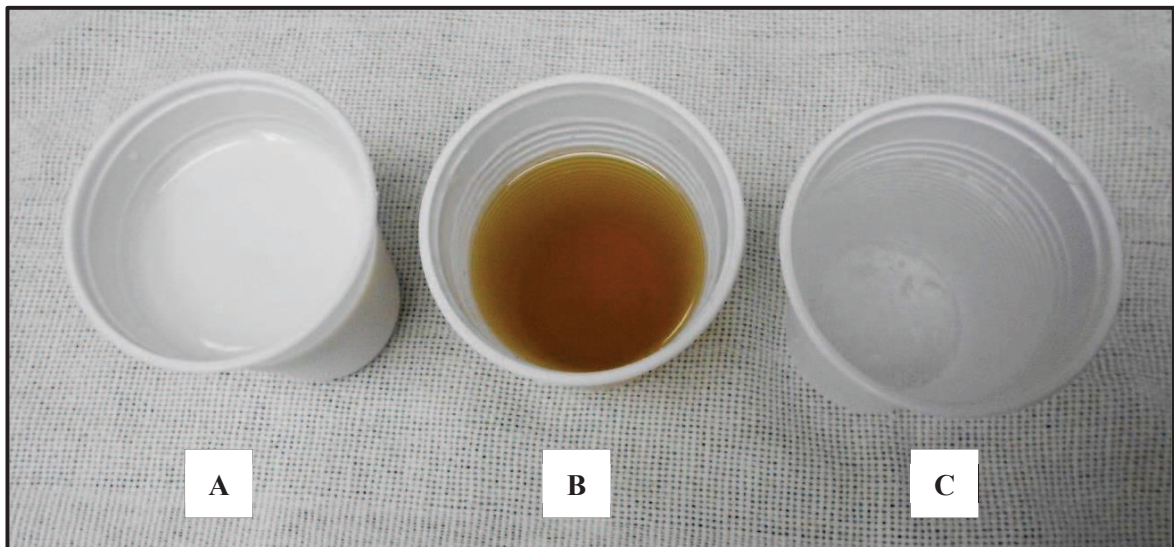
Os ensaios foram realizados conforme as seguintes etapas:

- a) Separaram-se as vidrarias e equipamentos necessários para a realização dos testes;
- b) As soluções de Hidróxido de Cálcio e Polímero Catiônico foram preparadas conforme concentrações ideais para utilização nos testes. O Policloreto de Alumínio já é comercializado com concentração de 18% (Figura 12);
- c) Após agitação, o efluente foi distribuído nos três jarros do equipamento até atingir o volume de 2 L cada jarro;
- d) Ligou-se o *Jar Test* e ajustou-se a velocidade de rotação dos agitadores para 200 rpm;
- e) Adicionou-se a solução de Hidróxido de Cálcio para correção do pH;
- f) Adicionou-se aos jarros, gradualmente, alíquotas de 0,5 mL de coagulante (PAC) até ser observada a formação de flocos;
- g) Manteve-se a velocidade de agitação por um minuto;

- h) Paralisou-se a agitação e verificou-se a eficiência da coagulação, definindo a dosagem ideal de coagulante necessária à formação dos flocos;
- i) Adicionaram-se volumes predefinidos de polímero diluído a 0,02% nos jarros, variando de 1 a 3 mL;
- j) Reduziu-se a rotação do equipamento para 50 rpm;
- k) Manteve-se a agitação por três minutos;
- l) Paralisou-se a agitação e verificou-se a clarificação do efluente, definindo a dosagem ideal de polímero necessária à formação dos flocos;
- m) Selecionou-se a dosagem ideal de polímero e transferiu-se 1 L do efluente homogeneizado para uma proveta, de modo a analisar a velocidade de sedimentação dos flocos, a clarificação do efluente e o volume de lodo formado;
- n) Mediu-se o pH do efluente tratado.

As etapas de “c” a “n” foram repetidas para os três valores de pH testados. A amostra de pH 9, no entanto, não necessitou de correção, uma vez que esta era a faixa de pH original do efluente bruto. O ajuste de pH foi realizado com a solução de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a 10%.

Figura 12 – A) Hidróxido de Cálcio a 10%; B) Policloreto de Alumínio a 18%; C) Polímero Catiônico a 0,02%.



Fonte: Autor, 2014

3.5 DEFINIÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES IDEAIS E AMPLIAÇÃO DE ESCALA

Os melhores resultados obtidos nos ensaios foram aplicados no sistema real de tratamento, a fim de estabelecer o pH ideal de coagulação do efluente. Para tanto, utilizaram-se as concentrações ideais obtidas através da fórmula da diluição de soluções:

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

Onde:

C_1 = Concentração do produto (PAC, Polímero) antes da diluição (mg.L^{-1});

V_1 = Volume do produto (PAC, Polímero) adicionado (mL);

C_2 = Concentração da amostra após a adição do produto (mg.L^{-1});

V_2 = Volume da amostra utilizada (mL).

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

As principais características físico-químicas do efluente bruto e tratado são mostradas na Tabela 4. Os dados são referentes ao período compreendido entre maio de 2013 e outubro de 2014. Ressalta-se que as características do efluente tratado refletem as condições operacionais da ETE antes das modificações implementadas a partir das sugestões do presente estudo.

Tabela 4 – Caracterização do efluente bruto e tratado.

Data	Efluente	DBO (mg.L ⁻¹)	DQO (mg.L ⁻¹)	pH	SDT (mg.L ⁻¹)	SSed (mL.L ⁻¹)	SST (mg.L ⁻¹)	ST (mg.L ⁻¹)
Outubro/14	Bruto	6.400	21.780	9,1	32.037	0,5	25.667	57.704
	Tratado	760	2.574	8,0	5.357	<0,1	52	5.409
Julho/14	Bruto	3.200	10.400	10	18.903	0,5	12.475	31.378
	Tratado	760	2.600	6,7	3.667	<0,1	7	3.674
Março/14	Bruto	1.250	4.272	7,2	25.486	10	12.820	38.306
	Tratado	960	3.333	7,4	5.187	0,1	65	5.252
Dezembro/13	Bruto	4.500	12.620	8,7	7.623	0,1	40.150	47.773
	Tratado	720	2.485	6,9	4.610	<0,1	63	4.673
Setembro/13	Bruto	4.200	14.058	8,9	1.129	<0,1	20.920	22.049
	Tratado	420	1.346	6,9	2.601	<0,1	17	2.618
Maio/13	Bruto	16.400	55.102	9,4	35.317	0,1	45.140	80.457
	Tratado	240	796	6,7	3.107	<0,1	16	3.123

Fonte: Dados da empresa, 2014

Os índices de sólidos dos efluentes são elevados, bem como os valores de DBO e DQO. Por não estarem determinados em lei, os valores de sólidos são considerados admissíveis. Já o limite máximo de DBO, conforme a Lei Estadual 14.675/09, é de 60 mg.L⁻¹ ou eficiência de 80% no tratamento biológico. Portanto, como a empresa não conta com a etapa de tratamento biológico, a concentração estabelecida para DBO deveria ser atendida.

