

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA
SOUZA**

**ETEC TRAJANO CAMARGO
ENSINO TÉCNICO EM MECÂNICA MODULAR**

**MARIA EDUARDA DA SILVA MANTOANELL
TAYLER BORGES DOS SANTOS**

**TRATAMENTO DE EFLUENTES OLEOSOS E METÁLICOS EM
SISTEMAS COMPACTOS: ANÁLISE DO USO DA QUITOSANA**

**LIMEIRA
2026**

MARIA EDUARDA DA SILVA MANTOANELLI

TAYLER BORGES DOS SANTOS

**TRATAMENTO DE EFLUENTES OLEOSOS E METÁLICOS EM
SISTEMAS COMPACTOS: ANÁLISE DO USO DA QUITOSANA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso Técnico em Mecânica da Etec Trajano
Camargo, orientado pelo Prof. Gustavo Delgado
Sacilotto, como requisito parcial para obtenção do
título de técnico mecânica industrial.

**LIMEIRA
2026**

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	05
1.1 O Problema.....	06
2 OBJETIVOS.....	06
2.1 Objetivo Geral ou Primário.....	06
2.2 Objetivos Específicos ou Secundários.....	07
3 JUSTIFICATIVA.....	07
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	08
4.1 Definição e Classificação dos Efluentes Industriais.....	08
4.2 Características Gerais dos Efluentes Industriais.....	09
4.3 Parâmetros Importantes para a Avaliação de Efluentes Industriais.....	10
4.4 Importância da Caracterização para o Dimensionamento da Estação Compacta.....	11
4.5 Estrutura e Propriedades.....	12
4.6 Mecanismo de Atuação.....	13
4.7 Aplicações no Tratamento de Efluentes Industriais.....	14
4.8 Vantagens e Limitações.....	14
5 METODOLOGIA.....	16
6 CRONOGRAMA DE DESENVOLVIMENTO.....	18
6.1 Sistema Geral.....	18
6.2 Dimensionamento dos Módulos.....	22
6.3 Módulo 1 – Pré-Tratamento.....	23
6.4 Módulo 2 – Coagulação, Floculação e Decantação.....	25
6.5 Módulo 3 – Filtração.....	30
6.6 Escoamento Gravitacional e Integração Operacional.....	36

6.7 Condições Ideais para a Instalação da ETE.....	37
6.8 Limitações Operacionais.....	39
6.9 Intervenções Críticas.....	43
6.10 Aplicação da Metodologia RCM.....	44
6.11 Segurança Operacional.....	47
7 CONCLUSÃO.....	49
REFERÊNCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Metcalf & Eddy (2014) e Tchobanoglous et al. (2017), os efluentes gerados por atividades industriais costumam conter altas concentrações de óleo, graxa, metais pesados e sólidos em suspensão, tornando necessário o uso de processos físico-químicos específicos para seu tratamento. Diante desse cenário, o crescimento das atividades industriais e de serviços mecânicos, como oficinas, tornearias e pequenos centros de usinagem, colaboram para a geração contínua desses resíduos. Quando descartados de forma inadequada, esses efluentes podem causar sérios impactos ambientais, como a contaminação de rios e lençóis freáticos, alterações na qualidade da água e riscos à saúde da população. Por isso, torna-se cada vez mais importante o desenvolvimento de tecnologias compactas, eficientes e acessíveis, capazes de tratar esses resíduos, principalmente em pequenos estabelecimentos, que geralmente enfrentam limitações de espaço e recursos financeiros.

Nesse contexto, a busca por alternativas sustentáveis para o tratamento de efluentes está diretamente alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente ao ODS 6 – Água Potável e Saneamento, que reforça a importância da redução da poluição e do tratamento adequado desses resíduos antes de seu descarte no meio ambiente.

Diante disso, este trabalho propõe uma estação compacta e multifuncional para o tratamento de efluentes industriais, estruturada de forma teórica para reunir etapas físico-químicas essenciais, como coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. A proposta tem como diferencial a utilização da quitosana, um biopolímero natural obtido a partir da quitina, empregada como principal agente coagulante/floculante. Sua aplicação, associada à configuração do sistema, amplia o potencial de remoção de contaminantes presentes em efluentes oleosos e metálicos, contribuindo para um tratamento mais eficiente e com menor dependência de coagulantes químicos convencionais.

A relação entre a quitosana e os módulos físico-químicos reforça a eficiência da proposta, uma vez que a atuação conjunta desses elementos favorece a remoção de metais pesados, óleo, graxa e sólidos suspensos. Enquanto a estação atua na separação e retenção física dos contaminantes, a quitosana complementa esse processo por meio de mecanismos como adsorção e formação de flocos, contribuindo para um melhor desempenho do tratamento. Essa integração também favorece maior estabilidade operacional diante de variações de pH, turbidez e carga contaminante, condições frequentemente observadas em efluentes industriais e mecânicos.

Dessa forma, este estudo busca analisar a viabilidade técnica, operacional e ambiental da integração entre a estação proposta e a aplicação da quitosana, com base em pesquisas acadêmicas e estudos científicos. Além de atender às normas brasileiras, o trabalho pretende compreender as potencialidades e limitações dessa aplicação, contribuindo para a discussão de alternativas mais sustentáveis e acessíveis para o tratamento de efluentes oleosos e metálicos.

1.1 O PROBLEMA

Como projetar uma estação compacta e multifuncional que una processos físico-químicos à aplicação da quitosana, garantindo tratamento eficiente de efluentes oleosos e metálicos mesmo diante de variações de pH, turbidez e carga contaminante?

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL OU PRIMÁRIO

Propor uma estação compacta de tratamento físico-químico voltada ao tratamento de efluentes oleosos com presença de metais pesados, utilizando a quitosana como agente coagulante-floculante, com ênfase na remoção de sólidos suspensos e contaminantes metálicos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS OU SECUNDÁRIOS

Analisar, a partir de estudos e pesquisas, a viabilidade e o funcionamento de uma estação compacta de tratamento de efluentes oleosos e metálicos com uso de quitosana, sob aspectos técnicos, operacionais e ambientais.

3 JUSTIFICATIVA

O uso de sistemas adequados para o tratamento de efluentes industriais é essencial para reduzir impactos ambientais causados pelo descarte inadequado desses resíduos. Além, disso, o reaproveitamento de resíduos da indústria pesqueira para a produção de quitosana representa uma alternativa sustentável e economicamente interessante, pois transforma materiais que antes seriam descartados em produtos de valor agregado. Essa prática pode contribuir para a redução de desperdícios, gerar novas oportunidades para o setor pesqueiro e diminuir custos relacionados ao tratamento de efluentes. No entanto, muitos estabelecimentos, especialmente de pequeno e médio porte, enfrentam limitações relacionadas ao espaço físico, aos custos e à complexidade dos métodos convencionais, o que confirma a necessidade de soluções mais acessíveis e eficientes.

Os efluentes oleosos e metálicos apresentam alto potencial poluidor e maior dificuldade de tratamento, exigindo abordagens específicas. Além disso, observa-se um crescente interesse pela utilização de materiais alternativos que reduzam a dependência de insumos químicos convencionais. Nesse contexto, destaca-se a quitosana, um biopolímero natural com propriedades coagulantes, floculantes e adsorventes, capaz de contribuir para a remoção de contaminantes de forma mais sustentável.

Dessa forma, este estudo se justifica pela análise da aplicação da quitosana em sistemas compactos de tratamento de efluentes, considerando aspectos técnicos e operacionais. A proposta contribui para a compreensão de sua viabilidade e de suas possíveis limitações, dentro do contexto industrial.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS EFLUENTES INDUSTRIAIS

Os efluentes industriais constituem os rejeitos líquidos gerados a partir de processos produtivos, operações de limpeza, resfriamento, transformação de matérias primas e atividades auxiliares. Esses efluentes diferem significativamente dos efluentes domésticos, pois apresentam maior complexidade química, variabilidade operacional e concentração de contaminantes potencialmente tóxicos (Tchobanoglous et al., 2014; Metcalf & Eddy, 2017). Em ambientes mecânicos e de usinagem, esses resíduos podem carregar óleo, graxa, detergentes, partículas metálicas, solventes, borras e metais pesados — todos derivados da rotina industrial (Li et al., 2022; Jiang et al., 2021).

Von Sperling (2017) explica que os efluentes industriais são classificados de acordo com suas características físicas, químicas e biológicas, sendo essa classificação fundamental para estabelecer estratégias de tratamento adequadas. O autor enfatiza que a eficiência de um sistema de tratamento depende do conhecimento prévio da composição do efluente e da origem dos contaminantes presentes.

Metcalf & Eddy (2016) complementam que analisar a natureza do efluente permite prever seu comportamento durante os processos de coagulação, floculação, sedimentação e filtração. Para os autores, compreender o tipo de carga contaminante é a base para qualquer dimensionamento hidráulico ou químico, especialmente em estações compactas.

4.2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS EFLUENTES INDUSTRIAIS

Os efluentes industriais apresentam grande variabilidade, determinada pelo tipo de atividade produtiva, uso de matérias-primas, etapas do processo e condições operacionais. Essa diversidade faz com que seus contaminantes envolvam desde parâmetros físicos — como cor, turbidez e sólidos suspensos — até características químicas mais complexas, como óleos e graxas, detergentes, metais pesados, solventes e compostos orgânicos tóxicos. Segundo Von Sperling (2017), entender essa composição é fundamental para classificar o efluente como orgânico, inorgânico ou misto, bem como para identificar seu potencial corrosivo, tóxico ou inflamável. Essa classificação é indispensável para selecionar processos de tratamento adequados, prever riscos ambientais e garantir conformidade com padrões legais de lançamento.

Libânio (2010) destaca que compreender a caracterização físico-química dos efluentes industriais não é apenas uma etapa formal do tratamento, mas uma condição essencial para garantir que cada processo funcione de maneira adequada. Quando a composição química não é bem conhecida, o sistema pode apresentar falhas, como reações incompletas, formação de substâncias secundárias indesejadas e instabilidade em etapas como a coagulação e a floculação. A presença de certos compostos, como surfactantes, óleos e graxas, também exige atenção especial, pois eles tendem a formar emulsões estáveis que não se separam facilmente pelos métodos convencionais. Uma caracterização bem conduzida permite prever esses comportamentos, ajustar parâmetros operacionais e selecionar técnicas de tratamento mais seguras e eficientes.

