

UNIVERSIDADE DO SAGRADO CORAÇÃO

MARCELA GRANDINETTI MARQUES

**AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DO REUSO DE
EFLUENTES EM INDÚSTRIA METAL-MECÂNICA**

BAURU

2018

MARCELA GRANDINETTI MARQUES

**AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DO REUSO DE
EFLUENTES EM INDÚSTRIA METAL-MECÂNICA**

Dissertação apresentada à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade do Sagrado Coração, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental, área de concentração: Ambiente e Tecnologia, sob orientação da Prof.^a Dr.^a Márcia Rodrigues de Moraes Chaves.

BAURU

2018

Marques, Marcela Grandinetti

M3574a

Avaliação técnico-econômica do reuso de efluentes em indústria metal-mecânica / Marcela Grandinetti Marques. – 2018.

69f. : il.

Orientadora: Prof.^a Dra. Márcia Rodrigues de M. Chaves.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade do Sagrado Coração - Bauru - SP

1. Efluentes Industriais. 2. Economia Ambiental. 3. Tratamento de Efluentes. 4. Controle de Poluição. 5. Meio Ambiente. I. Chaves, Márcia Rodrigues de Moraes. II. Título.

ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MARCELA GRANDINETTI MARQUES, ALUNA DO PROGRAMA DE Mestrado Acadêmico em Ciência e Tecnologia Ambiental – Área de Concentração: Ciência e Tecnologia Ambiental, DA UNIVERSIDADE DO SAGRADO CORAÇÃO.

No dia 19 de março de 2018, em sessão pública, na Universidade do Sagrado Coração, na presença da Banca Examinadora, composta pelos (as) docentes: **Prof. Dr. Glauco Lini Perpétuo- Universidade Estadual Paulista**, **Prof. Dr. Angelo Fávaro Pipi- Universidade do Sagrado Coração** e **Prof.ª Dr.ª Márcia Rodrigues de Moraes Chaves Universidade do Sagrado Coração**, tiveram início os trabalhos de julgamento da Prova de Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental- Área De Concentração Ciência e Tecnologia Ambiental, pela mestranda **MARCELA GRANDINETTI MARQUES**. Os examinadores, observando o tempo regulamentar, arguíram a candidata sobre a Dissertação que a mesma havia apresentado, intitulada **“AVALIAÇÃO TÉCNICO- ECONÔMICA DO REUSO DE EFLUENTES EM INDÚSTRIA METAL- MECÂNICA”**, tendo a candidata procurada explicar e/ou rebater as críticas formuladas pelos arguidores. Após a conclusão da Prova de Dissertação, foi suspensa a sessão pública e, em sessão secreta, os arguidores atribuíram seus conceitos. Reaberta a sessão pública, foram anunciados os resultados: **Prof. Dr. Glauco Lini Perpétuo: aprovada**; **Prof. Dr. Angelo Fávaro Pipi: Aprovada**; **Prof.ª Dr.ª Márcia Rodrigues de Moraes Chaves: Aprovada**; Conceito Final: **Aprovada**, fazendo jus, portanto, ao título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental-Área De Concentração Ciência e Tecnologia Ambiental, de acordo com o artigo 35 do Regulamento do Programa Acadêmico Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental e artigo 47 do Regimento da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação. Nada mais havendo a registrar, foi lavrada a presente ata, que vai por mim assinada, Prof.ª Dr.ª Sandra de Oliveira Saes e pelos Senhores Membros da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. Glauco Lini Perpétuo

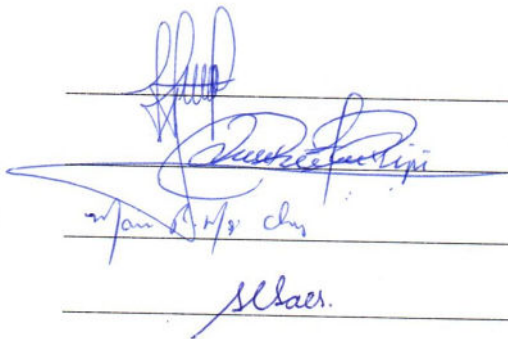
Prof. Dr. Angelo Fávaro Pipi

Prof.ª Dr.ª Márcia Rodrigues de Moraes Chaves

Presidente da Banca e Orientadora

Prof.ª Dr.ª Sandra de Oliveira Saes

Pró-Reitora de Pesquisa e Pós-Graduação



Dedico este trabalho a minha família por proporcionar minha excelente formação, por toda compreensão e apoio aos meus estudos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela minha vida, minha força de vontade e pela oportunidade concedida de aprendizado constante.

Aos meus familiares, por todo o apoio, incentivo e por me fornecerem condições para o estudo dedicado em uma Universidade tão bem renomada.

Particularmente aos meus avós, que sempre estiveram ao meu lado em todos os dias me encorajando a continuar perante as dificuldades encontradas. Agradeço por me segurarem em todos esses momentos e me reerguerem me mostrando o caminho para o sucesso.

Em especial a minha orientadora Profa. Dr.^a Márcia Chaves, pela total competência durante todo o período de estudo, me fornecendo capacitação completa para a realização de cada passo deste trabalho. Além disso, pela amizade, compreensão e companheirismo desde a minha graduação.

Aos colegas de trabalho da indústria analisada, por acreditarem na importância deste estudo, me proporcionando o apoio necessário para a execução das tarefas essenciais.

Agradeço aos meus amigos pelas risadas e momentos de descontração quando precisei, pelo incentivo e por acreditarem na minha capacidade.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma estiveram presentes para a realização de mais uma etapa da minha vida.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.” (Arthur Schopenhauer).

RESUMO

O rápido desenvolvimento do setor industrial é motivo de preocupação quando relacionado ao uso da água e descarte de efluentes. Em face à atual crise hídrica e às mudanças climáticas, há uma grande responsabilidade por parte das indústrias para o tratamento eficiente e reutilização do efluente. As indústrias do setor metal-mecânico são responsáveis por uma grande quantidade de efluentes gerados, com potencial poluidor ao meio ambiente devido à presença de metais tóxicos. Além de ser fundamental o devido tratamento, o reuso é essencial por preservar os recursos ambientais diminuindo o consumo de água dos processos de fabricação. Apesar da existência de técnicas e equipamentos avançados de tratamento de efluentes, existe uma resistência empresarial, na sua utilização, baseada no custo econômico, fator de desestímulo da prática de reuso. Isto limita as opções de tratamento às técnicas mais comuns, sendo imperativo o aperfeiçoamento dos processos de tratamento existentes nas unidades industriais. Dessa forma, este trabalho teve como objetivo estudar a viabilidade técnica e econômica da reutilização de efluentes em uma indústria do setor metal-mecânico. Foi possível identificar equívocos no processo de tratamento e na dosagem de produtos químicos, o que impossibilitava a reutilização do efluente final. O aperfeiçoamento foi realizado através da identificação da composição química do efluente e testes em escala laboratorial e industrial. Com a nova metodologia proposta, foi constatada a redução de 50,96% nos custos com o processo de tratamento de efluentes sem a necessidade de novos investimentos. Também foram constatadas melhorias na condição de trabalho do operador, uma vez que o tratamento se dá de forma mais rápida e eficiente. A partir das intervenções para o aperfeiçoamento do processo, os parâmetros de qualidade do efluente tratado atingiram os padrões para reuso em descargas sanitárias e lavagens de pisos. Dessa forma, este trabalho promoveu ganhos ambientais, sociais e econômicos para a indústria e a sociedade envolvida.

Palavras chave: Efluentes Industriais. Economia Ambiental. Tratamento de Efluentes. Controle de Poluição. Meio ambiente.

ABSTRACT

The fast development of the industrial sector is a concern when related to the water usage and wastewater disposal. Facing the current water crisis and the climate change, there is great concern on the part of industries for the efficient treatment and reuse of effluent. The metal-mechanical sector industries are responsible for a great amount of generated effluents, with potential to pollute the environment due to the presence of toxic metals. Besides the appropriate treatment being fundamental, reuse is essential because it preserves the environmental resources, diminishing the water consumption of the manufacturing processes. Despite the existence of advanced effluent treatment techniques and equipment, there is a large corporate resistance in its utilization, based on the economic cost, discouraging factor of the reuse practice, hence limiting the treatment options to the most common techniques, making the perfecting of the existing treatment processes in the industrial unit is imperative. This work aimed to study the technical and economic feasibility of effluent reuse in a metal-mechanical sector industry. It was possible to identify mistakes in the treatment process and in the dosage of chemical products, what precluded reuse of the final effluent. The perfecting was realized through identification of the chemical composition of the effluent and tests in laboratory and industrial scale. With the new proposed methodology, reduction of 50.96% was recognized in the costs of the effluent treatment cost without the need of new investments. Enhancements were also found in the operator's working condition, as the treatment is provided in a faster and more efficient way. From the interventions to improve the process, the quality parameters of the treated effluent reached the standards for reuse in sanitary discharges and floor washes. Therefore, this work promoted environmental, social and economic gains for the industry and society involved.

Keywords: Industrial Effluents. Environmental Economics. Wastewater Treatment. Pollution Control. Environment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição de água no planeta.....	14
Figura 2 – Distribuição do consumo de água no planeta.....	15
Figura 3 – Ação do polímero aniônico.....	27
Figura 4 – Principais tipos de reuso de efluentes.....	28
Figura 5 – Processo de tratamento de efluentes: condições originais da indústria.....	39
Figura 6 – Unidade de tratamento de efluentes em estudo.....	41
Figura 7 – Determinação das condições ideais de floculação e sedimentação em Jar Test.....	44
Figura 8 – Resultados das análises de pH.....	48
Figura 9 – Resultados das análises de Turbidez.....	49
Figura 10 – Resultados das análises de Dureza.....	50
Figura 11 – Resultados das análises de Alcalinidade.....	51
Figura 12 – Resultados das análises de Condutividade.....	52
Figura 13 – Resultados das análises de Sólidos Totais.....	53
Figura 14 – Resultados das análises de Cloretos.....	54
Figura 15 – Processo de tratamento de efluentes otimizado.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Benefícios da reutilização de efluentes industriais.....	29
Tabela 2 – Características do efluente tratado nas condições originais da indústria.....	42
Tabela 3 – Resultados do Jar Test sem a correção do pH.....	44
Tabela 4 – Resultados do Jar Test utilizando as condições originais da indústria e as primeiras sugestões para a melhoria do processo de tratamento do efluente.....	45
Tabela 5 – Resultados do Jar Test com NaOH para a neutralização do pH.....	46
Tabela 6 – Características físicas e químicas do efluente bruto e após diferentes tratamentos, no mês de dezembro de 2017.....	55
Tabela 7 – Metodologias de tratamento de efluentes.....	58
Tabela 8 – Valores de compra de produtos químicos.....	59
Tabela 9 – Custos fixos do processo de tratamento de efluentes industriais.....	59
Tabela 10 – Custo de reagentes utilizados por litro de efluente tratado.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NBR	Norma Brasileira
NPC	Normas e Procedimentos de Contabilidade
OMS	Organização Mundial da Saúde
PAC	Policloreto de Alumínio
pH	Potencial Hidrogeniônico
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS

μm	micrômetro
CaCO_3	carbonato de cálcio
H^+	íon hidrogênio
L/h	litro por hora
m^3/h	metro cúbico por hora
mg/L	miligrama por litro
mL/L	mililitro por litro
mol/L	mol por litro
NMP	número mais provável
NTU	unidades de turbidez
$^{\circ}\text{C}$	grau Celsius
$\mu\text{S}/\text{cm}$	microsiemens por centímetro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	18
3 ASPECTOS TEÓRICOS	19
3.1 EFLUENTES INDUSTRIAIS.....	19
3.2 MÉTODOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS.....	22
3.2.1 Coagulação e Floculação	23
3.3 REUSO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS.....	27
3.4 LEGISLAÇÃO.....	30
3.5 VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA.....	31
4 ESTUDO DE CASO	33
5 METODOLOGIA	34
5.1 AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DO EFLUENTE.....	34
5.2 AVALIAÇÃO TÉCNICA DA UNIDADE DE TRATAMENTO DE EFLUENTES.....	35
5.3 IDENTIFICAÇÃO DAS AÇÕES DE MELHORIAS NO PROCESSO.....	35
5.4 APERFEIÇOAMENTO DO PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES.....	35
5.5 IMPLEMENTAÇÃO DA NOVA CONFIGURAÇÃO DO PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES.....	36
5.6 ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROCESSO DE REUSO DE EFLUENTES.....	36
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38

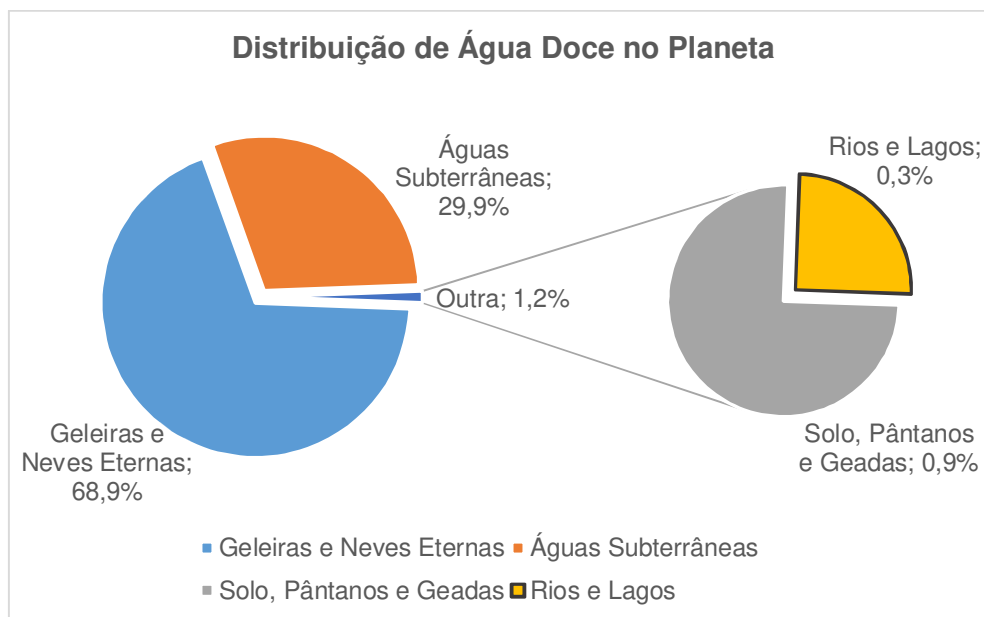
6.1 AVALIAÇÃO DO PROCESSO ORIGINAL DE TRATAMENTO DE EFLUENTES.....	38
6.2 IDENTIFICAÇÃO DAS AÇÕES DE MELHORIAS NO PROCESSO.....	42
6.3 APERFEIÇOAMENTO DO PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES EM ESCALA LABORATORIAL.....	43
6.4 IMPLEMENTAÇÃO DA NOVA CONDIÇÃO DE PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES EM ESCALA INDUSTRIAL.....	54
6.5 ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA-ECONÔMICA DO PROCESSO DE REUSO DE EFLUENTES.....	58
7 PONTOS CRÍTICOS DO TRABALHO.....	62
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	64
REFERÊNCIAS.....	65

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a água, recurso essencial para qualquer fonte de vida, tem sido utilizada e dispensada de forma inadequada por muitas indústrias. É comum se deparar com empresas que desperdiçam seus efluentes ao invés de tratá-los e reutilizá-los visando melhorias econômicas e ambientais.