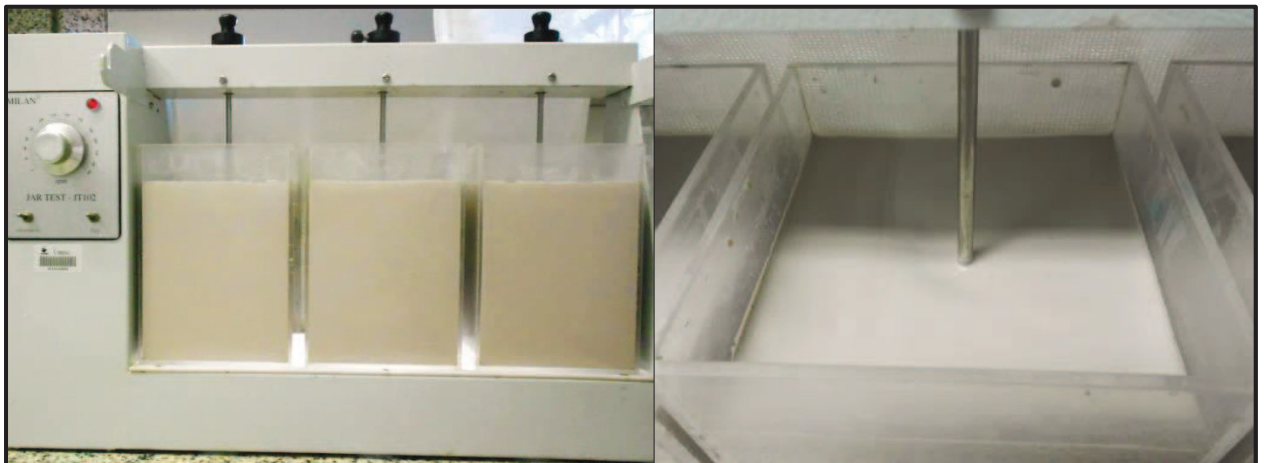
A DQO, quando avaliada em conjunto com a DBO, permite determinar a biodegradabilidade do efluente. A relação DQO/DBO é de aproximadamente 3 em todas as amostras apresentadas. Segundo Jardim e Canela (2004), esse valor sugere que o efluente é biodegradável, porém com alguma dificuldade, situação compatível com despejos de indústrias de tintas, conforme Giordano (2004).

Quando se avalia o fluxo do efluente na estação de tratamento nas condições operacionais iniciais, observa-se que o tempo de filtração é relativamente longo, limitando o funcionamento da mesma.

Outra constatação refere-se à sequência das operações empregadas para o tratamento, que não está de acordo com os métodos de referência citados por Nunes (2004) e Cavalcanti (2009). Foi possível identificar que esta sequência refletia-se na “qualidade” dos flocos formados, prejudicando a clarificação do efluente e sobrecarregando o filtro prensa. Com base nestas premissas, os ensaios laboratoriais foram realizados considerando-se a sequência de etapas aplicadas conforme recomendam os autores supra citados.

O efluente bruto utilizado para o primeiro ensaio com o objetivo de determinar as dosagens ideais de produtos químicos, possuía pH 8,9. O efluente apresentava coloração esbranquiçada, aspecto leitoso e elevada turbidez, indicando alta concentração de sólidos em suspensão (Figura 13).

Figura 13 – Aspectos observados no efluente bruto.



Fonte: Autor, 2014

Com o objetivo de verificar o efeito do Ca(OH)_2 no tratamento, foram realizados os ensaios com o pH *in natura* (8,9), concomitantemente com pH corrigido para 9,9 e 10,9.

O ajuste de pH ocorreu com a adição de alíquotas de 8,5 e 16,0 mL.L⁻¹ de solução de Ca(OH)_2 com concentração de 10% para elevar os valores de pH respectivamente para 9,9 e 10,9.

A Tabela 5 mostra os resultados do ensaio, onde se estabeleceram as dosagens ideais de PAC e polímero para três diferentes valores de pH do efluente. Ressalta-se que os reagentes foram adicionados na mínima quantidade necessária para que ocorresse a reação de floculação, sendo esta observada visualmente.

Tabela 5 – Resultados obtidos no primeiro ensaio para determinação de dosagens ideais.

