



TRATAMENTO DE EFLUENTE LÍQUIDO ORIUNDO DE PROCESSOS DE PINTURA EM CABINES COM CORTINA DE ÁGUAPOR PROCESSO DE PULVERIZAÇÃO DE TINTA LÍQUIDA, VISANDO SEU REÚSO

André da Luz Possamai¹

Carolina Resmini Melo Marques²

Débora De Pellegrin Campos³

Aline Resmini Melo⁴

Tatiani Malgarise Brolesi⁵

Resumo: A água é uma substância indispensável à vida, mas vem enfrentando muito descaso quanto ao seu uso deliberado para determinadas atividades. Práticas de tratamento de efluente vêm sendo aplicadas, afim do seu reaproveitamento bem como a redução do uso de fontes naturais. Por este motivo, as águas utilizadas em uma metalúrgica como filtro do spray de tinta no processo de pintura pulverizada, terá seu tratamento proposto. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência dos produtos coagulante (a base de bentonita) e floculante (polímero catiônico) no processo de tratamento desse efluente. O efluente tratado permite maior eficiência quando utilizado como líquido auxiliar na redução da poluição atmosférica, incrustações nos equipamentos, reduz o uso de água potável para reposição no processo produtivo e facilita a remoção de contaminantes sólidos. Foram realizados ensaios laboratoriais para verificar a condição do tratamento, esse processo foi realizado antes e depois do tratamento, a fim de qualificar a melhora nos valores obtidos. Realizaram-se análises de pH, DBO, DQO, sólidos totais, sólidos dissolvidos, sólidos suspensos, sólidos sedimentáveis e turbidez. Os resultados e análises mostraram que o uso dos dois elementos coagulante e floculante em conjunto apresentou melhor eficiência. Nos testes realizados em laboratório, apenas com coagulante o contaminante se espalhava por todo volume do recipiente, já com floculante, os contaminantes se aglomeravam e decantavam, com o uso combinado obteve-se partículas suspensas a qual poderiam ser removidas pela superfície, processo desejado. As águas já utilizadas nesse processo não necessitam ser classificadas como potável, pois permanecem em sistema de recirculação, somente saem em forma de vapor ou por perdas decorrentes do processo.

Palavras-chave: Água, Tratamento de efluente, Coagulante, Floculante.

¹ Graduando em Engenharia Química, Faculdade Satc. E-mail: andre_possamai@hotmail.com

² Professora do Curso de Engenharia Química, Faculdade Satc. E-mail: carolina.melo@satc.edu.br

³ Professora do Curso de Engenharia Química, Faculdade Satc. E-mail: debora.campos@satc.edu.br

⁴ Coordenadora do Curso de Engenharia Química, Faculdade Satc. E-mail: aline.melo@satc.edu.br

⁵ Professora do Curso de Engenharia Química, Faculdade Satc. E-mail: tatiani.brolesi@satc.edu.br



1 INTRODUÇÃO

O uso de água em processos industriais é muito comum, esses mecanismos acabam gerando efluentes industriais. Em empresas com processos de pintura industrial a base de pulverização de tinta líquida em cabines com cortinas de água, as águas possuem a função de filtro atmosférico, é feito a agregação do spray da tinta lançada na atmosfera em seu meio, assim tornando o ar mais limpo.

As águas contaminadas devido a esse processo devem ser tratadas, para que seja possível mantê-las em sistema de recirculação, reduzir o consumo de água para reposição, minimizar os pontos de incrustação, que é o principal responsável pelos pontos de oxidação das cabines, bem como a redução dos impactos aos funcionários que ali realizam suas atividades. Essa etapa pode ser conduzida de diversas formas, uma delas é a aplicação de coagulante e floculantes ao efluente com o intuito de facilitar a remoção dos coloides.

A água utilizada em processo de pintura industrial de uma metalúrgica de Criciúma é fornecida pela rede de saneamento do município sob responsabilidade da Empresa Companhia Catarinense de Água e Saneamento CASAN. Em preocupação com o meio ambiente a empresa investe no tratamento do efluente gerado, já que possui seis cabines em sua planta, as quais totalizam um volume de aproximadamente 14000 litros de água. Esse volume é trocado uma vez por ano, devido o processo ser sistema de recirculação.

Além de solucionar o problema ambiental com o efluente, possibilita a técnica de reúso de água após tratamento, ocasionando avanço ambiental na empresa. Reduz o consumo de água, torna mais eficiente a desagregação dos contaminantes ao corpo hídrico e reduz os gastos envolvidos ao descarte do lodo formado por empresas especializadas.

Neste contexto, análises serão realizadas com uso de coagulante e floculante misturado ao efluente, com o intuito de definir as quantidades ideais dos agentes de tratamento.

Com os resultados obtidos será avaliado e ajustado o tratamento do efluente com uso de coagulante e floculante nas cabines da empresa, trazendo maior controle no processo de tratamento e redução de custo com reposição de água tratada e consumo de energia no funcionamento dos equipamentos das cabines.



2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A água é um dos elementos mais importantes na natureza e essencial à vida. Apesar de representar 70% do planeta, apenas 3% são águas doces e desse, 98% são águas subterrâneas, portanto, torna-se prioridade a preservação, o controle e a utilização racional das águas doces superficiais. Seu uso varia em diversos setores da sociedade como armazenamento urbano e industrial, irrigação rural, geradora de energia, atividades de lazer e resguardo da vida aquática [1,2].

Especificamente no Brasil, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) órgão consultivo e deliberativo que dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, por meio da Resolução 357, de 17 de março de 2005, complementada pela Resolução 430/2011, estabeleceu condições de qualidade para o enquadramento dos corpos hídricos em território nacional, de acordo com os seus usos preponderantes, e para o lançamento de efluentes. Essa resolução, como instrumento jurídico, fixou limites superiores ou inferiores para diversas variáveis em sistemas de água doce, salobra e salina [3].