Apesar de abundante, segundo Brito (1), a água doce corresponde a apenas 2,5% de toda a água do mundo. Dessa pequena parcela 68,9% está na forma de geleiras e calotas polares, 29,9% estão presentes como água subterrânea e 0,9% como umidade de solos e pântanos, impossibilitando o consumo humano (Figura 1). Assim sendo, todas as necessidades do homem e dos ecossistemas dependem de 0,3% de água doce disponível no planeta, ou seja, de fácil acesso sem que sejam necessários grandes investimentos ou tratamentos para sua utilização comum.

Figura 1: Distribuição de água no planeta.



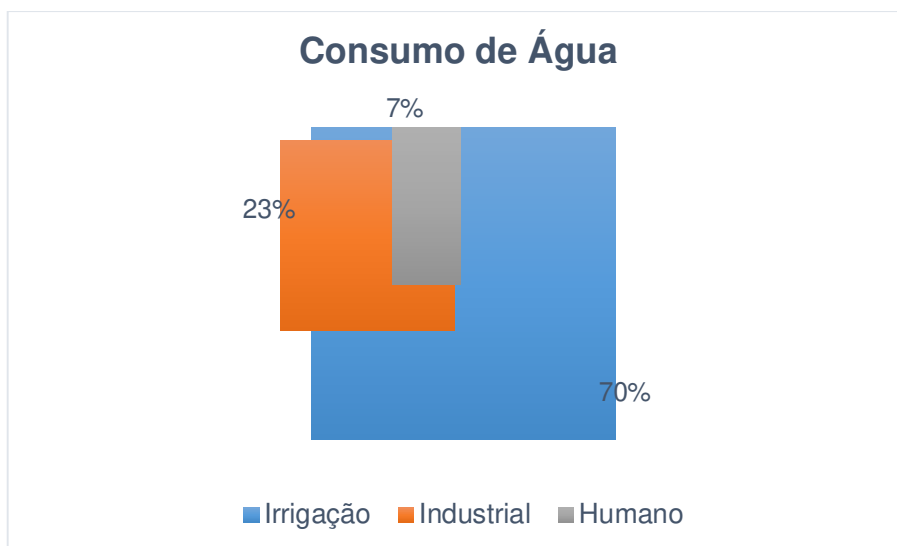
Fonte: Elaborada pela autora

O Brasil pode ser considerado como um país privilegiado quanto ao volume de recursos hídricos disponíveis, já que possui cerca de 13,7% de toda a água doce do mundo. Por outro lado, o país registra elevado desperdício, podendo chegar até 60% de perda da água tratada para consumo durante a sua distribuição, condições de conservação e desperdício humano causado pela não conscientização e má utilização desse recurso (2).

Segundo Braga e Júnior (3), o constante crescimento populacional em um espaço curto de tempo, seguido pelas mudanças climáticas vem favorecendo o aumento das necessidades que requerem o uso de recursos hídricos. “Embora a água seja um recurso renovável, ela tende a se contaminar em função do seu uso indiscriminado comprometendo a sua quantidade e qualidade disponível para consumo” (3).

Após o setor agrícola, o setor industrial é um dos maiores usuários de água (Figura 2), consumindo cerca de 5% a 10% das retiradas de águas globais (4). Isto ocorre porque este setor necessita de água em grandes quantidades e em diversas atividades, desde a incorporação ao produto até a lavagens de materiais, equipamentos, instalações, geração de vapor e sistemas de refrigeração.

Figura 2: Distribuição do consumo de água no planeta



Fonte: Elaborada pela autora

Dependendo do ramo industrial, as águas resultantes dos processos de produção, chamadas de efluentes industriais, podem conter além de impurezas, substâncias tóxicas, como por exemplo os metais pesados que são de grande risco à saúde.

No setor metal-mecânico, o uso de água nos processos de produção industrial resulta em efluentes contendo metais tóxicos que, ao serem lançados nos corpos hídricos e solos sem o devido tratamento, comprometem a qualidade do ambiente (5). A diversidade e variedade da composição dos efluentes desse ramo industrial, por possuírem altas concentrações de óleos e elementos metálicos

dissolvidos, são obstáculos para o seu tratamento adequado (6). Assim, coloca esse setor como um dos grandes responsáveis por despejos impactantes, já que possui grande quantidade de efluente para gerenciar de forma a não comprometer o meio ambiente e a sociedade.

Uma das formas de minimizar e controlar esse impacto se dá através do tratamento eficiente, que deve ser projetado de acordo com as características do efluente. A escolha da metodologia de tratamento a ser utilizada, depende da qualidade do efluente final almejado e dos compostos que se deseja remover.

Além da eficiência do tratamento de efluentes da planta industrial, é imprescindível o reuso do efluente tratado para prevenção ambiental. Ao discutir o tratamento para a reutilização, o objetivo principal é alcançar a qualidade que seja apropriada para o uso pretendido e que proteja a saúde humana e o meio ambiente. Os objetivos secundários estão diretamente ligados à aplicação final, e podem incluir objetivos estéticos (por exemplo, tratamento adicional para a cor ou a redução de odores) ou requisitos específicos de usuários (por exemplo, redução de concentração de sal ou reutilização industrial (7).

O reuso de efluentes é visto hoje como algo essencial para atender toda a demanda urbana e industrial crescente e preservar recursos finitos do meio ambiente. Traz inúmeros benefícios, entre eles: a melhoria da produção agrícola, redução do consumo de energia associada à produção, prevenção de escassez de água, proteção de recursos ambientais, conscientização ambiental, entre outros (7). Além disso, conservar, reciclar e reutilizar efluentes é uma alternativa de reduzir custos operacionais da empresa (8). “É necessário considerar medidas que propiciem um melhor aproveitamento das fontes disponíveis de água, as quais podem ser obtidas através da otimização do uso (eliminando perdas) e por meio de programas de conscientização” (9).

De um modo geral, as indústrias possuem um planejamento para que o tratamento de efluentes seja eficiente. Porém, muitas vezes, a questão ambiental é deixada em segundo plano devido às dificuldades econômicas que envolvem os investimentos necessários para o adequado tratamento.

Apesar da existência de técnicas avançadas para o tratamento eficiente de efluentes industriais, é observado na prática que parte significativa das empresas, abrangendo até mesmo as de grande porte e multinacionais, investem somente o mínimo necessário para estarem dentro dos padrões de qualidade determinados

pelos órgãos ambientais. Mesmo que a modernização resulte em maior conforto, segurança e agregue o conceito de sustentabilidade, o fator econômico é determinante. A recomendação gerencial é de se fazer o máximo, utilizando o mínimo de recursos financeiros, ou seja, aperfeiçoar o processo sem gastos adicionais.

Dessa forma, este trabalho visa estudar a viabilidade técnica e econômica do processo de tratamento e reuso de efluentes de uma indústria metal-mecânica, com o intuito de aperfeiçoar o tratamento de efluentes com o menor custo associado. Nesse contexto, o estudo proposto se torna essencial, uma vez que discute as dificuldades encontradas dentro das indústrias por profissionais da área acadêmica na implantação, controle e aperfeiçoamento de técnicas ideais para tratamento de efluentes. Para isso, foram necessários o estudo e a adequação do modelo da planta de tratamento industrial existente, sem a possibilidade de novos investimentos, e a redução dos custos já inseridos no processo, para que os objetivos da indústria fossem alcançados de forma viável.

2 OBJETIVOS

Este estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica e econômica do reuso de efluentes de indústria metal-mecânica. Para atingir esse objetivo, foram realizadas as seguintes etapas:

- a) Estudo preliminar e adequação do processo de tratamento de efluentes existente para atingir os parâmetros de qualidade exigidos para reuso;
- b) Avaliação técnica do reuso de efluentes industriais obtido ao final do tratamento, por meio do estabelecimento de corrente de água de reuso em sanitários e lavagem de pátios;
- c) Avaliação da viabilidade econômica do processo de reuso do efluente tratado, disponibilizado como água de reuso para lavagem de pátios e uso em sanitários.

3 ASPECTOS TEÓRICOS

3.1 EFLUENTES INDUSTRIAIS

Efluentes industriais são resíduos líquidos provenientes de atividades industriais os quais podem comprometer a biodiversidade do planeta quando em contato com o meio ambiente sem o devido tratamento prévio.

Uma grande variedade de processos e atividades industriais exigem a utilização de água, o que ocasiona a geração de consideráveis quantidades de efluentes industriais podendo poluir e contaminar o meio em que são lançados. “Tais problemas, provenientes especialmente da indústria química, geram um aumento das exigências ambientais, impondo a necessidade de otimização dos próprios processos industriais e o eventual descarte dos resíduos gerados” (10).

A Norma Regulamentadora NBR 9.800 de 1987 - Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário - classifica como efluentes de processo industrial:

Despejos líquidos provenientes das áreas de processamento industrial, incluindo os originados nos processos de produção, as águas de lavagem de operação de limpeza e outras fontes, que comprovadamente apresentem poluição por produtos utilizados ou produzidos no estabelecimento industrial. (11).

É de responsabilidade da indústria analisar, caracterizar e tratar de forma adequada os efluentes produzidos nos processos de fabricação, de forma a evitar lançamentos fora dos padrões previstos e reduzir impactos ambientais. Dessa forma, cabe a indústria definir o processo de tratamento ideal a ser implantado para que o efluente final possa ser descartado ou reutilizado de acordo com as legislações vigentes.

Os parâmetros de qualidade para a caracterização do efluente podem ser divididos em físicos (sólidos suspensos, turbidez, óleos e graxas, etc.), químicos (pH, alcalinidade, dureza, cloretos, etc.) e biológicos (vírus, bactérias, protozoários, etc.).

O efluente metal-mecânico possui em sua composição elevada quantidade de óleos e graxas provenientes de processos de lavagem de máquinas e componentes. Dessa forma, são analisados basicamente os parâmetros físicos e químicos para caracterização e escolha do método de tratamento de apropriado. Sendo assim,

para esse trabalho, serão analisados os parâmetros: dureza, alcalinidade, cloretos, sólidos totais, pH, turbidez, condutividade elétrica e óleos e graxas.

De acordo com o Manual de Controle de Qualidade da Água para Técnicos que Trabalham em Estações de Tratamento de Água (ETAs) da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) (12), bem como no Manual de Procedimentos de Amostragem e Análise Físico-Química da Água descrita por Parron, Muniz e Pereira (2011) (13), esses parâmetros podem ser definidos como:

Dureza: indica a concentração de cátions multivalentes em solução de água. Pode ser classificada como dureza carbonato ou dureza não carbonato, dependendo do ânion com o qual ela está associada. Águas de elevada dureza reduzem a formação de espuma, o que implica em um maior consumo de sabões e xampus, além de provocar incrustações nas tubulações de água quente, caldeiras e aquecedores, devido à precipitação dos cátions em altas temperaturas. É expressa em mg/L de carbonato de cálcio (CaCO_3) (12,13). Quanto maior a quantidade de policloreto de alumínio (PAC) presente no efluente após o tratamento, maior será a dureza do efluente tratado.

Alcalinidade Total: constitui-se em uma medição da capacidade da água de neutralizar os ácidos, servindo, assim, para expressar a capacidade de tamponamento da água, isto é, sua condição de resistir as mudanças do pH. É expressa por mg/L de CaCO_3 (12,13). Quanto maior a quantidade de policloreto de alumínio (PAC) presente no efluente após o tratamento, mais alcalino será o efluente tratado.

Cloretos: expresso em mg/L, provêm da dissolução de minerais, da intrusão de águas do mar, ou dos esgotos domésticos e industriais. Em altas concentrações, conferem sabor salgado à água ou propriedades laxativas (12,13). Quanto maior a quantidade de policloreto de alumínio (PAC) inserida no processo, maior será a concentração de cloretos no efluente final.

Sólidos Totais: podem ser divididos em sólidos em suspensão definidos como as partículas passíveis de retenção por processos de filtração e sólidos dissolvidos constituídos por partículas de diâmetro inferior a 10^{-3} μm e que permanecem em solução mesmo após a filtração. É expresso em mg/L (12,13). Quanto maior a eficiência do processo de coagulação/floculação, sedimentação e filtração, maior será a remoção de partículas do efluente e menor será a quantidade de sólidos totais no efluente tratado.

Potencial Hidrogênio (pH): representa a intensidade das condições ácidas ou alcalinas do meio líquido, por meio da medição da presença de íons hidrogênio (H^+). Para pH inferior a 7: condições ácidas; superior a 7: condições alcalinas. baixos valores de pH podem contribuir para a corrosividade e agressividade da água, enquanto que valores elevados aumentam a possibilidade de incrustações. Para a adequada manutenção da vida aquática, o pH deve situar-se, geralmente, na faixa de 6 a 9 (12,13).

Turbidez: medição do grau de interferência à passagem da luz através do líquido. A alteração à penetração da luz na água decorre na suspensão, sendo expressa por meio de unidades de turbidez (NTU), também denominadas unidades de Jackson ou nefelométricas. É provocada por partículas em suspensão, sendo, portanto, reduzida por sedimentação (12,13). Quanto maior a eficiência do processo de coagulação/floculação, sedimentação e filtração, maior será a remoção de partículas do efluente e menor será a turbidez o efluente tratado.

Condutividade Elétrica: indica a capacidade da água em transmitir a corrente elétrica em função da presença de substâncias iônicas, que se dissociam em ânions e cátions (12,13). Quanto maior a concentração iônica da solução, maior será a capacidade em conduzir corrente elétrica. É expressa em $\mu S/cm$.

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO): indicam a presença de matéria orgânica na água, responsável pela redução da concentração de oxigênio dissolvido. Enquanto a DBO refere-se exclusivamente à matéria orgânica mineralizada por atividade dos micro-organismos e é referida convencionalmente por 5 dias à uma temperatura de $20^{\circ}C$, a DQO engloba, também, a estabilização da matéria orgânica ocorrida por processos químicos. Esses parâmetros são expressos em mg/L (12,13). Neste trabalho, a DQO e DBO dos efluentes bruto e tratado foram avaliadas através análises realizadas pelo laboratório independente, credenciado pela indústria em estudo.

Óleos e Graxas: podem causar a obstrução em rede coletora de esgotos, alterar a qualidade e a potabilidade da água, interferir em questões estéticas e quando acumuladas em superfícies de água, impedir a troca gasosa entre a mesma e a atmosfera. É expresso em mg/L (12,13). Foi possível analisar esse parâmetro apenas no laboratório independente, credenciado pela indústria em análise, devido a não disponibilidade de equipamentos para tais análises no laboratório da universidade.

3.2 MÉTODOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS

O tratamento ideal para cada tipo de efluente é definido de acordo com a carga poluidora e a presença de contaminantes para remoção. De acordo com Moura et. al (14), as etapas do tratamento de efluentes resumem-se em:

- i) Tratamento preliminar: utilizado para a remoção de sólidos sedimentáveis grosseiros e materiais insolúveis, unicamente através de processos físicos.
- ii) Tratamento primário: caracterizado basicamente por processos físicos ou físico-químicos, onde o objetivo principal é a redução de sólidos em suspensão.
- iii) Tratamento secundário: se dá através de processos biológicos ou químicos para a redução de sólidos dissolvidos e sólidos suspensos muito pequenos.
- iv) Tratamento terciário: processos químicos, físicos ou biológicos avançados com a finalidade de reduzir bactérias patogênicas e remover a matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e outros elementos que ainda persistem nas etapas anteriores.