Além das características químicas, esses efluentes podem ter variações sazonais e operacionais. Mudanças na temperatura, nos turnos de produção ou na intensidade de uso de máquinas refletem diretamente na qualidade da água rejeitada (Metcalf & Eddy, 2014; Jiang et al., 2021;

Tchobanoglous, 2022). Isso reforça a necessidade de sistemas modulares e ajustáveis, como a estação compacta proposta no projeto.

4.3 PARÂMETROS IMPORTANTES PARA A AVALIAÇÃO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS

A determinação dos parâmetros físico-químicos é uma etapa determinante para avaliar o grau de contaminação e definir os processos adequados para tratamento. Metcalf & Eddy (2016) afirmam que a caracterização deve incluir indicadores fundamentais como:

- pH, por afetar reações químicas e a estabilidade dos flocos;
- Turbidez, que reflete a presença de partículas suspensas;
- DQO (Demanda Química de Oxigênio), indicador da matéria orgânica presente;
- DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), relacionada à decomposição biológica;
- Óleos e graxas, típicos de ambientes de manutenção mecânica;
- Metais pesados, como ferro, zinco, cobre e cromo;
- Sólidos suspensos totais, que impactam a decantação;
- Condutividade, que indica concentração de íons dissolvidos.

“A caracterização adequada do efluente é essencial para selecionar e otimizar os processos de tratamento, uma vez que suas propriedades determinam diretamente o comportamento do sistema” (METCALF & EDDY, 2016, p. 245). Von Sperling (2017) complementa que os parâmetros

não devem ser analisados de forma isolada, pois interagem entre si. Por exemplo, uma mudança no pH pode alterar a solubilidade de metais, a estabilidade de emulsões e a eficiência de agentes coagulantes. Essa compreensão integrada é essencial para dimensionar sistemas compactos, que possuem menor margem para variações bruscas.

4.4 IMPORTÂNCIA DA CARACTERIZAÇÃO PARA O DIMENSIONAMENTO DA ESTAÇÃO COMPACTA

A caracterização dos efluentes industriais constitui uma etapa fundamental para o dimensionamento de estações compactas de tratamento. Em ambientes industriais, especialmente nos setores mecânico e de usinagem, as variações nos processos produtivos resultam em mudanças constantes na composição, concentração de contaminantes e comportamento físico-químico dos efluentes. Dessa forma, o conhecimento preciso dessas características não representa apenas uma exigência técnica, mas um fator determinante para a seleção adequada dos processos de tratamento, o desempenho operacional do sistema e a eficiência final da estação. Em ambientes mecânicos e de usinagem, os efluentes apresentam variações constantes em composição, concentração de contaminantes e parâmetros físico-químicos. Conhecer esses dados orienta o projeto, permite selecionar tecnologias adequadas e assegura que o sistema opere com eficiência, mesmo diante de flutuações sazonais ou operacionais (Metcalf & Eddy, 2021; Droste & Gehr, 2018).

A ABNT NBR 10004 (2020) reforça essa necessidade ao afirmar que “resíduos que contenham óleo lubrificante usado ou contaminado são classificados como resíduos perigosos, exigindo manejo diferenciado”. Essa definição não apenas sinaliza o risco associado ao resíduo, mas também direciona o tipo de tratamento adequado, a escolha dos materiais compatíveis e o planejamento das etapas de separação e remoção de contaminantes. No caso dos efluentes oleosos, por exemplo, a caracterização correta indica se serão necessários módulos como separadores óleo-água, unidades de flotação ou coagulantes específicos.

Outro ponto relevante é a compatibilidade entre a carga poluidora e as tecnologias escolhidas. Estações compactas funcionam muito bem quando o efluente possui características estáveis, mas podem sofrer perda de eficiência em cenários de grande variação química (Tchobanoglous *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2022; Jiang *et al.*, 2021). Nesses casos, a caracterização permite planejar soluções complementares, como tanques de equalização ou etapas mais robustas de pré-tratamento, assegurando desempenho consistente mesmo quando o processo industrial varia.

4.5 ESTRUTURA E PROPRIEDADES

A quitosana é um biopolímero obtido a partir da desacetilação da quitina (processo químico que remove grupos acetila da estrutura molecular), sendo composta predominantemente por unidades de β -(1 $\rightarrow$ 4) -D-glicosamina (estrutura química básica que forma a cadeia do polímero). Sua principal característica está na presença de grupos amino livres ao longo da cadeia, que podem ser protonados em meio ácido (adquirir carga positiva). Como descreve Kurita (2001), “a presença de grupamentos amino protonáveis confere à quitosana sua característica catiônica singular”, propriedade que explica sua capacidade de interagir com partículas e contaminantes presentes em meio aquoso.

Além da sua composição química, a quitosana apresenta características estruturais que permitem sua aplicação em diferentes formas físicas, como pó, microesferas, grânulos e compósitos (materiais formados pela combinação de diferentes substâncias). Roberts (2008) destaca que essa versatilidade amplia suas possibilidades de uso em processos ambientais, permitindo sua adaptação às diferentes etapas do tratamento. Rinaudo (2006) também ressalta que sua biodegradabilidade (capacidade de se decompor naturalmente), baixa toxicidade e biocompatibilidade (compatibilidade com sistemas biológicos sem causar efeitos nocivos) tornam esse material uma alternativa promissora para o desenvolvimento de tecnologias mais sustentáveis no tratamento de água.

Quando utilizada na forma de pó, a quitosana apresenta bom desempenho em processos de coagulação e floculação, favorecendo a neutralização de cargas e a formação de flocos (agrupamentos de partículas que facilitam sua remoção), auxiliando na retirada de sólidos suspensos e outros contaminantes presentes no efluente. Já na forma de pérolas ou grânulos, destaca-se pela capacidade adsorvente (retenção de substâncias na superfície do material) e pela maior área de contato com o efluente, favorecendo sua aplicação em etapas filtrantes e na retenção complementar de contaminantes. Além disso, por ser um material biodegradável e de baixa toxicidade, sua utilização apresenta vantagens ambientais, reforçando seu potencial como alternativa sustentável em sistemas de tratamento de efluentes (RAVI KUMAR, 2000; RINAUDO, 2006).

4.6 MECANISMO DE ATUAÇÃO

O desempenho da quitosana no tratamento de efluentes está diretamente relacionado à protonação dos grupos amino em condições ácidas, processo que confere ao material carga positiva e capacidade de interação com espécies negativas. Kurita (2001) destaca que essa ativação promove mecanismos simultâneos de adsorção eletrostática, complexação e floculação, essenciais para a remoção de contaminantes.

A literatura também evidencia a multiplicidade de interações envolvidas. Ravi Kumar (2000) descreve a quitosana como um “agente de ligação multifuncional capaz de capturar metais, sólidos suspensos e moléculas orgânicas”, devido à combinação de ligações eletrostáticas, ligações de hidrogênio e interações hidrofóbicas. Mesmo quando estruturada na forma de filmes, a quitosana mantém esses mecanismos, atuando tanto pela superfície quanto pelo volume do material.

Portanto, o mecanismo de atuação da quitosana é híbrido, envolvendo fenômenos químicos e físicos que operam simultaneamente, o que justifica sua eficiência em diferentes configurações e aplicações industriais.

4.7 APLICAÇÕES NO TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS

A quitosana vem sendo amplamente utilizada como coagulante, floculante e adsorvente em diversos setores industriais, incluindo os segmentos têxtil, metalúrgico, químico e alimentício. Ravi Kumar (2000, p. 1) destaca que a quitosana possui elevada capacidade de adsorção de metais pesados e compostos orgânicos, tornando-se uma alternativa eficiente aos coagulantes sintéticos convencionais.

No setor metalúrgico, a quitosana apresenta grande relevância devido à sua eficiência na remoção de metais pesados presentes em efluentes industriais, como cobre, níquel, cromo e zinco. Sua estrutura química rica em grupos amino e hidroxila favorece a adsorção desses contaminantes, contribuindo para a redução da poluição hídrica e possibilitando o reaproveitamento da água nos processos industriais (CRINI, 2011).

Ravi Kumar (2000) destaca ainda que a versatilidade da quitosana permite sua utilização em diferentes etapas do tratamento, desde a clarificação inicial até o polimento final do efluente. Além disso, modificações químicas, como reticulação e formação de compósitos, aumentam significativamente sua estabilidade e eficiência adsorvente (CRINI, 2011).

4.8 VANTAGENS E LIMITAÇÕES

As principais vantagens da quitosana estão relacionadas à sua origem renovável, biodegradabilidade, baixa toxicidade e elevada capacidade de interação com diferentes contaminantes presentes em meio aquoso. Segundo Rinaudo (2006), essas propriedades estão diretamente relacionadas à estrutura química do polímero e ao seu caráter catiônico, que favorece interações eletrostáticas em sistemas aquosos. Sua versatilidade estrutural também permite aplicação em diferentes

formas físicas, como pó, pérolas e grânulos, ampliando sua utilização em processos de tratamento de efluentes (KURITA, 2001).

Quando utilizada na forma de pó, a quitosana apresenta elevada eficiência em processos de coagulação e floculação, favorecendo a neutralização de cargas e a formação de flocos que contribuem para a remoção de sólidos suspensos e contaminantes metálicos. Já na forma de pérolas ou grânulos, destaca-se pela capacidade adsorvente e pela maior área de contato com o efluente, características que favorecem sua aplicação em etapas complementares de filtração e polimento do tratamento (CRINI; BADOT, 2008).

Apesar dessas vantagens, sua eficiência pode ser influenciada pelas condições operacionais do sistema, especialmente pelo pH. Ravi Kumar (2000) destaca que, em condições alcalinas, ocorre a desprotonação dos grupos amino, reduzindo a capacidade de interação com contaminantes. Além disso, fatores como custo de processamento, variabilidade da matéria-prima e necessidade de padronização ainda representam desafios para aplicações em larga escala (RINAUDO, 2006).