Sabe-se que para manter a qualidade e quantidade de água doce disponível para consumo, busca-se realizar tratamentos alternativos diversos, podendo-se citar uso de coagulante/floculante para remoção de cor, turbidez de água bruta de forma a torná-la potável. Os termos coagulação e floculação são utilizados como sinônimos, uma vez que ambos se complementam para integrar o processo de aglomeração de partículas. Pode-se dizer que coagulação é o processo que reduz as forças que tendem a manter separadas as partículas em suspensão e floculação é a aglomeração dessas partículas formando partículas maiores [4].

2.1 USO DE ÁGUA NO SETOR INDUSTRIAL

Segundo Nunes [5], empresas com captação própria de água é comum haver desperdícios, pois seus gastos se concentram ao valor de bombas, sua manutenção e o custo energético. O uso excessivo de água traz a necessidade de maiores estações de tratamento e produtos químicos.

De acordo com Tomaz [6], águas utilizadas pelas indústrias podem vir de várias formas como águas de empresas de saneamento básico, poços tubulares profundos, armazenamento de águas da chuva, dentre outros. Suas aplicações dentro



da indústria podem ser para uso doméstico, onde a classificação da água deve ser potável e uso industrial, onde não necessita ser potável, mas deve apresentar qualidade necessária para sua aplicação.

Segundo Tundisi [7], a água pode ser entendida como consuntivo e não-consuntivo. Águas consuntivas são aquelas que não retornam para o local de onde foi retirada, podendo ser aplicada ao produto ou se perdendo durante o processo, diminuindo sua disponibilidade espacial. Já as águas não-consuntivas, são aquelas que após sua utilização retornam ao local onde foi extraída, podendo haver alguma modificação no seu padrão.

Sabença [8] afirma que no processo industrial automotivo o uso de água tem valores significativos. Na linha de pintura seu uso é aplicado principalmente na lavagem de peças e lavagem do ar de exaustão da cabine de pulverização dos materiais e superfícies. Água lançada sobre o circuito aquece e em parte evapora e outra parte continua em recirculação no circuito. Para que seja possível obter o processo de recirculação é necessário proceder um tratamento adequado, anticorrosivo e anti-incrustante, evitando incrustação, depósitos e corrosão do sistema.

2.2 GERAÇÃO DE EFLUENTE INDUSTRIAL

O processo de pintura industrial faz uso de tinta para cobrimento das peças e em geral as tintas são constituídas pelos componentes: resinas, pigmentos, solvente e aditivo.

De acordo com Dören et al. [9], o processo de revestimento de superfícies e de manufatura industrial tem favorecido a liberação de compostos orgânicos voláteis (VOC) para atmosfera tornando-a mais poluída. Os VOC são caracterizados como substâncias que contém o elemento carbono na sua estrutura molecular e que evaporam rapidamente.

Outros contaminantes no processo de pintura industrial se dão pela presença de pigmentos orgânicos ou inorgânicos, tais como dióxido de titânio (TiO_2), óxido de zinco (ZnO) e chumbo (PbO), trióxido de antimônio (Sb_2O_3) e cargas como carbonato de cálcio (CaCO_3) e magnésio (MgCO_3), resinas látex, vinílicas e acrílicas e aditivos como estabilizantes, dispersantes e os biocidas que são os maiores



geradores de impacto ambiental por sua ação estar relacionada com a solubilidade em água [10-13].

Para Mierzwa e Hespanhol [14], toda atividade que envolve tratamento de água, possui potencial de gerar efluente. Esses variam nas características físicas, químicas e biológicas. Nos processos industriais, como a conversão de matéria-prima em produto acabado não é de 100%, torna-se geradora de resíduos.

2.3 REÚSO DA ÁGUA E BENEFÍCIO ECONÔMICO

No setor industrial, a utilização eficiente da água, com a componente reutilização, acarreta inúmeras vantagens, uma vez que, além de reduzir os consumos deste recurso e minimizar os impactos ambientais que a atividade implica, melhora a imagem da indústria perante o mercado. Tudo isto contribui assim, de forma direta para a sustentabilidade das atividades [8].

A minimização dos impactos negativos provocados pelos contaminantes das águas residuais industriais é de responsabilidade da entidade poluidora, por isso, compete à empresa tomar medidas preventivas ou de melhoria caso os valores de descarga para o meio receptor excedam os valores estipulados pelos instrumentos legais [15].

Segundo Tamele [16], os efluentes tratados podem ser aplicados em atividades com padrão de qualidade menores, deste ponto de vista, eles passam a ser considerados como novas fontes de recursos hídricos. Trazem benefícios ambiental na redução de efluente descarregado no meio receptor e econômico para indústria, no custo de abastecimento com água doce.

De acordo com Filho e Mancuso [17], o reúso de água é uma tecnologia desenvolvida, dependendo dos fins ao qual será destinada a água e de como ela tenha sido usada anteriormente. Seguindo as classificações de reúso:

- Reúso indireto: ocorre quando a água já usada, uma ou mais vezes para uso doméstico, industrial ou comercial, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente à jusante na forma diluída;
- Reúso direto: é o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, domésticos, industrial ou comercial, recarga de aquíferos e água potável;
- Reciclagem interna: é o reúso da água internamente nas instalações industriais, tendo como objetivo a economia de água e o controle de poluição.



Segundo Nunes [18], a Organização Mundial da Saúde (OMS), não recomenda o reúso direto de água para fins potáveis, por ser uma alternativa de risco elevada a saúde humana, devido à presença de seres patogênicos, metais pesados e compostos orgânicos sintéticos, oriundos de polos industriais.

Para Hespanhol [19], a indústria opera o reúso de três maneiras. A macroexterno, onde é realizado por empresa municipal ou estadual de saneamento que fornece água de esgoto tratado para atividades com menor exigências. A macrointerno, onde o reúso é realizado internamente gerando redução de gastos no abastecimento com água tratada. O reúso interno específico, consiste em fazer a reciclagem do efluente no próprio processo gerador.

Segundo Saútchuk et al. [20], um dos parâmetros de qualidade que deve ser observado para potencial reúso do efluente é a concentração de Sais Dissolvidos Totais (SDT). Isso se justifica em razão da concentração de SDT ser utilizada como um parâmetro restritivo para o uso da água nas diversas aplicações industriais, além da limitação que os processos de tratamento de efluentes, mais comumente utilizados, apresentam para remover este tipo de contaminante.

