



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO EM ENGENHARIA  
QUÍMICA



# Tratamento Físico-Químico do Efluente de uma Indústria Automotiva

*Autor: Lucas Fernandes Pontes*

*Orientador: Caroline Borges Agustini*

Porto Alegre, outubro de 2022

Autor: Lucas Fernandes Pontes

# Tratamento Físico-Químico do Efluente de uma Indústria Automotiva

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
COMGRAD/ENQ da Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul como parte dos requisitos para a  
obtenção do título de Bacharel em Engenharia  
Química*

Orientador: Caroline Borges Agustini

Banca Examinadora:

Profa. Lilians Amaral Féris, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Ma. Suyanne Lunelli, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Porto Alegre

2022

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, em especial aos meus pais Jairo e Marileide e a minha irmã Karen, por estarem sempre presentes nos momentos em que mais precisei de suporte e por me motivarem a seguir em frente e correr atrás dos meus sonhos, mesmo que isso significasse estar fisicamente longe. Vocês foram os meus maiores apoiadores nessa conquista, são e sempre serão o meu porto seguro e minha fonte de orgulho.

As Famílias Carcuchinski e Simão por terem me acolhido com todo o amor e carinho e me dado todo o suporte que precisei nesses anos.

A todos os amigos que fiz nesses anos de UFRGS. Vocês estavam presentes nos momentos de comemoração e de tristeza, me forneceram um ombro amigo quando precisei e vibraram comigo nas minhas conquistas, foram peças fundamentais nessa conquista e eu não teria chegado aqui sem vocês.

À professora Caroline, pela gentileza, incentivo e a impecável orientação durante a realização desse trabalho. Agradeço também à professora Mariliz e a todo pessoal do LACOURO, pela oportunidade de vivenciar a pesquisa acadêmica e por todo o aprendizado que obtive durante o período de bolsista, retornando agora ao laboratório para a realização do TCC.

Ao Diretório Acadêmico dos Estudantes de Engenharia Química da UFRGS (DAENQ) e a Mandala Soluções em Engenharia Ambiental pela oportunidade de vivenciar experiências muito além da sala de aula, me desenvolvendo e colocando no meu caminho pessoas que hoje são grandes amigos.

Ao departamento de Engenharia Química e a UFRGS, pela oportunidade de realizar minha graduação.

Enfim, a todos vocês que de alguma forma participaram dessa minha trajetória, fica o meu muito obrigado!

## RESUMO

A indústria automotiva é um setor de grande importância na economia nacional e global, sendo responsável pelo emprego de mais de 1 milhão de pessoas no país que estão envolvidas direta ou indiretamente na produção de milhões de unidades por ano. Entre os principais processos envolvidos, a pintura é uma etapa fundamental e exigida na fabricação de veículos. Ela é um processo complexo, que ocorre em vários estágios e gera efluentes que necessitam de tratamento para a remoção da tinta ali presente. A coagulação e a floculação são tratamentos convencionais que permitem a remoção de colóides e materiais suspensos que permanecem dispersos em solução e não são removidos por processos físicos convencionais. Nesses processos, geralmente, sais metálicos inorgânicos catiônicos são utilizados como coagulantes e longas cadeias não iônicas ou polímeros aniônicos são utilizados como floculante. Um sistema de tratamento eficiente desse efluente permite a remoção da tinta em forma de borra e o reuso da água no processo, o que reduz a frequência de descarte desse efluente para a estação de tratamento da planta, diminui o risco de entupimento, diminui os gastos com manutenção de equipamentos, evita a remoção manual da tinta depositada entre outros problemas decorrentes da baixa eficiência desse tratamento, sendo consideravelmente um benefício ambiental e econômico para a indústria automotiva. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a efetividade de uma alteração no tempo entre a aplicação do coagulante e floculante e no tipo de floculante utilizado na eficiência de um processo existente de tratamento desse efluente. Para isso, foi testada (i) uma condição simulando como é feito atualmente, (ii) uma condição alterando o tempo de aplicação do floculante para a metade do tempo total do processo, (iii) uma condição alterando o floculante para um polímero orgânico catiônico e (iv) uma condição com as alterações simultâneas. Foram feitas análises de turbidez, teor de sólidos e volume de lodo gerado para se verificar a eficiência das alterações propostas. A alteração no tempo de aplicação do floculante resultou em uma redução de 34% no teor de sólidos, 72% na turbidez e um aumento de 169% no volume de lodo gerado. A alteração no tipo de floculante não se mostrou viável nas condições analisadas. Entretanto, uma alteração no ponto de aplicação do floculante no sistema analisado, que aplicaria a diferença de tempo testada, aumentaria a eficiência do tratamento.

**Palavras-chave:** *tratamento, coagulação, floculação, indústria automotiva.*

## ABSTRACT

The automotive industry is a sector of big importance in the national and global economy, being responsible for the employment of over 1 million people in the country who are directly and indirectly involved in producing millions of units per year. Among the main processes involved, painting is a fundamental and required step in vehicle manufacturing. It is a complex process, which occurs in several stages and generates effluents that need treatment to remove the paint present there. Coagulation and flocculation are conventional treatments that allow the removal of colloids and suspended materials that remain dispersed in solution and are not removed by conventional physical processes. In these processes, generally, cationic inorganic metal salts are used as coagulants and long-chain non-ionic or anionic polymers are used as flocculants. An efficient treatment system for this effluent allows the removal of the paint in the form of sludge and the reuse of water in the process, which reduces the frequency of disposal of this effluent to the plant's treatment station, reduces the risk of clogging, reduces costs with equipment maintenance, it avoids the manual removal of the deposited paint, among other problems, resulted from the low efficiency of this treatment, being a considerable environmental and economic benefit for the automotive industry. Therefore, the objective of this work was to evaluate the effectiveness of a change in the time between the application of coagulant and flocculant and in the type of flocculant used in the efficiency of an existing process of treatment of this effluent. For this, we tested (i) a condition simulating how it is currently done, (ii) a condition changing the flocculant application time to half of the total process time, (iii) a condition changing the flocculant to a cationic organic polymer and (iv) a condition with the changes ii and iii. Turbidity, solids content, and volume of sludge generated were analyzed to verify the efficiency of the proposed changes. The change in flocculant application time resulted in a 34% reduction in solids content, 72% in turbidity, and a 169% increase in the volume of sludge generated. Changing the type of flocculant was not feasible under the conditions analyzed. Therefore, a change in the point of application of the flocculant in the analyzed system, which would apply the time difference tested, would increase the efficiency of the treatment.

**Keywords:** *treatment, coagulation, flocculation, automotive industry.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produção mundial de veículos desde os anos 2000.....	3
Figura 2 - Produção de automóveis no brasil entre 2012 e 2021 .....	4
Figura 3 - Fluxograma do processo de pintura .....	5
Figura 4 - Ilustração de uma cabine de pintura.....	7
Figura 5 - Etapas do processo de tratamento do efluente.....	9
Figura 6 - Processo de coagulação.....	10
Figura 7 - Comparativo entre (A) a condição 1 ao final do teste (após 12,6 min) e (B) após sedimentação (após 1h) .....	16
Figura 8 – Comparativo entre (A) a condição 2 ao final do teste (após 12,6 min) e (B) após sedimentação (após 1h) .....	17
Figura 9 – Comparativo entre (A) a condição 3 ao final do teste (após 12,6 min) e (B) após sedimentação (após 1h) .....	18
Figura 10 – Comparativo entre (A) a condição 4 ao final do teste (após 12,6 min) e (B) após sedimentação (após 1h) .....	19

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados para simulação do efluente.....	12
Tabela 2 – Quantidades de produtos químicos adicionados no efluente simulado. ....	13
Tabela 3 – Condições experimentais .....	14
Tabela 4 – Volume de lodo gerado em cada amostra .....	20
Tabela 5 – Teor de sólidos das amostras .....	21
Tabela 6 – Dados de turbidez das amostras .....	22
Tabela 7 – Compilado dos resultados obtidos em comparação com a condição inicial. ....	23

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores

CPS – Cabine de Pintura Seca

CPU – Cabine de Pintura Úmida

NTU - Unidade Nefelométrica de Turbidez

pH – Potencial Hidrogeniônico

## SUMÁRIO

1	Introdução	1
2	Revisão Bibliográfica	3
2.1	Indústria Automotiva	3
2.1.1	Processos da Indústria Automotiva	4
2.1.2	Pintura	5
2.1.2.1	Tintas	6
2.1.2.2	Cabines de Pintura	6
2.2	Tratamento de Efluentes Automotivos	8
2.2.1	Tratamento Físico-Químico	9
3	Materiais e Métodos	12
3.1	Efluente simulado	12
3.2	Reagentes Utilizados	13
3.3	Cálculo do Tempo Total do Processo	13
3.4	Ensaio de Coagulação e Floculação	14
3.5	Determinação do Teor de Sólidos	14
3.6	Cálculo do Volume de Lodo	15
3.7	Análise da Turbidez	15
3.8	Estudo de caso de uma indústria automotiva	15
4	Resultados	16
4.1	Ensaio de Coagulação e Floculação	16
4.2	Volume de Lodo	19
4.3	Teor de Sólidos	20
4.4	Análise da Turbidez	21
4.5	Discussão dos Resultados	22
5	Conclusões e Trabalhos Futuros	25
	REFERÊNCIAS	26

## 1 Introdução

A demanda por veículos e a produção de carros no mundo têm aumentado a uma taxa constante. No Brasil, apesar de ser altamente dependente da economia, a indústria automotiva cresceu significativamente nos últimos anos. Um dos possíveis motivos que levou a isso é o fato do automóvel não ser mais um item de luxo e, sim, um meio de transporte de grande importância para a sociedade, além dos incentivos disponibilizados no país, como o crédito acessível (NOVAES, 2016).

Para suprir a competitividade resultante do aumento no poder aquisitivo da população, os fabricantes nacionais aumentaram a diversidade dos seus produtos, possuindo, atualmente, opções de veículos em todas as categorias. Isso levou a um aumento nos parâmetros de qualidade em todas as categorias industriais envolvidas. Os setores de acabamentos como estofados, comandos eletrônicos, assim como a pintura das peças automotivas sofreram um considerável avanço (NOVAES, 2016).