Os processos físicos podem ser considerados como um conjunto de operações unitárias em que atuam forças físicas promovendo a separação de fases, de modo que cada uma dessas fases segregadas sofra tratamentos específicos ou complementares (15). São processos que removem sólidos em suspensão, sejam sedimentáveis ou flutuantes, através da ação natural da gravidade. Dentre eles, destacam-se: separação de fases (sedimentação, flotação, centrifugação); transição de fases (destilação, evaporação e cristalização); transferência de fases (adsorção e extração) e separação molecular (microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa) (16).

Os processos químicos são aqueles que removem os poluentes ou os preparam para os processos posteriores, através da introdução de produtos químicos gerando reações. São processos que removem sólidos em suspensão e coloidais, nutrientes e metais pesados, além de modificar, por reação, a estrutura de compostos orgânicos persistentes, tornando-os acessíveis à degradação biológica

(15). São exemplos: clarificação química, coagulação, precipitação química, ajuste de pH, floculação, oxirredução, entre outros (16).

Os processos biológicos utilizam a matéria orgânica dissolvida ou em suspensão como substrato para microrganismos, tais como bactérias, fungos e protozoários, que a transformam em gases, água e novos microrganismos. Esse processo é utilizado para a redução do conteúdo orgânico biodegradável de um despejo (15). Pode-se citar: processos aeróbicos (lodos ativados, lagoas aeradas e lagoas de estabilização) e processos anaeróbicos (reatores anaeróbicos de fluxo ascendente) (16).

Em geral, “os sistemas de tratamentos de efluentes industriais são constituídos de processos físico-químicos seguidos de tratamentos biológicos. Essa integração é utilizada para aperfeiçoar o sistema de tratamento” (6).

No caso da indústria metal-mecânica utilizam-se os processos físico-químicos pela elevada concentração de metais e óleos e graxas presentes no efluente, com destaque para a precipitação química (formação de sólidos a partir de uma reação química: coagulação e floculação) por ser uma técnica eficiente na remoção de metais solúveis, de fácil execução e de baixo custo (6), seguida da sedimentação e filtração.

3.2.1 Coagulação e Floculação

Os processos físico-químicos aplicados no tratamento de efluentes industriais, com destaque para a indústria metal-mecânica, são baseados na desestabilização dos coloides por coagulação seguidos da floculação, separação de fases por sedimentação ou flotação e filtração.

O termo coagulação inclui todas as reações e mecanismos envolvidos na desestabilização química das partículas e na formação de grandes partículas. O termo floculação é utilizado para descrever o processo pelo qual as partículas desestabilizadas, ou as partículas formadas como resultado da desestabilização, são induzidas a juntar-se formando assim grandes aglomerados que serão removidos através da sedimentação e filtração (17).

Os principais mecanismos do processo de coagulação são: compressão de camada da dupla camada elétrica, adsorção e neutralização de cargas, varredura e

adsorção e formação de pontes. Para entender tais mecanismos, se faz necessário a definição de alguns conceitos.

As partículas coloidais e suspensas apresentam carga predominantemente negativa devido à dissociação de grupos funcionais como carboxilas ou hidroxilas presentes na superfície (18).

Quando essas partículas são dispersas na água, íons de carga oposta se aproximam da sua superfície formando uma camada de íons positivos e negativos chamada de camada compacta. Quando íons negativos se aproximam da camada compacta, atraem consigo outros íons positivos, formando a camada difusa. O conjunto dessas camadas, compacta e difusa, é chamado de dupla camada elétrica (18).

As partículas em suspensão se mantêm afastadas por conta da atuação da camada difusa. A presença de um coloide na água implica na formação de um potencial elétrico (potencial de Nernst) que diminui com a distância a partir da superfície do mesmo (18).

Na região de fronteira das camadas compacta e difusa o potencial elétrico é chamado de potencial zeta, que consiste, então, na diferença de potencial entre a superfície da camada compacta e o limite da camada difusa. As principais metas para que ocorra a coagulação são reduzir o potencial zeta a valores bastante baixos, de modo que não haja repulsão entre as partículas e o fornecimento de energia ao meio de modo que haja agitação e choque entre as partículas desestabilizadas (18).

Neste contexto, os mecanismos podem ser descritos como:

- Compressão da dupla camada elétrica: promove a desestabilização das partículas coloidais por meio da adição de íons de carga contrária. Dessa forma, as forças de repulsão entre os coloides diminuem de tal modo que as forças atrativas de Van der Waals se tornem dominantes (17,19).
- Adsorção e neutralização de cargas: os íons ou polímeros carregados são usados para desestabilizar partículas a partir da adsorção das espécies hidrolisadas, que tem carga positiva, à superfície das mesmas (17,19).

- Varredura: o coagulante de metal em solução aquosa pode formar precipitados de hidróxido metálico, como $\text{Al}(\text{OH})_3$ ou $\text{Fe}(\text{OH})_3$, que adsorvem as partículas coloidais e envolvem as dissolvidas. Os flocos formados por meio desse mecanismo costumam ser maiores, sedimentando-se com maior facilidade. Isso geralmente ocorre quando a concentração de contaminação é baixa e o pH varia entre 6 e 8 (18,19).
- Adsorção e formação de pontes: a coagulação é obtida por meio da ação de polímeros orgânicos naturais ou sintéticos (catiônico, aniônico ou não aniônico), que podem atuar como coagulante por apresentarem longas cadeias, com vários sítios ionizáveis ao longo dessas (18). Esse é o mecanismo pelo qual a coagulação/floculação ocorre no tratamento de efluentes em estudo.

Apesar de distintas, a coagulação e a floculação são duas etapas interdependentes entre si e, por esse motivo, podem ser denominadas como uma única etapa: coagulação/flotação. O sistema de mistura rápida é uma parte importante na coagulação. Seu propósito é dispersar rápida e uniformemente o coagulante por todo o meio líquido. Já na floculação, procura-se o maior número possível de encontros e a formação de agregados maiores e mais densos necessitando de condições de agitação lenta (20).

Coagulante é o produto químico inserido no processo para desestabilizar as partículas coloidais e floculante é o produto químico, geralmente orgânico, inserido no processo para intensificar a floculação (17).

O processo de coagulação se inicia assim que o coagulante é adicionado no processo de tratamento de efluentes e dura fração de segundos. Os coagulantes mais usados são os sais de metais à base de alumínio ou ferro, tais como sulfato de alumínio, cloreto férrico, sulfato férrico, sulfato ferroso e hidroxicloreto (policloreto) de alumínio (20). Quando em solução aquosa, os íons metálicos de ferro e de alumínio, carregados positivamente, formam ligações com os átomos de oxigênio liberando os átomos de hidrogênio e reduzindo o pH da suspensão (hidrólise) (18).

O policloreto de alumínio (PAC), na maioria dos casos, revela-se como coagulante superior ao sulfato de alumínio, uma vez que para a eliminação de substâncias coloidais, sua eficácia, em média, é 2,5 vezes maior (20).

Devido ao seu estado pré-polimerizado e característica de sua estrutura molecular condensada com pontes de oxigênio entre os átomos de alumínio, o policloreto de alumínio apresenta vantagens na floculação (20).

Dessa forma, é possível trabalhar com esse coagulante em larga faixa de pH, promovendo a formação de flocos grandes, rígidos e pesados (elevando a velocidade de decantação) e a remoção eficiente da carga orgânica/inorgânica do efluente.

A eficiência do processo de coagulação está diretamente relacionada com o pH do meio, dessa forma, a dosagem não ideal desse parâmetro prejudica todo o tratamento de efluentes. Um outro fator que pode afetar o processo de coagulação é o tamanho da partícula. Quanto menor o tamanho da partícula, maior a dose necessária do coagulante para a coagulação (21). Destaca-se que esse aumento não é linear, já que pequenas diminuições no tamanho de partícula podem resultar em aumentos dramáticos nas exigências de coagulantes, aumentando assim custos inseridos no processo. Por outro lado, íons dissolvidos de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+2} e Fe^{+3} no efluente, ajudam a neutralizar as cargas da superfície e podem reduzir os requisitos do coagulante (21).

A etapa de floculação ocorre imediatamente após a coagulação e se dá através da neutralização da acidez do coagulante e a alcalinidade da água, que por atração eletrostática entre as cargas positivas resultantes da ionização do coagulante e as cargas negativas das partículas, formam os flocos (20).

A floculação é favorecida em condições de agitação lenta do processo, aumentando o contato entre as partículas e formando os flocos que são suscetíveis de serem removidos por decantação ou flotação. Dessa forma, nesta etapa tem-se a remoção de cor e turbidez, carga orgânica, entre outros (22).

O uso de polímeros como co-coagulantes (usados como auxiliares de floculação) apresenta vantagens como: formação de flocos maiores e mais resistentes, melhoria na qualidade do efluente tratado, redução no consumo do coagulante primário e redução do volume de lodo (18).

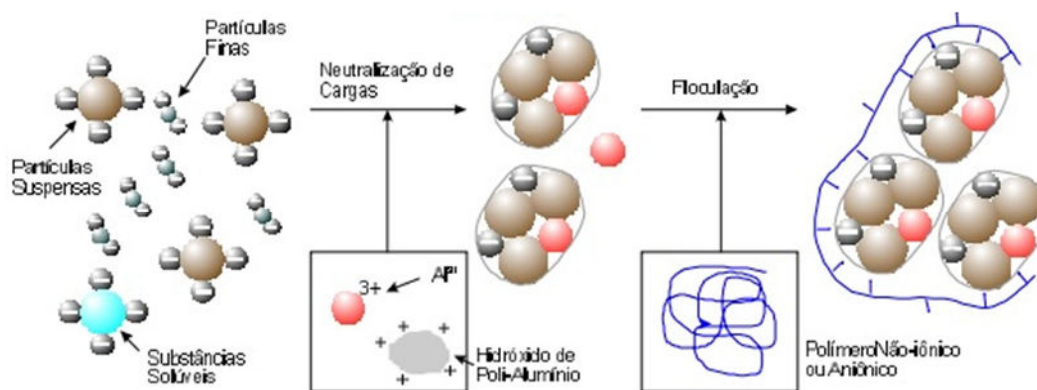
Há três tipos de polímeros que podem ser usados no tratamento de efluentes: os catiônicos, os aniônicos e os não-aniônicos.

Quando em meio aquoso, os polímeros aniônicos, apresentam sítios negativos ao longo da cadeia, os catiônicos apresentam sítios positivos e os não-aniônicos não apresentam sítios ionizáveis (18). O mecanismo deste processo está

relacionado à densidade das cargas nos polímeros em relação à densidade das cargas nas superfícies das partículas (23).

A Figura 3 demonstra a ação do polímero aniônico utilizado neste estudo como co-coagulante do processo de tratamento, de acordo com a fabricante do produto. O processo de coagulação se dá através da desestabilização de partículas pela adição do coagulante (policloreto de alumínio), o que possibilita a formação de partículas maiores. Com a adição de um polímero (aniônico), essas partículas desestabilizadas são induzidas a se juntar, formando aglomerados maiores e pesados que serão removidos pelos processos de sedimentação e filtração.

Figura 3 – Ação do polímero aniônico



Fonte: (24).

O uso de polímeros como auxiliares de floculação proporciona menores dosagens de coagulante, menor volume de lodo, redução de custos de até 25%, entre outras vantagens. Além disso, o fato de utilizar menos coagulante reduz a presença de alumínio no efluente tratado e no lodo a ser disposto posteriormente (25). Diante da grande variabilidade de polímeros disponíveis, são importantes os estudos em escala laboratorial para guiar o processo de tomada de decisão sobre qual espécie de polímero deve ser utilizada (26–29).

As condições ótimas para coagulação e floculação podem ser determinadas através de testes de jarros (Jar Test).

3.3 REUSO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) (30), o reuso pode ser classificado em direto e indireto de acordo com sua finalidade:

Reuso indireto: ocorre quando a água já usada, uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente a jusante, de forma diluída. Trata-se da forma mais difundida onde a autodepuração do corpo de água é utilizada, muitas vezes sem controle, para degradar os poluentes descartados com o esgoto in natura;

Reuso direto: é o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável. Exige a concepção e implantação de tecnologias apropriadas de tratamento para adequação da qualidade do efluente à estação à qualidade definida pelo uso requerido.

De acordo com a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) (31), os tipos de reuso mais utilizados atualmente estão apresentados na Figura 4. Nota-se que a palavra “purificação” é identificada como a que o público mais facilmente entende e apoia.

Figura 4 – Principais tipos de reuso de efluentes



Fonte: (31)

O grande desenvolvimento urbano, o crescimento populacional, a demanda cada vez maior pela utilização de água em processos industriais e o uso agrícola torna o reuso de efluentes como alternativa imediata para prevenir graves danos ambientais e sociais. Para Souza et. al (32), “o setor empresarial está consciente de

que o reuso da água é uma forma não apenas de garantir crescimento sustentável para os negócios, mas é, antes disso, uma questão de sobrevivência”.

A utilização de efluentes é vista atualmente como uma alternativa para reduzir o consumo e o desperdício, já que restringe a quantidade de água retirada da natureza para processos industriais, contribuindo para a preservação dos recursos hídricos e prevenção da escassez (33). Além disso, o Brasil apresenta elevado custo para a utilização de água no setor industrial, principalmente em regiões metropolitanas, o que colabora para o incentivo na ampliação de estudos de reuso de efluentes (34).

Segundo Estender e Pinheiro (35), o reuso de efluentes industriais é indicado para aplicações em situações menos exigentes no quesito qualidade. Como exemplos, pode-se citar a lavagem de pisos e calçadas, uso em bacias sanitárias, irrigação de jardins, torres de resfriamento, dentre outros. Nesse caso, pode ser realizado através do aproveitamento dos efluentes da própria indústria ou pela utilização dos esgotos tratados procedentes das estações de tratamento das companhias de saneamento.

A Tabela 1 destaca a importância da reutilização cada vez maior de efluentes industriais.

Tabela 1 – Benefícios da reutilização de efluentes industriais

Ambientais	Sociais	Econômicos
Redução do lançamento de efluentes industriais em cursos d'água, possibilitando melhorar a qualidade das águas interiores das regiões mais industrializadas das grandes cidades.	Ampliação da oportunidade de negócios para as empresas fornecedoras de serviços e equipamentos, e em toda a cadeia produtiva.	Mudanças nos padrões de produção e consumo.
Redução da captação de águas superficiais e subterrâneas, possibilitando uma situação ecológica mais equilibrada.	Ampliação na geração de empregos diretos e indiretos.	Redução dos custos de produção; Aumento da competitividade do setor.
Aumento da disponibilidade	Melhoria da imagem do	Habilitação para receber

de água para usos mais exigentes, como abastecimento público, hospitalar, etc.	setor produtivo junto à sociedade, com reconhecimento de empresas socialmente responsáveis.	incentivos e coeficientes redutores dos fatores da cobrança pelo uso da água.
--	---	---

Fonte: (35)

Nota: Adaptada pela autora.

O reuso de efluentes industriais vem se demonstrando como ótima solução para questões não só ambientais, mas também com igual importância para as questões sociais e econômicas.

3.4 LEGISLAÇÃO

Além da escolha da metodologia de tratamento de efluentes ideal para cada tipo de atividade, é imprescindível que as legislações para descarte e reuso de efluentes industriais sejam atendidas. Os parâmetros encontrados nessas legislações variam de acordo com a localidade.

Em nível Federal, no Brasil, qualquer lançamento de efluentes no corpo receptor deverá observar a Resolução Nº 430 do CONAMA (2011), que dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores (36). Essa Resolução ainda determina que quando ocorrer a inexistência de legislação ou norma específica para o lançamento indireto do efluente no corpo receptor, deverá ser observado o que essa norma dispõe.