2.4 USO DE COAGULANTE E FLOCULANTE COMO TECNOLOGIA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

As tecnologias aplicadas ao tratamento de água são diversas, mas cada qual possui um método mais indicado para o efluente gerado.

Segundo Ritcher e Netto [4], a etapa de coagulação e floculação são sinônimos, ambos completam o processo de aglomeração das partículas. Os coagulantes tendem a manter separadas as partículas em suspensão e a floculação é a aglomeração dessas partículas, formando flocos que podem ser removidos por decantação ou flotação.

A coagulação corresponde à desestabilização da dispersão coloidal, obtida por redução das forças de repulsão entre as partículas com cargas negativas, por meio da adição de produto químico apropriado. Os principais mecanismos que atuam na coagulação são: compressão de camada difusa; adsorção e neutralização; varredura; adsorção e formação de pontes [21].



Segundo Grin e Nuven [22], um coagulante natural é a bentonita, é qualquer argila de grãos muito finos, composta principalmente pelo argilomineral montmorilonita (um composto de duas folhas de silicato tetraédrico (SiO_4), com uma folha central octaédrica de alumina ($\text{Al}(\text{OH})_6$)). Sua aplicação se deve a capacidade de realizar troca de cátions.

Conforme Bilgic [23], quando as montmorilonitas são penetradas por água suas folhas se separam, inchando a bentonita em água. Com o aumento do coagulante, aumenta a área de adsorção externa e a parte interna pela separação das folhas.

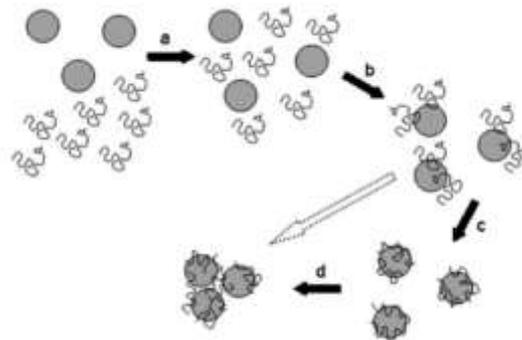
Entre os produtos químicos utilizados no processo de separação estão os polímeros, que podem ser classificados em neutros ou não iônicos, catiônicos e aniônicos. Os floculantes com poliacrilamidas aniônicas introduzem cargas negativas nas soluções aquosas e os poliacrilamidas catiônicas introduzem cargas positivas. Em muitos casos, a ação dos polímeros catiônicos está relacionada à força de adsorção com partículas negativas e a consequente redução da dupla camada de repulsão, resultando na agregação [24,25].

A Fig. 1 demonstra etapas envolvidas na floculação de partículas por adsorção polimérica: (a) mistura, (b) adsorção, (c) rearranjo das cadeias adsorvidas e (d) floculação.

Segundo Aisse et al. [27], uma etapa auxiliar para o processo de coagulação e floculação é o método de aeração. Esse consiste em adição de ar dissolvido no efluente formando microbolhas de ar que aderem as partículas do meio, formando um combinado de bolhas mais partículas de menor densidade que tende a flotar até a superfície.

Os agregados possuem densidade menor que a fase líquida e ascendem a superfície, o que propicia a clarificação do meio, por separação da fase sólida e líquida. Na superfície do efluente, é formada uma camada de espuma composta pelos sedimentos flotados, que posteriormente será removida da solução por meio de um sistema de raspagem [28-30].

Figura 1: - Etapas envolvidas na floculação de partículas por adsorção.



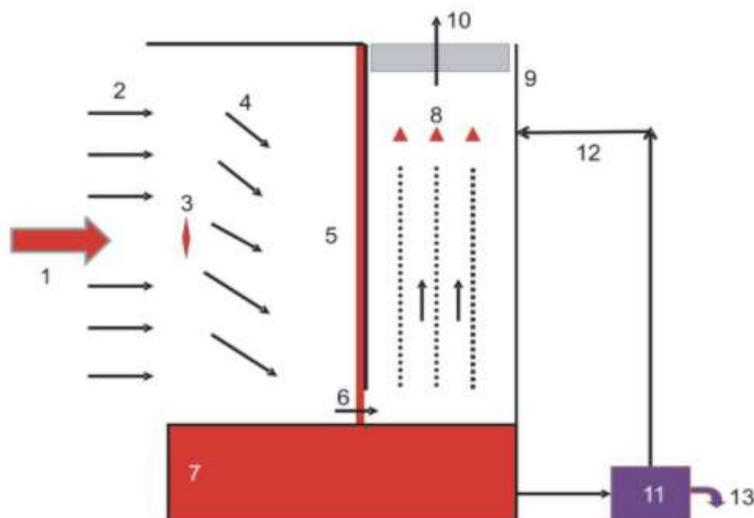
Fonte: [26]

2.5 PROCESSO DE PINTURA SPRAY EM CABINES COM CORTINA DE ÁGUA

Segundo Pacheco [31], pintura de objetos em cabines de pintura com cortinas de água é muito comum no parque industrial. Dependendo do tamanho do objeto que está sendo pintado o *over-spray*, isto é, a fração do volume total de tinta que não adere a superfície da peça pode ser um valor elevado. Este *over-spray* pode influenciar na qualidade da pintura, como também causar poluição atmosférica se escapar para o ambiente externo. A Fig. 2 demonstra o esquema de cabine de pintura com cortina de água.

A Fig. 2 mostra de forma simplificada os componentes básicos de uma cabine de pintura com cortinas de água. Os índices representam: (1) a pistola de pintura, (2) escoamento do ar externo na face de entrada da cabine, (3) objeto sendo pintado, (4) perfil do escoamento do ar e do *over-spray* no interior da cabine, (5) cortina de água, (6) fresta com lâmina de água, (7) reservatório de coleta da água, (8) chuveiros, (9) eliminador de gotas, (10) escoamento do ar pelo ventilador (não mostrado) e deste para atmosfera, (11) extrator de borra sobrenadante ou sedimentada, (12) retorno de água para alimentação de chuveiros e cortina de água, (13) saída da borra [31].