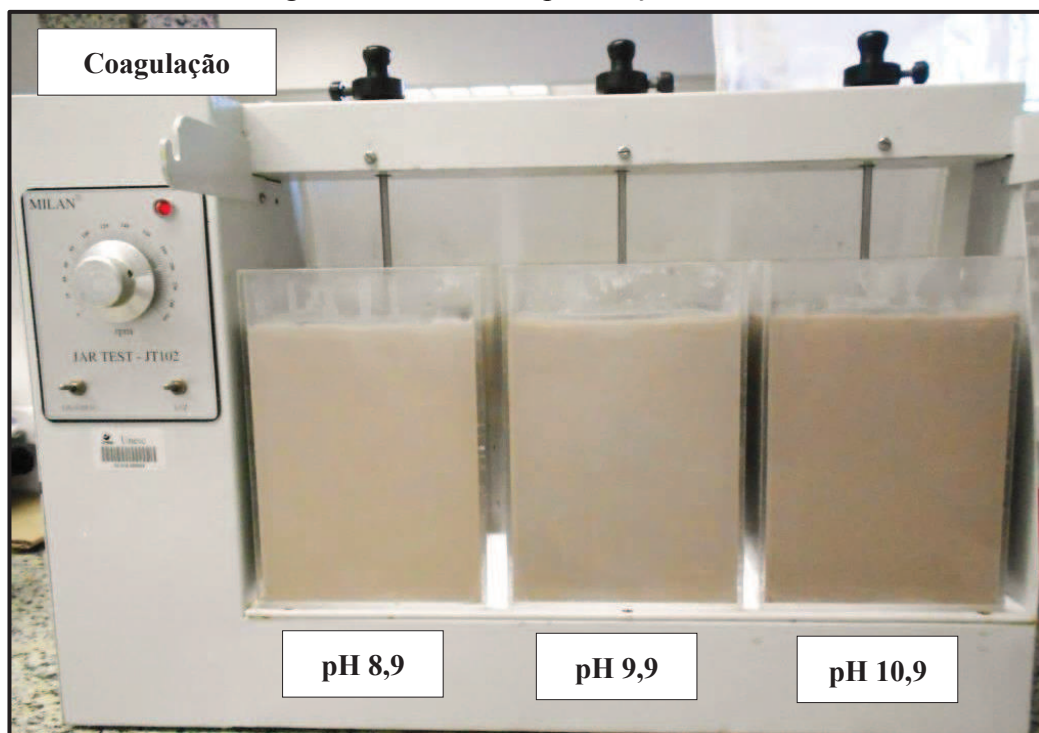
pH inicial	Dosagens ideais (mL.L ⁻¹)			pH final
	Ca(OH) ₂ (10%)	PAC (18%)	Polímero Catiônico (0,02%)	
8,9	-	2,0	1,5	7,0
9,9	8,5	2,0	1,5	7,5
10,9	16,0	2,0	1,5	8,1

Fonte: Autor, 2014

Observa-se que as dosagens, tanto de PAC quanto de Polímero, foram iguais para os três valores de pH testados. O efluente final, já clarificado, apresentou valores de pH compatíveis com as exigências do Código Estadual de Meio Ambiente (Lei 14.675/09) nos três casos.

A Figura 14 apresenta o efluente após a inserção da dosagem ideal de PAC. A visualização da coagulação é dificultada pela alta concentração de sólidos.

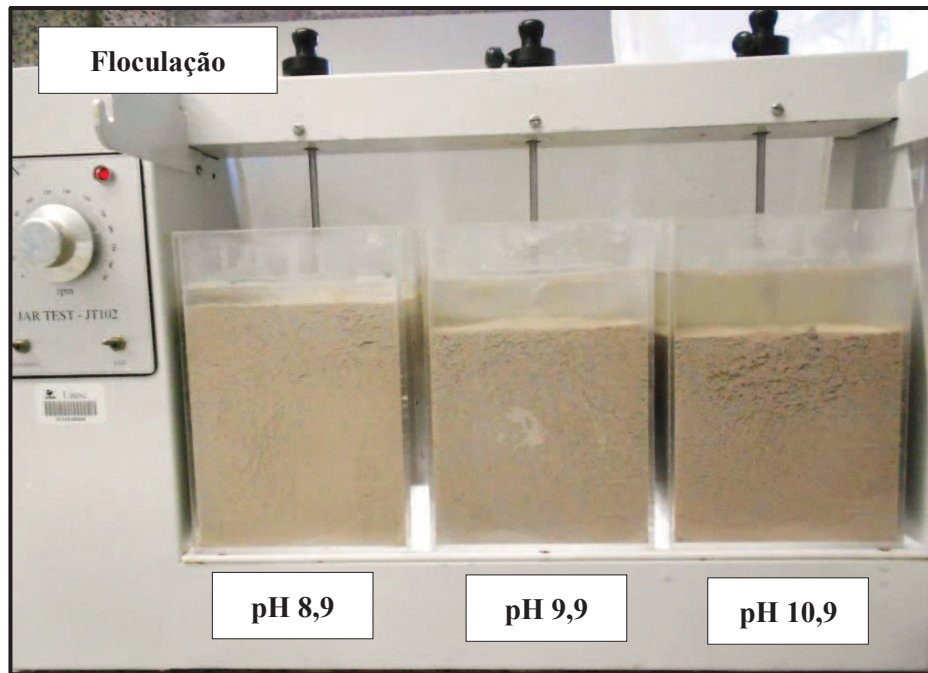
Figura 14 – Efluente após adição de PAC.



Fonte: Autor, 2014

A Figura 15 apresenta o efluente após adição de Polímero.

Figura 15 – Efluente após adição de Polímero.



Fonte: Autor, 2014

A observação visual do processo de coagulação e floculação não permitiu distinguir diferença significativa nos três valores de pH ensaiados, iniciando-se o processo de floculação com a mesma dosagem de produtos químicos, independente da condição do pH. Contudo, o jarro com pH 10,9 aparenta flocos maiores, resultando, conseqüentemente, em maior velocidade de decantação.

O efluente bruto utilizado para o segundo ensaio apresentava características diferentes das do primeiro, por ser proveniente da produção de outros tipos de tinta. O pH inicial da amostra era de 9,2. A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 6 – Resultados obtidos no segundo ensaio para determinação de dosagens ideais.

pH inicial	Dosagens ideais (mL.L ⁻¹)			pH final
	Ca(OH) ₂ (10%)	PAC (18%)	Polímero Catiônico (0,02%)	
9,2	-	2,5	1,5	7,1
10,0	8,5	2,5	1,5	7,4
11,1	16,0	2,5	1,5	8,2

Fonte: Autor, 2014

Observa-se com o segundo ensaio, que devido às diferenças de pH e outras características desconhecidas do efluente bruto, o volume mínimo de PAC para obtenção da coagulação aumentou, passando de 2 mL.L⁻¹ para 2,5 mL.L⁻¹.

Portanto, devido às diferentes características do efluente, a dosagem ideal de PAC varia de 2 a 2,5 mL.L⁻¹, exigindo a atenção do operador para garantir a dosagem ideal do reagente em cada batelada tratada.

Durante os testes, percebeu-se que, diminuindo a velocidade de dosagem do PAC, o volume necessário para ocorrer a coagulação foi menor.

4.1 CONCENTRAÇÕES IDEAIS

Com as dosagens ideais de Ca(OH)₂, PAC e Polímero obtidas nos ensaios, foram feitos cálculos para ampliação das mesmas para a escala real.