Em nível Estadual, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), no Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, especifica critérios e procedimentos para lançamento, emissão e recepção de esgotos e águas residuais, regulamentando a Lei nº 997, de 31 de maio de 1976. Esse decreto aborda, entre outros aspectos, a classificação de águas no Estado de São Paulo, com seus respectivos padrões de qualidade e emissão de efluentes (37). Para este estudo, vale ressaltar o Artigo 19A desse decreto já que especifica os critérios de lançamento de qualquer fonte poluidora onde houver sistema público de esgotos, em condições de atendimento.

No Brasil, a normativa para a reutilização de efluentes estabelece que se deve seguir os padrões referentes à NBR 13.969/97 “Tanques sépticos - Unidades

de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação”.

De acordo com esta norma:

O esgoto tratado deve ser reutilizado para fins que exigem qualidade de água não potável, mas sanitariamente segura, tais como irrigação dos jardins, lavagem dos pisos e dos veículos automotivos, na descarga dos vasos sanitários, na manutenção paisagística dos lagos e canais com água, na irrigação dos campos agrícolas e pastagens etc. (38).

A NBR 13.969/97 define classes de padrões para reuso em diferentes finalidades. Para este estudo, destaca-se a classe 2 e a classe 3.

- Classe 2: lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes: turbidez inferior a 5 NTU, coliforme fecal inferior a 500 NMP/100 mL, cloro residual superior a 0,5 mg/L. (38)

- Classe 3: reuso nas descargas dos vasos sanitários: turbidez inferior a 10 NTU, coliformes fecais inferiores a 500 NMP/100 mL. Normalmente, as águas de enxágue das máquinas de lavar roupas satisfazem a este padrão, sendo necessário apenas uma cloração. Para casos gerais, um tratamento aeróbio seguido de filtração e desinfecção satisfaz a este padrão. (38)

Dessa forma, para tal estudo vale ressaltar os padrões para reuso de efluentes:

- ✓ Lavagem de Pisos: Turbidez < 5 NTU; Cloro Residual > 0,5 mg/L
- ✓ Bacias Sanitárias: Turbidez < 10 NTU; Coliformes Fecais < 500 NMP/100 mL

Destaca-se que de acordo com a indústria e suas análises periódicas, o efluente em estudo não possui concentrações de coliformes fecais, dessa forma esse parâmetro foi descartado.

Considerando que na legislação brasileira têm-se como parâmetros apenas a turbidez, cloro residual e coliforme fecal para reuso, objetivo principal da indústria em estudo, é interessante avaliar também os parâmetros físico-químicos do efluente após o tratamento afim de que se obtenha qualidade, eliminando riscos de incrustação nas tubulações de transporte de reuso de efluentes até as bacias sanitárias a longo prazo. Além disso, é importante analisar tais parâmetros com base no reuso imediato que será aderido pela indústria na lavagem de pisos.

3.5 VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA

Viabilidade pode ser considerada um estudo prévio de um projeto para prever seu êxito ou fracasso. A viabilidade técnica é o estudo de uma proposta técnica específica implementada, disponibilidade dos recursos necessários para tal técnica e dos especialistas para executá-la. Já a viabilidade econômica é a avaliação dos custos e da eficiência financeira de algo implementado (39).

De um modo geral, neste estudo, a viabilidade técnica irá comprovar a eficácia do novo procedimento de tratamento proposto à indústria ou identificar que novos estudos precisam ser desenvolvidos. Já a viabilidade econômica demonstrará o quanto pode ser considerável, em termos financeiros, a aprovação do estudo proposto. Será possível avaliar a redução de custo de operação, compra de produtos químicos, mão de obra e tempo de trabalho para tratamento eficaz.

Para tal estudo, se faz essencial a definição dos termos de acordo com as Normas e Procedimentos de Contabilidade - NPC 2 (40) e NPC 14 (41):

Custo: é o preço pelo qual se obtém um bem, direito ou serviço. Por exemplo: matéria-prima, mão-de-obra.

Despesa: é o encargo necessário para comercializar os bens ou serviços, objetos da atividade, bem como para a manutenção da estrutura empresarial independentemente da sua frequência. Por exemplo: material de escritório, juros.

4 ESTUDO DE CASO

A indústria metal-mecânica em estudo é uma multinacional localizada no interior do Estado de São Paulo, na região de Bauru e possui em média 300 colaboradores.

Os efluentes dessa indústria são provenientes de processos de lavagem de máquinas e componentes contendo óleos e graxas de baixa densidade. Apesar de possuir um sistema de tratamento de efluentes adequado para atender às normas e legislações sobre descarte e tratamento de efluentes industriais, existe uma grande falta de controle, entendimento e monitoramento do tratamento de efluentes, deixando assim, em muitas vezes, o processo deficiente. Isso se deve ao fato de que com a grande crise financeira que o país enfrenta, não existe um colaborador da área ambiental ou química para a estação de tratamento de efluentes (ETE) ou até mesmo um colaborador com treinamento adequado para a compreensão de todo o processo. Atualmente, a empresa trabalha com um mecânico, da área de manutenção, que se dedica à ETE apenas nas horas vagas.

Sendo um dos seus pilares o respeito ao meio ambiente, existe um grande desejo, por parte da indústria, de adequar o processo de tratamento e reutilizar o efluente tratado em bacias sanitárias e na lavagem de pisos. Isso não é possível devido à elevada concentração de sal encontrada após o tratamento, não atingindo os padrões de reuso.

5 METODOLOGIA

O desenvolvimento desta pesquisa foi realizado como um estudo de caso em uma indústria metal-mecânica da região de Bauru.

Para que o reuso do efluente tratado seja possível, são previstas as ações, a saber:

- Estudo das características físicas e químicas do efluente a ser tratado;
- Avaliação técnica de todas as etapas do processo de tratamento de efluentes em operação;
- Identificação das ações de melhorias no processo, visando atender aos padrões de qualidade para reuso do efluente;
- Implementação das novas condições de processo de tratamento do efluente, visando o reuso;
- Estudo da viabilidade técnica e econômica do processo de reuso dos efluentes.

Para tal estudo, foi estabelecida uma parceria em pesquisa entre o Laboratório de Controle de Poluição da Universidade do Sagrado Coração (USC) e a empresa a ser estudada.

5.1 AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DO EFLUENTE

A avaliação das características físicas e químicas do efluente a ser tratado foi realizada a partir de análises dos parâmetros de qualidade, tais como: dureza, alcalinidade, cloretos, sólidos totais, pH, condutividade elétrica e turbidez.

A determinação destes parâmetros foi realizada de acordo com as metodologias descritas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (42) e na metodologia descrita no Instituto Adolfo Lutz (1985) (43). Os padrões de qualidade da água de reuso foram os descritos na NBR 13.969/97 (38).

A quantificação destes parâmetros foi realizada pela autora deste trabalho, utilizando a infraestrutura laboratorial da Universidade do Sagrado Coração (USC). Amostras do efluente bruto e tratado foram enviadas para ser analisadas em um laboratório independente credenciado, para a comparação entre os testes em escala de bancada e industrial.

As coletas de efluente foram feitas periodicamente na indústria, de acordo com as instruções descritas no Manual de Procedimentos de Amostragem e Análise Físico-química de Água (13). A coleta foi realizada em bombonas de cinco litros do efluente bruto e o transporte das amostras foram realizadas em no máximo 24 horas antecedentes das análises, sob refrigeração, em isopores contendo gelo.

5.2 AVALIAÇÃO TÉCNICA DA UNIDADE DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

A unidade de tratamento foi avaliada tecnicamente, quanto à presença, sequência e capacidade de processamento dos equipamentos de mistura e separação (misturadores, decantadores e filtros), dosagem de reagentes (na coagulação e na sedimentação), bem como os sistemas de controle de processo (pHmetro e dosadores eletrônicos ou manuais).

5.3 IDENTIFICAÇÃO DAS AÇÕES DE MELHORIAS NO PROCESSO

A partir da verificação da configuração da unidade de tratamento existente, foi realizada uma avaliação dos possíveis ajustes no processo de tratamento de efluentes, para que a qualidade final esteja dentro dos padrões de reuso. Para isto, foram utilizadas as informações disponíveis (arquivo da indústria) das características físico-químicas do efluente bruto e tratado (eficiência de processo), a configuração atual da unidade de tratamento e o volume de efluente a ser tratado.

5.4 APERFEIÇOAMENTO DO PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

A determinação das melhores condições de tratamento de efluentes para os padrões de reuso foi realizada a partir de testes de jarros (Jar Test) em escala laboratorial na universidade. As melhores condições obtidas foram avaliadas em escala industrial.

Este estudo é importante para a identificação da quantidade ideal de produtos químicos necessários para o tratamento eficiente, objetivando a redução do consumo desses produtos, principalmente do policloreto de alumínio que é o sal

utilizado durante o processo de tratamento, e a adequação dos parâmetros importantes às legislações de reuso de efluentes.

De acordo com a avaliação prévia da unidade, o principal processo de tratamento consiste na separação por coagulação/floculação e sedimentação. Desse modo, este processo foi avaliado utilizando o Jar Test do Laboratório de Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade do Sagrado Coração. Foram observados o efeito da concentração dos produtos químicos utilizados para a coagulação e floculação, bem como o ajuste de pH do meio e a turbidez após o tratamento, em relação aos parâmetros das legislações de reuso.

5.5 IMPLEMENTAÇÃO DA NOVA CONFIGURAÇÃO DO PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Após a identificação da melhor condição de coagulação/floculação e sedimentação em escala laboratorial e a determinação das ações de melhoria no processo de tratamento de efluentes, foi realizada a implementação das modificações e iniciado os testes em escala industrial. Para isto, a indústria fez uma pausa no tratamento do efluente para a limpeza e adequação das novas condições de operação. Foi realizada a análise da nova metodologia a partir do tratamento de efluentes em condições aperfeiçoadas, com o acompanhamento da eficiência do processo. Para a determinação do cumprimento dos parâmetros exigidos para o reuso de efluentes industriais, amostras antes e depois do tratamento foram coletadas e enviadas para análise em laboratório credenciado independente.

5.6 ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROCESSO DE REUSO DE EFLUENTES

A análise da viabilidade econômica do reuso de efluentes foi realizada, garantindo à indústria metal-mecânica subsídios para a implementação do reuso do efluente como água para lavagem de pátios e descarga em sanitários, sabendo que foi disponibilizado apenas o investimento para análises laboratoriais e possíveis trocas de reagentes utilizados no processo da indústria em estudo. Com relação ao aspecto técnico, foi dada preferência para o uso de equipamentos já existentes na

planta industrial e métodos de baixo custo, que promovam o tratamento de efluentes dentro dos padrões exigidos para o reuso.

Para o estudo foram considerados os custos fixos e variáveis do processo de tratamento de efluentes, tanto nas condições originais da indústria quanto na nova metodologia proposta. A partir dessa coleta de dados, foi avaliada a viabilidade técnico-econômica do projeto proposto, comprovando a sua eficácia.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da avaliação técnica e econômica deste estudo de caso são apresentados nesta seção. A primeira ação foi avaliar a eficiência da unidade de tratamento de efluentes, considerando as condições iniciais de processo. Em seguida, são apresentados os resultados do estudo em escalas de bancada e industrial realizado para o aperfeiçoamento do processo de tratamento de efluentes. Por fim, são apresentados os resultados da avaliação econômica para o tratamento e reuso dos efluentes industriais.

6.1 AVALIAÇÃO DO PROCESSO ORIGINAL DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

A natureza física, química e biológica do efluente direciona a escolha do processo de tratamento. A finalidade da unidade de tratamento industrial estudada é diminuir a carga poluidora do efluente que será enviado para a estação de tratamento de efluentes municipal.

Assim, o tratamento físico-químico dos efluentes da indústria metal-mecânica estudada é o indicado para atender aos padrões de qualidade exigidos para tal finalidade.

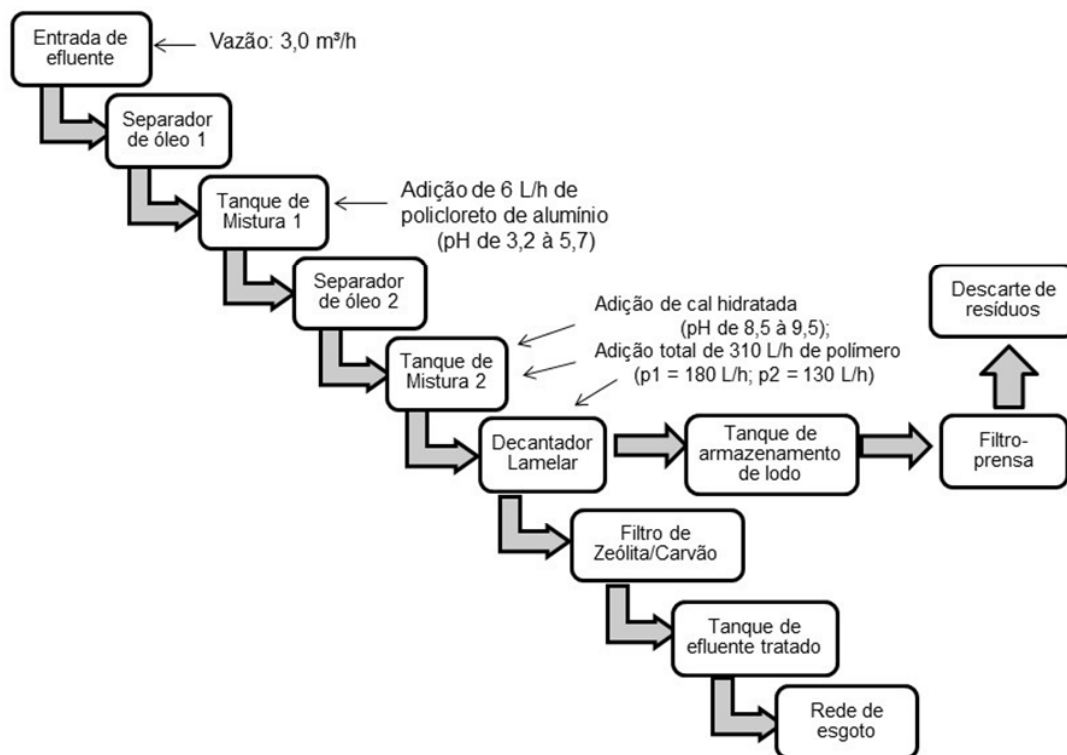
Para esse processo de tratamento são utilizados produtos químicos, a saber:

- i) Policloreto de Alumínio (PAC, do inglês *Polyaluminum Chloride*), marca Kurita, agente responsável pela coagulação no início do tratamento;
- ii) Polímero aniônico Kuriflock PA-322, marca Kurita, responsável pela floculação, facilitando o processo de sedimentação final;
- iii) Cal Hidratada utilizada para a neutralização do pH, segundo legislações.

O PAC é utilizado porque tem ação coagulante e é mais indicado para efluentes contendo uma fração de óleo emulsionado. A cal é utilizada para a correção do pH devido ao custo baixo. O polímero aniônico é utilizado para promover o processo de floculação, em ampla faixa de pH.

O processo original de tratamento de efluentes na indústria estudada é descrito na Figura 5.

Figura 5 - Processo de tratamento de efluentes: condições originais da indústria



Fonte: Elaborada pela autora.