Figura 2: Esquema de cabine de pintura com cortina de água.



Fonte: [31]

Segundo Pacheco [31], o processo de pintura se dá por gotículas de tinta em forma de spray que se fixa a peça. Esse forma-se através de ar comprimido e/ou pressão da bomba de alimentação. A cortina de água das cabines atua como filtro atmosférico para absorção do *over-spray* formado. Esse processo leva a formação do lodo, o qual deve ter sua concentração controlada, afim de evitar incrustações, que podem gerar pontos de corrosão.

2.6 CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE, PARÂMETROS A SEREM AVALIADOS

O termo pH está relacionado com a intensidade de uma condição ácida ou alcalina de uma solução. É a concentração hidrogeniônica que influencia na qualidade dos despejos industriais. O pH é um importante parâmetro no controle dos processos físico – químicos de efluentes industriais [4, 32].

2.6.1 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

Segundo Silva e Mara [33], a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação da matéria orgânica pelas bactérias. Então, é a concentração de matéria orgânica presente na água residuária que pode ser oxidada pelas bactérias, é a parte da matéria biodegradável.



2.6.2 Demanda química de oxigênio (DQO)

Conforme explica Von Sperling [34], a demanda química de oxigênio (DQO) é a quantidade necessária de oxigênio para oxidar quimicamente a matéria orgânica através de um agente oxidante mais forte possível, como dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) em meio a ácido sulfúrico a quente (H_2SO_4). Esse processo se faz necessário principalmente em circunstâncias onde a matéria orgânica despejada apresenta substâncias tóxicas a vida.

2.6.3 Sólidos totais (ST)

Conforme Macêdo [35], os sólidos totais (ST) é toda matéria dissolvida, coloidal ou em suspensão presente em uma amostra de água. Baseia-se no processo de desidratação, onde a matéria volátil água evapora, restando apenas a parte não volátil. Dessa forma é possível quantificar a massa ou percentual de sólidos presentes.

2.6.4 Sólidos dissolvidos (SD)

De acordo com Braile e Cavalcanti [32], afirmam que são todos os sólidos que são obtidos após evaporação de uma amostra previamente filtrada em papel de filtro. No geral a obtenção dessa informação tem dois interesses principais: se o despejo for biodegradável, mas o teor de sólidos dissolvidos fixos for muito elevado, o tratamento biológico, na prática poderá ser impossível, devido a problemas de pressão osmótica; outro se o despejo for de origem orgânica, mas não biodegradável e a matéria orgânica for solúvel, de nada adianta os tratamentos de decantação simples, tendo que se partir, por exemplo, para a precipitação química.

2.6.5 Sólidos suspensos (SS)

São todos os sólidos presentes nas águas residuais, exceto os solúveis e sólidos em fino estado coloidal. Na prática, são aqueles passíveis de serem retidos por uma filtração, em análise de laboratório [32].



2.6.6 Sólidos sedimentáveis (SSed)

Por definição, o teor de Sólidos Sedimentáveis (SSed) de um despejo é o volume de sólidos que se deposita no fundo de um *cone de Inhoff* após um tempo determinado de repouso do líquido [32].

2.6.7 Turbidez

Segundo Di Bernardo et al. [28], a turbidez da água se dá por partículas em suspensão e em estado coloidal, podendo apresentar tamanhos variados e por diversos tipos de materiais incluindo areia fina, argila e microorganismos. Quanto menor a turbidez da água mais eficiente é o tratamento na remoção de partículas sólidas. Sua medição pode ser realizada por meio do equipamento turbidímetro.

3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Uma amostra foi coletada no reservatório de coleta da água, aonde a água vem do processo de filtração do spray de pintura industrial em cabines de pintura tipo cortina de água, em uma metalúrgica situada na cidade de Criciúma.

A coleta da amostra foi feita com duas garrafas de polietileno de 5 litros, sendo lavada três vezes com a água a ser analisada e posteriormente enchida. A amostra foi encaminhada no mesmo dia ao Laboratório de Análises Química e Ambientais (LAQUA) de Criciúma, para as seguintes análises: pH, DBO, DQO, sólidos totais, sólidos dissolvidos, sólidos suspensos, sólidos sedimentáveis e turbidez. Afim de compará-las com os resultados após o tratamento.

As análises no LAQUA foram realizadas baseadas nas metodologias do Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater.

A medição do pH do efluente foi realizada com auxílio de um pHmetro de bancada modelo Digimed DM-20, avaliando o grau de acidez ou alcalinidade da amostra.

A determinação da DBO foi realizada pelo método respirométrico. As amostras são colocadas nas garrafas do oxitop da marca WTW de acordo com os dados do display (o intervalo de medida da DBO com a quantidade de água). Os microorganismos oxigenam e degradam as substâncias orgânicas remanescentes da



amostra no sistema. O dióxido de carbono formado no processo é absorvido, devido à redução de oxigênio na amostra. A mudança é determinada e armazenada pela cabeça da garrafa, após os dados serem transferidos, determina-se o valor da DBO.

Já a determinação da DQO total, foi realizada pelo método fotométrico. As análises foram realizadas em fotômetro nova 60 da marca WTW. É realizada uma oxidação química da matéria orgânica, obtida através de um oxidante forte, o dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) em meio ácido, em elevada temperatura em digestor da marca WTW. Durante a determinação de DQO, a matéria orgânica é convertida a CO_2 e H_2O e seu resultado é lido através de um fotômetro modelo Nova 60 da marca WTW.

O método utilizado para a medição dos sólidos totais foi gravimétrico. Um determinado volume de amostra foi transferido para um erlenmeyer e levado à evaporação em estufa a uma determinada temperatura. O aumento de massa em relação à massa do erlenmeyer vazio corresponde aos sólidos totais.

Os sólidos sedimentáveis foram determinados por Cone de Imhoff. Baseia-se na sedimentação das partículas em suspensão pela ação da gravidade, a partir de um 1 litro de amostra em repouso por uma 1 hora em cone de Imhoff.