Apesar da principal preocupação dos clientes ser o impacto ambiental e a segurança do uso de automóveis, o processo de produção desses veículos possui um impacto significativo, pois resulta na geração de vários tipos de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, sejam eles perigosos ou não (SALIHOGU; SALIHOGU, 2016).

Efluentes da pintura da indústria automotiva, assim como da indústria têxtil, têm despertado grande interesse na comunidade científica, pois essas indústrias são grandes consumidoras de água e produtos químicos em seus processos. Além disso, esses efluentes possuem alta coloração, turbidez e presença de substâncias químicas tóxicas, logo, o seu descarte direto em corpos d'água pode causar instabilidade ecológica e a morte de diversos seres vivos (SILVA; et al., 2016).

De acordo com a resolução CONAMA 430/2011, artigo 3º, os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento. O processo de coagulação e floculação é uma técnica de tratamento que permite a remoção de coloides e materiais suspensos que permanecem dispersos em solução e não são removidos por processos físicos convencionais. Os floculantes utilizados, geralmente poliméricos, são aplicados para facilitar o processo de separação e possuem uma ampla variedade, podendo ser sintéticos ou naturais (LEE; ROBINSON; CHONG, 2014).

Já os coagulantes são geralmente a base de alumínio e íons metálicos, sendo o sulfato de alumínio o coagulante químico mais comumente utilizado no Brasil. Apesar de resultar em uma remoção satisfatória de sólidos suspensos, esse tratamento não atende os critérios para descartar o efluente de pintura, sendo necessário encaminhar para a estação de tratamento (SILVA; et al., 2016).

Esse processo é caracterizado pela rápida mistura do coagulante com o efluente e seguido pela formação dos flocos do material coagulado, que ocorre de maneira mais lenta, sendo o tempo e a intensidade de mistura os pontos de diferenciação entre elas (RICHTER, 2009 *apud* RODRIGUES, 2016).

Os ensaios de coagulação permitem obter informações fundamentais para o tratamento do efluente, como o tipo e as dosagens de reagentes, tempo de detenção, volumes e características dos lodos. Além disso, pode-se avaliar a performance do processo quanto à remoção de poluentes (CAVALCANTI, 2009 *apud* RODRIGUES, 2016).

Com uma remoção maior da tinta presente na água da cabine de pintura, o descarte do efluente para a estação de tratamento de efluente industrial poderá ocorrer com uma frequência anual, sendo consideravelmente um benefício ambiental e econômico para a indústria automotiva (NOVAES, 2016).

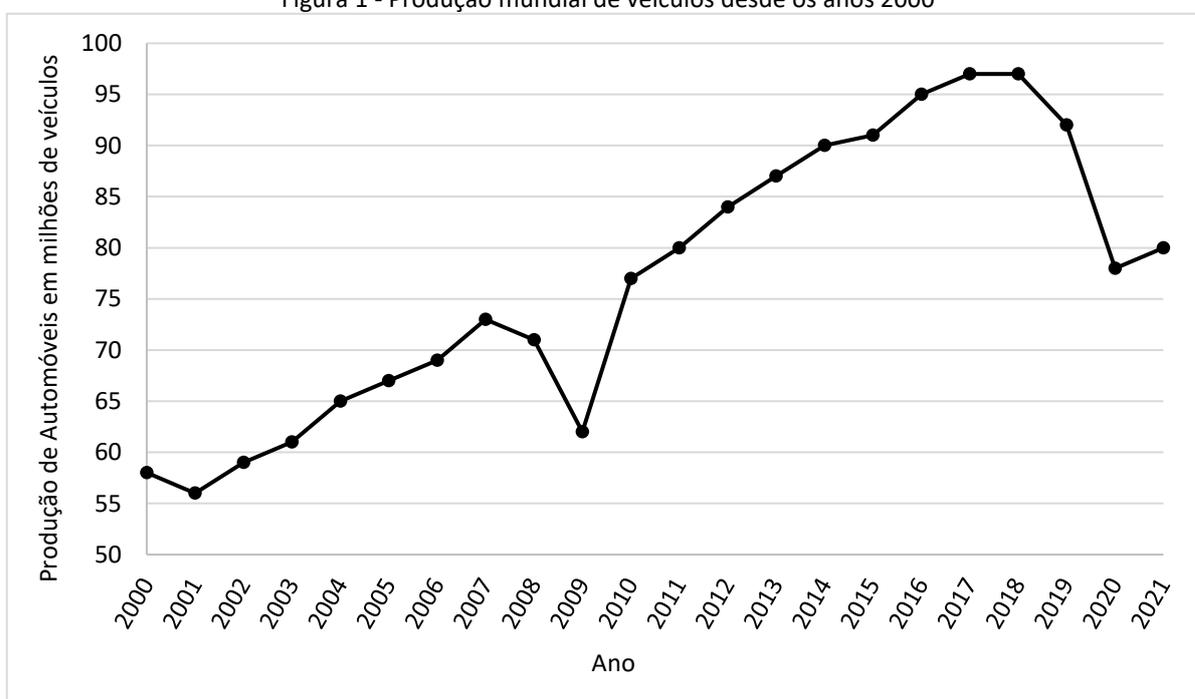
Analisando as características do processo na empresa estudada, dois pontos chamaram a atenção: a aplicação simultânea dos produtos coagulante e floculante e a utilização de um floculante não polimérico, diferente do que geralmente ocorre. Com isso, o objetivo desse trabalho foi avaliar a efetividade de uma alteração no tempo entre a aplicação do coagulante e floculante, que simularia a diferença física entre os pontos de aplicação, e no tipo de floculante utilizado com relação à eficiência do processo de tratamento físico-químico do efluente de pintura da indústria automotiva.

## 2 Revisão Bibliográfica

### 2.1 Indústria Automotiva

A indústria automotiva é um dos setores de grande importância na economia global, responsável por todo o projeto, desenvolvimento, fabricação, publicidade e venda de automóveis. No ano de 2019 ela produziu 92,2 milhões de veículos e em 2020 esse número foi de 77,7 milhões, uma redução de 16% ocasionada pela pandemia, porém em 2021 ela alcançou 80,1 milhões de veículos produzidos, o que representa um aumento de 3,1% comparado ao ano anterior (ANFAVEA, 2022). A Figura 1 mostra a produção mundial de automóveis desde os anos 2000.

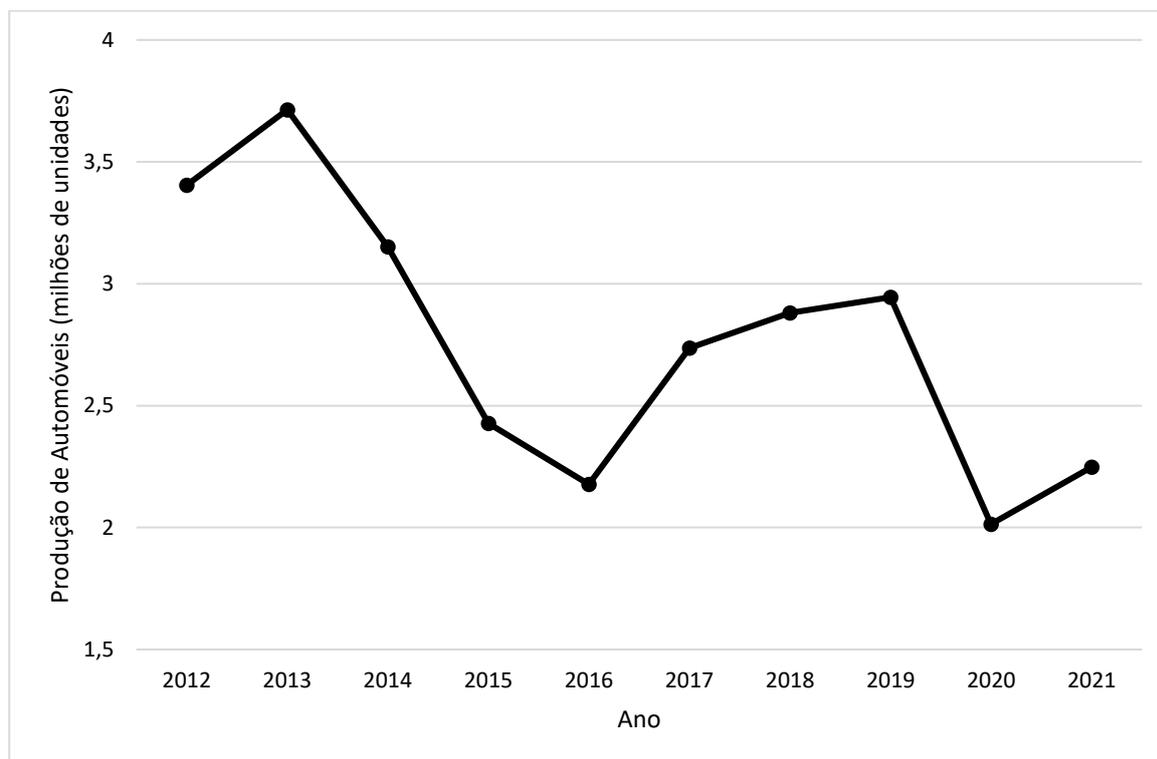
Figura 1 - Produção mundial de veículos desde os anos 2000



Fonte: Statista, 2022

No Brasil, a produção no ano de 2019 foi de 2,95 milhões de veículos, o maior patamar alcançado desde 2014. Nos anos de 2020 e 2021 a produção foi de 2,01 e 2,25 milhões de veículos, respectivamente, o que representa um aumento de 11,6% na produção nacional, e até agosto de 2022 já foram produzidos 1,55 milhões de veículos. A Figura 2 apresenta os dados de produção no país nos últimos 10 anos. Tais números levaram o setor automotivo a responder por 20% do PIB (Produto Interno Bruto) da indústria brasileira e por 2,5% do PIB total no ano de 2019, e sua cadeia produtiva emprega direto e indiretamente cerca de 1,2 milhões de pessoas (ANFAVEA, 2022).