4.1.1 Cálculo da concentração ideal de alcalinizante (Ca(OH)₂)

- a) Concentração do alcalinizante: 10% ou 100 g.L⁻¹
- b) Volume do jarro: 2000 mL
- c) Dosagem ideal para pH 10: 17 mL
- d) Dosagem ideal para pH 11: 32 mL

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$100 \frac{\text{g}}{\text{L}} \times 17 \text{ mL} = C_2 \times 2000 \text{ mL}$$

$$C_2 = 850 \text{ mg. L}^{-1}$$

$$100 \frac{\text{g}}{\text{L}} \times 32 \text{ mL} = C_2 \times 2000 \text{ mL}$$

$$C_2 = 1,6 \text{ g. L}^{-1}$$

4.1.2 Cálculo da concentração ideal de coagulante (PAC)

- e) Concentração do coagulante: 18% ou 180 g.L⁻¹
- f) Volume do jarro: 2000 mL
- g) Dosagem ideal: 4 a 5 mL

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$180 \frac{\text{g}}{\text{L}} \times 4 \text{ mL} = C_2 \times 2000 \text{ mL}$$

$$C_2 = 360 \text{ mg. L}^{-1}$$

$$180 \frac{\text{g}}{\text{L}} \times 5 \text{ mL} = C_2 \times 2000 \text{ mL}$$

$$C_2 = 450 \text{ mg. L}^{-1}$$

4.1.3 Cálculo da concentração ideal de Polímero Catiônico

- a) Concentração do polieletrólito: 0,02% ou 0,2 g.L⁻¹
- b) Volume do jarro: 2000 mL
- c) Dosagem ideal: 3 mL

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

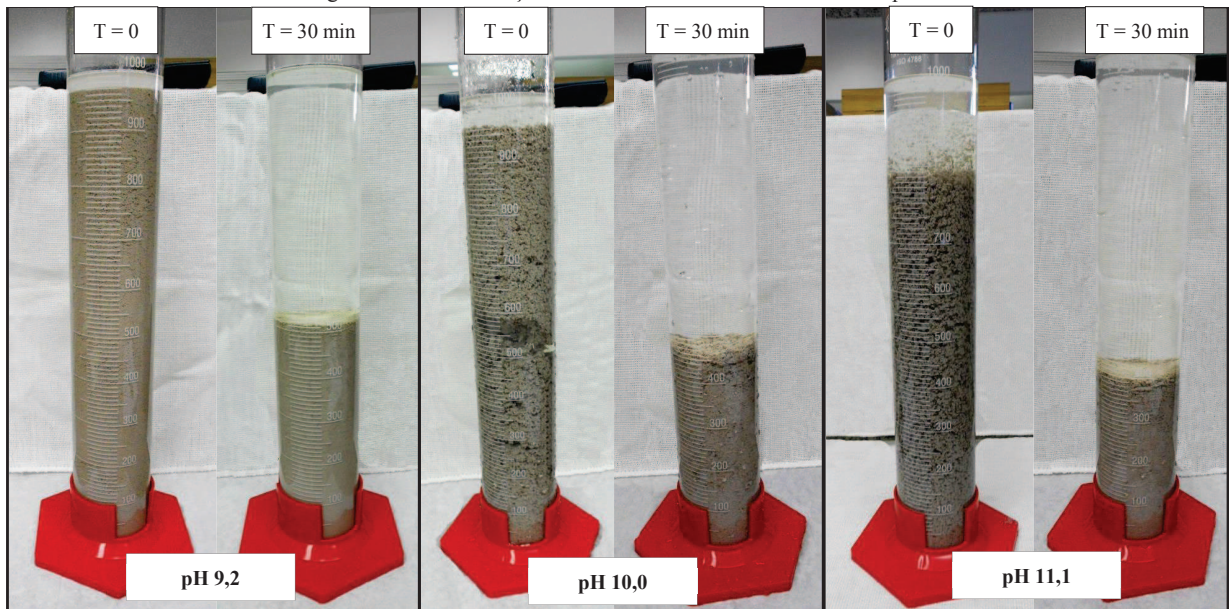
$$0,2 \text{ g/L} \times 3 \text{ mL} = C_2 \times 2000 \text{ mL}$$

$$C_2 = 0,3 \text{ mg. L}^{-1}$$

4.2 VELOCIDADES DE SEDIMENTAÇÃO

Para simulação da etapa de decantação, o efluente tratado no segundo ensaio de *Jar Test* (três amostras) foi submetido ao ensaio de sedimentação em proveta. A Figura 16 mostra a sedimentação de cada amostra de pH logo após sua transferência para a proveta, e após 30 minutos de decantação. Também é possível visualizar as características dos flocos formados.

Figura 16 – Sedimentação das amostras de diferentes valores de pH.



Fonte: Autor, 2014

É possível perceber que a amostra com pH 9,2 formou flocos com tamanhos menores, apresentando baixa velocidade de sedimentação. Com esse pH obteve-se o maior volume de lodo (510 mL.L^{-1}) considerando o tempo observado (30 minutos). Já na amostra com pH 10, os flocos tiveram boa formação, apresentando-se mais “encorpados” e com melhor sedimentação. Neste pH obteve-se 460 mL de lodo por litro de efluente tratado, considerando-se o mesmo tempo de observação da amostra com pH 9,2.

Por último, a amostra de pH 11,1 foi a que apresentou o menor volume de lodo, 390 mL por litro de efluente, o que conseqüentemente implica em maior velocidade de sedimentação. Isto se deve, provavelmente, ao maior tamanho dos flocos formados no processo de floculação, podendo-se inferir uma maior densidade do lodo gerado.