5 METODOLOGIA

QUADRO 1: CRONOGRAMA DE DESENVOLVIMENTO

ATIVIDADES	2025						2026					
	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN
Escolha do tema. Definição do problema de pesquisa	X	X	X	X	X							
Definição dos objetivos, justificativa						X						
Definição da metodologia						X						
Pesquisa bibliográfica e elaboração da fundamentação teórica						X	X	X	X	X		
Entrega da primeira versão do projeto										X		
Entrega da versão final do projeto											X	
Revisão das referências para elaboração do TCC								X	X	X	X	
Elaboração do capítulo 1					X							
Revisão e reestruturação do Capítulo 1 e elaboração do Capítulo 2						X	X	X				
Revisão e reestruturação do Capítulo 1 e 2. Elaboração do Capítulo 3							X	X				
Elaboração das considerações finais. Revisão da Introdução								X	X			
Reestruturação e revisão de todo o texto. Verificação das referências utilizadas							X	X	X	X		
Elaboração de todos os elementos pré e pós-textuais										X	X	
Entrega da monografia											X	
Defesa da monografia												X

Fonte: Elaborado pelos autores, 2026

Materiais previstos para a estação de tratamento de efluentes:

- Ácido acético;
- Agitador mecânico;
- Pá naval;
- Pá paleta;
- Areia filtrante;
- Brita n° 1;
- Pedrisco (brita n° 0);
- Carvão ativado;
- Estrutura base;
- Grade aço inox;
- Manta filtrante;
- Quitosana;
- Tanques em PEAD;
- Tubulação PVC;
- Válvulas.

O projeto está alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), com destaque na ODS 6 – Água Potável e Saneamento, especialmente na meta 6.3, que estabelece, até o ano de 2030, a melhoria da qualidade da água por meio da redução da poluição, da eliminação do despejo inadequado de resíduos e da diminuição da liberação de substâncias químicas e materiais perigosos no meio ambiente, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente. Nesse contexto, o projeto contribui para o fortalecimento de práticas sustentáveis relacionadas à gestão dos recursos hídricos, promovendo benefícios ambientais, sociais e sanitários.

6 CRONOGRAMA DE DESENVOLVIMENTO

6.1 SISTEMA GERAL

O projeto foi elaborado com foco em efluentes contendo óleos, sólidos suspensos e possíveis metais dissolvidos, comuns em oficinas mecânicas, centros automotivos e processos de usinagem.

É importante destacar que a estação proposta não foi construída nem passou por testes experimentais reais, sendo desenvolvida como um estudo técnico-teórico com foco na análise estrutural, hidráulica e funcional da aplicação da quitosana em sistemas compactos de tratamento de efluentes.

Diante desse contexto, os parâmetros operacionais adotados, como tempo de detenção, dimensões dos tanques e dosagens aplicadas, foram definidos com base em literatura técnica especializada, definidas de modo a tornar a construção do sistema mais simples e funcional, favorecendo a montagem modular e a aplicação prática da proposta. Por isso, esses valores podem ser ajustados futuramente a partir de validações laboratoriais realizadas por profissionais da área, além de testes em escala piloto e avaliações práticas de operação.

A configuração da estação foi projetada em três módulos principais interligados por escoamento gravitacional:

Módulo 1 – Pré-tratamento: responsável pelo gradeamento inicial e separação óleo/água;

Módulo 2 – Tratamento físico-químico: destinado às etapas de coagulação, floculação e decantação utilizando quitosana em pó;

Módulo 3 – Filtração: responsável pelo polimento final do efluente através de leito filtrante utilizando quitosana em pérolas/grânulos.

O diferencial técnico do sistema consiste na proposta de utilização da quitosana como biocoagulante natural. A quitosana é um biopolímero obtido a partir da desacetilação da quitina (processo químico que modifica

sua estrutura para torná-la mais reativa) presente em resíduos de crustáceos, apresentando elevada capacidade de adsorção e interação com partículas suspensas, óleos emulsificados e metais dissolvidos.

Em meio levemente ácido, a quitosana apresenta protonação de seus grupos amino (adição de cargas positivas à molécula), favorecendo mecanismos de neutralização de cargas, formação de pontes poliméricas (ligação entre partículas para formar flocos maiores) e complexação iônica (interação química que facilita a retenção de contaminantes), contribuindo para a remoção físico-química dos contaminantes presentes no efluente.

Os materiais previstos para a construção da estação encontram-se apresentados na Tabela 1 e sua estimativa de custo encontra-se na tabela 2.

TABELA 1 - MATERIAIS DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO

MATERIAIS	QUANT.	UNI	OBSERVAÇÃO
Ácido acético 1%	500	ml	Solubilização da quitosana em pó
Agitador mecânico	2	un	Coagulação e Floculação
Pá hélice naval	1	un	Mistura rápida (coagulação)
Pá paleta	1	un	Mistura lenta (floculação)
Eixo agitador inox	2	un	Acoplado às pás
Motor elétrico pequeno	2	un	Acionamento dos agitadores
Areia filtrante	1,4	kg	Camada filtrante intermediária
Brita nº1	1,1	kg	Camada suporte drenante
Pedrisco (brita nº0)	1	kg	Pré- camada drenante
Carvão ativado granular	350	g	Adsorção complementar
Estrutura base em aço inox	1	un	Base escalonada com desnível hidráulico
Grade em aço inox	1	un	Gradeamento módulo inicial
Manta filtrante geotêxtil 150 g/m²	2	un	Discos filtrantes superior/ inferior
Quitosana em pó	100	g	Coagulação e Floculação
Quitosana em pérolas/ grânulos	320	g	Meio filtrante adsorvente
Tanque módulo 1	1	un	Pré-tratamento
Tanque módulo 2A	1	un	Coagulação
Tanque módulo 2B	1	un	Floculação
Tanque módulo 3	1	un	Filtração
Tampa superior	4	un	Fechamento dos tanques
Tubulação PVC 20 mm	1	m	Interligação entre módulos
Válvula esfera PVC	5	un	Controle de fluxo/ drenagem
Joelho PVC 20 mm	4	un	Curvas de tubulação
Adaptador roscável PVC	8	un	Conexões laterais
Entrada lateral PVC	1	un	Entrada efluente bruto
Saída final PVC	1	un	Saída efluente tratado

Fonte: Elaborado pelos autores (2026), com base em Metcalf & Eddy (2014), Di Bernardo e Dantas (2005), Rinaudo (2006) e Crini (2011).

TABELA 2 – ESTIMATIVA DE CUSTO ETE

MATERIAL	QUANT	UNI	VALOR UNI	QUAN. VENDIDA	VALOR TOTAL
Ácido acético 1%	500	ml	R\$ 18,00	-	R\$ 18,00
Agitador mecânico	2	un	R\$ 1.250,00	-	R\$ 2.500,00
Pá hélice naval	1	un	R\$ 180,00	-	R\$ 180,00
Pá paleta	1	un	R\$ 220,00	-	R\$ 220,00
Eixo agitador inox	2	un	R\$ 120,00	-	R\$ 240,00
Motor elétrico pequeno	2	un	R\$ 480,00	-	R\$ 960,00
Areia filtrante	1,4	kg	R\$ 1,47	25kg	R\$ 35,90
Brita nº1	1,1	kg	R\$ 0,24	25kg	R\$ 6,00
Pedrisco (brita nº0)	1	kg	R\$ 0,28	25kg	R\$ 7,00
Carvão ativado granular	350	g	R\$ 21,77	25kg	R\$ 1.554,90
Estrutura base em aço inox	1	un	R\$ 1.450,00	-	R\$ 1.450,00
Grade em aço inox	1	un	R\$ 280,00	-	R\$ 280,00
Manta filtrante geotêxtil 150 g/m²	2	un	R\$ 35,00	-	R\$ 70,00
Quitosana em pó	100	g	R\$ 18,00	1kg	R\$ 180,00
Quitosana em pérolas/ grânulos	320	g	R\$ 76,80	1kg	R\$ 240,00
Tanque módulo 1	1	un	R\$ 1.450,00	-	R\$ 1.450,00
Tanque módulo 2A	1	un	R\$ 1.250,00	-	R\$ 1.250,00
Tanque módulo 2B	1	un	R\$ 1.250,00	-	R\$ 1.250,00
Tanque módulo 3	1	un	R\$ 1.380,00	-	R\$ 1.380,00
Tampa superior	4	un	R\$ 95,00	-	R\$ 380,00
Tubulação PVC 20 mm	1	m	R\$ 18,00	-	R\$ 54,00
Válvula esfera PVC	5	un	R\$ 28,00	-	R\$ 140,00
Joelho PVC 20 mm 90°	4	un	R\$ 5,00	-	R\$ 20,00
Adaptador roscável PVC	8	un	R\$ 7,00	-	R\$ 56,00
Luva de união PVC	6	un	R\$ 12,00	-	R\$ 72,00
Entrada lateral PVC	1	un	R\$ 25,00	-	R\$ 25,00
Saída final PVC	1	un	R\$ 25,00	-	R\$ 25,00
TOTAL			R\$ 1.888,56	-	R\$ 6.031,80

Fonte: Elaborado pelos autores (2026), a partir de levantamento de preços de fornecedores nacionais de equipamentos, materiais filtrantes e componentes hidráulicos.

6.2 DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS

O dimensionamento inicial da estação foi desenvolvido para operação em escala reduzida, considerando o escoamento gravitacional entre os módulos (movimentação do efluente pela ação da gravidade).