O efluente bruto, proveniente de lavagem de máquinas e/ou componentes contendo óleos e graxas, é armazenado em quatro tanques com capacidade de 25.000 L cada.

Quando se inicia o processo de tratamento, esse efluente é transferido para um separador de óleo, com uma vazão média de 3,0 m³/h, para a separação do óleo não emulsionado. Esse resíduo pastoso é coletado em tambores e enviado para uma empresa que realiza o co-processamento em forno de cimento, e o efluente segue para o tanque de mistura 1. Nesse tanque, adiciona-se sal policloreto de alumínio (PAC), na vazão de 6 L/h, para que a coagulação ocorra. Há a necessidade de agitação para garantir a equalização da mistura e a quebra do óleo solúvel emulsionado. Com a adição do PAC, o efluente permanece em uma faixa de pH de 3,2 a 5,7, dependendo do pH de entrada do efluente bruto.

Após o tanque de mistura 1, o efluente segue para um segundo separador de óleo, para garantir que a separação do óleo ocorra através da gravidade. Os

resíduos desse processo são acondicionados em tambores para a mesma destinação. O efluente segue para o tanque de mistura 2 onde são adicionados cal hidratada para o aumento do pH e 180 L/h de polímero para o processo de floculação. Neste tanque o efluente é agitado para uma boa equalização e o pH deve estar na faixa de 8,5 a 9,5 para a eficiência do processo de sedimentação.

Em seguida, o efluente é transferido para um tanque de decantação onde também é realizada uma segunda adição de 130L/h de polímero no compartimento de alimentação do efluente, para garantir a aglomeração dos flocos. Esse tanque, sem agitação, é composto por uma colmeia para melhor fixação dos flocos e partículas, facilitando o processo de sedimentação.

Posteriormente, o efluente é transferido para um filtro de zeólita/carvão ativado, onde é possível reter o restante dos sólidos em suspensão que ainda possam estar no efluente. Enfim o efluente tratado segue para uma caixa de armazenamento para ser lançado à rede de esgoto municipal.

O lodo proveniente do tratamento, após o tanque de decantação, é enviado para um tanque de armazenamento e, em seguida, transferido para o filtro-prensa, onde o resíduo é prensado à pressão de 7 bar e então é depositado em big bag's para ser enviado a uma empresa que realiza o seu co-processamento em cimenteira (utilizado como combustível energético).

A Figura 6 apresenta uma foto da unidade de tratamento de efluentes em estudo. Observa-se que o hidróxido de sódio estava sob a plataforma devido ao período de teste. Posteriormente foi realocado ao lado da bombona do policloreto de alumínio, onde através de uma mangueira se faz a dosagem do produto no tanque de mistura 2. O filtro-prensa não aparece na figura devido a configuração da planta industrial.

Figura 6 – Unidade de tratamento de efluentes em estudo.



Fonte: Elaborada pela autora.

Nota: 1 = Tanque de armazenamento de efluente bruto;

2 = Separador de óleo 1;

3 = Tanque de mistura 1;

4 = Tanque de mistura 2;

5 = Decantador;

6 = Filtro de zeólita/carvão;

7 = Tanque de preparo de cal hidratada

8 = Tanque de lodo.

Através da análise de todas as etapas do processo de tratamento de efluentes, verificou-se que existe uma quantidade exagerada de produtos químicos adicionados ao tratamento, principalmente do PAC. Essa elevada concentração de sal torna o efluente final fora das condições de ser reutilizado, uma vez que pode causar incrustações nas tubulações de transporte do efluente às bacias sanitárias ao longo do tempo. Outro fator indesejável é a deposição do sal após a secagem no piso lavado com o efluente. Com o trânsito de pessoas e veículos sob este piso, pode ocorrer a suspensão do sal no ar, estabelecendo riscos à saúde dos trabalhadores por meio da inalação de sal rico em alumínio.

A Tabela 2 apresenta as características do efluente nas condições de tratamento da indústria.

Tabela 2 – Características do efluente tratado nas condições originais da indústria.

Parâmetros	Efluente Tratado
Alcalinidade Total	294 mg CaCO ₃ /L
Cloretos	1149 mg Cl/L
Condutividade Elétrica	3320 µS/cm
Dureza Cálcio	1035 mg CaCO ₃ /L
pH (25°C)	8,89
Turbidez	< 5 NTU
DQO	784 mg/L
DBO	367 mg/L
Sólidos Suspensos	25,0 mg/L
Óleos e Graxas	5,21 mg/L

Fonte: Elaborada pela autora.

Analisando os resultados da Tabela 2, observa-se que os parâmetros estão acima dos valores desejáveis para reuso do efluente tratado. Apesar da ausência dos valores dos parâmetros do efluente bruto, e da eficiência da remoção da turbidez, um dos principais parâmetros para o reuso, o processo não é eficiente na remoção da alcalinidade, dureza e DQO e DBO. Isso é um indicativo de problemas no processo de tratamento, incluindo a superdosagem de reagentes.

Um outro fator observado é que o pH do efluente é fundamental para a formação dos flocos com características adequadas à sedimentação, sendo ótimo entre 8,5 e 9,5. Quando o pH é corrigido em torno de 7,0 a 7,5, o processo de sedimentação nas condições originais de processo é muito lento, sendo necessário, em alguns casos, a pausa da estação de tratamento de efluentes até que a sedimentação ocorra, podendo chegar a até 3 horas de inoperância.

6.2 IDENTIFICAÇÃO DAS AÇÕES DE MELHORIAS NO PROCESSO

A partir dos resultados obtidos na avaliação técnica da unidade e do processo de tratamento, alguns pontos foram identificados como críticos para o tratamento eficiente, visando o reuso do efluente tratado:

- Elevada quantidade do sal Policloreto de Alumínio – 6 L/h;
- Uso de cal hidratada, que aumenta a quantidade de lodo produzido;
- Elevada quantidade de polímero – 310 L/h.

Através da avaliação do tratamento de efluentes, foi possível identificar os pontos de melhorias no processo. O fator mais importante é o consumo de produtos químicos utilizados durante o tratamento, já que impossibilita a reutilização do efluente final. O uso excessivo de policloreto de alumínio (PAC) inviabiliza a reutilização do efluente, tornando-o muito salino e a quantidade excessiva de polímero leva à formação de maior conteúdo de lodo a ser disposto no final do tratamento.

Além disso, foi verificado que o filtro de zeólita/carvão ativado estava saturado devido à falta de manutenção, interferindo na qualidade do efluente final. Foi apontado para a indústria o problema e solicitado à manutenção do mesmo. Enquanto não realizada, o filtro foi isolado deixando assim o efluente ser enviado ao seu destino final diretamente após o processo de sedimentação.

Vale ressaltar que o controle manual de operação, sem o exato conhecimento da área em estudo, pode ser apontado como uma das causas que levam a não condição de reuso efluente, já que impossibilita o operador de adequar o tratamento de acordo com as necessidades do efluente bruto (dosagem incorreta de produtos químicos sem testes de bancada para verificar as concentrações ideais).

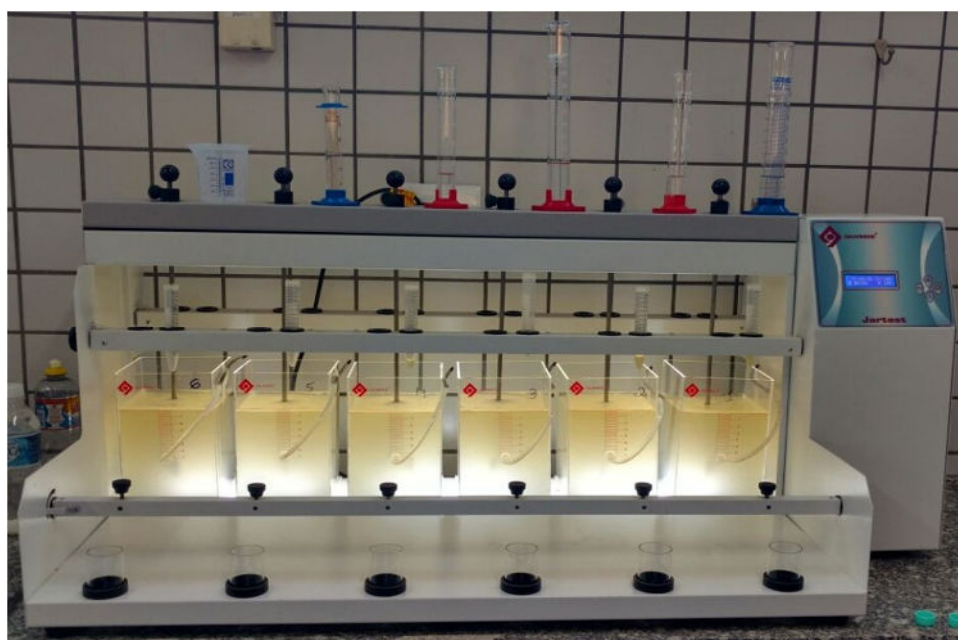
6.3 APERFEIÇOAMENTO DO PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES EM ESCALA LABORATORIAL

Visando o entendimento do processo utilizado na indústria, bem como a obtenção das condições ideais para tratamento, foram realizados testes laboratoriais em Jarros (Figura 7). Para isso, as sugestões propostas tiveram como base as condições de tratamento originais variando as concentrações de produtos químicos adicionados.

Inicialmente foram realizados os testes de coagulação/floculação e sedimentação em Jar Test sem a correção de pH para analisar a eficiência do tratamento do efluente. Os resultados estão apresentados na Tabela 3.

A condição original de tratamento do efluente foi pouco eficiente para a remoção da turbidez em relação aos demais tratamentos. Esse fato é atribuído a duas razões: a) ao pH final muito ácido, o que afeta negativamente a ação do PAC e b) a elevada quantidade de PAC e polímero. Observa-se que todas as demais sugestões, com a diminuição das quantidades de reagentes apresentaram turbidez abaixo de 5 NTU, requerida para o reuso.

Figura 7 – Determinação das condições ideais de floculação e sedimentação em Jar Test.



Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 3 – Resultados do Jar Test sem a correção do pH.

Teste	PAC (mL/L)*	Polímero (mL/L)*	pH inicial	Sem correção de pH	Turbidez Inicial (NTU)	Turbidez Final (NTU)
Condições Originais de processo	2	60	7,26	4,66	>750	421
Sugestão 1	0,5	30	7,26	6,60	>750	1,36
Sugestão 2	1	30	7,26	6,18	>750	0,75
Sugestão 3	0,5	15	7,26	6,80	>750	1,07
Sugestão 4	1	15	7,26	6,33	>750	0,72

Fonte: Elaborada pela autora.

(*) volume de reagente por volume de efluente.

Apesar de demonstrar resultados aceitáveis de reuso, com exceção da condição original no quesito turbidez, a correção do pH e o controle desse parâmetro antes do lançamento ou reuso do efluente tratado é de extrema importância para cumprir as normas e legislações em vigor. Além disso, o processo de tratamento do efluente industrial em pH ácido pode promover corrosão dos equipamentos (tanques de misturas, sedimentador e filtro de polimento).

Desse modo, foi realizado o Jar Test utilizando a cal para corrigir o pH, simulando o tratamento convencional na unidade industrial e outras quatro sugestões. Os resultados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados do Jar Test utilizando as condições originais da indústria e as primeiras sugestões para a melhoria do processo de tratamento do efluente

Teste I	PAC (mL/L)*	Polímero (mL/L)*	pH inicial	pH Cal Hidratada	Turbidez Inicial (NTU)	Turbidez Final (NTU)
Condições Originais de processo	2	60	7,22	7,02	222	2,07
Sugestão 1	0,5	30	7,22	7,07	222	1,50
Sugestão 2	1	30	7,22	7,04	222	2,04
Sugestão 3	0,5	15	7,22	7,01	222	1,71
Sugestão 4	1	15	7,22	7,06	222	6,81

Fonte: Elaborada pela autora.

(*) volume de reagente por volume de efluente.

Ao se comparar a sugestão 1 e 2 e a sugestão 3 e 4, com a mesma quantidade de polímero adicionada (30 mL/L e 15 mL/L), pode ser observado que a maior adição de PAC resulta em menor eficiência de remoção de turbidez.

Considerando o uso de hidróxido de sódio para a correção do pH (Tabela 5), foi observada um sensível aumento da eficiência do tratamento do efluente. Todas as sugestões, bem como as condições originais do processo atingiram turbidez final abaixo do limite estabelecido para o reuso.

Tabela 5 – Resultados do Jar Test com NaOH para a neutralização do pH.

Teste III	PAC (mL/L)*	Polímero (mL/L)*	pH inicial	pH correção com NaOH	Turbidez Inicial (NTU)	Turbidez Final (NTU)
Condições Originais de processo	2	60	6,69	7,01	253	0,41
Sugestão 1	0,5	30	6,69	7,04	253	1,53
Sugestão 2	1	30	6,69	7,05	253	0,82
Sugestão 3	0,5	15	6,69	7,10	253	1,85
Sugestão 4	1	15	6,69	7,12	253	0,88

Fonte: Elaborada pela autora.

(*) volume de reagente por volume de efluente.

Ao comparar as sugestões com a mesma dosagem de polímero 1 e 2 (30 mL/L), e sugestões 3 e 4 (15 mL/L), observa-se que o aumento da dose de PAC diminui a turbidez final. Este efeito é o oposto daquele observado entre as sugestões descritas, com o uso de cal. De modo similar, ao se comparar o teste nas condições industriais originais, a turbidez foi de 2,07 NTU quando utilizado cal e 0,41 NTU quando utilizado NaOH. Isso evidencia que a cal apresenta efeito adverso no processo de coagulação/floculação durante o tratamento do efluente.

O efeito negativo do uso de cal no processo de coagulação e floculação do efluente causou estranheza, uma vez que o cálcio é relatado como promotor auxiliar de coagulação no tratamento de efluentes (44). Isto ocorre devido aos íons com múltiplas cargas positivas, tais como Fe^{2+} , Fe^{3+} e Al^{3+} , interagirem com as cargas negativas dos coloides presentes no efluente (44).

No entanto, este fato pode ser explicado por um efeito indireto da dosagem da cal. Quanto maior a adição de PAC, maior é a adição de cal para corrigir o pH.

Considerando o mecanismo de coagulação/floculação do efluente durante o tratamento, uma forma mais simples de descrever o processo seria que a adição do PAC libera os íons de alumínio Al^{3+} (e/ou as espécies iônicas $Al(OH)^{2+}$ e $Al(OH)_2^+$). Estas espécies com carga positiva interagem com a superfície negativa dos coloides, nucleando e formando os primeiros coágulos, que se atraem e formam os primeiros flocos, com carga residual positiva. Estes flocos são adsorvidos por

interação eletrostática com o polímero aniônico, com a formação de flocos maiores, facilitando o processo de sedimentação.

Neste ponto, uma hipótese para explicar o efeito negativo da cal seria a provável interação iônica dos íons Ca^{2+} com as cargas negativas do polímero aniônico. Especialmente, se considerado que os dois são aplicados no mesmo tanque de mistura. Em elevada concentração de cal, pode ocorrer um efeito inibidor do polímero (por saturação do polímero), que tem a sua eficiência de floculação diminuída. Deste fato resulta a necessidade de aumentar a dosagem do polímero para se conseguir o efeito desejado de floculação.

De acordo com os resultados, o efeito negativo sobre o processo de floculação utilizando NaOH não foi observado, o que demonstra que o íon Na^+ tem interação menos efetiva com o polímero aniônico. Desse modo, o uso da cal hidratada foi substituído pelo uso de solução de hidróxido de sódio.