Figura 2 - Produção de automóveis no Brasil entre 2012 e 2021



Fonte: Autor

Mesmo atingindo o menor patamar desde 2003, no ano de 2020 o setor gerou para o país um montante de R\$62,5 bilhões através de tributos diretos na forma de IPI, PIS/CONFINS, ICMS e IPVA e obteve um faturamento de US\$ 39,6 bilhões. A previsão é de que para o ano de 2022 ocorra um aumento de 9,4% na produção com 2,46 milhões de unidades (ANFAVEA, 2022).

### 2.1.1 Processos da Indústria Automotiva

Segundo Salihoglu e Salihoglu (2016), a indústria automotiva possui quatro processos principais: estamparia, funilaria, pintura e montagem geral. A produção se inicia pela estamparia das partes metálicas, onde as chapas de aço ou rolos de alumínio são cortadas e moldados pelas prensas, e também pela injeção das peças plásticas, onde os granulados plásticos são inseridos nas injetoras para adquirirem o formato desejado. Como exemplo de partes estampadas temos as carrocerias e as portas, e como exemplo de peças injetadas temos os para-choques. Segundo Giampieri et al. (2020), esse processo de estamparia pode ocorrer dentro da fábrica ou externamente, dependendo da empresa e do processo produtivo.

O processo subsequente é o da funilaria, onde as peças são soldadas, parafusadas e/ou coladas e então seguem para a etapa da pintura. Antes de iniciar a aplicação de tintas, as peças devem passar por um pré-tratamento para limpeza e desengraxe por banho de

imersão ou pulverização, e quando se trata de peças metálicas, há na sequência um tratamento com fosfato para proteção contra corrosão (SALIHOGU; SALIHOGU, 2016).

Após isso, as peças recebem uma primeira camada de pintura para conferir proteção e mais duas ou três cores e brilho de longa duração. Por fim, o veículo segue para o último processo, a montagem geral, onde serão instalados componentes como rodas, para-brisas e bancos (SALIHOGU; SALIHOGU, 2016).

O processo de montagem geral varia de altamente automatizado para manual e ao final são feitos testes e a inspeção do veículo, sendo o último passo do processo de produção antes da entrega e venda do veículo (GIAMPIERI et al., 2020).

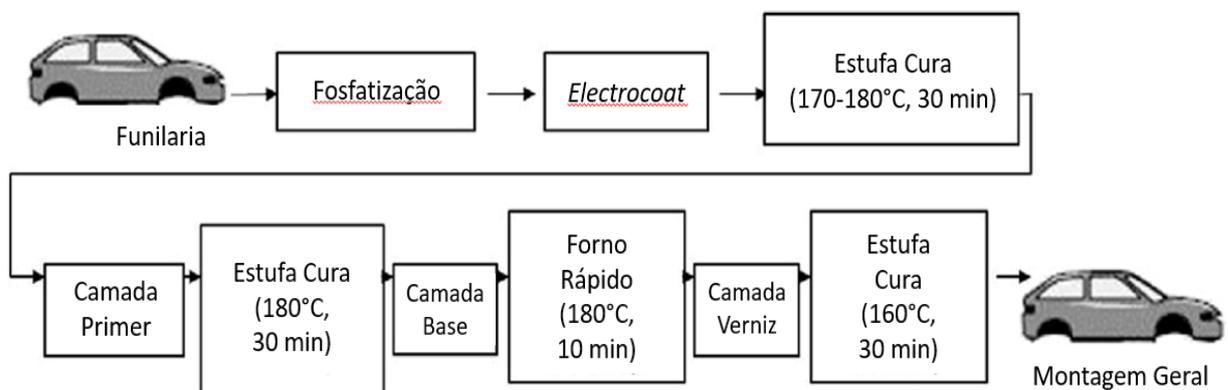
### 2.1.2 Pintura

O processo de pintura é uma etapa de grande importância e exigência na fabricação de veículos, pois além de garantir proteção a superfície da carroceria contra o processo de oxidação, ela é responsável por aumentar o apelo visual ao adicionar dois pontos de destaque no momento da venda do veículo: a cor e o brilho (SILVA; PEREIRA; BOND, 2016).

Os diferenciais que se pode oferecer a um veículo, tais como pintura metálica na carroceria, mudança de cor nas maçanetas, cores diferenciadas nas partes internas e brilho nos painéis são realizados no setor da pintura. Ela pode ser aplicada em componentes fundidos, injetados e/ou estampados, pois além de resultar numa melhor forma estética, serve como proteção e visa garantir a durabilidade do produto (NOVAES, 2016).

Segundo Salihoglu e Salihoglu (2016), a pintura é um processo complexo e ocorre em vários estágios, como mostra a Figura 3. Esse processo ocorre através da aplicação de várias camadas de diferentes materiais de revestimento que são aplicados separados, mas devem trabalhar juntos para garantir proteção, durabilidade e cor. Cada uma delas possui os requisitos próprios que precisa atender e deve se ligar com a próxima camada para que se evite que lasque ou descasque ao longo da vida útil do produto.

Figura 3 - Fluxograma do processo de pintura



Fonte: (SALIHOGU; SALIHOGU, 2016).

A fosfatização é o tratamento das partes metálicas com ácido fosfórico, produzindo uma mistura de fosfatos de zinco que se ligam melhor com a tinta depositada por eletrodeposição e também garante proteção contra corrosão, já que o fosfato de zinco corrói de forma mais lenta que o aço puro. *Electrocoat* é a primeira camada de tinta aplicada no veículo. O primer é uma camada pulverizada em cima do *electrocoat* para promover uma superfície metálicas mais lisa, o que resulta em uma aparência reflexiva mais atrativa. A camada da base é aplicada e passa por um rápido forno, para então ser aplicada a camada de verniz e, posteriormente, essas duas camadas são curadas simultaneamente. A cura é feita após a aplicação de cada camada para que diferentes cadeias poliméricas se cruzem e formem uma ligação forte, flexível e uma rede de polímeros interconectados por toda a superfície do veículo (SALIHOGU; SALIHOGU, 2016).

### 2.1.2.1 Tintas

A tinta, que é uma composição líquida, viscosa e estável, é formada por um ou mais pigmentos dispersos em um aglomerado líquido que forma um filme fosco ou brilhante que adere ao substrato ao passar pelo processo de cura. Elas são fundamentais na preservação de todo tipo de estrutura e além de conferir proteção, elas realçam o aspecto estético dos artigos manufaturados e os tornam mais atraentes (GUEDES, 2018).

Segundo Salihoglu e Salihoglu (2016), a formulação das tintas automotivas é feita de acordo com a sua finalidade de uso, podendo ser primer, base ou uma finalidade especial como resistência térmica e anticorrosão. As tintas possuem polímeros orgânicos e solventes, e, mais especificamente, elas contêm:

- Pigmentos, para dar cor e opacidade;
- Resina, um polímero que forma uma matriz para manter o pigmento no lugar;
- Extensor, que são partículas maiores de pigmento adicionadas para melhorar a adesão, fortalecer o filme e reduzir a resina
- Solvente, podendo ser um solvente orgânico ou água, para diminuir a viscosidade da tinta
- Aditivos, para modificar as propriedades da tinta líquida ou do filme seco.

### 2.1.2.2 Cabines de Pintura

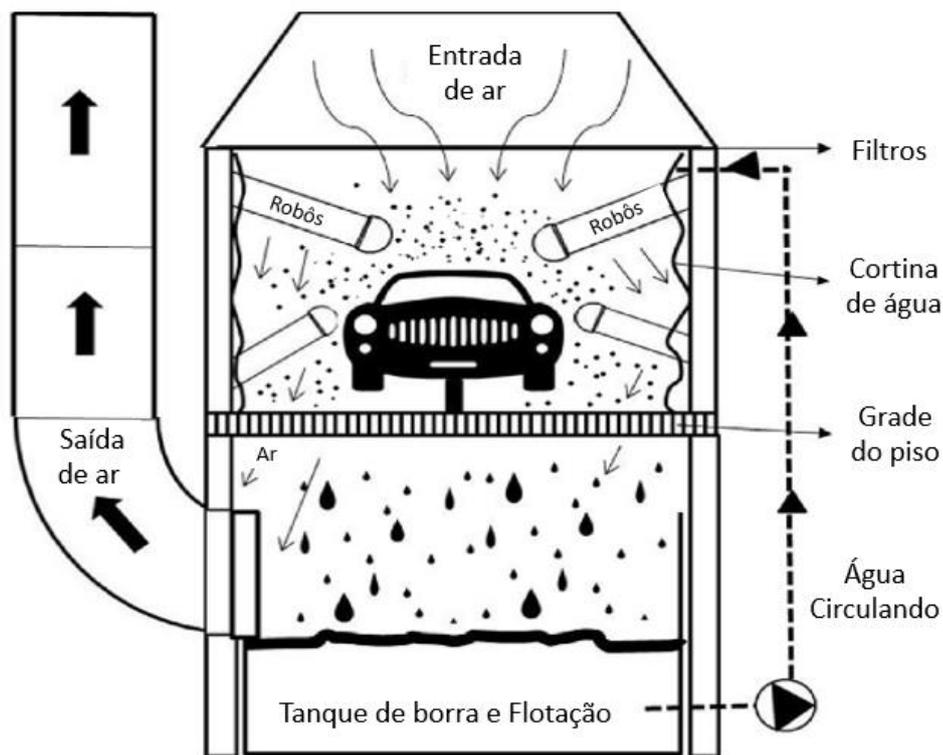
Segundo Novaes (2016), a pintura pode ser realizada tanto em uma cabine de pintura seca (CPS) quanto em uma cabine de pintura úmida (CPU). Nas CPS, a tinta não aderida na

superfície, chamada de *over spray*, é retida por filtros secos. Já nas CPUs essa função é exercida pela água.