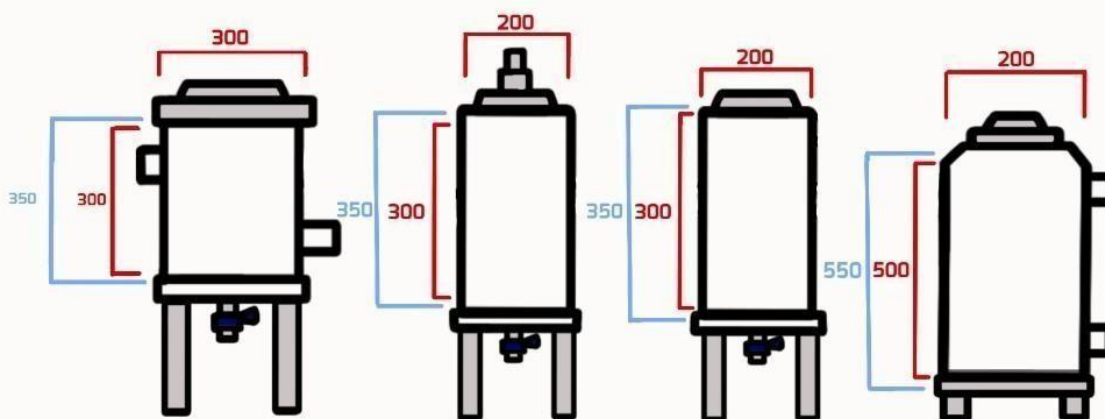
A configuração dos módulos foi definida para permitir o deslocamento natural do efluente entre as etapas de tratamento, reduzindo a necessidade de bombeamento intermediário (transferência mecânica entre tanques) e contribuindo para uma operação hidráulica mais simples

As medidas preliminares dos módulos encontram-se apresentadas na Tabela 3 e o desenho ilustrativo na figura 1.

TABELA 3 – MEDIDAS DA ETE

MOD 1		MOD 2A		MOD 2B		MOD 3	
Diâmetro	300mm	Diâmetro	200mm	Diâmetro	200mm	Diâmetro	200mm
Altura	350mm	Altura	350mm	Altura	350mm	Altura	550mm
Altura útil	300mm	Altura útil	300mm	Altura útil	300mm	Altura útil	500mm
Volume total	24,7L	Volume total	-	Volume total	-	Volume total	17,3L
Volume útil	21,2L	Volume útil	9,4L	Volume útil	9,4L	Volume útil	15,7L

Fonte: Elaborado pelos autores (2026), com base em Metcalf & Eddy (2014) e Von Sperling (2017).

FIGURA 1 - ESTRUTURA GERAL DA ESTAÇÃO COMPACTA

Fonte: Elaborado por João Victor dos Santos - boxy_arts (2026)

O sistema foi pensado para o funcionamento por diferença de nível hidráulico entre os reservatórios, permitindo a transferência do efluente entre os módulos por gravidade. Também está prevista a utilização de válvulas para controle operacional, drenagem e manutenção preventiva da estação.

6.3 MÓDULO 1 – PRÉ TRATAMENTO

O Módulo 1 foi projetado para realização do pré-tratamento do efluente, sendo responsável pela retenção inicial de sólidos grosseiros e separação preliminar da fase oleosa.

Na entrada do sistema, está prevista a instalação de uma grade metálica inclinada entre 30° e 45°, destinada à retenção de resíduos sólidos de maiores dimensões, como cavacos metálicos, plásticos e partículas diversas.

Após o gradeamento, o efluente será direcionado para uma região equipada com defletor interno em PEAD (placa que direciona o fluxo) e placas coalescedoras (estruturas que facilitam a união das partículas de

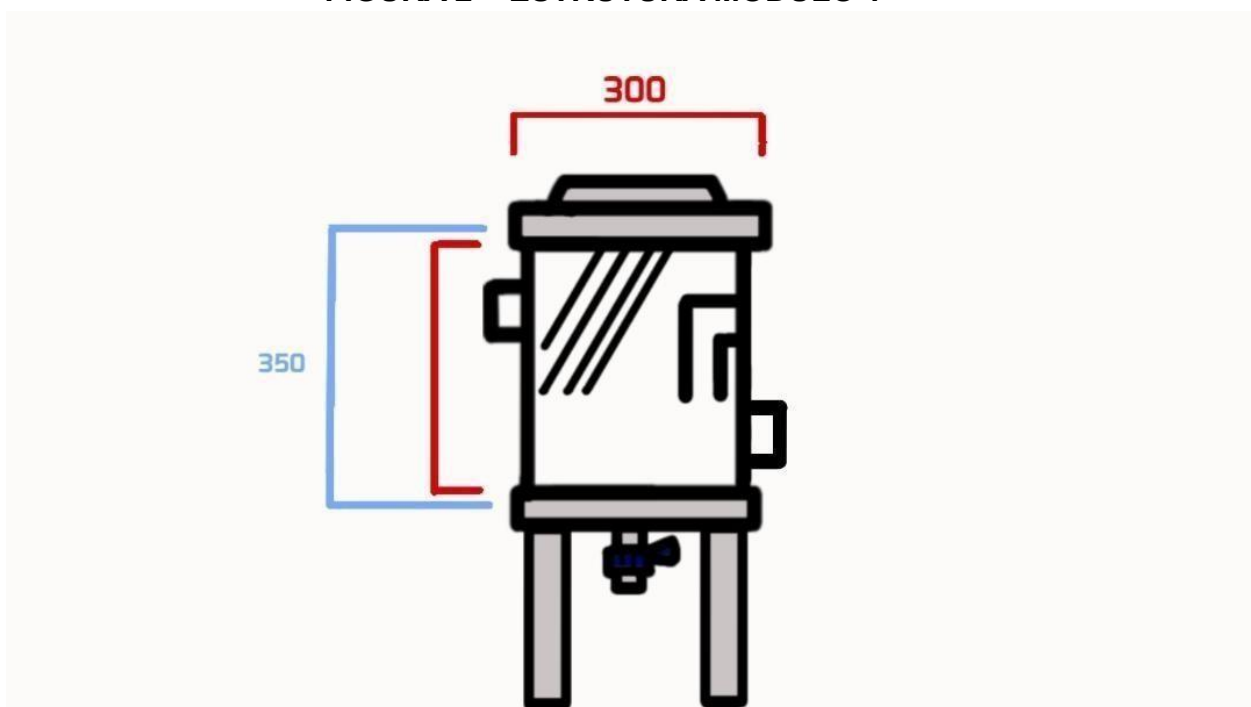
óleo), responsáveis por reduzir a velocidade do escoamento e diminuir a turbulência hidráulica (movimentação desordenada do fluido).

A separação entre óleo e água ocorre devido à diferença de densidade entre as substâncias presentes no efluente. Dessa forma, o óleo, por ser menos denso, tende a subir para a superfície, enquanto a água permanece nas regiões inferiores do tanque.

Essa configuração tem como objetivo reduzir a quantidade de óleos e sólidos encaminhados às etapas seguintes do tratamento, contribuindo para o aumento da eficiência geral da estação.

A estrutura proposta para o módulo pode ser visualizada na figura 2.

FIGURA 2 – ESTRUTURA MÓDULO 1



Fonte: Elaborado por João Victor dos Santos - boxy_arts (2026)

6.4 MÓDULO 2 – COAGULAÇÃO, FLOCULAÇÃO E DECANTAÇÃO

O Módulo 2 foi projetado para concentrar as principais etapas do tratamento físico-químico da estação.

A configuração operacional proposta divide o módulo em dois reservatórios sequenciais:

Tanque 2A – Coagulação

Tanque 2B – Floculação

Essa subdivisão operacional propõe separar as condições hidráulicas de mistura rápida e mistura lenta, evitando a ruptura dos flocos formados durante o processo.

A coagulação foi proposta mediante aplicação de solução de quitosana previamente solubilizada em ácido acético a 1%. A utilização do ácido acético visa promover a protonação dos grupos amino da quitosana ($-\text{NH}_2 \rightarrow -\text{NH}_3^+$), condição necessária para ativação de suas propriedades coagulantes.

A atuação da quitosana no sistema está associada aos seguintes mecanismos físico-químicos:

- neutralização de cargas superficiais;
- adsorção de partículas finas;
- formação de pontes poliméricas;
- complexação iônica de metais dissolvidos.
- Entre os metais com afinidade conhecida pela quitosana destacam-se:
 - cobre (Cu^{2+});
 - zinco (Zn^{2+});
 - ferro (Fe^{3+});
 - cromo (Cr^{6+});
 - níquel (Ni^{2+});
 - chumbo (Pb^{2+}).

No tanque 2A, foi prevista a utilização de agitador mecânico com hélice axial operando entre 100 e 150 rpm, promovendo mistura rápida durante aproximadamente 1 a 3 minutos para dispersão homogênea do coagulante.

Posteriormente, o efluente será conduzido ao tanque 2B, no qual foi proposta agitação lenta utilizando pá tipo paleta, operando entre 20 e 40 rpm durante período aproximado de 15 a 25 minutos.

A mistura lenta visa favorecer o crescimento gradual dos flocos sem ruptura estrutural significativa, permitindo posterior sedimentação gravitacional.

Na região inferior do sistema, prevê-se a formação da zona de decantação, onde os flocos sedimentáveis deverão permanecer acumulados para posterior remoção.

A utilização da quitosana apresenta vantagens ambientais relevantes devido à sua biodegradabilidade e menor potencial de geração de lodo tóxico quando comparada aos coagulantes metálicos convencionais.