Os sólidos suspensos foram determinados pelo processo de filtração a vácuo. Um determinado volume de amostra foi filtrado a vácuo por filtro de fibra de vidro de porosidade 1,2 mm, evaporado e seco em estufa à 110 °C. O aumento de massa em relação à tara do cadinho com o filtro representa os sólidos suspensos.

Os sólidos dissolvidos foram determinados pelo processo de filtração a vácuo. Um determinado volume de amostra é filtrado a vácuo por papel filtro de filtração lenta, evaporado e seco em estufa a determinada temperatura. O aumento de massa em relação à massa do erlenmeyer vazio representa os sólidos dissolvidos.

Já a turbidez foi obtida através de leitura instrumental em turbidímetro da marca Digimed. É a leitura proporcionada pelo espalhamento e absorção da luz que atravessa a amostra. É uma determinação do efeito da refração da luz através dos sólidos.

O método utilizado para remoção dos poluentes foi o de aeração, coagulação e floculação, buscando a quantidade ideal do coagulante bentonita (comercializada com nome de ISOGOL 550) e do floculante poliacrilamida (comercializado com o nome T 400/96), ambos do mesmo fornecedor. Na realização do experimento, foi utilizada a bancada de tratamento de água ou efluentes: processo



físico-químico do Laboratório de Fenômenos de Transferência e Operações Unitárias Experimental I do Curso de Engenharia Química da Faculdade Satc.

Com o auxílio de um jar test compacto, com 3 cubas de 1 litro cada e com o efluente coletado, foi realizado os devidos ensaios de coagulação/floculação em batelada investigando a melhor relação entre o efluente e as soluções coagulante de bentonita e floculante catiônico.

Na primeira cuba, foi avaliado a ação do composto coagulante mais floculante. Foi acrescentado 1000 ml do efluente mais 0,5% do volume de coagulante, ou seja 5,0 ml de coagulante e mais 0,1% do volume de floculante, ou seja, 1,0 ml de floculante. Ambos sob agitação. Na segunda cuba, foi avaliado a ação apenas do floculante. Foi acrescentado 1000 ml do efluente mais 1% do volume de floculante, ou seja, 10 ml de floculante, sob agitação. Na terceira cuba, foi avaliado a ação apenas do coagulante. Foi acrescentado 1000 ml do efluente mais 1% do volume de coagulante, ou seja, 10 ml de coagulante sob agitação.

Foi realizada agitação intensa no início para melhor dispersão dos reagentes, por um tempo aproximado de 5 minutos e em seguida a intensidade de agitação foi reduzida deixando-a mais lenta. Posteriormente esperou-se a estabilização, em um tempo de aproximadamente 20 minutos. Como não houve interação dos elementos no tempo mencionado, foi realizado o procedimento novamente por um tempo maior. Na necessidade de adicionar mais produto, será feito sob agitação baixa com volume de 0,1% do volume inicial das cubas.

Durante a adição do coagulante e floculante, foi realizado medidas do pH do efluente, com auxílio de um pHmetro de bancada modelo Digimed DM-20, e também observadas as mudanças dos seguintes parâmetros: cor, turbidez e sólidos sedimentáveis.

Obtendo os valores de ótima tratabilidade, foi levado para empresa os percentuais para cada litro de água e testado in loco. Foi aplicado em duas cabines conectadas, com capacidade de 2300 litros cada e avaliado a eficiência na linha de produção da empresa. Através dos testes no processo produtivo foi analisado os gastos envolvidos no tratamento com uso do coagulante e floculante. Com o preço do litro pago por cada material poderá ser definido se o tratamento está sendo vantajoso ou se devesse avaliar outros possíveis fornecedores e/ou produtos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os dados obtidos no equipamento em questão, estes estarão em forma de tabelas e figuras.

Foi coletado quantidade suficiente do efluente bruto da empresa para que a mesma amostra encaminhada ao LAQUA fosse utilizada nos testes em bancada com o uso de Jar test, Fig. 3, a fim de realizar as análises físico-químicas do efluente e a dosagem ideal do coagulante e floculante.

Figura 3: Bancada Jar Test com três cubas de 1000 ml.



Fonte: Do autor (2018)

A ação do coagulante e floculante dosados na primeira, segunda e terceira cuba, conforme Tab. 1, foram avaliadas de forma visual. Levou-se em consideração a melhor flotação como forma de decisão.

Tabela 1: Uso de coagulante e/ou floculante para melhor tratabilidade.

Primeira Cuba	Segunda Cuba	Terceira Cuba
Efluente: 1000 ml	Efluente: 1000 ml	Efluente: 1000 ml
Coagulante: 15 ml	Floculante: 50 ml	Coagulante: 50 ml
Floculante: 4 ml		

Fonte: Do autor (2018)

Em todos os casos aplicou-se agitação intensa por 20 minutos para boa dispersão do agente dosado e posteriormente foram deixados sob agitação lenta por 60 minutos, para interação entre o coagulante, floculante e efluente. Obteve-se na primeira cuba o melhor resultado de tratabilidade com uso de 1,5% de coagulante e 0,4% de floculante, pois foi o teste com melhor flotação, conforme Fig. 4.

Figura 4: Resultado visual após aplicação dos agentes de tratabilidade e agitação.



Fonte: Do autor (2018)

Após definição das quantidades ideais testadas em ensaio no *Jar Test*, aplicou-se os percentuais do coagulante e floculante no efluente no processo produtivo da empresa, a fim de avaliar a eficiência in loco.

Obtendo-se novo efluente agora tratado, realizou-se nova coleta da amostra com uma garrafa de polietileno de 5 litros sendo encaminhada novamente ao laboratório LAQUA, com o intuito de comparar os resultados das análises físico-químicas da amostra do efluente bruto com os resultados obtidos da amostra do efluente tratado e avaliar se o tratamento foi eficiente para o reúso da água.

Os ensaios realizados seguem apresentados na Tab. 2. Na primeira coluna estão os parâmetros analisados na amostra, na segunda coluna estão colocados os métodos utilizados, na terceira coluna estão os valores obtidos na amostra bruta e na quarta os valores obtidos na amostra tratada.