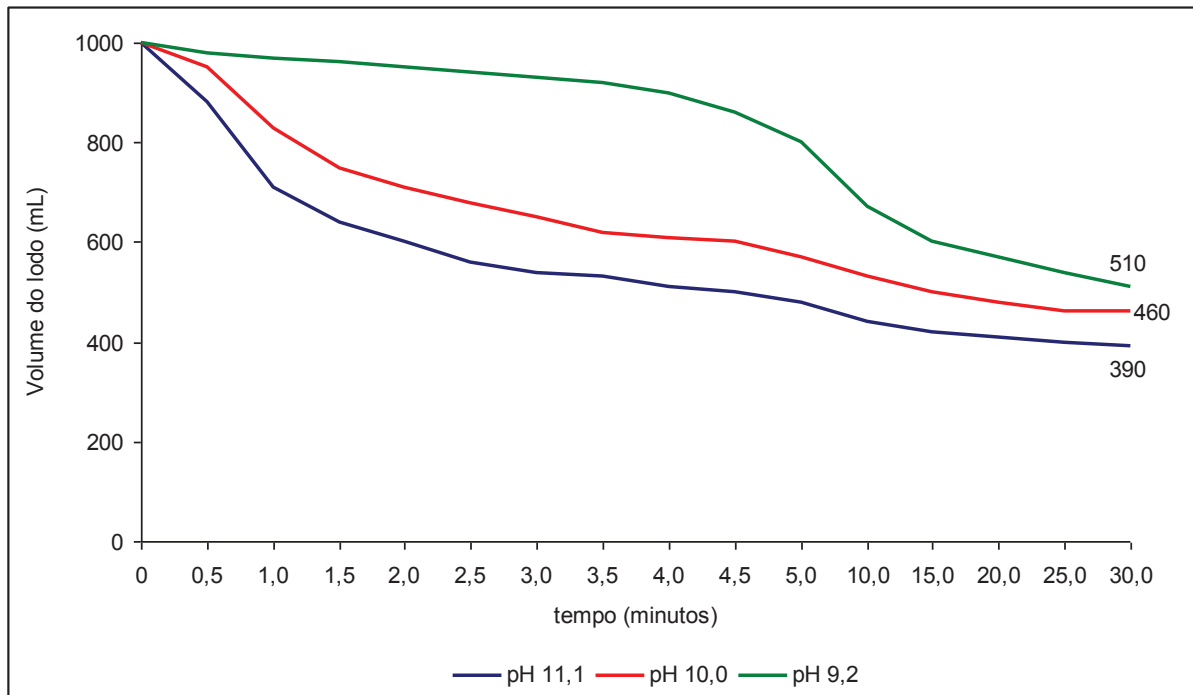
A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos e a Figura 17 os ilustra.

Tabela 7 – Velocidades de sedimentação das amostras.

Tempo (min)	Volume de lodo decantado (mL)		
	pH 11,1	pH 10,0	pH 9,2
0	1000	1000	1000
0,5	880	950	980
1,0	710	830	970
1,5	640	750	960
2,0	600	710	950
2,5	560	680	940
3,0	540	650	930
3,5	530	620	920
4,0	510	610	900
4,5	500	600	860
5,0	490	590	830
10,0	440	530	670
15,0	420	500	600
20,0	410	480	570
25,0	400	460	540
30,0	390	460	510

Fonte: Autor, 2014

Figura 17 - Volume de lodo gerado em função do pH com destaque do volume de lodo gerado (em mL) em 30 minutos de observação.



Fonte: Autor, 2014

Observa-se na Figura 17 que as amostras de pH 10,0 e 11,1 seguiram o comportamento descrito por França e Casqueira (2007) para ensaios de sedimentação em proveta, onde nos primeiros 5 minutos houve rápida sedimentação, enquanto nos outros 25 minutos a velocidade diminuiu, representando a zona de compressão ou de adensamento do lodo.

A amostra com pH 9,2 no entanto, apresentou comportamento oposto, havendo pouca alteração nos primeiros 5 minutos, e maior sedimentação nos últimos 25 minutos.

O aspecto das partículas observado durante o ensaio justifica o comportamento apresentado, uma vez que as amostras de pH 10,0 e 11,1 formaram flocos maiores e conseqüentemente mais densos.

Portanto, os resultados dos testes de sedimentação permitem concluir que a utilização do $\text{Ca}(\text{OH})_2$ melhora a condição de sedimentabilidade do lodo, formando flocos maiores, com maior densidade e acelerando a etapa de decantação. Observou-se também que, nestas condições operacionais de pH, obtém-se menor volume de lodo.

O comportamento imposto pelo uso do $\text{Ca}(\text{OH})_2$ possivelmente deve-se à atuação deste produto como agente coagulante, conforme menciona Cavalcanti (2009). Desta forma, supõe-se que o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ para o efluente testado, tenha efeito sinérgico ao PAC, potencializando o efeito deste e aumentando a eficiência do processo.

4.3 APLICAÇÃO EM ESCALA REAL

Os valores de pH 10 e 11, que através dos ensaios foram considerados mais eficazes, foram reproduzidos diretamente na estação de tratamento a fim de avaliar o desempenho em escala real. Ressalta-se que, devido às particularidades da estação, como o aerador por borbulhamento, por exemplo, os resultados obtidos foram menos promissores que os obtidos em laboratório.

Para a definição da melhor condição operacional da estação, também foi levada em consideração a velocidade de secagem do filtro prensa, visto que esta é uma das principais dificuldades da estação em operação.

Foram realizadas duas bateladas em dias consecutivos. Na primeira o pH do efluente foi elevado até 10, e na segunda até 11.

No primeiro caso, o tempo necessário para que o filtro prensa secasse todo o lodo gerado em uma batelada foi de aproximadamente 7 horas, tendo sido necessário passar por todas as suas etapas de funcionamento (enchimento, filtração e descarga) duas vezes. Os flocos, no tanque de mistura, demonstraram rápida sedimentação, e o lodo gerado foi desaguado com facilidade pelo filtro.

No tratamento onde o efluente teve seu pH elevado para 11, o filtro prensa passou por todas as etapas de funcionamento apenas uma vez, reduzindo o tempo de secagem do lodo para 5 horas. A sedimentação dos flocos foi ainda mais rápida que o tratamento realizado com pH 10.

Segundo Richter (2001), para aumentar os teores de sólidos na torta durante a operação do filtro prensa, o Hidróxido de Cálcio pode ser utilizado para elevar o pH a 11 ou mais.

Portanto, após aplicação em escala real dos dois melhores resultados obtidos em laboratório, foi possível estabelecer que, em relação à velocidade de sedimentação e ao desaguamento do lodo pelo filtro prensa, a elevação do pH do efluente bruto para 11 é a opção mais eficiente para agilizar o processo de tratamento.

Ainda assim, o processo observado na ETE foi dificultado pelo aerador por borbulhamento, que faz com que os flocos, num primeiro momento, flitem, dificultando a sedimentação. Além disso, o tempo de floculação ou mistura lenta teve que ser reduzido, pois o aerador proporciona a quebra dos flocos já formados.