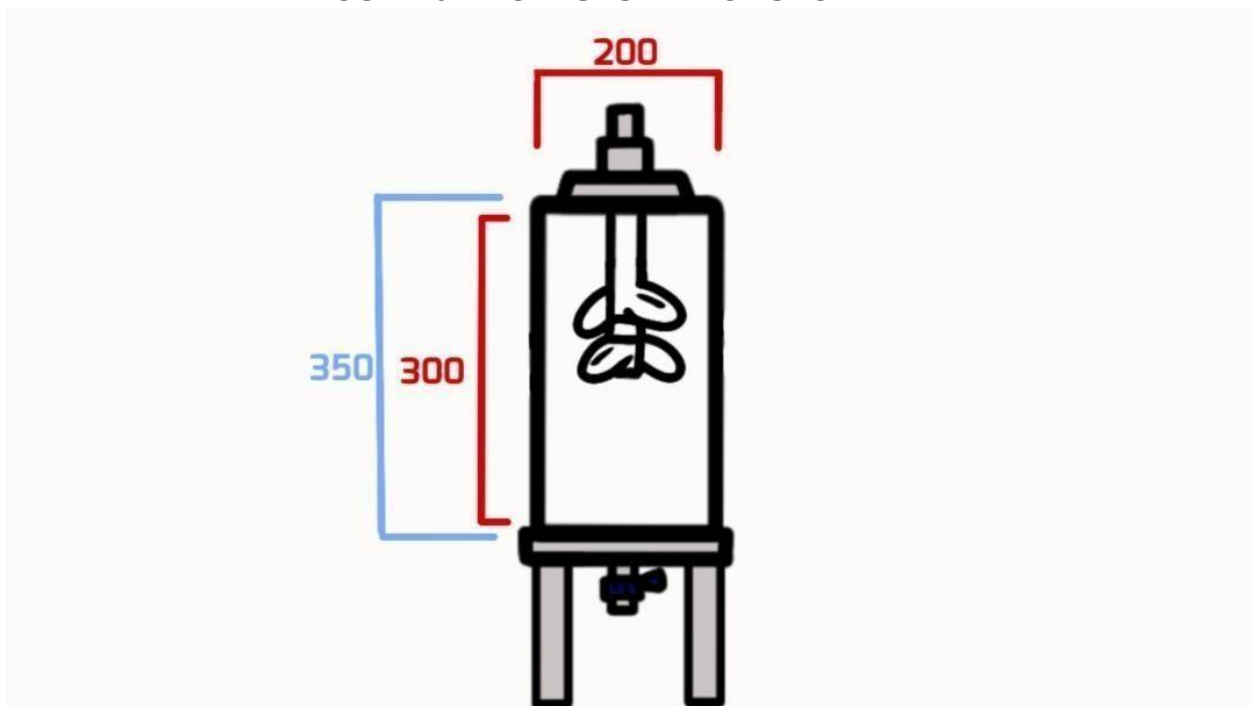
As especificações operacionais previstas para o módulo encontram-se apresentadas na tabela 4 e a ilustração do módulo na figura 3 e 4.

TABELA 4 – COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO COM QUITOSANA

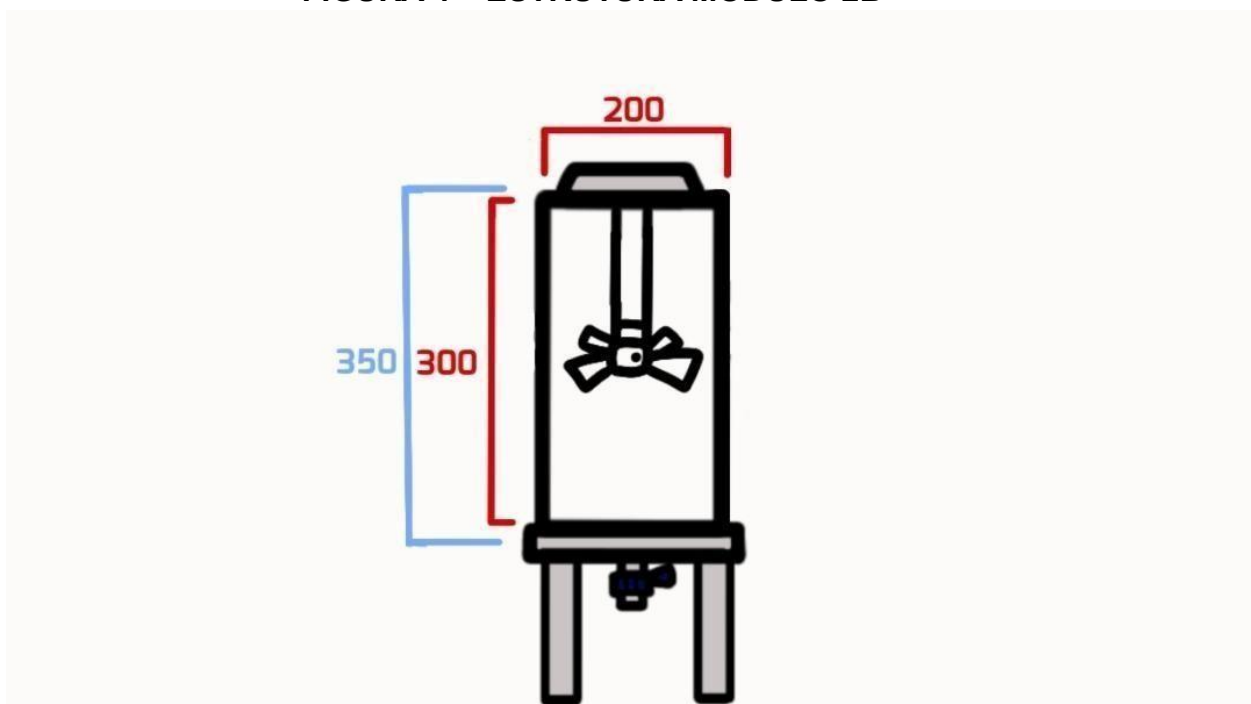
Parâmetro	Especificação técnica	Aplicação no projeto	Justificativa técnica
Etapa do processo	Tratamento físico-químico secundário	Módulo 2 da estação	Responsável pela remoção de partículas coloidais, sólidos suspensos finos e redução parcial de contaminantes dissolvidos
Subdivisão operacional	Tanque 2A= coagulação/ Tanque = floculação	Dois tanques sequenciais interligados	Permite separar mistura rápida da lenta, evitando quebra de flocos
Objetivo da coagulação	Desestabilização de partículas coloidais	Neutralização de cargas superficiais	Favorece aproximação entre partículas antes da formação dos flocos
Objetivo da floculação	Crescimento e agregação de partículas	Formação de flocos sedimentáveis ou filtráveis	Aumenta eficiência das etapas posteriores
Coagulante utilizado	Quitosana	Aplicação como biocoagulante natural	Menor toxicidade e menor geração de lodo comparado a sais metálicos
Forma de aplicação da quitosana	Solução líquida preparada previamente	Dosagem direta no tanque 2A	Facilita dispersão homogênea no efluente
Preparação da solução	Solubilização em ácido acético 1%	Pré-tratamento antes da preparação	Quitosana não é solúvel em água neutra
Concentração da solução	1-2 g/L	Solução operacional padrão	Faixa comum em estudos laboratoriais
Dosagem operacional	50-200 mg/L (ajustável conforme carga contaminante)	Inserção controlada no tanque de coagulação	Dependente de turbidez, carga orgânica e concentração metálica
Mecanismo principal 1	Neutralização de cargas	Protonação de grupos amino ($-NH_2 \rightarrow -NH_3^+$)	Permite interação com partículas negativamente carregadas
Mecanismo principal 2	Formação de pontes poliméricas	Ligação entre partículas dispersas	Favorece agregação e crescimento dos flocos
Mecanismo principal 3	Adsorção superficial	Retenção de partículas finas e contaminantes	Complementa remoção físico-química
Mecanismo principal 4	Complexação iônica	Ligação com íons metálicos	Auxilia remoção de metais dissolvidos
Metais com afinidade conhecida	Cu^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{3+} , Cr^{6+} , Ni^{2+} , Pb^{2+}	Possível remoção parcial no processo	Alta afinidade pelos grupos amino e hidroxila
Faixa ideal de pH	6,0 - 7,0	Controle operacional recomendado	Maximiza protonação e eficiência coagulante

Perda de eficiência	pH>8,0	Redução de protonação	Diminui capacidade de neutralização de cargas
Mistura rápida (tanque 2A)	100-150 rpm	Hélice tipo naval	Dispersão uniforme da quitosana
Tempo de mistura rápido	1-3 min	Coagulação inicial	Evita supermistura desnecessária
Tipo de agitador 2A	Hélice axial simples	instalada no topo com eixo vertical	Melhor circulação vertical do fluido
Posição do eixo	Superior	Entrada pela tampa	Configuração industrial mais viável
Mistura lenta (tanque 2B)	20-40 min	Pá tipo paleta	Mantém flocos íntegros
Tempo mistura lenta	15-25 min	Floculação controlada	Tempo suficiente para crescimento dos flocos
Tipo de agitador 2B	Pá paleta	Instalada superiormente	Menor cisalhamento
Regime operacional	Semi-batelada controlada	Alimentação inicial+ etapas sequenciais	Maior controle experimental
Saída do módulo	Transferência por gravidade	Encaminhamento ao módulo 3	Reduz necessidade de bombeamento
Benefícios ambientais	Menor toxicidade, biodegradável	Sustentabilidade do projeto	Diferencial ecológico do TCC
Limitações operacionais	Sensível ao pH e dosagem	Necessita controle básico	Evita subdosagem ou excesso de polímero

Fonte: Elaborado pelos autores (2026), com base em Rinaudo (2006), Ravi Kumar (2000), Metcalf & Eddy (2016) e Di Bernardo e Dantas (2005).

FIGURA 3 – ESTRUTURA MÓDULO 2A

Fonte: Elaborado por João Victor dos Santos - boxy_arts (2026)

FIGURA 4 – ESTRUTURA MÓDULO 2B

Fonte: Elaborado por João Victor dos Santos - boxy_arts (2026)

6.5 MÓDULO 3 - FILTRAÇÃO

O Módulo 3 foi pensado como etapa final do efluente tratado. O sistema de filtração proposto opera em fluxo descendente gravitacional, utilizando leito filtrante multicamadas responsáveis pela retenção física de partículas remanescentes e adsorção complementar de contaminantes.

Na camada superior, prevê-se a utilização de manta filtrante geotêxtil para distribuição uniforme do fluxo e retenção inicial de partículas finas.

Na sequência, foi proposta a utilização de quitosana granular com função adsorvente complementar, visando a remoção residual de metais dissolvidos presentes no efluente.

O carvão ativado granular foi previsto como meio adsorvente complementar para remoção de compostos orgânicos, cor e traços residuais de contaminantes após as etapas físico-químicas anteriores.

A areia filtrante foi proposta para retenção mecânica de sólidos suspensos remanescentes, enquanto o pedrisco e a brita deverão atuar como camada drenante e suporte estrutural do sistema filtrante.

A disposição estratificada das camadas filtrantes foi projetada com granulometria crescente no sentido do fluxo, visando maior estabilidade hidráulica, distribuição uniforme do efluente e redução dos riscos de colmatção do leito.

O tempo de contato hidráulico previsto para o módulo varia entre 15 e 30 minutos, operando preferencialmente em faixa de pH entre 6,0 e 7,0.

A composição e aplicação do leito filtrante encontram-se apresentadas na tabela

5.

A descrição do leito filtrante prevista encontra-se na Tabela 6.