Nas indústrias automotivas costuma-se optar pela CPU, pois nela a água é tratada e mantida no circuito por um longo período, evitando-se a troca constante de filtros secos que seria necessário na CPS. Além disso, ela apresenta um menor risco de incêndio, pois a circulação de água na cabine faz com que o solvente presente na tinta não permaneça em suspensão no ar (NOVAES, 2016).

Todo o processo de pulverização das tintas na CPU é feito com poderosos sistemas de exaustão e cortinas de água descendo nas laterais, frente e chão, conforme ilustra a Figura 4. A tinta que sai dos robôs e não se adere na superfície forma o *over spray* e deve ser removida. Isso é feito através do sistema de exaustão, que empurra o ar contaminado em direção a cortina de água circulante. Dessa forma, à medida que ele atravessa, uma parte da cortina de água é retida no local e o restante é removido ao passar por uma camada de filtros ao sair da cabine (SALIHOGU; SALIHOGU, 2016).

Figura 4 - Ilustração de uma cabine de pintura



Fonte: Salihoglu e Salihoglu, 2016.

## 2.2 Tratamento de Efluentes Automotivos

Os danos causados ao meio ambiente são uma preocupação que vem crescendo cada vez mais na atualidade, por isso, empresas tem sido cada vez mais cuidadosas com os resíduos que são gerados desde a etapa inicial de produção até a final, onde são tratados e descartados os efluentes (DE SOUZA; JUNIOR; FELIPPE, 2022).

Os efluentes industriais podem apresentar altas cargas de matéria orgânica, sulfato, amônia, metais tóxicos e muitos outros poluentes extremamente agravantes ao meio ambiente, por isso, sua caracterização para enquadramento em um tratamento adequado antes do descarte é de fundamental importância e o seu descarte deve obedecer aos limites padrões legais de emissão e de qualidade (DE SOUZA; JUNIOR; FELIPPE, 2022).

O tratamento de efluentes contendo pigmento, como é o caso da indústria automotiva, é complexo devido à presença de hidrocarbonetos aromáticos e alifáticos proveniente dos solventes e corantes orgânicos presentes nas tintas (RODRIGUES; KÜLZER, 2016).

Segundo Novaes (2016), devido ao aumento significativo do processo de pintura da indústria automotiva, o programa de tratamento do efluente das cabines de pintura tem crescido gradativamente. Esse tipo de tratamento utilizado permite que a água permaneça no circuito por um longo período e inclui todo o processo de desativação, aglomeração e remoção da borra de tinta.

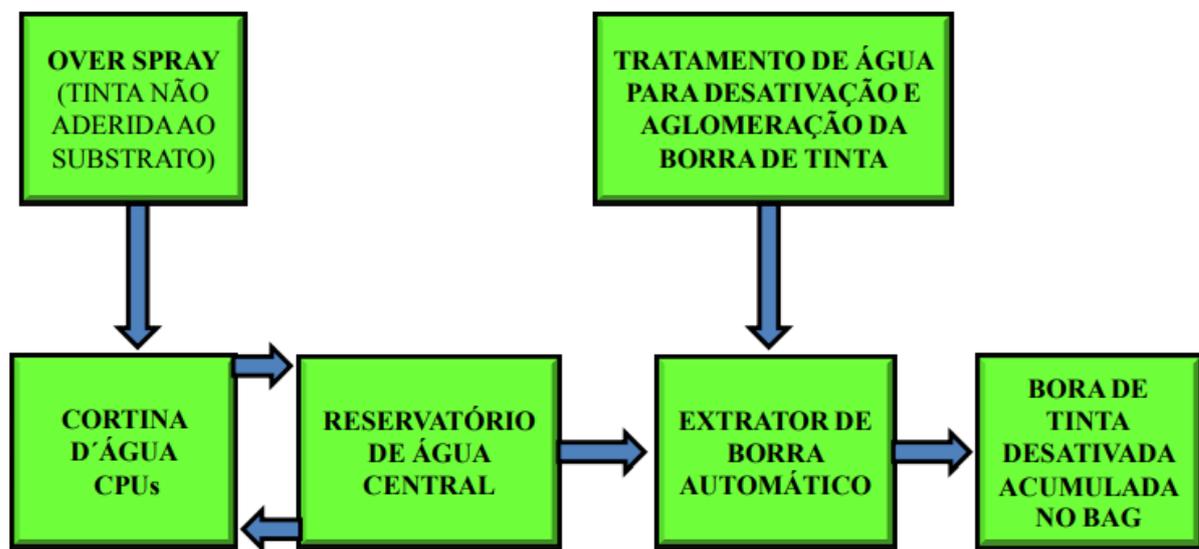
O circuito por onde passa a água das CPUs contém diversos equipamentos, como bombas de recirculação de água, canaletas, tubulações, bicos aspersores que formam a cortina d'água e o removedor de borra, e, para evitar entupimentos no sistema, a tinta deve ser desativada assim que entrar em contato com a água, perdendo assim a sua característica pegajosa e permanecendo inerte (NOVAES, 2016).

O tratamento do efluente das cabines de pintura é feito, geralmente, com produtos químicos tais como coagulantes ou desativantes, alcalinizantes, floculantes e agentes biocidas (SALIHOGU; SALIHOGU, 2016).

Os desativantes, ou coagulantes, são produtos químicos utilizados para romper a cadeia polimérica da tinta, ocasionando a transformação da borra de tinta em partículas floculantes não aderentes e sua consequente desativação. Eles são polímeros de cadeias longas com grupos carregados ao longo da sua cadeia, sendo estas cargas responsáveis pela neutralização das cargas nas superfícies dos glóbulos das tintas. Ao final desse processo, formam-se partículas neutralizadas, desativadas e não-aderentes (SALIHOGU; SALIHOGU, 2016).

Já os floculantes consistem em polímeros em emulsão líquida que proporcionam um máximo de recuperação de partículas de tinta desativadas. Eles são responsáveis por fazerem a borra flutuar na superfície e permitem que ela seja removida por um raspador. Essa mistura de água e borra de tinta desativada floculada é o que se denomina de borra de tinta desativada, e a água, após esse tratamento químico, é recirculada de volta ao sistema da cabine. A Figura 5 apresenta o fluxo de água no circuito da CPU (NOVAES, 2016).

Figura 5 - Etapas do processo de tratamento do efluente



Fonte: Novaes, 2016.

Segundo Novaes (2016), esse tratamento do efluente das cabines de pintura resulta em uma série de benefícios, tais como:

- Reutilização da água por longos períodos;
- Diminuição considerável da troca de água;
- Redução na frequência de limpeza no interior e reservatórios das cabines;
- Redução na frequência de manutenção das bombas de recirculação de água;
- Redução na geração do efluente.

Em função da alta toxicidade e do impedimento da passagem da luz solar devido a coloração das tintas, o que impede a fotossíntese de plantas aquáticas, águas que contenham coloração e altas cargas de substâncias químicas tóxicas, tais como os solventes, não podem ser liberadas nos corpos d'água. Logo, independente do tratamento de água realizado nas cabines, elas ainda devem ser tratadas na estação de tratamento de efluentes antes de serem descartadas (SILVA, et al., 2016).

### 2.2.1 Tratamento Físico-Químico

Segundo Metcalf e Eddy (2003, *apud* CHIAVENATO, 2022), o tratamento de efluentes pode ocorrer pela aplicação de forças físicas e através de reações químicas ou biológicas, resultando na remoção dos contaminantes. O sistema de tratamento é composto,

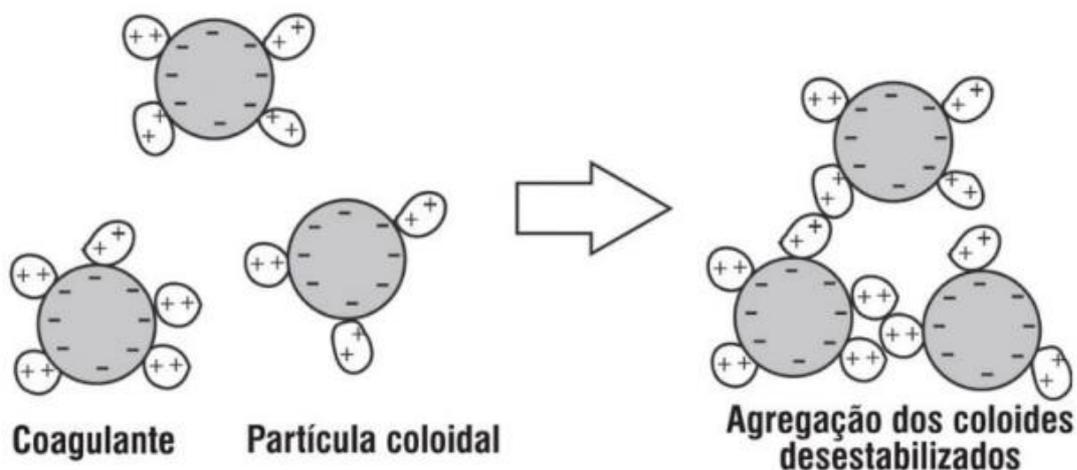
normalmente, por: tratamento preliminar, para remoção de sólidos grosseiros, tratamento físico-químico, para remoção de sólidos em suspensão, tratamento biológico, para remoção de sólidos dissolvidos, e tratamento terciário para polimento final. O sistema de tratamento utilizado irá depender do tipo de efluente gerado.

O tratamento físico-químico de efluentes pode abranger diversas etapas para que se consiga, por meio da adição de coagulantes e floculantes, agregar as partículas em suspensão. Com isso, os sólidos em suspensão, coloidais e outros poluentes são removidos quando ocorre a precipitação. Os sistemas convencionais de tratamento físico-químicos já conhecidos consistem nas seguintes etapas: caracterização analítica do efluente, tratamento químico tradicional e caracterização analítica final do tratamento (ROZENO, 2019).