Com os resultados obtidos pelo laboratório é possível observar variações significativas no aspecto dos efluentes quando comparado a amostra bruta em relação a amostra tratada. No parâmetro (DBO), obteve-se uma redução de extrema significância com valor de 99,34% de redução, já no (DQO) observa-se um aumento de 76,77% na amostra tratada, acredita-se que este valor esteja ligado a adição do coagulante e floculante aumentando a carga química, com a retenção do solvente por adsorção ao coagulante e/ou com a evaporação parcial do solvente no processo pelo



movimento do sistema das cabines, não sendo capturado na amostra bruta. O valor de pH manteve-se na condição básica com um aumento de 19,1%. Nos sólidos (SD) obteve-se uma melhora de 16,70% quando comparado a amostra bruta versus amostra tratada, nos (Ssed) foi observado que na amostra tratada não foi detectado valor algum, o que nos indica melhora de 100%, para (SS) a melhora foi de extrema significância com redução de 99,89%, nos (ST), a mudança foi positiva com redução de 94,48% e no aspecto da turbidez obteve-se redução do valor em 99,58%. As variações dos valores podem ser melhor observadas na Fig. 5, o qual segue seus resultados na mesma ordem da Tab. 2.

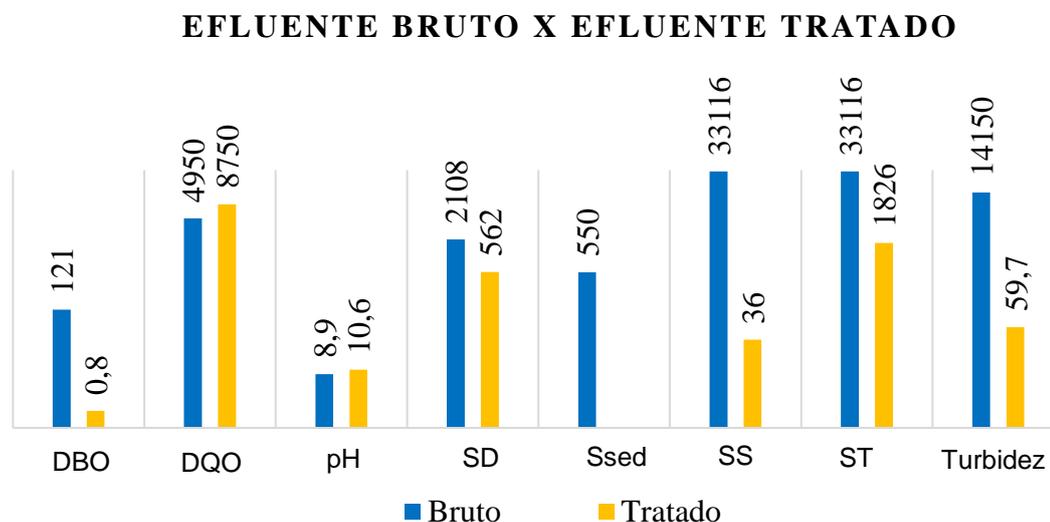
Tabela 2: Análises físico-químicos do efluente bruto e tratado.

Análise	Método	Resultado amostra bruta	Resultado amostra tratada
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) (mg.L ⁻¹)	Respirométrico	121,0	0,8
Demanda Química de Oxigênio (DQO) (mg.L ⁻¹)	Fotométrico	4950,0	8750,0
pH (25,8°C)	Potenciométrico	8,9	10,6
Sólidos Dissolvidos Totais (SD) (mg.L ⁻¹)	Gravimétrico	2108,0	1756,0
Sólidos Sedimentáveis (Ssed) (mg.L ⁻¹)	Cone de Imhoff	550,0	N.D.
Sólidos Suspensos Totais (SS) (mg.L ⁻¹)	Gravimétrico	33116,0	36,0
Sólidos Totais (ST) (mg.L ⁻¹)	Gravimétrico	33116,0	1826,0
Turbidez (NTU)	Nefelométrico	14150,0	59,7

Fonte: Do autor (2018)

*(N.D.) não detectado.

Figura 5: Comparativo dos resultados da amostra bruta versus amostra tratada em gráfico tipo coluna.



Conforme dados fornecidos pela empresa, o uso de tinta diária em uma cabine de pintura é de aproximadamente 36 litros com *over-spray* de 50%, então, é depositado no efluente 18 litros de lodo de tinta por cabine em um dia, o que totaliza 0,78% de volume do reservatório de coleta da água. A empresa conta com 6 cabines, ou seja, 108 litros de lodo formado por dia.

Foi aplicado os valores de ótima tratabilidade encontrados no laboratório nas cabines de pintura da empresa. Com valores de coagulante em 1,5% e floculante em 0,4% do volume do efluente, foi aplicado respectivamente em uma semana (5 dias) 34,5 litros e 9,2 litros. Isso devido a coleta da amostra bruta ser referente a 5 dias de processo sem nenhuma forma de tratamento. Dessa forma dividindo as quantidades referente a semana por 5, foi aplicado em cada cabine respectivamente 6,9 litros e 1,84 litros por dia, totalizando 151,8 litros de coagulante e 40,48 litros de floculante em 22 dias. Tendo uma melhora visual como na Fig. 6.

Baseado nos valores de ótima tratabilidade e bom resultado observado nos testes in loco, é possível definir os valores gastos pela empresa no tratamento das águas utilizadas em suas cabines de pintura. Os valores por litro dos agentes de tratamento foram disponibilizados pela empresa e estão apresentados na Tab.3.

Figura 6: Análise visual do efluente sem tratamento versus efluente tratado.



Fonte: Do autor (2018)

Tabela 3: Valores gastos para tratamento do efluente.