De maneira geral, todas as bateladas tratadas posteriormente com pH 11 reduziram seu tempo de tratamento em aproximadamente 2,5 horas.

A Tabela 8 apresenta a comparação do sistema de tratamento de efluentes em sua situação inicial e na situação proposta após os ensaios laboratoriais e testes em escala real.

Tabela 8 – Comparação da situação inicial e da situação proposta para o tratamento de efluentes. Os dados se referem ao tratamento em batelada de 1,6 m³ de efluente.

Reagente	Situação inicial	Situação proposta
Ca(OH) ₂	1,0 Kg	2,56 Kg
NaClO	2,0 L	-
Policloreto de Alumínio (solução a 18%)	8,0 L	3,2 a 4,0 L
Polímero Catiônico	9,0 g	0,48 g

Fonte: Autor, 2014

Nota-se que a proposta do novo sistema de tratamento envolve a redução da dosagem de todos os produtos, exceto do Ca(OH)₂, que teve um aumento de 156% por ser responsável pela elevação do pH do efluente bruto para 11.

O PAC apresentou redução de 50%, e o polímero de 94,6%. Também dispensou-se a utilização do NaClO, pois o mesmo não apresenta finalidade definida no tratamento deste efluente, uma vez que a empresa não adota o reúso.

É esperado que o filtro de carvão ativado tenha mantido a mesma eficiência na remoção parcial de DBO, sólidos suspensos remanescentes e cor do efluente, uma vez que este equipamento não foi objeto de intervenção. Comparando o efluente na entrada e saída do filtro de carvão ativado, observa-se uma sensível redução na coloração do mesmo, o que leva a considerar que esta etapa do tratamento tem uma boa eficiência na remoção da fração solubilizada da DBO, corroborando com Cavalcanti (2009).

4.4 DESTINAÇÃO DO LODO

O lodo gerado na estação de tratamento dos efluentes da empresa é classificado como resíduo II A ou resíduo não inerte, sendo destinado para aterro de resíduos industriais licenciado para tal finalidade.

Estudos realizados anteriormente por vários autores apontam outras possibilidades para a destinação de lodos provenientes de estações de tratamento de água, efluentes e esgoto. A mais comum é sua aplicação controlada em solos, atuando como fertilizante orgânico. No entanto, esta prática não tem apresentado boa aceitação, uma vez que ainda persistem dúvidas

sobre o efeito da aplicação de lodo no solo, principalmente quando se refere a lodo gerado em estações de tratamento de efluentes industriais.

Uma alternativa menos difundida, porém com menor restrição ambiental, é a incorporação do lodo na matéria-prima da indústria cerâmica vermelha ou na fabricação de cimento para a construção civil.

Ambas as possibilidades já são empregadas por algumas indústrias e companhias de saneamento no Brasil e no mundo. Na região, porém, poucos estudos foram feitos nesse sentido, e a destinação alternativa de lodos de estações de tratamento ainda é pouco aplicada.

4.5 REÚSO DA ÁGUA

O reúso da água em indústrias de tintas geralmente é realizado no próprio processo onde o efluente é gerado (limpeza dos equipamentos). As características do efluente tratado na indústria em questão permitem sua reutilização para esse fim sem comprometer a qualidade dos produtos.

Importante destacar que, caso a empresa opte no futuro pelo reúso do efluente tratado, será necessário o retorno da adição do NaClO. Neste caso, a adição do produto sanitizante deverá ser realizada após o efluente passar pelo filtro de carvão ativado.

A água utilizada diretamente no processo produtivo, ou seja, aquela que entra como matéria-prima na fabricação da tinta, deve atender aos padrões de qualidade mais exigentes, não sendo viável o reúso do efluente tratado com essa finalidade.

Uma consideração importante a ser feita é que o reúso da água evitaria o descarte do efluente fora dos padrões estabelecidos pelo Código Estadual do Meio Ambiente para DBO. Neste sentido, vale lembrar que para atendimento ao que estabelece o artigo 177, inciso XI do Código Estadual do Meio Ambiente (Lei 14.675/2009), relativo ao lançamento de efluentes em corpos receptores, é imprescindível que se implante a etapa de tratamento secundário ou biológico, de forma a complementar a estação de tratamento em atividade.

4.6 ECONOMIA DO PROCESSO

Levando em conta as alterações propostas por este estudo, verifica-se significativa alteração das dosagens de reagentes utilizados.

Considerando a média de 53.522 L de efluente bruto gerado mensalmente, a Tabela 9 apresenta o consumo mensal de reagentes, na situação inicial e na situação proposta, bem como a economia resultante da melhoria do processo.

Tabela 9 – Economia mensal do consumo de reagentes no sistema de tratamento proposto.

Reagente	Custo (R\$/kg)	Situação inicial	Situação proposta	Economia (R\$/mês)
NaClO	1,20	66,90 kg/mês	-	80,28
Policloreto de Alumínio (solução a 18%)	1,65	267,61 kg/mês	149,86 a 186,26 kg/mês	134,13 a 194,19
Polímero Catiônico	25,00	480 g/mês	16,06 g/mês	11,6
Ca(OH) ₂	0,60	33,45 kg/mês	85,64 kg/mês	- 31,31
Total Mensal				194,7 a 254,76

Fonte: Autor, 2014

A economia de um ano operacional pode chegar a R\$ 3057,12 com a padronização das dosagens de reagentes utilizados no processo, já considerando o aumento da aquisição do Ca(OH)₂.

Nesta quantia não estão incluídos os valores referentes à redução da mão-de-obra do operador da estação e do consumo de energia referente ao filtro prensa, que certamente são os ganhos mais significativos.

Além disso, caso seja implantado um sistema para reutilização do efluente tratado, serão economizados aproximadamente R\$ 5.000,00 anualmente, considerando o valor de R\$ 9,60 pago pelo m³ da água, relativos à produção média mensal de 43.423 L de efluente tratado.

A destinação alternativa do lodo da estação de tratamento, principalmente se utilizada como matéria-prima para outras indústrias, traria à empresa a economia de aproximadamente R\$ 25.000,00 por ano, levando em conta a geração média de 10.099 kg de lodo seco por mês, e o valor de R\$ 205 para a disposição de uma tonelada de resíduo Classe II A em aterro industrial.