A ilustração do Módulo 3 encontra-se na figura 5.

TABELA 5 – COMPOSIÇÃO E APLICAÇÃO DO LEITO FILTRANTE

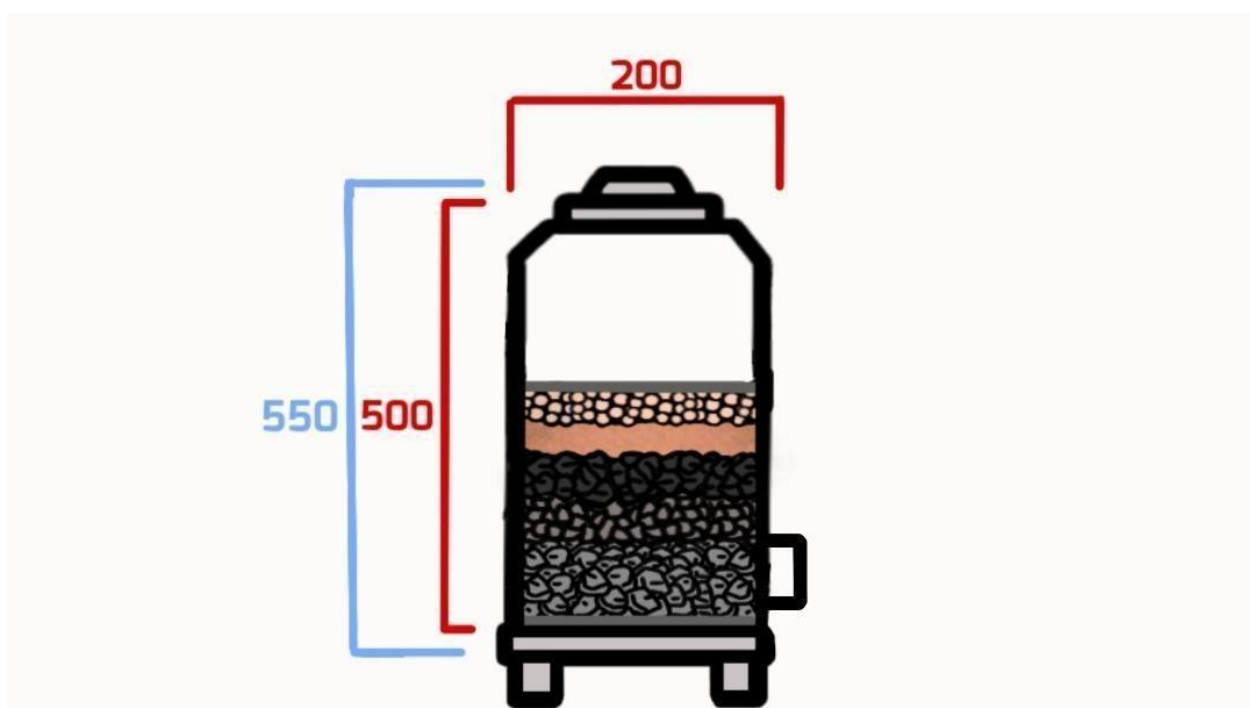
Parâmetro analisado	Especificação técnica/aplicação no projeto
Configuração hidráulica	Leito filtrante de fluxo descendente por gravidade
Manta filtrante superior	Distribuição uniforme do fluxo e proteção da camada adsorvente
Quitosana granular	Adsorção química e complexação de metais dissolvidos
Função da quitosana	Remoção complementar de Fe, Cu, Zn e Cr residuais
Granulometria da quitosana	2mm a 5mm
Areia fina	Retenção mecânica de partículas suspensas remanescentes
Função da areia	Redução de turbidez residual
Carvão ativado	Polimento adsorvente complementar e retenção residual após filtração
Função do carvão ativado	Polimento químico complementar
Brita fina/ pedrisco	Suporte estrutural e drenagem do leito
Manta filtrante inferior	Contenção das camadas e prevenção de arraste
tempo de contato	15 a 30 min
pH operacional ideal	6,0 a 7,0
Funcionamento integrado	Atuação físico-química complementar entre as camadas
Resultado esperado	Melhoria final da qualidade físico-química do efluente tratado, com remoção complementar de partículas finas, traços oleosos e metais residuais

Fonte: Elaborado pelos autores (2026), com base em Di Bernardo e Dantas (2005), Metcalf & Eddy (2014) e Rinaudo (2006).

TABELA 6 – CAMADAS DO LEITO FILTRANTE

ORDEM	MATERIAL	FUNÇÃO
1 (topo)	Manta filtrante sup.	Retenção de partículas finas e distribuição do fluxo
2	Quitosana	Adsorção de metais e polimento final
3	Areia	Retenção de sólidos suspensos
4	Carvão ativado	Polimento químico complementar
5	Pedrisco	Transição granulométrica
6	Brita	Suporte estrutural e drenagem
7 (base)	Manta filtrante inf.	Retenção das camadas e proteção do sistema de filtração

Fonte: Elaboração própria (2026), com base em Di Bernardo e Dantas (2005) e Metcalf & Eddy (2014).

FIGURA 5 – ESTRUTURA MÓDULO 3

Fonte: Elaborado por João Victor dos Santos - boxy_arts (2026)

A seleção da forma física da quitosana foi definida conforme as exigências operacionais e os mecanismos de remoção necessários para processo. Essa definição permite otimizar o desempenho do sistema nas etapas de coagulação e filtração, como demonstrado na Tabela 7. Assim o comparativo entre quitosana e coagulantes convencionais está demonstrado na tabela 8.

TABELA 7 – JUSTIFICATIVA TÉCNICA DA APLICAÇÃO DA QUITOSANA NOS MÓDULOS 2A E 3

Especificação	Mod. 2A	Mod. 3
Forma física da quitosana	Pó solubilizado em solução	Grânulos/ pérolas
Objetivo operacional	Promover coagulação química inicial	Realizar adsorção complementar e polimento final
Mecanismo predominante	Neutralização de cargas e desestabilização coloidal	Adsorção físico-química e complexação seletiva de íons metálicos dissolvidos
Condição hidráulica	Meio agitado com mistura rápida	Fluxo descendente estático por gravidade
Necessidade de dispersão	Alta dispersibilidade imediata	Contato prolongado e gradual
Área de contato requerida	Alta disponibilidade instantânea em solução	Superfície sólida estável para contato contínuo
Tempo de atuação	Curto e imediato	Prolongado
Interação com contaminantes	Formação inicial de microflocos	Retenção complementar de contaminantes residuais
Estabilidade física desejada	Dissolução rápida	Resistência estrutural no leito filtrante
Comportamento ideal no processo	Distribuição homogênea no tanque	Permanência fixa no leito
Vantagem funcional	Resposta rápida à coagulação	Maior eficiência adsorvente contínua
Justificativa técnica da escolha	Maximiza contato instantâneo com partículas suspensas	Mantém interação contínua com o fluxo filtrante, favorecendo adsorção e retenção seletiva de contaminantes residuais

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em Rinaudo (2006), Crini e Badot (2008), Metcalf & Eddy (2016) e Di Bernardo e Dantas (2005).

A escolha da quitosana como material aplicado na estação proposta vai além da sua eficiência no tratamento, envolvendo também questões operacionais, econômicas e ambientais. Quando comparada aos coagulantes convencionais, ela apresenta características que reforçam seu potencial como alternativa mais sustentável, embora também existam limitações que precisam ser consideradas, principalmente em relação ao custo e às condições de aplicação. A Tabela 8 reúne essa comparação de forma objetiva, destacando os principais aspectos que fundamentam sua utilização ao longo do sistema proposto.

TABELA 8 – COMPARATIVO TÉCNICO ENTRE A QUITOSANA E COAGULANTES CONVENCIONAIS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES

Critério	Quitosana	Coagulantes convencionais (sulfato de alumínio/ cloreto férrico)
Origem	Biopolímero natural derivado da quitina	Compostos químicos sintéticos/ inorgânicos
Eficiência de coagulação	Apresenta elevada eficiência na remoção de contaminantes, com desempenho diretamente associado ao ajuste adequado do pH, fator determinante para maximizar sua interação eletrostática com partículas suspensas	Apresenta desempenho amplamente consolidado em sistemas industriais, com elevada capacidade de desestabilização de partículas e formação eficiente de flocos em diferentes condições operacionais
Dosagem necessária	Geralmente requer menor dosagem, pois apresenta elevada disponibilidade de cargas positivas em condições adequadas de pH, favorecendo a neutralização das partículas suspensas e a formação eficiente de flocos	Podem exigir maiores dosagens para assegurar a formação adequada de flocos, em função da variabilidade das condições operacionais e da composição físico-química do efluente
Faixa ideal de pH	Mais sensível, com melhor desempenho em faixa específica	maior tolerância operacional
Produção de lodo	Menor volume de lodo, devido à menor dosagem aplicada e à elevada eficiência de coagulação, além de apresentar potencial biodegradável por se tratar de um biopolímero natural	Maior volume de lodo, decorrente da maior dosagem requerida e da formação de resíduos químicos inorgânicos durante o processo de coagulação
Custo da quitosana/ coagulante na aplicação da coagulação	Apresenta custo moderado a elevado, associado ao maior valor unitário do biopolímero e às etapas necessárias de preparo e solubilização para sua aplicação no processo de coagulação	Menor custo de aquisição, devido à ampla produção industrial, maior disponibilidade comercial e aplicação operacional consolidada
Custo em pérolas/ grânulos	Custo moderado a elevado, variando conforme grau de pureza, processamento, granulometria e forma física do material	Não aplicável
Aplicação operacional	Solução coagulante e meio adsorvente filtrante	Predominantemente coagulação/ floculação
Limitações	Sensibilidade ao pH alcalino, necessidade de preparo prévio, menor estabilidade em armazenamento prolongado	Pode provocar consumo da alcalinidade do efluente, demandando ajustes químicos complementares para controle do pH operacional
Biodegradabilidade	Alta biodegradabilidade natural	Baixa biodegradabilidade
Descarte	Pode apresentar possibilidade limitada da regeneração ou reaproveitamento técnico, dependendo da natureza dos contaminantes adsorvidos e das condições operacionais	Requer destinação técnica mais criteriosa, devido à presença de resíduos químicos que podem gerar impactos ambientais se descartados inadequadamente
Impacto ambiental	Baixo	Moderado a alto

Fonte: Elaborado pelos autores (2026), com base em Rinaudo (2006), Crini e Badot (2008), Roberts (2008) e Metcalf & Eddy (2016).