A partir dessas considerações, foram iniciados testes quinzenais em escala laboratorial, visando o monitoramento dos resultados para a implantação da melhor condição de tratamento. Esta avaliação considerou os parâmetros de dureza, alcalinidade, teor de cloretos, pH, condutividade, sólidos totais e turbidez.

Dentre as sugestões de tratamento analisadas, descartou-se a sugestão 3 por apresentar ineficiência no parâmetro turbidez, de acordo com a legislação brasileira de reuso de efluentes industriais. Esse resultado já era esperado pois esse tratamento utiliza concentração mínima do policloreto de alumínio, substância que provoca formação de flocos mais rígidos e pesados, aumentando a velocidade de decantação

A partir das análises realizadas foi possível observar que a natureza do efluente da entrada do processo é instável, uma vez que os resultados dos parâmetros analisados refletem essa variação dia-a-dia. Isso se deve à produção diária da indústria e ao retrabalho realizado em alguns casos, podendo ser necessários à lavagem de um maior número de máquinas e equipamentos, gerando efluentes contendo diferentes concentrações de óleos, graxas, sabão, entre outros.

Dessa forma, verifica-se a dificuldade em deixar o sistema de tratamento de efluentes constante. Vale ressaltar a importância de um estudo prévio dos produtos sanitizantes inseridos na produção industrial avaliando os seus efeitos no efluente de acordo com o seu uso.

No primeiro dia de coleta, em setembro de 2017, o tratamento estava fora dos padrões determinados, por um erro do colaborador da área, o qual esqueceu a estação de tratamento de efluente operando sem a ativação da dosagem automática de reagentes.

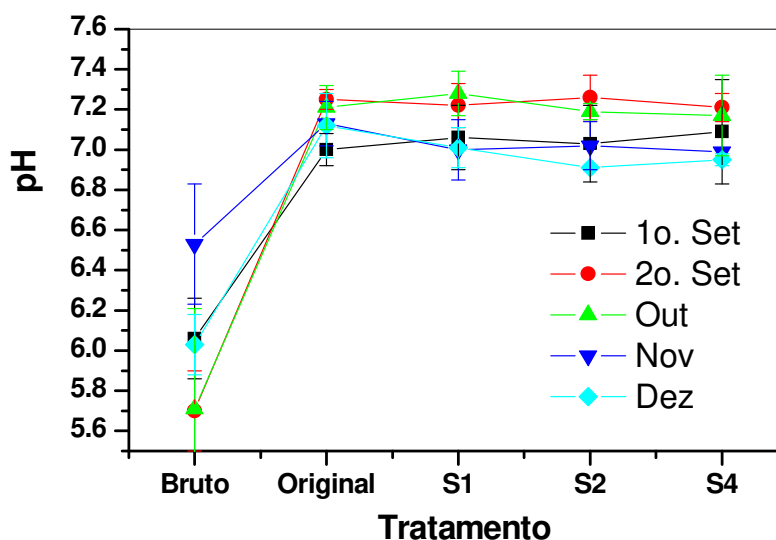
No mês de novembro houve um aumento significativo da atividade produtiva da indústria. Dessa forma, provocou o aumento da carga orgânica presente no efluente, devido ao maior uso de sanitizantes, óleo e graxas.

A coleta realizada no mês de dezembro de 2017 também estava incoerente com os padrões determinados para tratamento, já que por uma análise visual do efluente tratado, em decorrência da sua variabilidade, o colaborador elevou consideravelmente as concentrações de PAC (7,5 L/h) e polímero (350 L/h) inseridas no processo, alegando que o tratamento estava fugindo das características físicas (cor, transparência do efluente) frequentemente encontradas.

Dessa forma, o mês de outubro é o mais indicado para avaliação do tratamento.

A Figura 8 apresenta os valores de pH obtidos nas diferentes análises realizadas. Apesar da inconstância desse parâmetro no efluente bruto (variando de 5,5 a 6,5), observam-se resultados similares em todos os tratamentos analisados, entre 6,8 a 7,4.

Figura 8 – Resultados das análises de pH.

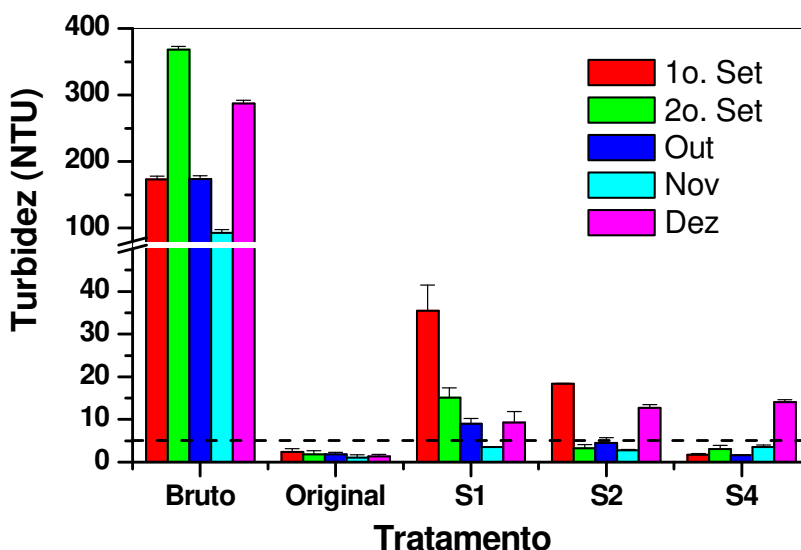


Fonte: Elaborada pela autora.

Isso se deve ao fato de que esse parâmetro é facilmente controlado no pHmetro, sendo assim possível a dosagem precisa de hidróxido de sódio. Em escala industrial, também é possível o controle eficiente do pH uma vez que a planta possui dosagem automatizada do reagente utilizado no efluente em tratamento, sendo possível a predeterminação da faixa de pH a se trabalhar.

A Figura 9 apresenta os resultados de turbidez. Observa-se uma grande variação no efluente bruto durante os períodos de coleta, de 70 NTU a 360 NTU. Isso se deve ao fato de que a quantidade de detergentes, óleos e graxas variadas utilizados de acordo com a produção industrial, reflete diretamente nas características do efluente.

Figura 9 – Resultados das análises de Turbidez.



Fonte: Elaborada pela autora.

O tratamento nas condições originais da indústria se demonstra eficiente em todos os períodos de análise, uma vez que utilizando elevadas concentrações de reagentes (PAC e polímero), o processo de floculação e de decantação são mais eficazes. Porém, essa sugestão é descartada por este estudo já que eleva consideravelmente os custos da indústria com reagentes.

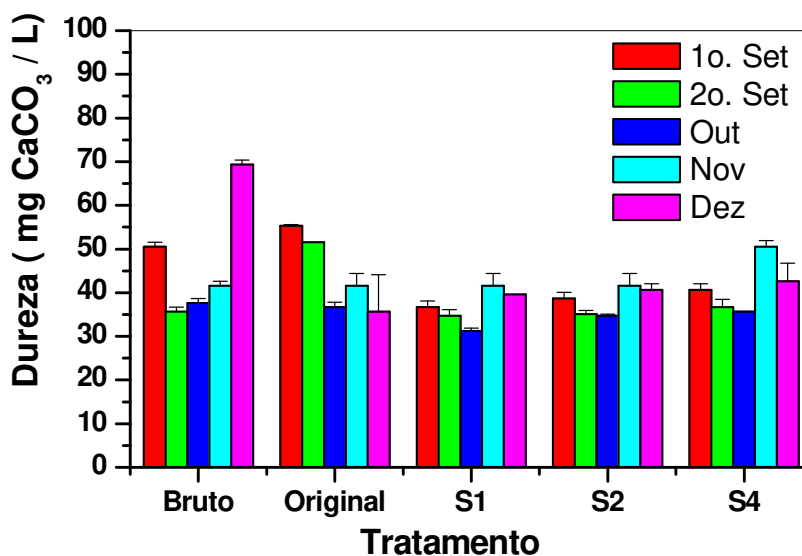
Considerando que no período de coleta de setembro e de dezembro o efluente estava fora dos padrões de tratamento, a sugestão 4 é a melhor condição encontrada por necessitar de pouca concentração de reagentes químicos inseridos no processo, quando em comparação com as outras metodologias e tratamento.

A Figura 10 apresenta os resultados referentes à dureza do efluente. Observa-se que quanto maior a eficiência do processo de floculação e sedimentação, menor é a dureza obtida. Esse fato está diretamente ligado a concentração de reagentes inseridos no processo.

Foi identificada como melhor sugestão de tratamento, a sugestão 2 que mesmo com a variabilidade do efluente de entrada nos meses de análise, apresenta resultado similares com os demais tratamentos.

A sugestão 2, apesar de utilizar maior concentração de reagentes quando em comparação com as sugestões 1 e 4, torna o processo de floculação mais eficiente, e conseqüentemente, a efetiva remoção desse parâmetro.

Figura 10 – Resultados das análises de Dureza.



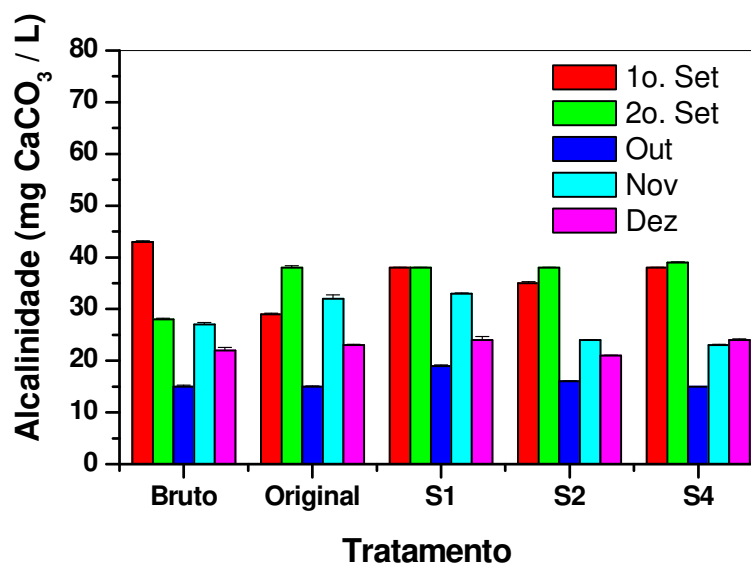
Fonte: Elaborada pela autora.

A alcalinidade do efluente tem relação direta com a adição de hidróxido de sódio para a correção do pH do meio. Observa-se que quanto menor o pH do

efluente, menor é sua alcalinidade e vice-versa. A Figura 11 apresenta os resultados observados após os ensaios de Jar Test.

A sugestão de tratamento 2 foi identificada como a mais eficiente já que mesmo exigindo um pouco mais de reagentes inseridos no processo, quando em comparação com as sugestões 1 e 4, promove a etapa de floculação mais eficiente, e conseqüentemente, a efetiva remoção da alcalinidade.

Figura 11 – Resultados das análises de Alcalinidade.



Fonte: Elaborada pela autora.

Os resultados de condutividade elétrica dos diferentes tratamentos do efluente são apresentados na Figura 12.

Foi possível observar que a condição original da indústria representa a maior condutividade devido a quantidade elevada de PAC inserida no processo.

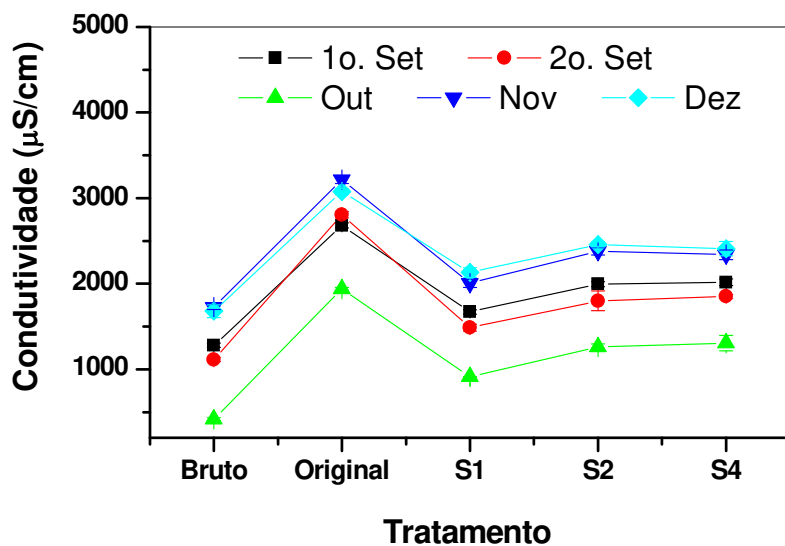
A sugestão 1 demonstrou a menor condutividade após o tratamento, já que é a condição que requer menor concentração desse reagente, seguidas da sugestão 2 e da sugestão 4, respectivamente.

O efluente bruto apresenta os menores valores desse parâmetro uma vez que ainda não foi adicionado sal no processo.

Apesar de não existirem padrões legais de qualidade de água para esse parâmetro, níveis superiores a 100 μ S/ cm podem causar impactos no ambiente (45). Dessa forma, esse parâmetro encontra-se acima dos níveis desejados, porém visto que o efluente tratado é encaminhado para tratamento secundário do

município, a condutividade elétrica pode ser controlada e adequada aos valores inferiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ antes do seu lançamento no meio ambiente.

Figura 12 – Resultados das análises de Condutividade.



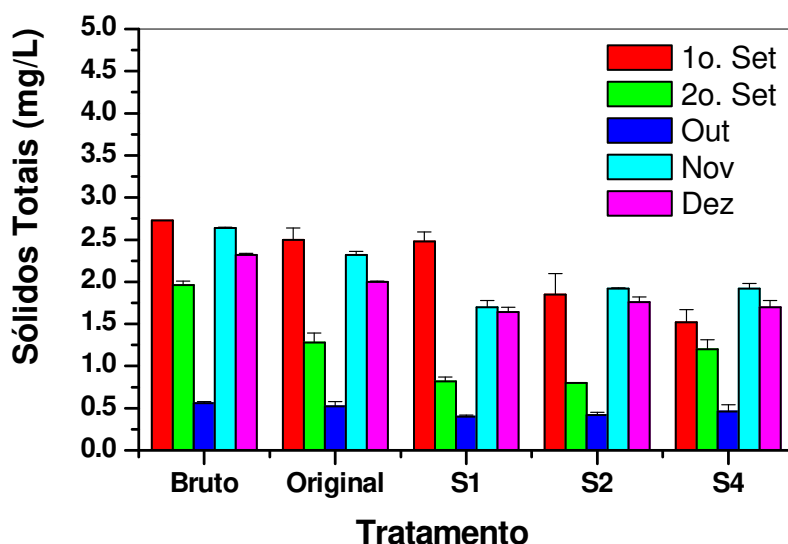
Fonte: Elaborada pela autora.

A quantidade de sólidos totais nas amostras analisadas atingiu resultados semelhantes entre elas, nos diferentes dias de análise (Figura 13).

Observa-se que o efluente bruto apresenta maior concentração de sólidos do que o efluente após os tratamentos, devido ao fato de que o processo de floculação e de decantação possibilita a remoção de sólidos e substâncias no efluente.

Na análise desse parâmetro foi possível identificar que todos os tratamentos utilizados apresentam resultados semelhantes, sendo todos eles eficiente para o processo da indústria.

Figura 13 – Resultados das análises de Sólidos Totais.