Portanto, se todas as ações descritas forem adotadas, a economia total da empresa pode chegar a R\$ 33.057,12 anualmente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo objetivou otimizar operacionalmente a estação de tratamento de efluentes gerados na limpeza de equipamentos utilizados na fabricação de tintas base água e na limpeza do prédio industrial.

Inicialmente, o principal aspecto observado foi o acúmulo de efluente a ser tratado, uma vez que a velocidade em que o efluente era gerado ultrapassava a velocidade de tratamento do mesmo. Este fato era justificado em função do dimensionamento do sistema, que comporta 1.600 L a cada batelada, e ao tempo necessário para completar o ciclo de tratamento, visto que a etapa de prensagem levava entre 6 e 8 horas, por não suportar toda a carga de lodo úmido de uma só vez.

Na situação inicial, os reagentes dosados no tanque de mistura eram, na sequência, policloreto de alumínio, NaClO, Ca(OH)₂ e polímero catiônico. Propôs-se, então, dispensar a utilização do NaClO (uma vez que a empresa não pratica o reúso do efluente), e alterar a sequência de adição de reagentes para Ca(OH)₂, policloreto de alumínio e o polímero catiônico. As dosagens destes produtos, conforme ensaios em *Jar Test*, também foram modificadas.

Os resultados dos ensaios laboratoriais mostraram que a performance do sistema de tratamento é melhorada quando o pH do efluente bruto é elevado para 11, uma vez que, nesse valor de pH, formam-se flocos de maior dimensão e densidade, resultando em maior velocidade de sedimentação e menor volume de lodo. Conclui-se, portanto, que a utilização do Ca(OH)₂ melhora a condição de sedimentabilidade do lodo, acelerando a etapa de decantação.

Assim sendo, a dosagem de Ca(OH)₂ foi aumentada para atingir o pH ideal, passando de 1,0 para 2,56 kg por batelada, ou seja, para tratar 1,6 m³. A dosagem de PAC, que na situação inicial de tratamento era de 5 mL.L⁻¹, foi estabelecida entre os valores de 2 e 2,5 mL.L⁻¹ na situação proposta. Esta variação de dosagem deve-se à variedade de tintas produzidas e conseqüentemente do efluente a ser tratado. O polímero, inserido inicialmente na quantidade de 9 g, apresentou significativa diminuição, passando a ser aplicado apenas 0,48 g para cada batelada de 1600 L.

Após aplicação em escala real dos melhores resultados obtidos em laboratório, foi possível estabelecer que a elevação do pH do efluente bruto para 11 é a opção mais eficaz para agilizar o processo de tratamento.

No entanto, como já esperado, a ampliação do tratamento para escala real apresentou comportamento diferente da amostra testada, uma vez que o sistema de mistura rápida e lenta na ETE é realizado pela ação de um aerador por borbulhamento. Para aumentar a eficiência de tratamento, sugere-se a troca deste equipamento por um misturador mecânico de rotação variável, permitindo eficácia na dispersão dos reagentes, facilitando a coagulação e evitando a quebra dos flocos formados na etapa de floculação.

Ainda assim, as mudanças propostas na dosagem e aplicação dos produtos permitiram eliminar o acúmulo de efluente bruto no reservatório, pois além de tornar as etapas de coagulação e floculação mais eficazes, permitiram melhor funcionamento do filtro prensa.

Apesar disso, sugere-se o redimensionamento do filtro prensa, uma vez que este não suporta a quantidade de lodo gerada por batelada, atrasando o processo de tratamento.

Sugere-se também, a adoção de maior tempo de decantação do efluente tratado no tanque de mistura, a fim de minimizar o volume de lodo formado, e conseqüentemente acelerar o processo de deságue do mesmo.

As características de utilização do filtro de carvão ativado não foram alteradas, uma vez que este atinge seu objetivo no sistema de tratamento, que é a redução de cor e da fração solúvel de DBO do efluente, embora os resultados das análises laboratoriais indiquem que esta redução não é suficiente para atender as condições da legislação ambiental.

Observa-se que o efluente tratado não atende à Lei Estadual nº 14.675/09, uma vez que a DBO é maior que 60 mg.L^{-1} e a empresa não possui a etapa de tratamento biológico. Como alternativa a esta etapa complementar, sugere-se o reúso do efluente tratado no próprio processo de limpeza dos equipamentos, sendo que neste caso se fará necessária a adição de hipoclorito de sódio, para evitar a formação de colônias de microrganismos. Além disso, esta ação ainda minimiza o consumo de água pela empresa.

Para um próximo estudo, incentiva-se a abordagem de assuntos relacionados à aplicação do lodo gerado no tratamento de efluentes de tinta base água como matéria-prima de outras indústrias, criando novas oportunidades de negócio. A ampla divulgação de estudos desse tipo seria um grande avanço para o setor empresarial, tecnológico e ambiental da região.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023:** Informação e documentação: referências. Rio de Janeiro, 2002.
- _____. **NBR 10004:** Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 77 p.
- _____. **NBR 10520:** informação e documentação: citações em documentos. Rio de Janeiro, 2002. 7 p.
- _____. **NBR 12216:** Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992. 18 p.
- _____. **NBR 14724:** informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. Rio de Janeiro, 2011. 13 p.
- ABRAFATI. **Números do Setor.** São Paulo, SP: 2014. Disponível em: <<http://www.ABRAFATI.com.br/indicadores-do-mercado/numeros-do-setor/>>. Acesso em: 06 ago. 2014.
- ANA. **Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos.** 2014. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/cobrancaarrecadacao/cobrancaarrecadacao.aspx>>. Acesso em: 09 set. 2014.
- ANDREOLI, Cleverson Vitório (Coordenador). **Resíduos sólidos do saneamento:** processamento, reciclagem e disposição final. Curitiba: FINEP, 2001. 257 p.
- AROUCA, Fábio de Oliveira. **Uma contribuição ao estudo da sedimentação gravitacional em batelada.** 2007. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia, 2007.
- BACCI, Denise De La Corte; PATACA, Ermelinda Moutinho. **Educação para a água.** 2008. Disponível em : <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v22n63/v22n63a14.pdf>>. Acesso em: 02 set. 2014.
- BARBOSA, Gisele Mattedi. **Processo de clarificação convencional combinado com microfiltração visando o reúso de efluente da indústria sucroalcooleira.** 2011. Dissertação (Mestrado) – Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 2011.
- BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CNRH). **Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005.** Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Brasília – DF, março de 2006. Publicado no D.O.U em 09/03/2006. Disponível em: <<http://www.cnrh.gov.br>>. Acesso em: 16 ago. 2014.
- BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011.** Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes; complementa e altera a resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho

Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. 2011. Disponível em:
<<http://www.mma.gov.br/port/conama>>. Acesso em 16 ago. de 2014.