6.6 ESCOAMENTO GRAVITACIONAL E INTEGRAÇÃO OPERACIONAL

O sistema foi projetado para funcionamento integrado por gravidade, utilizando diferenças de nível hidráulico entre os módulos para condução do efluente ao longo do processo de tratamento.

Essa configuração visa reduzir o consumo energético do sistema e simplificar sua operação, minimizando a necessidade de equipamentos de bombeamento intermediário.

O controle operacional deverá ser realizado por meio de válvulas esfera em PVC e registros hidráulicos distribuídos entre os módulos, permitindo controle de vazão, drenagem e interrupções parciais para manutenção preventiva.

O arranjo vertical proposto também visa reduzir a área ocupada pela estação, favorecendo sua possível aplicação em oficinas mecânicas e pequenas unidades industriais.

O dimensionamento em tabela está apresentado na tabela 9.

TABELA 9 – DIMENSIONAMENTO E FLUXO GRAVITACIONAL DO SISTEMA

Módulo	Processo	Dimensões (mm)	Vol. Total (L)	Vol. Útil (L)	Tempo de detenção	Tipo de escoamento
1	Gradeamento + Separação óleo/água + Decantação inicial	Ø 300 x H 350 (útil:300)	24,7	21,2	20 min	Gravidade
2A	Coagulação	Ø 200 x H 350 (útil: 300)	12,6	11,0	1-3 min	Mistura mecânica
2B	Floculação e Decantação	Ø 200 x H 350 (útil: 300)	12,6	11,0	15-25 min	Mistura mecânica e gravidade
3	Filtração	200 x 550 (útil:500)	18,8	17,0 ~	10–20 min	Gravidade

Fonte: Elaboração própria (2026), com base em Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery e Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.

6.7 CONDIÇÕES IDEAIS PARA A INSTALAÇÃO DA ETE

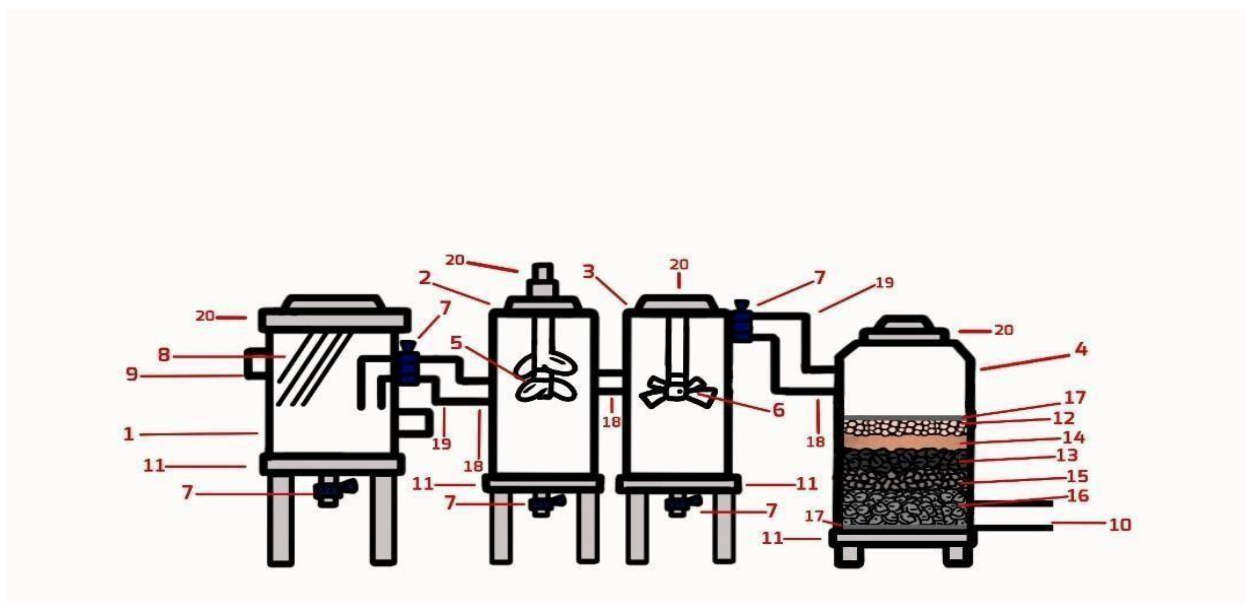
Para funcionamento adequado da estação proposta, recomenda-se que a instalação ocorra em local coberto, ventilado e com piso impermeabilizado.

Também se recomenda que o sistema permaneça nivelado estruturalmente para garantir o correto funcionamento do escoamento gravitacional entre os módulos.

Deverão estar disponíveis pontos de drenagem, alimentação elétrica protegida para os agitadores mecânicos e espaço suficiente para realização de inspeções, retirada de lodo e substituição periódica dos meios filtrantes.

Como o trabalho é uma proposta conceitual, as condições apresentadas devem ser compreendidas como recomendações preliminares, sujeitas a modificações após validações práticas e testes operacionais futuros. A estação compacta de efluentes com os materiais encontra-se na figura 6. A legenda da figura 6 encontra-se na tabela 10.

FIGURA 6 – ESTRUTURA GERAL COM MATERIAIS



Fonte: Elaborado por João Victor dos Santos - boxy_arts (2026).

TABELA 10 – LEGENDA DA FIGURA 6 – ESTRUTURA GERAL COM MATERIAIS

LEGENDA	
Nº	DESCRIÇÃO
1	Tanque módulo 1
2	Tanque módulo 2A
3	Tanque módulo 2B
4	Tanque módulo 3
5	Pá hélice naval
6	Pá paleta
7	Válvula
8	Grade
9	Entrada lateral
10	Saída final
11	Estrutura base
12	Quitosana pérolas/grânulos
13	Carvão ativado granular
14	Areia
15	Pedrisco
16	Brita
17	Manta filtrante
18	Tubulação
19	Joelho 45°
20	Tampa superior

Fonte: Elaborado pelos autores (2026), com base na Figura 6 e no dimensionamento estrutural da estação.

6.8 LIMITAÇÕES OPERACIONAIS

O desempenho do sistema proposto pode apresentar variações em função das condições operacionais e das características físico-químicas do efluente afluente. Entre os principais fatores que podem comprometer a eficiência

operacional destacam-se:

- variações na composição físico-química do efluente;
- dosagem inadequada de coagulante;
- desvios nos valores de pH;
- formação de flocos com baixa estabilidade estrutural;
- saturação prematura dos meios filtrantes;
- falhas mecânicas nos sistemas de agitação;
- acúmulo excessivo de lodo sedimentado.

Essas condições podem provocar redução da eficiência de coagulação e floculação, aumento da turbidez do efluente tratado, diminuição da remoção de metais dissolvidos e sobrecarga das etapas subsequentes do sistema.

Dessa forma, torna-se necessária a realização de monitoramento contínuo e ajustes operacionais periódicos, visando à manutenção da estabilidade hidráulica e da eficiência global do tratamento.

A identificação e avaliação de riscos encontra-se na tabela 11. A associação de risco aos objetos de auditoria encontra-se na tabela 12. As orientações sobre a tabela 11 e 12 encontra-se na tabela 13. As escalas de impacto e de probabilidade

sobre a tabela 11 encontra-se na tabela 14.

TABELA 11 – IDENTIFICAÇÃO DE AVALIAÇÃO DE RISCOS

ObjetivoChave	Macroprocesso	Risco-Chave		Risco Inerente			
		Cód.	Descrição	Impacto	Probabilidade	Nível de Risco	
Garantir estanqueidade	Construção Mecânica	R01	Falha na solda PEAD (termofusão) gerando vazamento de efluente perigoso	5	2	10	Médio
Segurança ambiental	Descarte de Resíduos	R02	Transbordamento de lodo Classe I por entupimento da tubulação de PVC.	8	2	16	Médio
Eficiência de mistura	Mecânica de Agitação	R03	Quebra ou empenamento do eixo inox do agitador no Módulo 2.	2	1	2	Baixo
Eficiência de mistura	Mecânica de Agitação	R04	Rotação excessiva ou descontrole de velocidade quebrando os flocos de quitosana	5	2	10	Médio
Integridade estrutural	Montagem Mecânica	R05	Deformação térmica do PEAD durante a usinagem ou operação, saindo da tolerância.	2	1	2	Baixo
Integridade estrutural	Montagem Mecânica	R06	Desalinhamento ou vibração excessiva dos motores, causando afrouxamento dos parafusos e fadiga das conexões de PVC	2	5	10	Médio
Tratar efluente (pH)	Operação FísicoQuímica	R07	Variação de pH (< 6 ou > 7) que impede a reação da quitosana em pó	8	8	64	Alto
Estabilidade Mecânica	Operacional	R08	Vibração excessiva do agitador mecânico no Módulo 2	2	1	2	Baixo

Fonte: Elaborado pelos autores (2026), adaptado de Brasil – Tribunal de Contas da União (2017).

TABELA 12 – ASSOCIAÇÃO DE RISCOS AOS OBJETIVOS DE AUDITORIA

Macroprocesso	Objeto de Auditoria (processos)	Riscos Associados (Código)	Σ Nível dos Riscos Associados
Construção Mecânica	Controle de qualidade da soldagem e estanqueidade dos tanques	R01	10
Descarte de Resíduos	Plano de manutenção preventiva das tubulações contra entupimentos	R02	16
Mecânica de Agitação	Calibração e controle de rotação/velocidade dos motores dos agitadores do Módulo 2	R03, R08	4
Montagem Mecânica	Verificação de dimensionamento e alinhamento estrutural da bancada	R04, R05	12
Montagem Mecânica	Verificação do desalinhamento ou vibração excessiva dos motores	R06, R08	12
Operação Físico-Química	Monitoramento e controle de dosagem do pH do efluente	R07	64

Fonte: Elaborado pelos autores (2026), adaptado de Brasil – Tribunal de Contas da União (2017).