Cavalcanti (2016) estabeleceu que o tratamento químico tradicional é composto por: neutralização, coagulação, floculação e sedimentação/flotação. A neutralização é a etapa onde as cargas eletrostáticas superficiais são removidas para que não ocorra repulsão entre as partículas carregadas eletricamente devido à adsorção de íons. Na coagulação são formados os flocos através da adição do coagulante, que fornece carga iônica oposta à das partículas coloidais da superfície e ocasiona a aglomeração das partículas em suspensão. A floculação é a etapa onde ocorre a neutralização das forças eletrostáticas repulsivas que impedem a aglomeração de partículas e a precipitação. Por fim, tem-se a sedimentação/flotação, que é o processo de separação sólido-líquido.

A etapa de coagulação é de extrema importância para o tratamento físico-químico, pois se não houver uma boa eficiência nessa etapa, todas as demais serão prejudicadas (CAVALCANTI, 2016). Esse processo possui o objetivo de diminuir o potencial repulsivo da dupla camada elétrica de coloides usando coagulantes, ocasionando o desenvolvimento de micropartículas coloidais, que se aglomeram em partículas ou flocos maiores (SILLANPÄÄ et al., 2018). O processo de coagulação é ilustrado na Figura 6.

Figura 6 - Processo de coagulação



Fonte: Guedes, 2018.

Já com relação a floculação, esse processo diz respeito às colisões bem-sucedidas decorrentes do movimento das partículas desestabilizadas pelas forças de cisalhamento, resultando em uma aglomeração de partículas coaguladas e de matéria em suspensão, que formam conjuntos maiores e mais densos, os chamados flocos (EBELING, et al., 2004). O uso de flocculantes além de aumentar a densidade e a solidez do floco formado, pode reduzir o consumo de coagulantes e aumentar a confiança e a velocidade do tratamento (RADIOU et al., 2004)

A coagulação/floculação é um tratamento considerado convencional e nele sais metálicos inorgânicos catiônicos são utilizados como coagulantes e polímeros de longas cadeias não iônicas ou polímeros aniônicos são utilizados como flocculante (CHONG, 2012).

Coagulantes inorgânicos como sulfato de alumínio, cloreto férrico, sulfato férrico e aluminato de sódio são os mais utilizados pelas indústrias, porém, também podem ser utilizados coagulantes orgânicos com densidade de carga positiva (polímeros catiônicos), de origem sintética ou natural. A diferença entre os dois está na reação hidrolítica com a água, pois enquanto nos inorgânicos as cadeias polimerizadas já estão formadas quando entram em contato com a água, nos coagulantes orgânicos a polimerização irá iniciar quando forem adicionados, para só após ocorrer a adsorção dos coloides presentes no meio (SCHOENHALS, 2006).

O processo de coagulação e floculação tem como objetivo a remoção de impurezas particuladas, principalmente os coloides, da água a ser tratada. Fatores como o tipo e a natureza das substâncias produtoras de turbidez, os níveis de turbidez, o tipo de coagulante e a sua dosagem e o pH da água afetam o processo (ROZENO, 2019).

### 3 Materiais e Métodos

O objetivo desse estudo foi analisar a efetividade da alteração de alguns parâmetros no tratamento físico-químico do efluente da pintura automotiva de uma indústria do estado do Rio Grande do Sul. O efluente foi simulado com base nos dados da produção no mês de junho de 2022 e os experimentos realizados no Laboratório de Estudos em Couro e Meio Ambiente (LACOURO) do Departamento de Engenharia Química da UFRGS.

#### 3.1 Efluente simulado

A configuração do sistema de tratamento da empresa em análise não possibilita a retirada do efluente sem a presença dos produtos utilizados no tratamento, pois trata-se de um sistema fechado onde o efluente tratado retorna para o processo e a tinta é removida na forma de borra. Com isso, foi feita a simulação desse efluente em laboratório utilizando os dados do mês de junho de 2022.

Nesse mês houve uma produção de 17.474 veículos e, considerando que 20% da tinta aplicada não fica retida no carro, de acordo com o histórico considerado pela empresa analisada, foram lançados 2147,7 kg de sólidos na corrente de água. O período analisado teve 18 dias produtivos e 16h de produção por dia, o que permite calcular a vazão mássica de tinta adicionada na água, 7,46 kg/h. A partir da densidade média de 960 kg/m<sup>3</sup> e da vazão total do filme de água que circula no sistema de 375 m<sup>3</sup>/h, calculou-se a vazão volumétrica da tinta que entra no sistema e a proporção dela nesse total para se calcular a quantidade necessária para 1L de efluente. A Tabela 1 resume os dados utilizados para o cálculo da quantidade final de tinta adicionada para simular o efluente.

Tabela 1 - Dados para simulação do efluente

Carros produzidos	Sólidos totais na água (kg/mês)	Vazão Mássica (kg/h)	Vazão Volumétrica (m <sup>3</sup> /h)	Porcentagem no fluxo do sistema (%)	Adição para 1L de efluente (µL)
17474	2147,7	7,46	0,00703	0,0019	19

Para se determinar a quantidade de coagulante e floculante, foi feito o mesmo cálculo da porcentagem das vazões desses produtos na vazão volumétrica total que circula no sistema e o pH foi corrigido para ficar entre 8,0 e 8,5 conforme é praticado na empresa. A quantidade adicionada de cada produto é mostrada na Tabela 2.

Tabela 2 – Quantidades de produtos químicos adicionados no efluente simulado.

Produto	Quantidade (µL)
Tinta	19
Coagulante	26
Floculante	424

### 3.2 Reagentes Utilizados

Foram utilizados coagulante e floculante comerciais, cedidos pela empresa, floculante cedido pelo laboratório, pigmento e produtos para ajuste de pH, sendo eles:

- Coagulante Comercial PAINT KILL™ PK9513 composto por sal inorgânico com concentração entre 10 a 30%
- Floculante Comercial NALCO® 7751LA composto por sal inorgânico com concentração entre 10 a 30% e sulfato de amônio com concentração entre 10 a 30%.
- Floculante Tanfloc, que é um polímero orgânico catiônico líquido de baixo peso molecular.
- Pigmento Telacor Rosa, que é um pigmento inorgânico líquido de uso comercial.
- Solução NaOH 40%, para ajuste de pH.

### 3.3 Cálculo do Tempo Total do Processo

Para determinação do tempo total do processo, foi considerado o tempo que o efluente leva desde a sua chegada no tanque, onde é aplicado o coagulante e o floculante, até a sua saída em direção ao raspador para remoção da borra de tinta. Esse tanque possui 12,6 m de comprimento e 2,5 m de altura e largura e o efluente chega nele por uma tubulação de 0,5 m de diâmetro com uma vazão de 375 m<sup>3</sup>/h. Com esses dados, calculou-se a velocidade do efluente no tanque, conforme a equação abaixo.

$$Velocidade = \frac{\dot{v}}{A} = \frac{375}{2,5 \times 2,5} = 60 \text{ m/h} = 0,0167 \text{ m/s} \quad (1)$$

A partir da Equação 1 foi possível calcular o tempo que o efluente leva para percorrer todo o tanque, que é de 12,6 minutos, e chegou-se nas duas condições de tempo testadas: aplicação do coagulante e floculante em  $t = 0$ , conforme é feito atualmente, e a aplicação do floculante em  $t = 6,3$  minutos, considerando uma alteração no ponto de aplicação para a metade do comprimento do tanque.

### 3.4 Ensaios de Coagulação e Floculação

Os ensaios de coagulação e floculação foram conduzidos no laboratório utilizando o equipamento de teste de jarros Floc Control da marca PoliControl com uma rotação de 50 rpm e um tempo total de 12,6 minutos. Os testes foram feitos em duplicata e foram testadas as condições descritas na tabela 3.

Outro parâmetro testado foi a alteração do floculante, que é composto por um sal inorgânico e sulfato de amônio, para um polímero de baixo peso molecular, que é mais frequentemente utilizado nessas condições. As condições experimentais são mostradas na Tabela 3.

Tabela 3 – Condições experimentais

Condição	Tempo aplicação do floculante (min)	Floculante
1	0	Empresa
2	6,3	Empresa
3	0	Tanfloc
4	6,3	Tanfloc

### 3.5 Determinação do Teor de Sólidos

Segundo Guedes (2018), todas as matérias suspensas ou dissolvidas em água podem ser caracterizadas como resíduos ou sólidos e existe uma correlação entre o teor de sólidos em uma amostra líquida e a sua turbidez.

Para determinar o teor de sólidos foi realizado a pesagem de cadinhos redondos de porcelana previamente secos na estufa a  $110^{\circ}\text{C}$  ( $m_1$ ), a pesagem de 10 mL de amostra ( $m_2$ ), que foram colocados para secagem na estufa por cerca de 19h e então pesadas novamente ( $m_3$ ). O teor de sólidos foi expresso em porcentagem e calculado dividindo-se a massa de sólidos obtida após secagem ( $m_3 - m_1$ ) pela massa total da amostra ( $m_2 - m_1$ ) e multiplicando por 100, conforme a equação 2 abaixo.

$$\% \text{ Teor de Sólidos} = \frac{\text{massa da amostra seca}}{\text{massa total da amostra}} \times 100 = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \times 100 \quad (2)$$

### 3.6 Cálculo do Volume de Lodo

Para determinar o volume de lodo obtido foi aplicado a equação 3, sendo  $l$  a largura do frasco do jar test (4,6 cm) e  $h$  o volume de lodo gerado, ambos medidos com o auxílio de uma régua, conforme mostrado na Equação 3.

$$V = l \times l \times h \quad (3)$$

### 3.7 Análise da Turbidez

Segundo Guedes (2018), a turbidez é causada principalmente pela presença de partículas em suspensão e em estado coloidal no efluente. Devido a simplicidade e rapidez da sua determinação, ela tornou-se um parâmetro primário de monitoramento e pode ser utilizada na avaliação da eficiência das fases de coagulação e floculação.

A análise da turbidez da água decantada além de ser necessária para garantia do atendimento à resolução CONAMA 305/05, que determina o padrão limite do parâmetro para lançamento do efluente, é um ótimo parâmetro comparativo entre as condições testadas nesse trabalho, já que quanto menor a turbidez, menor a quantidade de particulado ainda presente no efluente, o que indica uma maior remoção no tratamento aplicado.