Agente	Valor unitário (R\$/L)	Valor por litro tratado (R\$/L)	Valor dia por cabine (R\$)	Valor dia para linha de pintura (R\$)	Valor mês para linha de pintura (R\$)
Coagulante ISOGOL 550	12,80	0,03867	88,94	533,65	11740,21
Floculante T 400/96	12,90	0,01024	23,55	141,31	3108,86
TOTAL					14849,08

Fonte: Do autor (2018)

Através dos cálculos dos gastos chegou-se ao total de R\$ 14849,08 por mês. Caso não fosse realizado o tratamento e não houvesse ocorrido a remoção dos contaminantes, haveria 127,78 dias (aproximadamente 4 meses) de trabalho para encher o *volume do* reservatório de coleta da água com lodo em todas as cabines, tendo a necessidade de parar a linha para remoção manual e reposição da água. Com os dados obtidos somados aos valores de custos disponibilizados pela empresa envolvidos na última limpeza da linha de pintura, é mensurável os gastos da tabela Tab. 4.



Tabela 4 Gastos para remoção da água contaminada e resíduo classe I.

Valor para reposição de 14 m ³ de água (R\$/14 m ³)	Valor por quilograma resíduo classe I (R\$/Kg)	Valor para descarte do lodo em 22 dias (R\$)	Valor para descarte da água contaminada em 22 dias (R\$)	Custo fixo da linha de pintura para 1 dia de trabalho com 9 funcionários (R\$)	TOTAL
144,662	0,8057	1914,34	9204,32	3645,00	14763,66

Fonte: Do autor (2018)

Através dos cálculos da Tab. 4, verifica-se que é mais custoso para a empresa realizar a o tratamento dessa água ao invés de trocá-la. Os valores obtidos para realização do tratamento ou troca das águas da cabine são muito próximos o que torna economicamente viável a possibilidade de realizar qualquer uma das etapas. O que não foi possível mensurar é o quanto a empresa gastaria sem um dia de produção, o aumento de manutenção nos equipamentos devido à incrustação elevada e como ficaria a condição do ar atmosférico para os pintores do setor. Sendo assim, o uso do método de tratamento do efluente vem a ser mais indicado, considerando que a diferença entre eles será de R\$ 85,42.

5 CONCLUSÕES

Através do presente estudo foi possível concluir que a água utilizada como filtro para spray de tinta em processo industrial possui eficiência na condição de absorção de poluentes e que apresenta boa tratabilidade. Com intuito de minimizar o uso de águas no processo foi possível através de pesquisa e testes práticos definir a melhor condição de tratamento para a empresa.

Como o efluente em estudo tem grande volume de contaminantes, foi realizado o processo de dispersão, aeração e flotação com auxílio da bancada de tratamento de água ou efluentes, onde foi possível comparar a ação do coagulante bem como do floculante e assim definir quais as quantidades ideais para melhor condição de tratamento.

Após aplicação dos volumes ideais do coagulante e floculante no efluente em processo, foi possível observar grande melhora na qualidade da água visualmente e quantitativamente com os ensaios realizados pelo laboratório. Com o tratamento



contínuo será possível manter a mesma água em reúso com sistema de recirculação por grande tempo sem a necessidade de gasto para sua remoção e ainda terá redução na incrustação dos equipamentos e melhor absorção dos poluentes presentes na atmosfera do setor.

A aplicação do tratamento apresentou-se como boa alternativa para reúso das águas, porém seu custo quando comparado a troca dessas águas foi inviável economicamente, ainda assim por uma questão de gastos com paradas da linha produtiva, manutenção, mão de obra e responsabilidade ambiental a empresa faz uso do sistema de tratamento junto ao reúso hídrico.

É de grande valia para a empresa realizar melhora no sistema de aeração com tubulação de ar comprimido para auxiliar a ação dos agentes de tratamento, melhorar a retirada do lodo e promover a extração da água presente nesse, sendo devolvida ao processo. Podendo ser realizada por recipiente em sequência onde o primeiro possui furos com filtro de papel deixando passar para o segundo apenas água ou fazendo uso de um filtro prensa.

REFERÊNCIAS

- [1] CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). **Técnica sobre tecnologia de controle** – Indústria de pigmentos – NT-32. São Paulo, 1995, 29 p.
- [2] LORA, E. E. S. **Prevenção e controle da poluição nos setores energético, industrial e de transporte**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2002.
- [3] BRASIL. RESOLUÇÃO CONAMA n.º 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 16 mai. 2011.
- [4] RICHTER, C. A.; NETTO, J. M. A. de. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Edgard Blücher, 1991. 332 p.
- [5] NUNES, J. A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. 4. ed Aracaju, SE: Gráfica Editora J. Andrade, 2004. 298 p.



[6] TOMAZ, P. **Economia de água para empresas e residências: um estudo atualizado sobre Medidas convencionais e não convencionais do uso racional da água.** São Paulo: Navegar, 2001. 112 p.

[7] TUNDISI, J. G. **Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez.** São Carlos: Rima, 2003. 248 p.

[8] SABENÇA, S. P. M. **Gestão da água na indústria - Reutilização de água para a rega na PSA Peugeot Citroën Mangualde.** Relatório de Estágio (Mestrado em Tecnologias Ambientais). Escola Superior De Tecnologia e Gestão De Viseu, Portugal, 198 f., 2013. Disponível em: <http://repositorio.ipv.pt/bitstream/10400.19/2015/1/Relat%C3%B3rio%20de%20Est%C3%A1gio_Sandra%20Saben%C3%A7a.pdf>. Acesso em: 12 mai. 2017.

[9] DÖREN, K.; FREITAG, W.; STOYE, D. **Water-Borne Coatings: The environmentally – Friendly Alternative:** Hanser Publishers, Munich, 1994, 204 p.

[10] VAN ALPHEN, M. **Saint film componets.** National Evironmental Health Forum Monographs, General Series n. 2, 1998.

[11] SPENGE MAN, W. F. **Pigments** In: Paint testing manual: Physical and chemical examination of paints, varnishes, lacquers, and colors, thirte enth edition of the Gardner-Sward Handbook. ASTM Manual Series: STP 500 chapter 2.8, 1972. p. 150-164

[12] ANGHINETTI, I. C. B. **Tintas, Suas Propriedades E Aplicações Imobiliárias,** Monografia (Monografia ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 65 f., 2012. Disponível em: < <http://pos.demc.ufmg.br/novocecc/trabalhos/pg2/90.pdf>>. Acessado em 13 mai. 2017.