BRASIL. **Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Casa Civil, Brasília, DF, 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm>. Acesso em: 09 set. 2014.

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

CEMIN, Vânia. **WaterCare – coagulação e floculação**. Coventya Química, 2012. Disponível em: <<http://www.coventya.com/assets/Technical-Information/Watercare/portuguese/pt-watercare-coagulacaoefloculacao.pdf>>. Acesso em: 17 ago. 2014.

COLONETTI, Nicole Chini. **Otimização do processo de clarificação química visando o reúso dos efluentes gerados nas etapas de polimento e esquadramento de uma indústria de revestimentos cerâmicos**. 2014. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, 2014.

DI BERNARDO, Luiz, et al. **Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos, SP: RiMA, 2002. 237 p.

DONADIO, P. A., ABRAFATI. **Manual básico sobre tintas**. Águia química, 2011.

FAZENDA, Jorge M. R. (Coordenador). **Tintas e vernizes: ciência e tecnologia**. 3ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005. 1044 p.

FERREIRA, Dilson. **Desafios e oportunidades para a indústria de tintas no Brasil**. 2012. Disponível em: <<http://www.ABRAFATI.com.br/noticias-e-artigos/desafios-e-oportunidades-para-a-industria-de-tintas-no-brasil/>>. Acesso em: 06 ago. 2014.

FIRJAN. **Manual de Conservação e Reúso da Água na Indústria**. Rio de Janeiro: DIM, 2006.

FONTANELLA, Deise Fabiane. **Performance de ETE: Otimização da estação de tratamento de efluentes da indústria cerâmica**. 2003. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Ambiental, Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, 2003.

FRANÇA, S.C.; CASQUEIRA, R.G. Ensaio de Sedimentação. In.: CETEM. **Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais**. Rio de Janeiro, 2007. cap. 23.

GIORDANO, G. **Tratamento e controle de efluentes industriais**. Rio de Janeiro, 2004. 81p. Disponível em: <<http://72.29.69.19/~nead/disci/gesamb/doc/mod7/2.pdf>>. Acesso em: 07 ago. 2014.

GUARUJÁ equipamentos para saneamento. **Tratamento de água**. 2014. Disponível em: <http://www.guarujaeq.com.br/tratamento_agua.html>. Acesso em: 18 ago. 2014.

IBGE. **Normas de apresentação tabular**. 3 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993. 62 p.

JARDIM, Wilson F.; CANELA, Maria Cristina. **Fundamentos da oxidação química no tratamento de efluentes e remediação de solos**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 2004. Disponível em: <<http://lqa.iqm.unicamp.br/cadernos/caderno1.pdf>>. Acesso em: 08 set. 2014.

LIMA, Geonir Moreira de. **Produção de tintas e sua correlação com os materiais poliméricos**. 2012. 87 f. TCC (Graduação) – Curso de Tecnologia em Polímeros, Faculdade de Tecnologia de Sorocaba, Sorocaba, 2012. Disponível em: <<http://fatecsorocaba.edu.br/principal/pesquisas/nuplas/dissertacoes/TCCs1sem-2012/Geonir%20Moreira%20de%20Lima.pdf>>. Acesso em: 07 ago. 2014.

MANCUSO, Pedro Caetano Sanches; SANTOS, Hilton Felício dos. **Reúso de água**. Barueri, SP: Manole, 2003. 579 p.

MELLO, V. M., SUAREZ, P. A. Z. As formulações de tintas expressivas através da história. **Revista Virtual de Química**, Brasília, v. 4, n. 1, p. 2-12, mar. 2012.

MELO, Karlos André de Amaral. **Operação de estação de tratamento de efluentes líquidos: processo físico-químico**. Ribeirão Preto: CRQ, 2013. Disponível em: <http://www.crq4.org.br/sms/files/file/2013_09_28_Apostila_ETE_Ribeir%C3%A3o_Preto_site.pdf>. Acesso em 13 ago. 2014.

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

PAVANELLI, Gerson. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. 2001. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2001.

RICHTER, Carlos A. **Tratamento de lodos de estações de tratamento de água**. São Paulo: Edgard Blücher, 2001. 102 p.

SANTA CATARINA. **Código Estadual do Meio Ambiente de Santa Catarina**. Lei nº 14.675, de 13 de dezembro de 2009. Disponível em: <<http://www.sc.gov.br>>. Acesso em: 16 ago. 2014.

SANTA CATARINA. FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE (FATMA). **Portaria Nº 017, de 18 de abril de 2002**. Estabelece os Limites Máximos de Toxicidade Aguda para efluentes de diferentes origens e dá outras providências. 2002. Disponível em: <http://www.carvaomineral.com.br/abcm/meioambiente/legislacoes/bd_carboniferas/agua/portaria_017-2002_na_integra.pdf>. Acesso em: 09 set. 2014.

SANTOS, Nayane Alves Pereira dos. **Avaliação do desempenho de produtos químicos na coagulação da água produzida na ETA do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro com vistas à redução dos seus custos**. 2011. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia

Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10001810.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2014.

TCHOBANOGLIOUS, George. **Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse**. 3.ed. Boston: Irwin, 1991. 1334 p.

TELLES, Dirceu D Alkmin; COSTA, Regina Helena Pacca Guimarães. (Coordenadores). **Reúso da água: conceitos, teorias e práticas**. São Paulo: Blucher, 2007. 311 p.

WASSERLINK. **Floculador mecânico**. 2014. Disponível em: <http://www.wasserlink.com.br/site/index.php?option=com_content&view=article&id=120&Itemid=158>. Acesso em: 18 ago. 2014.

YAMANAKA, Hélio Tadashi, et al. **Guia Técnico Ambiental Tintas e Vernizes – Série P+L**. São Paulo: Fiesp/Sesi/Senai/IRS, 2006, 70 p.

ZANETTE, T.M. **Estudo de tratabilidade do efluente líquido da indústria cerâmica para fins de reúso**. 2004. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, Criciúma, 2004.