A determinação da turbidez foi feita no Turbidímetro modelo HI88703 da marca Hanna Instruments, onde foi adicionado 10 mL de amostra na cubeta do equipamento e realizado a leitura.

### 3.8 Estudo de caso de uma indústria automotiva

O tratamento físico-químico é aplicado no efluente das cabines de pintura da indústria automotiva para a remoção da tinta ali presente, removendo a tinta na forma de borra e possibilitando o retorno da água para o sistema. A problemática deste trabalho é referente a baixa eficiência desse processo, ocasionando um retorno para o sistema de uma água com tinta presente nela, o que aumenta o risco de entupimento das tubulações, o gasto com manutenção de equipamentos, a remoção manual dessa tinta que eventualmente irá se depositar na cabine ou nos tanques e aumenta a frequência de descarte desse efluente para a estação de tratamento. A solução proposta e testada foi uma alteração no ponto de aplicação de floculante e no produto utilizado para tal finalidade.

## 4 Resultados

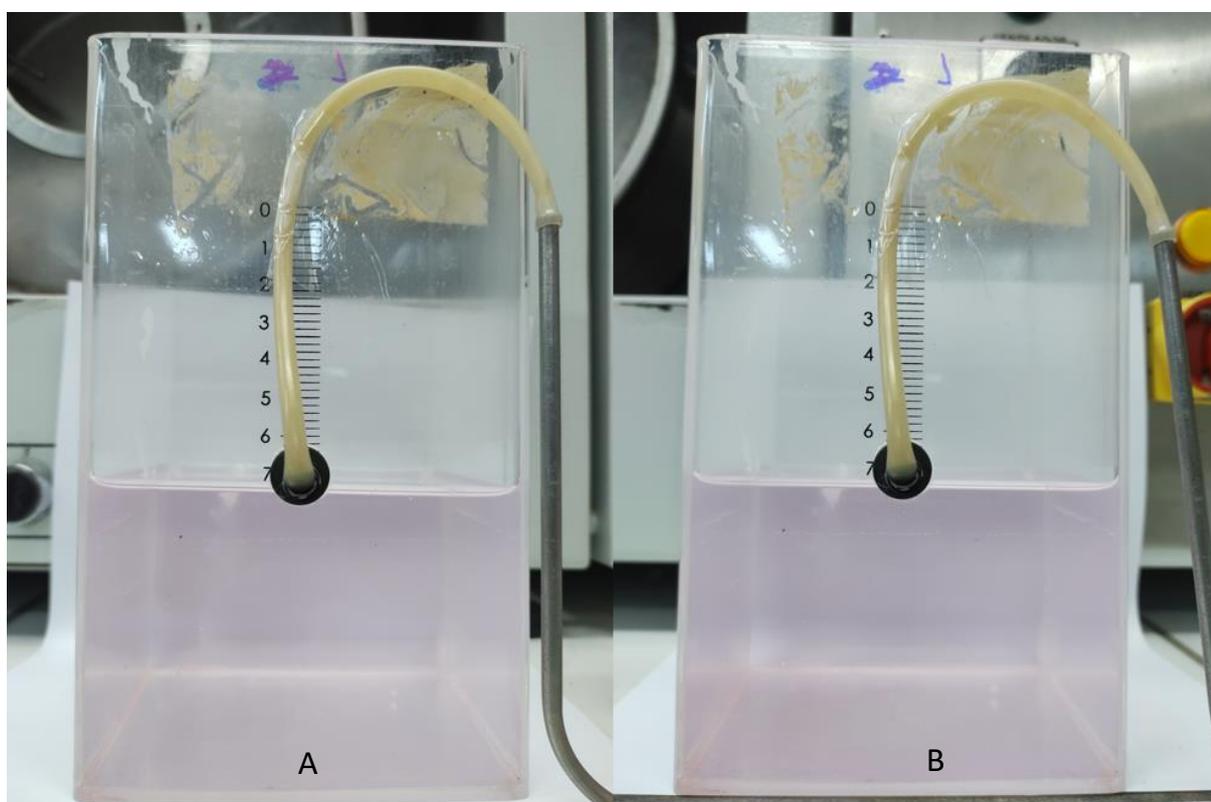
Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de coagulação e floculação, assim como a discussão e comparação com a condição atualmente instalada, através da análise dos parâmetros de volume de lodo, teor de sólidos e turbidez, além do aspecto visual. A escolha desses parâmetros foi feita devido a simplicidade das análises e ao fato de que esse conjunto de dados já nos possibilitava tirar as conclusões decorrentes do objetivo desse trabalho.

### 4.1 Ensaios de Coagulação e Floculação

Os ensaios de coagulação e floculação realizados em jarros são mostrados na Figura 7, que apresenta o comparativo do teste ao final dos 12,6 min e após 1h de sedimentação para a condição 1 do experimento, que é a condição inicial e a forma como é feito atualmente na empresa estudada, com adição simultânea do coagulante e do floculante.

- Condição 1: coagulante adicionado no tempo  $t = 0$  min e floculante adicionado no tempo  $t = 0$  min

Figura 7 - Comparativo entre (A) a condição 1 ao final do teste (após 12,6 min) e (B) após sedimentação (após 1h)

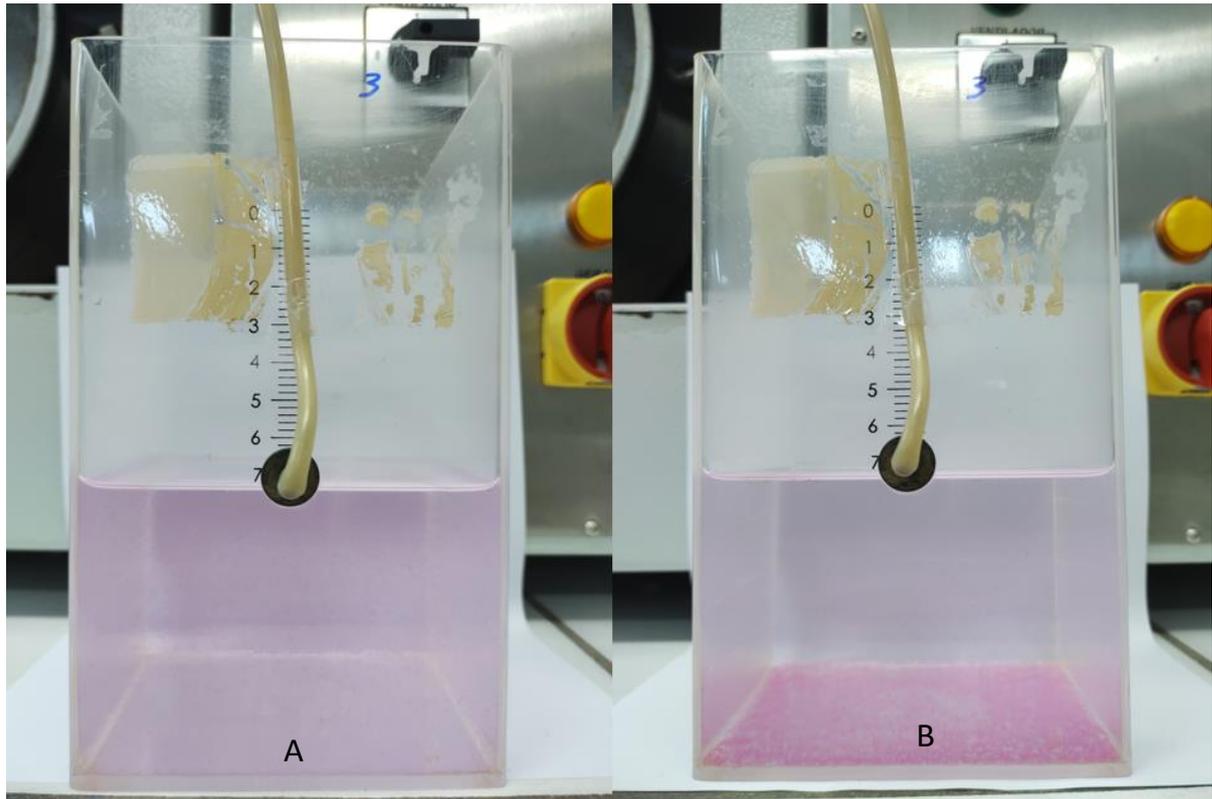


Fonte: Autor

- Condição 2: coagulante adicionado no tempo  $t = 0$  min e floculante adicionado no tempo  $t = 6,3$  min

A Figura 8 apresenta o comparativo para a condição 2 do experimento, que é a condição em que o floculante foi aplicado 6,3 minutos após o coagulante e que, na prática, se traduziria em uma mudança no ponto de aplicação.