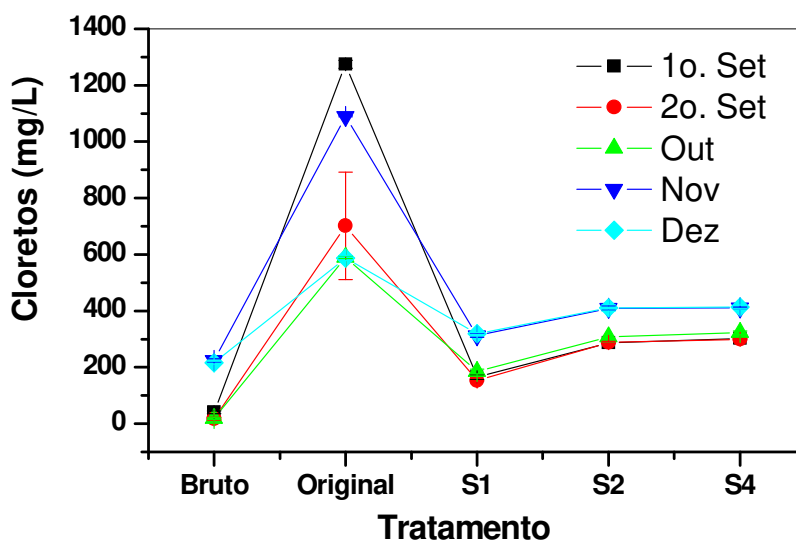


Fonte: Elaborada pela autora.

A concentração de cloretos presente após o tratamento está diretamente ligada à concentração de sal inserida no processo. Dessa forma, observa-se que no efluente bruto (Figura 14), a concentração é muito baixa, pois não existem reagentes adicionados. Na condição original da indústria, esse parâmetro apresenta elevados valores, já que essa condição requer concentrações excessivas de PAC.

Apesar de não existirem padrões legais de qualidade de água para esse parâmetro, níveis superiores a 100 mg/L podem causar impactos no ambiente (46). Dessa forma, esse parâmetro encontra-se acima dos níveis desejados, porém visto que o efluente tratado é encaminhado para tratamento secundário do município, a concentração de cloretos é controlada e adequada antes do seu lançamento no meio ambiente.

Figura 14 – Resultados das análises de Cloretos.



Fonte: Elaborada pela autora.

Dessa forma, a sugestão 1 apresenta a menor concentração de cloretos após o tratamento, seguida das sugestões 2 e 4 que necessitam da mesma concentração de policloreto de alumínio no tratamento.

6.4 IMPLEMENTAÇÃO DA NOVA CONDIÇÃO DE PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES EM ESCALA INDUSTRIAL

A partir dos resultados obtidos em escala laboratorial, iniciaram-se os testes em escala industrial, adequando os parâmetros de tratamento encontrados em laboratório e analisando o comportamento do efluente da planta industrial, utilizando hidróxido de sódio para correção de pH.

A Tabela 6 apresenta o resultado comparativo das análises realizadas com o efluente bruto (entrada da unidade de tratamento), tratados nas condições sugeridas e com o efluente tratado na unidade industrial (saída da unidade de tratamento).

Vale ressaltar que o dia da coleta do efluente tratado na unidade industrial, as condições de tratamento não estavam adequadas com os padrões determinados para tratamento, já que por uma análise visual do efluente tratado, em decorrência da sua variabilidade, o colaborador elevou consideravelmente as concentrações de PAC (7,5 L/h) e polímero (350 L/h) inseridas no processo, alegando que o tratamento estava fugindo das características físicas frequentemente encontradas.

Tabela 6 – Características físicas e químicas do efluente bruto e após diferentes tratamentos, no mês de dezembro de 2017.

Efluente	Bruto	Original	S1	S2	S4	IND(*)
pH	6,03 ±0,15	7,12±0,16	7,01±0,10	6,91±0,00	6,95±0,03	7,80±0,04
Turbidez (NTU)	287,00±5,00	13,80±0,46	9,28±2,56	12,75±0,75	14,05±0,61	11,40±0,5
Dureza (mg CaCO₃/L)	69,36±1,00	40,67±3,41	39,63±0,00	40,62±1,40	42,6±4,20	57,47±5,00
Alcalinidade (mg CaCO₃/L)	22,0±0,6	23,0±0,2	24,0±0,7	21,0±0,1	24,0±0,2	27,0±0,2
Condutividade (µS/cm)	1679±75	3075±36	2131±56	2460±28	2410±85	3420±34
Cloretos (mg/L)	216,6±5,0	587,2±8,2	319,8±4,1	410,6±11,3	414,3±6,2	774,8±23,0
Sólidos totais (mg/L)	2,32±0,02	2,00±0,01	1,64±0,06	1,76±0,05	1,70±0,08	2,20±0,02

Fonte: Elaborada pela autora.

(*) Efluente após tratamento na unidade industrial.

É possível observar que dependendo da carga orgânica de entrada no efluente bruto, que varia de acordo com a produção industrial, não é possível alcançar os padrões de reuso nas sugestões encontradas, como é o caso do dia da coleta no mês de dezembro. Dessa forma, verifica-se a necessidade de testes em escala de banca na própria indústria, diariamente antes do início do tratamento. Sendo positivo os testes, é possível encaminhar o efluente tratado para reuso. Porém sendo negativo, é ideal que o efluente tratado seja descartado para tratamento secundário no município e então o seu lançamento ao meio ambiente, seguindo legislações.

A sugestão 1 se mostrou a melhor opção uma vez que requer pouca quantidade de produtos químicos para o tratamento de efluentes. Porém, essa

sugestão torna o processo de sedimentação extremamente lento, inviabilizando o seu uso em escala industrial.

A sugestão 2, apesar de exigir quantidades de produtos químicos superior à sugestão 1, é a mais indicada para este estudo, já que atinge resultados semelhantes a condição original e industrial e promove rápida sedimentação dos flocos, favorecendo a remoção da turbidez no efluente após tratamento.

A sugestão 3 requer pouca quantidade de produtos químicos para o tratamento. Porém, o processo de sedimentação é extremamente lento, tornando essa sugestão inadequada para a planta industrial.

A sugestão 4 apresentou ineficiência, já que apresenta o processo de sedimentação lento, devido as poucas concentrações de reagentes inseridas no processo.

Comparando as condições de tratamento originais e o tratamento realizado pela indústria no dia da coleta, o qual estava fora dos padrões conhecidos, verifica-se que o excesso da concentração de reagentes inseridas no processo não apresenta significativa eficiência de tratamento. Da mesma forma é analisado a sugestão 2 com as condições originais da indústria, verifica-se que os resultados dos parâmetros analisados são aproximados, uma vez que a sugestão 2 requer metade dos reagentes inseridos no processo em relação as condições originais, tornando-se mais eficaz para este estudo.

Isso comprova a importância da análise detalhada das concentrações de produtos químicos inseridas no processo de tratamento de efluentes de acordo com suas características físico-químicas, uma vez que, o excesso pode causar o desperdício e o aumento de custos com reagentes, sem alterar positivamente o seu resultado.

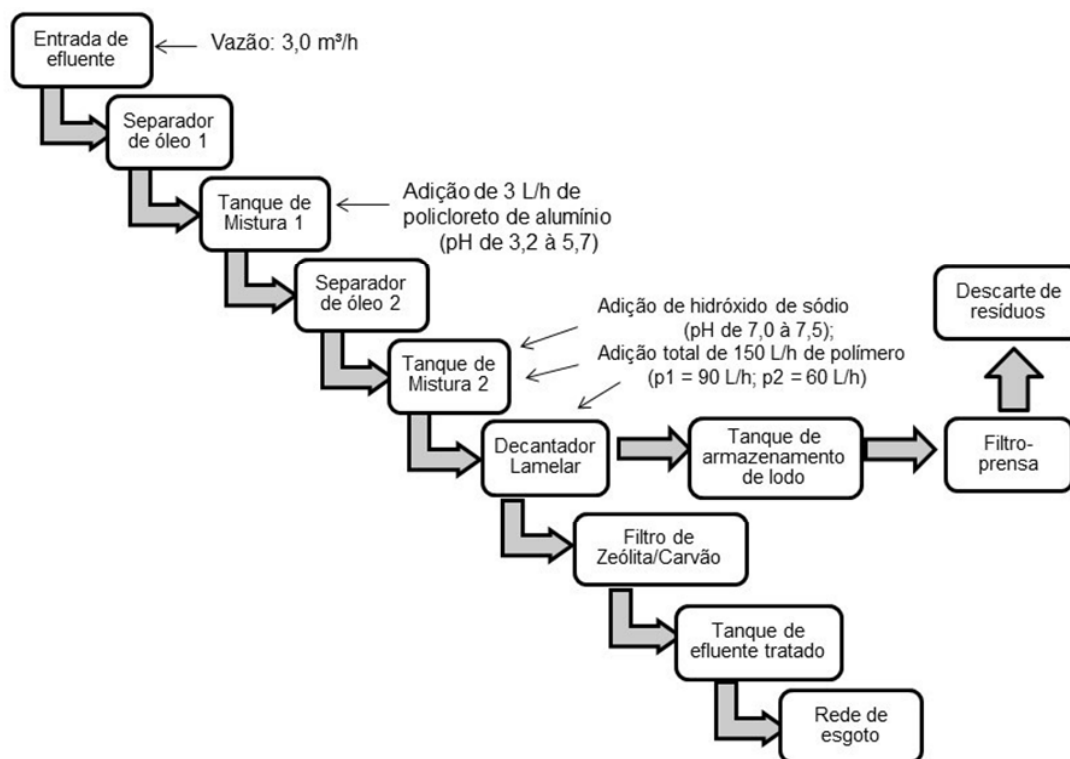
Com relação à análise geral dos parâmetros em todas as condições de tratamento estudadas, apesar de mais eficiente, a sugestão 1 não é a mais adequada para ser utilizada na unidade industrial. Isso é devido à variabilidade das características do efluente bruto, que pode requerer maior quantidade de reagentes para o processo de coagulação/floculação. Essa sugestão seria a mais adequada se o efluente fosse equalizado. Desse modo, a sugestão 2 foi considerada a mais adequada para ser utilizada na unidade industrial.

Para os testes em escala industrial utilizando a sugestão 2, primeiramente solicitada à indústria uma pausa na estação de tratamento de efluentes para a

limpeza de todos os tanques, adequação das dosagens de produtos químicos, bem como a substituição da cal hidratada pela solução de hidróxido de sódio.

Dessa forma, adequou-se o processo para 3 L/h de PAC, 150 L/h total de polímero (90 L/h + 60 L/h) e a correção de pH se manteve na faixa de 8,5 a 9,5 utilizando solução de NaOH para que aos poucos essa concentração fosse sendo reduzida, até chegar à faixa de 7,0 a 7,5 (Figura 15).

Figura 15 - Processo de tratamento de efluentes otimizado.



Fonte: Elaborada pela autora.

Com a nova metodologia proposta, foi possível reduzir o consumo de policloreto de alumínio em 50%, de polímero em 51,6% e a turbidez ficou abaixo de 5 NTU, dentro dos padrões para o reuso.

O tratamento se deu de forma rápida e eficiente, devido à formação de flocos mais densos, que facilitaram a sedimentação. O uso de solução de hidróxido de sódio para a correção do pH permitiu a dosagem automática, tornando o tratamento

contínuo, com menor interferência do operador da unidade de tratamento de efluente.

Ao finalizar a etapa de aperfeiçoamento do processo de tratamento de efluentes, foi implementada a nova configuração da planta industrial através da elaboração de procedimentos e automação da dosagem de produtos químicos com as novas concentrações propostas.

Essa modificação se deu de forma simples e sem a necessidade de investimentos. A dosagem de policloreto de alumínio foi regulada para 3 litros por hora, de forma contínua. A soda cáustica para a neutralização do pH foi regulada para dosagem contínua, facilitando o controle do pH em 7,5. As válvulas de dosagem de polímero foram ajustadas para que as concentrações não ultrapassem o proposto pelo trabalho, conforme na sugestão 2 de tratamento.

Foi observada melhorias no processo de tratamento de efluentes, podendo constatar menor tempo: a sedimentação é rápida o suficiente para manter contínuo o processo de remoção do lodo, além disso, não é necessária a preparação da cal hidratada para o tratamento, facilitando o processo para o operador e o efluente final atinge os parâmetros de qualidade dentro das legislações de reuso de efluentes, dependendo da carga orgânica do efluente bruto (turbidez < 5 NTU; cloretos > 0,5 mg/L).

6.5 ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DO PROCESSO DE REUSO DE EFLUENTES

Para o estudo da viabilidade técnico-econômica foram considerados os dados coletados no ano de 2017.

A partir do estudo realizado em escala laboratorial e industrial, foi identificado uma nova metodologia de tratamento de efluentes para a indústria em análise.

A Tabela 7 demonstra a diferença de utilização de insumos na condição de tratamento original da indústria e na nova condição proposta.

Tabela 7 – Metodologias de tratamento de efluentes

Condições Originais	
Produto Químico	Quantidade por hora

Policloreto de Alumínio (PAC)	6 L
Cal Hidratada	5,55 L
Hidróxido de Sódio	-
Polímero	310 L
Nova metodologia	
Produto Químico	Quantidade por hora
Policloreto de Alumínio (PAC)	3 L
Cal Hidratada	-
Hidróxido de Sódio	1,38 L
Polímero	150 L

Fonte: Elaborada pela autora.

Para o estudo da viabilidade técnico-econômica da nova metodologia implantada na indústria para o tratamento e reuso de efluentes, foram coletados os seguintes dados (Tabela 8):

Tabela 8 – Valores de compra de produtos químicos

Compra de Produtos Químicos		
Produto Químico	Unidade de Medida	Valor por Unidade
Policloreto de Alumínio (PAC)	Litros	R\$ 6,30
Cal Hidratada	Quilo	R\$ 0,50
Hidróxido de Sódio	Quilo	R\$ 3,60
Polímero	Quilo	R\$ 1,55

Fonte: Elaborada pela autora.

A Tabela 9 apresenta os custos fixos do processo de tratamento de efluentes, independentemente da metodologia utilizada, considerando a frequência operante da unidade de tratamento de efluentes de três vezes por semana, durante seis horas por dia.

Tabela 9 – Custos fixos do processo de tratamento de efluentes industriais

Custos Fixos - Tratamento de Efluentes

Variável:	Valor Unitário (R\$)	Quantidade Anual	Valor Anual (R\$)
Troca do Filtro de Carvão Ativado	R\$ 2.000,00	2	R\$ 4.000,00
Troca de Lonas Filtro Prensa	R\$ 1.880,00	1	R\$ 1.880,00
Energia Consumida ETE (KW/h)	R\$ 0,51	6480	R\$ 3.304,80
Custo Mensal do Colaborador	R\$ 5.000,00	12	R\$ 60.000,00
Gasto Anual:			R\$ 69.184,80

Fonte: Elaborada pela autora.

De acordo com a jornada de trabalho do colaborador da estação de tratamento de efluentes de 72 horas por mês, foram identificados os seguintes volumes de efluente tratado de acordo com cada metodologia:

- ✓ Condição original da indústria: 105.000 L/mês
- ✓ Metodologia proposta: 145.000 L/mês

Com a metodologia proposta, haveria um incremento de 38,1% no volume de efluente tratado, caso as condições de produção da indústria exijam um aumento neste percentual.

Considerando o tratamento de 145.000 litros de efluentes por mês, foi possível identificar a quantidade de produtos químicos requerida por litro de efluente tratado, de acordo com a Tabela 10.