[13] SHREVE, R. N; JUNIOR, J. A. B. **Indústria de Processos Químicos.** 4^a ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1980. 717 p.

[14] MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na Indústria: uso racional e reúso.** São Paulo: Oficina de Texto, 2005. 143 p.

[15] BRITO, A. **Caracterização Qualitativa e Quantitativa dos Efluentes Industriais Existentes no Sistema de Drenagem das Estações de Tratamento de Águas Residuais de Campo e Ermesinde.** Relatório de projeto (mestrado integrado em engenharia do ambiente). Faculdade de Engenharia da Universidade



do Porto, Porto, Portugal, 162 f., 2010. Disponível em:

<<http://repositorioaberto.up.pt/bitstream/10216/59470/1/000145023.pdf>>. Acesso em 13 mai. 2017.

[16] TAMELE, C. **Dimensionamento de um Sistema de Rega por Gotejamento para uma Área de 50 ha no Distrito de Chókwè**. TCC (Projeto final de curso, Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal). Universidade Eduardo Mondlane, Maputo, Moçambique, 123 f., 2007. Disponível em:

<[http://www.waternetonline.ihe.nl/challengeprogram/B10%20Tamele%20Drip%20Irrigation%20\(final%20full%20report_portuguese\).pdf](http://www.waternetonline.ihe.nl/challengeprogram/B10%20Tamele%20Drip%20Irrigation%20(final%20full%20report_portuguese).pdf)>. Acesso em 13 mai. 2017.

[17] FILHO, D. B.; MANCUSO, P. C. S. **Conceito de reúso de água**. In: Reúso de água; Capítulo 2. Eds. P. C. Sanches Mancuso & H. Felício dos Santos.

Universidade de São Paulo – Faculdade de Saúde Pública, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. São Paulo, 2002.

[18] NUNES, R. T. S. **Conservação da Água em Edifícios Comerciais: Potencial de uso racional e reúso em shopping center**. Dissertação (COPPE/UFRJ, M. Sc., Programa de Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio De Janeiro, Rio de Janeiro, 144 f., 2006. Disponível em:

<<http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/rtsnunes.pdf>>. Acesso em 13 mai. 2017.

[19] HESPANHOL, I. **Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos**. In MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. Reúso de Água. Barueri/SP: Manole, 2003. p. 37 - 95.

[20] SAÚTCHUK, C. A.; LANDI, F. D. N.; MIERZWA, J. C.; VIVACQUA, M. C. R.; SILVA, M. C. C.; LANDI, P. D. N.; SCHMIDT, L. W. **Conservação e Reuso da Água**. Manual de Orientação para o Setor Industrial v. 1. São Paulo: Fiesp/Ciesp Centro Internacional de Referência em Reuso da Água/FCTH. 91 p. 2007.

[21] PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**.

Dissertação (mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 233 f., 2001. Disponível em: <<file:///C:/Users/bib/Downloads/Pavanelli+G.pdf>>. Acesso em: 13 mai. 2017.

[22] GRIN, R. E.; NUVEN, N. **Bentonites Geology, Mineralogy, Properties and Uses**. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 1978.

[23] BILGIÇ, C., “Investigation of the factors affecting organic cation adsorption on some silicate minerals”. J. Colloid Interface Sci. v. 281, p. 33-38, 2005.



[24] ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Org.). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG; Curitiba: SANEPAR, v. 6, p. 484, 2001.

[25] MORETTI, R. C. **Aplicação da flotação para clarificação final do efluente de um sistema de tratamento de esgoto sanitário constituídos de reatores anaeróbios (UASB) seguidos de lagoa aerada**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21., 2001, Paraíba, SE, ABES: Anais eletrônicos. Paraíba, 2001. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/brasil/ii-136.pdf>>. Acesso em: 13 mai. 2017.

[26] BOLTO, B.; GREGORY, J. **Organic polyelectrolytes in water treatment**. Water Research, v. 41, p. 2301-2324, 2007.

[27] AISSE, M. M. **Pós-tratamento de efluente de reatores anaeróbios por sistemas de flotação**. In: CHERNICHARO, C. A. L. (Coord.). Pós-tratamento de efluente de reatores anaeróbios. Belo Horizonte: Projeto PROSAB, v. 2, 2001. p. 333-376.

[28] DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P. L. **Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos, SP: Rima, 2002. 237 p.

[29] MASSI, L.; SOUZA, S. R.; LALUCE, C.; JUNIOR M. J. **Fundamentos e Aplicação da Flotação como Técnica de Separação de Misturas**. In: Revista Química Nova na Escola, 28., 2008. p. 20-23.

[30] PALMEIRA, V. A. A.; SILVA, S. R.; SOLETTI, J. I.; CARVALHO, S. H. V. **Tratamento de efluentes da indústria do coco utilizando os processos de coagulação e flotação por ar induzido**. In: VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, Uberlândia, Minas Gerais. 2009.

[31] PACHECO, C. R. F. **“Over-Spray” em cabines de pintura com cortinas de água**; GR Engenharia meio ambiente, 2015. Disponível em <<http://www.grenghariaambiental.com.br/over-spray-em-cabines-de-pintura-com-cortinas-de-agua/>>. Acesso em 19 de maio de 2017.



[32] BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industrial**. São Paulo: CETESB, 1979. 764 p.

[33] SILVA, S. A; MARA, D. D. **Tratamentos biológicos de águas residuárias: lagoas de estabilização**. Rio de Janeiro: ABES, 1979.

[34] VON SPERLING, M. **Lodos ativados**. v. 14. Belo Horizonte: Instituto de Filosofia e Teologia de Goiás, 1996. 415 p.

[35] MACÊDO, J. A. B. **Águas & Águas**. São Paulo: Varela, 2001. 505 p.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha orientadora Tatiani Malgarise Brolesi que estava presente em toda as etapas desta pesquisa, a empresa Librelato S/A bem como os colaboradores que auxiliaram nesse estudo e a Faculdade SATC.