Figura 8 – Comparativo entre (A) a condição 2 ao final do teste (após 12,6 min) e (B) após sedimentação (após 1h)



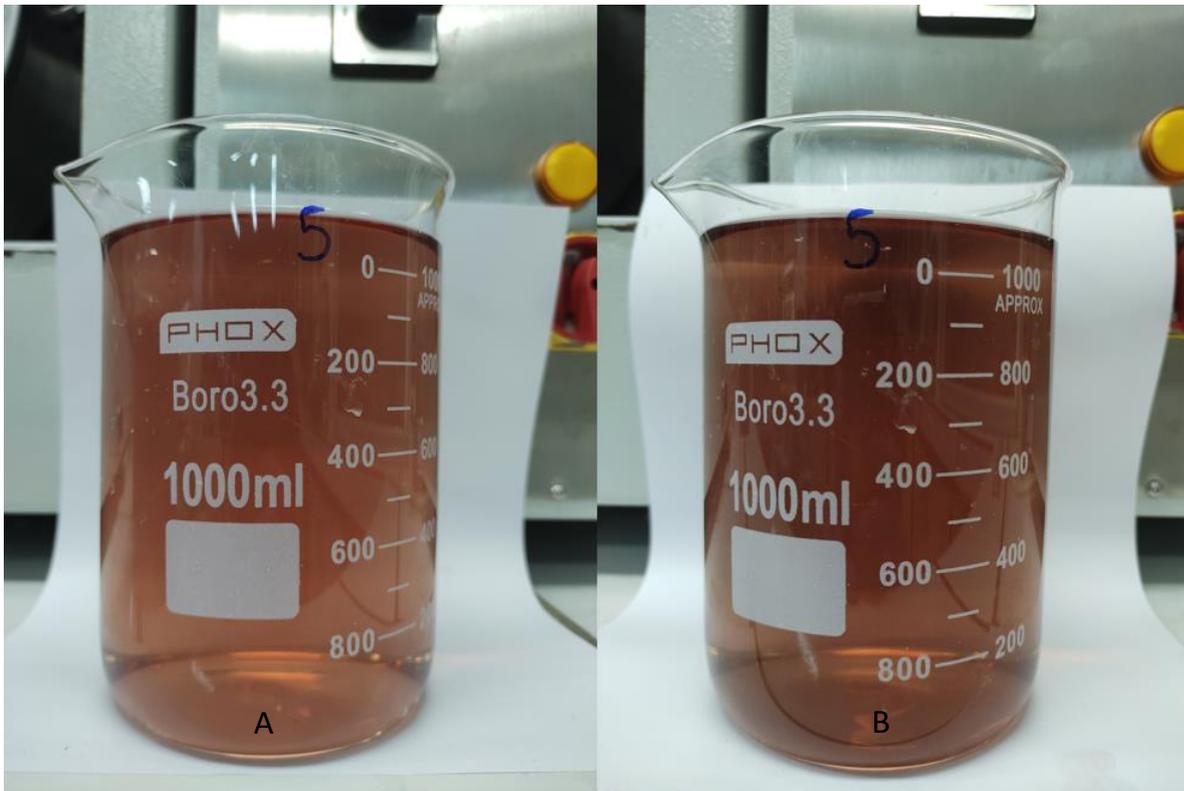
Fonte: Autor

A análise visual dos ensaios indica que a alteração proposta na condição 2 resulta em uma maior sedimentação de lodo e na geração de um efluente final mais translúcido que na condição 1. Esse é um resultado já esperado, uma vez que esse tempo entre a aplicação do coagulante e do floculante permite que sejam formados flocos maiores na coagulação e que irão sedimentar com mais facilidade.

As outras duas condições testadas nos ensaios tratam-se de uma alteração no floculante comercial utilizado para um polímero orgânico catiônico, que é o tipo de produto comumente utilizado para essa finalidade. A Figura 9 apresenta o comparativo para a condição 3 do experimento, em que há aplicação simultânea do coagulante e do floculante.

- Condição 3: coagulante adicionado no tempo  $t = 0$  min e floculante polimérico adicionado no tempo  $t = 0$  min

Figura 9 – Comparativo entre (A) a condição 3 ao final do teste (após 12,6 min) e (B) após sedimentação (após 1h)

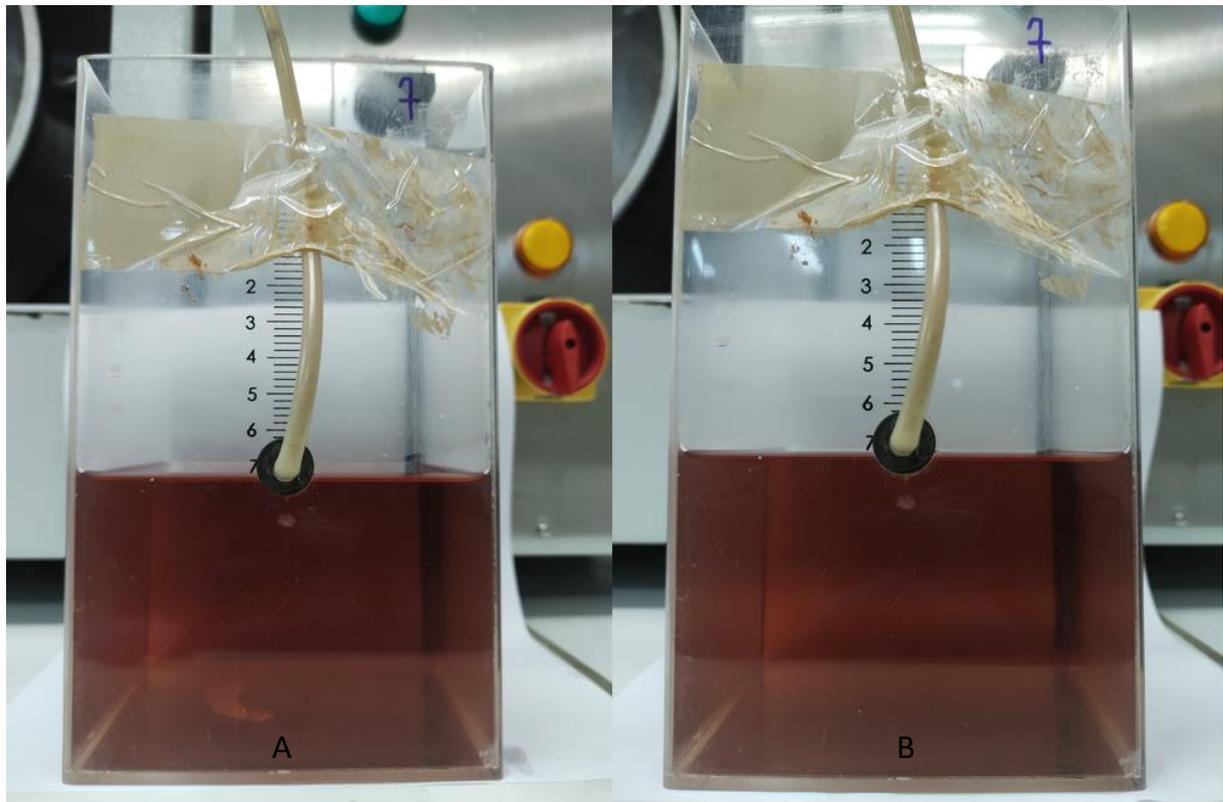


Fonte: Autor

- Condição 4: coagulante adicionado no tempo  $t = 0$  min e floculante polimérico adicionado no tempo  $t = 6,3$  min

Além disso, também foi testado a condição que altera tanto o tipo de coagulante quanto o tempo de aplicação entre os produtos, que é a condição 4. O comparativo para essa condição é apresentado na Figura 10.

Figura 10 – Comparativo entre (A) a condição 4 ao final do teste (após 12,6 min) e (B) após sedimentação (após 1h)



Fonte: Autor

Essa alteração no produto utilizado como floculante não gerou o resultado esperado. Como pode-se perceber nas figuras, não houve uma sedimentação visível de lodo e o efluente final acabou ficando com uma coloração marrom do produto aplicado.

#### 4.2 Volume de Lodo

A partir da altura do lodo e das dimensões do frasco, pode-se calcular o volume de lodo gerado. Os resultados estão apresentados na Tabela 4.

Esses dados vão de encontro com a análise visual, já que houve uma maior formação de lodo para a duplicata da condição 2 (amostras 3 e 4) como era esperado, uma vez que esse tempo entre a aplicação do coagulante e do floculante permite que sejam formados flocos maiores na coagulação e que irão sedimentar com mais facilidade. Para as condições 3 e 4 não houve uma sedimentação visível, não sendo possível então o cálculo do volume gerado.

Tabela 4 – Volume de lodo gerado em cada amostra

<b>Amostra</b>	<b>Condição</b>	<b>Volume de lodo sedimentado após 1h de decantação (cm<sup>3</sup>)</b>
<b>1</b>	<b>1</b>	0,85
<b>2</b>	<b>1</b>	0,53
<b>3</b>	<b>2</b>	2,12
<b>4</b>	<b>2</b>	1,59
<b>5</b>	<b>3</b>	Não formou lodo
<b>6</b>	<b>3</b>	Não formou lodo
<b>7</b>	<b>4</b>	Não formou lodo
<b>8</b>	<b>4</b>	Não formou lodo

O floculante polimérico não se mostrou adequado para os poluentes analisados, pois a função dele no tratamento é aglomerar as partículas coaguladas e a matéria em suspensão em partículas maiores e mais densas para que ocorra a precipitação e permita a remoção na forma de lodo, o que não ocorreu.

Já a separação do tempo de adição do coagulante e do floculante gerou um aumento de 169% no volume médio (amostras 3 e 4) de lodo formado, se mostrando uma alternativa de alteração simples para o processo que pode aumentar a eficiência do tratamento.

### 4.3 Teor de Sólidos

Os cálculos do teor de sólidos estão apresentados na Tabela 5. A análise do teor de sólidos confirma o que foi observado anteriormente, sendo a condição 2 a que apresenta menor teor de sólidos. A amostra 4, que é a duplicata da condição 2, apresentou um teor de sólidos maior que o da condição 1, porém, esse resultado não condiz com a análise visual e com o volume de lodo gerado, sendo então, o motivo provável um erro no procedimento de pesagem.

Tabela 5 – Teor de sólidos das amostras

Condição	Amostra	Teor Médio de Sólidos (%)
1	1	0,028 ± 0,013
	2	0,023 ± 0,010
2	3	0,017 ± 0,0029
	4	0,04 ± 0,0077
3	5	0,034 ± 0,013
	6	0,036 ± 0,0077
4	7	0,036 ± 0,0066
	8	0,048 ± 0,0007

O teor de sólidos para as condições 3 e 4 foi bem similar, com uma leve discrepância para a duplicata da condição 4, o que é condizente com o observado, já que em ambas as condições não houve formação de lodo e, conseqüentemente, não houve remoção dos sólidos presentes no efluente.

#### 4.4 Análise da Turbidez

Os dados de turbidez foram obtidos através da medição em equipamento turbidímetro, conforme são apresentados na Tabela 6.

A partir da Tabela 6 é possível perceber que, enquanto os testes para a condição 2 (amostras 3 e 4) resultaram em um efluente final com uma turbidez média de 0,80 NTU, os testes para a condição 1 (amostras 1 e 2) resultaram em um valor médio de 2,9 NTU. Isso representa uma redução de quase 73% na turbidez do efluente gerado.