Tabela 10 – Custo de reagentes utilizados por litro de efluente tratado

Condições Originais		
Produto Químico	Quantidade por Litro	Valor por Litro
Policloreto de Alumínio (PAC)	0,00297 L	R\$ 0,0187
Cal Hidratada	0,00380 L	R\$ 0,0019
Hidróxido de Sódio	-	-
Polímero	0,15392 L	R\$ 0,2386
Total		R\$ 0,2592

Nova metodologia		
Produto Químico	Quantidade por Litro	Valor por Litro
Policloreto de Alumínio (PAC)	R\$ 0,00148	R\$ 0,0093
Cal Hidratada	-	-
Hidróxido de Sódio	R\$ 0,00068	R\$ 0,0024
Polímero	R\$ 0,07447	R\$ 0,1154
Total		R\$ 0,1271

Fonte: Elaborada pela autora.

Considerando os custos demonstrados na tabela acima, pode-se verificar que para o consumo atual da empresa que corresponde a 105.000 litros de efluentes tratados, o custo total de reagentes seria de R\$ 27.216,00; enquanto que o custo total de reagentes para a nova metodologia proposta seria de R\$ 13.345,50.

Dessa forma o estudo demonstra que a nova metodologia proposta, indica redução de 50,96% nos custos de tratamento de efluentes sem requerer qualquer investimento por parte da indústria. Assim, a nova condição apresentada neste estudo é viável e eficiente, uma vez que, além dos ganhos econômicos comprova também ganhos ambientais e sociais.

7 PONTOS CRÍTICOS DO TRABALHO

Durante a realização do trabalho, foram encontradas dificuldades nas quais foram enfrentadas com insistência para que os objetivos propostos fossem alcançados com sucesso.

Primeiramente, foi sugerido e implantado a nova configuração de tratamento (sugestão 2) a qual provoca a redução da concentração de reagentes químicos inseridos no processo. Além disso, foi solicitado a indústria o pedido de nova coleta pelo laboratório credenciado para análise completa de todos os parâmetros analisados no Laboratório de Ciência e Tecnologia Ambiental da USC, por este estudo. Após alguns meses o pedido foi atendido.

Posteriormente no dia da nova coleta, foi verificado que os colaboradores haviam alterado as condições de tratamento de efluentes inseridas por este trabalho, aumentando a adição de produtos químicos sem um estudo detalhado do tratamento em andamento. A coleta foi realizada com concentrações do policloreto de alumínio maiores até mesmo do que as encontradas no início do trabalho. Após diálogo com os colaboradores, foi alegado que o tratamento não estava visualmente clarificado e, assim, aumentaram a concentração do sal, o qual possibilitou uma qualidade visual superior à anterior. Sendo assim, foi conversado sobre todo o estudo já realizado e da importância da coleta para análise das condições inseridas. Devido a todo prejuízo causado, orientou-se novamente para que haja a continuidade do reajuste em toda a ETE até que a nova solicitação de coleta seja aprovada. Portanto, foi negado o início dos testes de reuso, já que o efluente tratado não se encontra dentro da metodologia proposta neste estudo.

Vale ressaltar que não foi possível iniciar os testes de reuso em bacias sanitárias devido a uma informação incorreta fornecida pela indústria desde o início do estudo. Acreditava-se existir uma tubulação para transporte do efluente tratado da ETE até os sanitários do setor de pintura. Porém quando foi adequado o efluente nos padrões de reuso em descargas sanitárias, foi verificado que essa tubulação não passou de um projeto no papel. Dessa forma, sugeriu-se a disponibilidade de um colaborador da limpeza para ficar responsável pelo abastecimento de um dos sanitários o qual possui caixa acoplada e, assim, seria possível iniciar os testes. Porém, não foi possível a disponibilização um colaborador para essa função no momento por conta do aumento da produção da indústria.

A partir destes aspectos, verifica-se a dificuldade acadêmica dentro do campo industrial. Muitas vezes são encontradas barreiras, seja pela falta de confiança ou pela falta de compreensão dos colaboradores que não são da área em aceitar o trabalho que está sendo elaborado. Em contrapartida, o estudo foi realizado conforme proposto e as dificuldades foram informadas de forma clara para a diretoria da indústria, sugerindo um trabalho de conscientização do público envolvido, para que assim fosse possível iniciar o reuso do efluente tratado, tão almejado pela indústria.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A nova metodologia proposta permite a indústria reutilizar o efluente gerado pela lavagem de máquinas e componentes contendo óleos e graxas, após testes de bancada realizados diariamente pelo colaborador da ETE para a verificação da carga orgânica do efluente bruto. Esse reuso se dá de forma imediata através da lavagem de pisos e calçadas e, a longo prazo, com um estudo da instalação de tubulações para o transporte do efluente tratado, em bacias sanitárias.

Além de ganhos ambientais e sociais, como a preservação dos recursos finitos, redução da poluição das águas e a conscientização ambiental da sociedade envolvida, este estudo trouxe resultados significativos com relação a sua viabilidade técnico-econômica.

Através da análise detalhada da área em estudo, foi possível reduzir 50,96% nos custos com produtos químicos inseridos no processo, modificar o procedimento do tratamento de efluentes para metodologia simples de tratamento contínuo, não havendo a necessidade de preparo de reagentes para a correção de pH, e sem a exigência de investimentos financeiros pela da indústria.

A partir deste trabalho, foram observadas novas oportunidades de estudo acerca da automação da estação de tratamento de efluentes, a fim de avaliar novos equipamentos e analisar a viabilidade econômica para a redução de mão-de-obra nesse setor. Além disso, verificou-se que a indústria desfruta de poço artesianos, não possuindo custo algum para a captação de água, porém, possui um custo fixo por funcionário em relação ao descarte de água, independente da sua origem (água de coleta ou água de reuso), de acordo com as normativas da SABESP. Neste caso, mesmo com o reuso de efluentes, ainda não se verifica a possibilidade de redução de custo neste caso, devido as próprias diretrizes da referida empresa.

Vale destacar a falta de cultura de se fazer o gerenciamento ambiental efetivo dentro do setor industrial. Mesmo com as condições favoráveis e a viabilidade da implantação do reuso de efluentes, são encontrados obstáculos que ainda impedem o seu início imediato, como por exemplo a disponibilização de um colaborador para a realização dos testes iniciais. Cabe aqui, um estudo detalhado da parte administrativa industrial para entender a dificuldade encontrada pela gerência em acelerar a implantação de um projeto ambiental comprovadamente viável.

REFERÊNCIAS¹

1. Brito LT de L, Silva A de S, Porto ER. Disponibilidade de água e a gestão dos recursos hídricos. Embrapa Semiárido [Internet]. 2007;15–32. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/159648/1/OPB1514.pdf>
2. MMA/MEC/IDEC. Consumo sustentável: manual de educação. [Internet]. 2005. 13-160 p. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/publicacao8.pdf>
3. Braga RG, Júnior Ribeiro LU. Avaliação técnica e econômica para o reuso de água cinza em uma instituição de ensino no município de Itajubá. Rev Científica da FEPI. 2017;29–41.
4. Insel G, Gumuslu E, Yuksek G, Ucar NS, Cokgor EU, Olmez-Hanci T, et al. Evaluation of water reuse in a metal finishing industry. Fresenius Environ Bull. 2017;26:421–5.
5. Silva DOZ, Mortari SR, Dressler VL, Salazar RF dos S, Santiago MR, Buriol GA. Pré-tratamento de efluente metal mecânico por processos químicos - estudo de caso. Discip Sci. 2014;15(1):17–27.
6. Queissada DD, Silva FT, Paiva TCB. Tratamentos integrados em efluente metal-mecânico: precipitação química e biotratamento em reator do tipo air-lift. Eng Sanit e Ambient. 2011;16(2):181–8.
7. US-EPA. Guidelines for water reuse. United States Environ Prot Agency. 2012;
8. WEF. Industrial wastewater management, treatment, and disposal. 3rd ed. Alexandria, USA: Water Environment Federation; 2008.
9. Mierzwa JC, Hespanhol I, Silva MCC, Rodrigues LDB. Estudo para avaliação do potencial de reuso e aproveitamento de água de chuva em indústria. Esc Politécnica da Univ São Paulo - Eng Hidráulica e Sanitária.
10. Araújo KS De, Antonelli R, Gaydeczka B, Granato AC, Malpass RP. Processos oxidativos avançados : uma revisão de fundamentos e aplicações no

¹ Baseadas na norma do International Committee of Medical Journal Editors (Vancouver), de 2013.

- tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais. *Ambient Água*. 2016;11(2).
11. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 9.800/87 - Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário. 1987;9–11.
 12. FUNASA. Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS. Fundação Nac Saúde [Internet]. 2014;1 ed.:112. Available from: <http://www.funasa.gov.br>
 13. Parron LM, Muniz DH de F, Pereira CM. Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água. EMBRAPA - Doc 232. 2011;67.
 14. Moura FN, Batista RO, Silva JBA da, Feitosa AP, Costa MS. Desempenho de sistema para tratamento e aproveitamento de esgoto doméstico em áreas rurais do semiárido brasileiro. *Eng Ambient*. 2011;8(3):270–83.
 15. Braile PM, Cavalcanti JEWA. Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais. CETESB. São Paulo; 1979. 764 p.
 16. Giordano G. Tratamento e controle de efluentes industriais. Depto Eng Sanitária e do Meio Ambiente ... [Internet]. 2004;81. Disponível em: <http://xa.yimg.com/kq/groups/24138517/1421219182/name/Apostila+-+Tratamento+de+efluentes+industriais.pdf>
 17. Metcalf, Eddy. *Wastewater engineering: treatment and reuse*. 4th ed. New York: McGraw-Hill; 2003. 1819 p.
 18. Kuritza JC. Aplicação da coagulação, floculação e sedimentação como pós-tratamento de efluente de uma indústria de papel e celulose. Paraná. Dissertação [Mestrado Ciências Florestais: Manejo Sustentável dos Recursos Florestais] - Universidade Estadual do Centro-Oeste; 2012.
 19. Crittenden JC, Trussell RR, Hand DW, Howe KJ, Tchobanoglous G. *MWH's Water treatment: principles and design*. 3rd ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons; 2012. 1920 p.

20. Santos GR. Estudo de clarificação de água de abastecimento público e otimização da estação de tratamento de água. Rio de Janeiro. Dissertação [Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos] - Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro; 2011.
21. Pillai J. Flocculants and coagulants: the keys to water and waste management in aggregate production. Nalco Co [Internet]. :6. Available from: [http://www.anig.org.mx/pqta/pdf/Flocculants and Coagulants NALCO \(LIT\).pdf](http://www.anig.org.mx/pqta/pdf/Flocculants and Coagulants NALCO (LIT).pdf)
22. Teh CY, Budiman PM, Shak KPY, Wu TY. Recent advancement of coagulation-flocculation and its application in wastewater treatment. *Ind Eng Chem Res.* 2016;55(16):4363–89.
23. Doherty WOS, Fellows CM, Gorjian S, Senogles E, Cheung WH. Flocculation and sedimentation of cane sugar juice particles with cationic homo- and co-polymers. *J Appl Polym Sci.* 2006;90(1):316–25.
24. Tratamento químico para estação de tratamento de água [Internet]. KURITA Soluções de Engenharia para Tratamento de Águas Industriais. [cited 2018 Mar 4]. Available from: <http://kurita.com.br/index.php/artigos-tecnicos/tratamento-quimico-para-estacao-de-tratamento-de-agua/>
25. Rout D, Verma R, Agarwal SK. Polyelectrolyte treatment: an approach for water quality improvement. *Water Sci Technol.* 1999;40(2):137–41.
26. Wong SS, Teng TT, Ahmad AL, Zuhairi A, Najafpour G. Treatment of paper and pulper mill wastewater by polyacrylamide (PAM) in polymer induced flocculation. *J Hazard Mater.* 2006;135:278–378.
27. Ahmad AL, Wong SS, Teng TT, Zuhairi A. Improvement of alum and PACl coagulation by polyacrylamides (PAMs) for the treatment of pulp and paper mill wastewater. *Chem Eng J.* 2008;137:510–7.
28. Aguilar MI, Sáez J, Lloréns M, Soler A, Ortuño JF, Meseguer V, et al. Improvement of coagulation–flocculation process using anionic polyacrylamide as coagulant aid. *Chemosphere.* 2005;58(1):47–56.

29. AL-Malack MH, Abuzaid NS, EL-Mubarak AH. Coagulation of polymeric wastewater discharged by a chemical factory. *Water Res.* 1999;33(2):521–9.
30. WHO. Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards. Report of a WHO meeting of experts. Vol. 517, World Health Organization - Technical Report Series. Geneva: World Health Organization (Technical Report Series No. 517); 1973. p. 1–63.
31. Kubler H, Fortin A, Molleta L. Reuso de água nas crises hídricas e oportunidades no Brasil. *ABES - Assoc Bras Eng Sanitária e Ambient.* 2015;
32. Souza MC De, Vargas A, Saueressig G, Luchese J, Bauer JM, Viegas CV. Análise das práticas de reuso de água residual : estudo de casos em lavanderias industriais. *Rev Eletrônica em Gestão, Educ e Tecnol Ambient.* 2016;20(1):497–496.
33. Souza FP De, Areas SMR, Pertel M. Análise da viabilidade técnica de reutilização do efluente de uma lavanderia industrial. *Perspect Online Ciências Exatas e Eng.* 2013;3(7):1–16.
34. Subtil EL, Mierzwa JC, Hespanhol I, Rodrigues R. Potencial de reuso de água na lavagem de caminhões utilizando Contator Biológico Rotativo. *Rev Ambient e Agua.* 2016;11(4):852–66.
35. Estender AC, Pinheiro AA. Reutilização da água na indústria. *Rev Adm da FATEA.* 2015;11(11):06–127.
36. Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA. Resolução CONAMA, 13 de maio de 2011. *Diário Of da União.* 2011;8.
37. CETESB. Decreto nº 8.468/1976. *Cia Tecnol Saneam Ambient.* 1976;1–76.
38. Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT). NBR 13.969/1997: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto , construção e operação. 1997;60.
39. Conceito de Viabilidade [Internet]. 2011 [acesso em: 2017 Dec 12]. Disponível em: <https://conceito.de/viabilidade>

40. Instituto dos Auditores Independentes do Brasil. NPC 2: Estoques. Ibracon 30/04/1999 [Internet]. Available from:
<http://www.portaldecontabilidade.com.br/ibracon/npc2.htm>
41. Instituto dos Auditores Independentes do Brasil. NPC 14: Receitas e Despesas - Resultados. Ibracon 18/01/2001 [Internet]. Available from:
<http://www.portaldecontabilidade.com.br/ibracon/npc14.htm>
42. APHA/AWWA/WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Stand Methods. 2012;541.
43. Zenebon O, Pascuet NS, Tiglea P. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. Inst Adolfo Lutz. 2008;589–625.
44. Haag K. Calcium chloride as a co-coagulant. Suécia. Dissertação [Química Analítica] - KTH Royal Institute of Technology; 2015.
45. Saraiva VK, Nascimento DMRL, Palmieri HEL, Jacomino VMF. Avaliação da qualidade de sedimentos - Estudo de caso: Sub-bacia do ribeirão espírito santo, afluente do Rio São Francisco. Quim Nova. 2009;32(8):1995–2002.
46. Morelli EB. Reúso de água nas lavagens de veículos. São Paulo. Dissertação [Engenharia] - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; 2005.