Tabela 6 – Dados de turbidez das amostras

<b>Amostra</b>	<b>Turbidez (NTU)</b>
<b>1</b>	3,60
<b>2</b>	2,20
<b>3</b>	0,85
<b>4</b>	0,75
<b>5</b>	3,40
<b>6</b>	3,90
<b>7</b>	3,50
<b>8</b>	2,60

Para as condições 3 e 4, representadas em duplicata respectivamente pelas 4 últimas amostras na tabela, já se imaginava que não haveria uma grande diferença entre elas devido ao aspecto visual, porém pode-se perceber uma pequena redução na turbidez média, que foi de 3,65 NTU na condição 3 para 3,05 NTU na condição 4, sendo mais um indicativo da efetividade dessa diferença no tempo de aplicação entre os produtos.

#### **4.5 Discussão dos Resultados**

Foram testadas 4 condições nesse trabalho. A condição 1 era a condição que representava a forma como o tratamento é feito atualmente, a condição 2 alterava o ponto de aplicação do floculante, a condição 3 alterava o tipo de floculante empregado e a condição 4 alterava os dois parâmetros. Os resultados obtidos com cada uma delas foram comparados com a condição 1 e o compilado é apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Compilado dos resultados obtidos em comparação com a condição inicial.

Condição	Teste	Teor de Sólidos	Turbidez	Volume de Lodo
1	Simulação do estudo de caso: coagulante e floculante adicionados simultaneamente	0,026	2,90	0,69
2	Alteração no ponto de aplicação do floculante	Redução de 34%	Redução de 72%	Aumento de 169%
3	Alteração no tipo de floculante	Aumento de 32%	Aumento de 26%	Não houve formação
4	Alteração no ponto de aplicação e no tipo de floculante	Aumento de 64%	Aumento de 5%	Não houve formação

Em comparação com a condição 1, a condição 2 reduziu 34% do teor de sólidos, 72% da turbidez e aumentou 169% o volume de lodo, o que mostra que essa alteração nas condições operacionais representa um aumento na remoção da tinta presente no efluente. Esse resultado é condizente com a literatura, pois segundo Cardoso et al (2008), o tempo para propiciar a coagulação e o tempo para adição do floculante e formação dos flocos, assim como o tempo de decantação, influenciam a turbidez durante o processo de coagulação e floculação.

Com isso, a alteração da aplicação simultânea dos produtos para uma aplicação do coagulante no tempo inicial e do floculante na metade do tempo total do experimento permite que o processo de coagulação ocorra de forma mais eficiente. A adição posterior do floculante resulta na formação de flocos maiores, mais densos e que irão sedimentar com mais facilidade do que os que seriam formados na condição inicial.

As condições 3 e 4 alteraram a composição química do floculante. Esse resultado é diferente do esperado na literatura, pois segundo Lee, Robinson e Chong (2014), vários

estudos já provaram que a adição de um floculante polimérico a um coagulante inorgânico apresenta melhores remoção e redução de parâmetros como turbidez, sólidos totais e cor.

Uma possível explicação para isso seja em natureza química do pigmento. Floculantes orgânicos comerciais são geralmente polímeros solúveis em água (LEE; ROBINSON; CHONG, 2014) e a tinta utilizada é a base de solvente, o que dificulta a sua diluição e, conseqüentemente, a atuação do floculante no processo.

É possível que o teste com o efluente real gere resultados um pouco diferentes devido a características diferentes decorrentes do processo que não conseguiram ser simuladas nesse efluente testado.

## 5 Conclusões e Trabalhos Futuros

A alteração no ponto de aplicação do floculante no processo de tratamento físico-químico do efluente de pintura de uma indústria automotiva se mostrou efetivo. Tal conclusão pôde ser obtida a partir de testes alterando o tempo entre a aplicação dos dois produtos, que são aplicados simultaneamente, para uma condição em que o floculante é aplicado na metade do tempo total do processo, que se traduziria em uma alteração no ponto de aplicação do início para o meio do tanque.

Quando comparados com a condição em que há aplicação simultânea dos produtos e simula a atual situação, essa alteração resultou em um volume de lodo gerado maior e um teor de sólidos e uma turbidez do efluente final menor, o que comprova a efetividade da alteração.

Espera-se que essa mudança promova um aumento na eficiência do processo, o que reduziria o risco de entupimento e a manutenção dos equipamentos envolvidos no processo, já que aumentando a remoção de tinta na forma de borra significa uma redução na quantidade que permanece no efluente e retorna para o sistema. Além disso, com um processo de tratamento eficiente, a frequência de descarte desse efluente para a estação de tratamento diminui, o que significa um ganho ambiental e uma redução de custo para a indústria.

Outro parâmetro testado foi a alteração do floculante comercial utilizado para um polímero orgânico catiônico, que é o tipo de produto geralmente utilizado nesse tratamento. Com essa condição não houve geração de lodo nem redução no teor de sólidos. A turbidez reduziu, quando comparada com a adição simultânea desse floculante com o coagulante e a adição dele na metade do tempo do processo, o que é mais um indicativo da efetividade da primeira alteração proposta, mas que nesse caso, analisando o conjunto dos testes realizados, não se mostrou viável.

Trabalhos futuros podem ser realizados para complementar o que foi discutido, entre eles:

- Determinar a melhor proporção de produto/tinta que deve ser utilizada.
- Testar diferentes faixas de pH e determinar a que resulta em uma maior eficiência para o processo.
- Testar essa alteração no tempo de aplicação para os outros dois tipos de borra de tinta gerados na indústria automotiva.
- Testar a viabilidade de alterar o tratamento para o processo de floculação direta.

## REFERÊNCIAS

ANFAVEA. Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2022. São Paulo: Anfavea, 2022.

CARDOSO, K. C. et al. Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da Moringa oleifera Lam. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 30, n. 2, p. 193-198, 2008.

CAVALCANTI, J.E.W; Manual de Tratamento de Efluentes Industriais. Brasil, 2009.

CHIAVENATO, P. V. Avaliação da adequação de sistema de tratamento de efluentes em indústria vinícola localizada na Serra Gaúcha. **Universidade Estadual do Rio Grande do Sul**. Bento Gonçalves, 2022.

Chong, M. Direct flocculation process for wastewater treatment. In: Sharma, S.K., Sanghi, R. (Eds.), *Advances in Water Treatment and Pollution Prevention*. Springer, Netherlands, p. 201–230, 2012.

CONAMA, 2011. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente.

DE SOUZA, B. F. M., JUNIOR, D. A. F., FELIPPE, M. T. S. D. A. APLICAÇÃO DE CARVÃO ALTERNATIVO EM TRATAMENTO DE ÁGUA INDUSTRIAL. **Universidade Federal de São Francisco**. Bragança Paulista, 2022.

EBELING, J. M.; OGDEN, S. R.; SIBRELL, P. L.; RISHEL, K. L. Application of Chemical Coagulation Aids for the Removal of Suspended Solids (TSS) and Phosphorus from the Microscreen Effluent Discharge of an Intensive Recirculating Aquaculture System. **North American Journal of Aquaculture**, 66, 198–207, 2004.

GIAMPIERI, A. et al. A review of the current automotive manufacturing practice from an energy perspective. **Applied Energy**, v. 261, p. 114074, 2020.

GUEDES, M. R. Estudo sobre os processos de coagulação, floculação e decantação para o tratamento de efluentes gerados em uma indústria de tintas local. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2018.

LEE, C.S.; ROBINSON, J.; CHONG, M.F. A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 92, p. 489-508, 2014.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **WasteWater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse**. Boston: McGraw-Hill, 2003.

NOVAES, L. N. Caracterização da borra de tinta desativada gerada pela indústria automotiva. Dissertação de Pós-graduação. **Universidade Federal de Itajubá**. Itajubá, 2016.

RADOIU, M.T. et al. Preparation of polyelectrolytes for wastewater treatment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 106, p. 27–37, 2004.

RICHTER, C.A. Água: Métodos e tecnologia de tratamento de água. São Paulo: Blucher, 2009.

RODRIGUES, C. O.; KÜLZER, B. N. Geração e processos físico-químicos de tratamento de efluentes líquidos contendo pigmentos. **Holos Environment**, v. 16, n. 1, p. 58-69, 2016.

RODRIGUES, M. F. Eficiência de Coagulantes e Floculantes na Remoção de Concentração de Fósforo em Efluente de Frigorífico de Suínos. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2016.

ROZENO, N. S. et al. Investigação do uso de floculantes de fontes renováveis para o tratamento físico-químico de efluente industrial de processamento de milho. **Universidade Federal de Uberlândia**. Uberlândia, 2019.

SALGOT, M., FOLCH, M. Wastewater treatment and water reuse. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 2, p. 64–74, 2018.

SCHOENHALS, M. Avaliação da eficiência do processo de flotação aplicado ao tratamento primário de efluentes de abatedouro avícola. Dissertação de Pós-graduação. **Universidade Federal de Santa Catarina**. Florianópolis, 2006

SILLANPÄÄ, M.; NCIBI, M. C.; MATILAINEN, A.; VEPSÄLÄINEN, M. Removal of natural organic matter in drinking water treatment by coagulation: A comprehensive review. **Chemosphere**, [s.l.], v. 190, p.54-71, 2018.

SILVA, E. J.; PEREIRA, C. R.; BOND, D. Proposta de redução do lead-time de uma linha de pintura automotiva. **Revista de Ciência & Tecnologia**, v. 20, n. 40, p. 21-45, 2017.

SILVA, L. F., et al. Treatment of paint manufacturing wastewater by coagulation/electrochemical methods: Proposals for disposal and/or reuse of treated water. **Water Research**, vol. 101, p. 467-475, 2016.

SALIHOGU, G.; SALIHOGU, N. K. A review on paint sludge from automotive industries: Generation, characteristics and management. **Journal of Environmental Management**, Vol. 169, 2016, p. 223-235.

STATISTA. **Worldwide automobile production from 2000 to 2021**. 2022. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/262747/worldwide-automobile-production-since-2000/>. Acesso em: 16 set. 2022.