TABELA 13 - ORIENTAÇÕES

Impacto	Avaliar o impacto do risco com base nos critérios sugeridos na aba "Escalas de Impacto e Probabilidade".
Probabilidade	Avaliar a probabilidade do risco com base nos critérios sugeridos na aba "Escalas de Impacto e Probabilidade".
Risco Inerente (RI)	Risco a que uma organização está exposta sem considerar quaisquer ações gerenciais que possam reduzir a probabilidade de sua ocorrência ou seu impacto. Calculado automaticamente = Impacto x Probabilidade [1 a 100]
Objetos de auditoria	Devem ser listados na aba com o mesmo nome. O Código de cada um deve ser relacionado com o risco na Aba riscos. Ao final devem ser somados os valores das magnitudes dos riscos vinculados

Fonte: Adaptado de Brasil – Tribunal de Contas da União (2017)

TABELA 14 – ESCALA DE IMPACTOS E PROBABILIDADES

Escala de Impactos			Escala de Probabilidades		
Magnitud e	Descrição	I	Magnitud e	Descrição	I
Muito baixo	Degradação de operações ou atividades de processos, projetos ou programas da organização, porém causando impactos mínimos nos objetivos de prazo, custo, qualidade, escopo, imagem ou relacionados ao atendimento de metas, padrões ou à capacidade de entrega de produtos/serviços às partes interessadas (clientes internos/externos, beneficiários).	1	Muito baixa	Evento improvável de ocorrer. Excepcionalmente poderá até ocorrer, porém não há elementos ou informações que indiquem essa possibilidade.	1
Baixo	Degradação de operações ou atividades de processos, projetos ou programas da organização, causando impactos pequenos nos objetivos.	2	Baixa	Evento raro de ocorrer. O evento poderá ocorrer de forma inesperada, havendo poucos elementos ou informações que indicam essa possibilidade.	2
Médio	Interrupção de operações ou atividades de processos, projetos ou programas, causando impactos significativos nos objetivos, porém recuperáveis.	5	Média	Evento possível de ocorrer. Há elementos e/ou informações que indicam moderadamente essa possibilidade.	5
Alto	Interrupção de operações ou atividades de processos, projetos ou programas da organização, causando impactos de reversão muito difícil nos objetivos.	8	Alta	Evento provável de ocorrer. É esperado que o evento ocorra, pois os elementos e as informações disponíveis indicam de forma consistente essa possibilidade.	8
Muito alto	Paralisação de operações ou atividades de processos, projetos ou programas da organização, causando impactos irreversíveis/catastróficos nos objetivos.	10	Muito alta	Evento praticamente certo de ocorrer. Inequivocamente o evento ocorrerá, pois os elementos e informações disponíveis indicam claramente essa possibilidade.	10

Fonte: Brasil. Tribunal de Contas da União. Roteiro de Auditoria de Gestão de Riscos. Brasília: TCU, Secretaria de Métodos e Suporte ao Controle Externo, 2017. (adaptada)

Fonte: Brasil. Tribunal de Contas da União. Roteiro de Auditoria de Gestão de Riscos. Brasília: TCU, Secretaria de Métodos e Suporte ao Controle Externo, 2017. (adaptada)

6.9 INTERVENÇÕES CRÍTICAS

O monitoramento do pH constitui o principal parâmetro operacional do sistema, uma vez que a eficiência da quitosana depende diretamente da protonação de seus grupos amino em meio levemente ácido, apresentando melhor

desempenho operacional na faixa de pH entre 4 e 6.

Desvios dessa faixa podem comprometer significativamente os mecanismos de coagulação e floculação, reduzindo a formação e estabilidade dos flocos.

Além disso, a remoção periódica do lodo sedimentado é necessária para evitar arraste de sólidos às etapas subsequentes, prevenindo sobrecarga hidráulica e redução da eficiência do sistema filtrante.

Conforme a ABNT NBR 10004-1:2024, os resíduos gerados no processo, incluindo lodo e borras oleosas, enquadram-se como Resíduos Classe I – Perigosos, devendo ser destinados por empresa devidamente licenciada.

Também se recomenda a realização periódica de ensaios de tratabilidade em bancada (jar test), visando otimizar a dosagem de quitosana conforme as características específicas do efluente tratado.

6.10 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA RCM

A aplicação da metodologia RCM (Reliability Centered Maintenance) teve como objetivo identificar os modos de falha potenciais associados à proposta da estação de tratamento de efluentes, bem como suas possíveis causas, consequências operacionais e estratégias de manutenção adequadas para prevenção ou mitigação dos riscos identificados.

A metodologia foi aplicada considerando os principais componentes previstos para o sistema, incluindo os mecanismos de agitação, o sistema de dosagem de quitosana, os sensores de pH, os módulos filtrantes, as tubulações e as unidades de sedimentação. A partir da análise das características operacionais de cada componente, foram identificadas as funções previstas para o sistema, as possíveis falhas funcionais, os modos de falha associados, seus potenciais efeitos operacionais, os impactos ambientais decorrentes e as ações de manutenção recomendadas.

Entre os principais modos de falha identificados destacam-se o entupimento de tubulações, falhas nos agitadores mecânicos, saturação dos meios filtrantes, descontrole do pH, dosagem inadequada de quitosana, acúmulo excessivo de lodo e ocorrência de vazamentos estruturais. A identificação desses modos de falha teve como finalidade subsidiar a definição de estratégias de manutenção voltadas à confiabilidade operacional do sistema proposto.

A estação de tratamento foi concebida para o tratamento de águas provenientes de processos de usinagem industrial contendo óleos e metais dissolvidos. Seu funcionamento baseia-se em processos físicos e físico-químicos destinados à retenção de sólidos grosseiros, separação inicial de óleo, graxa e água, coagulação e floculação com quitosana, redução da turbidez e de partículas suspensas, adsorção complementar de contaminantes e remoção parcial de metais dissolvidos, como ferro, cobre, zinco e cromo.

Com base na aplicação da metodologia RCM, foram identificadas possíveis falhas capazes de comprometer o desempenho esperado do sistema, incluindo

obstruções em tubulações e grades de retenção, falhas em equipamentos de agitação, dosagem inadequada de quitosana, saturação dos meios filtrantes, perda de eficiência dos processos de coagulação e floculação, baixa remoção de óleos e metais dissolvidos, além da ocorrência de vazamentos e acúmulo excessivo de lodo.

As possíveis causas associadas a esses modos de falha incluem excesso de sólidos, óleo ou graxa na corrente afluente, ausência de procedimentos periódicos de limpeza, desgaste mecânico de componentes, controle inadequado do pH, saturação dos materiais adsorventes, tempo insuficiente de retenção hidráulica, operação inadequada de válvulas, infiltração de umidade em motores elétricos e desgaste ou afrouxamento de elementos de fixação dos sistemas de agitação.

Considerando os efeitos potenciais dessas falhas, podem ocorrer redução da eficiência do tratamento, aumento da turbidez do efluente, passagem de contaminantes para etapas subsequentes, diminuição da remoção de metais dissolvidos, sobrecarga dos sistemas filtrantes, perdas de materiais e comprometimento da qualidade final do efluente tratado.

Dessa forma, foram propostas ações preventivas voltadas à redução da probabilidade de ocorrência dessas falhas, incluindo limpeza periódica das grades e remoção de lodo acumulado, inspeção de tubulações e válvulas, controle da dosagem de quitosana, monitoramento do pH, verificação dos sistemas de agitação, substituição periódica dos materiais filtrantes e acompanhamento das características visuais do efluente tratado.

Com base nessas ações, foi elaborado o cronograma de manutenção preventiva apresentado na Tabela 15.

Caso não seja possível estabelecer uma ação preventiva eficaz para determinado modo de falha, recomenda-se a adoção de manutenção corretiva planejada, contemplando procedimentos de limpeza, substituição de componentes e revisão operacional do sistema. Em situações emergenciais, prevê-se o isolamento dos módulos afetados e o desvio do fluxo para um reservatório de segurança sob responsabilidade da área de Saúde e Segurança do Trabalho (SST), visando minimizar riscos operacionais e ambientais.

TABELA 15 – CRONOGRAMA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Atividade	Frequência	Responsável	Procedimento Técnico
Monitoramento de pH	Diária	Operador	Medição e registro obrigatórios para garantir a faixa de 4 a 6, essencial para a reação da quitosana em pó no Módulo 2
Inspeção visual geral	Diária	Operador	Verificar vazamentos nos tanques de PEAD, acúmulo de óleo no Módulo 1 e condições estruturais dos demais módulos
Limpeza e calibração de sensores	Diária	Operador/Técnico	Remoção de resíduos oleosos dos eletrodos para evitar leituras falsas de pH
Calibração dos sensores de pH	Semanal	Técnico	Ajuste com solução conforme especificação do fabricante
Verificação do sistema de dosagem da quitosana	Diária	Operador	Conferir funcionamento do agitador mecânico (hélice/pá cruz), ausência de resíduos e formação de flocos visíveis no Módulo 2
Limpeza e lubrificação do sistema de agitação	Mensal	Técnico	Verificar eixos, rolamentos e fixação das pás; aplicar lubrificante adequado
Remoção de lodo (Módulos 1 e 2)	Quinzenal (ou conforme acúmulo)	Operador/Técnico	Retirada do lodo decantado para evitar arraste de sólidos para o Módulo 3
Destinação do lodo (Resíduo Classe I – Perigoso)	Mensal	Empresa licenciada	Transporte e descarte conforme a NBR 10004:2024, com emissão obrigatória de MTR
Inspeção do elemento filtrante (Módulo 3)	Quinzenal (fase inicial) / Mensal (operação estabilizada)	Técnico	Avaliar saturação, cor e eficiência da camada de quitosana granular, carvão ativado, areia, manta filtrante, brita e pedrisco
Substituição da quitosana granular	30 a 60 dias (conforme saturação)	Técnico	Troca obrigatória diante de escurecimento da camada ou perda de eficiência da remoção de contaminantes
Substituição do carvão ativado granular	Trimestral (ou conforme saturação)	Técnico	Troca quando houver redução da capacidade de remoção de compostos orgânicos e cor
Retrolavagem do leito filtrante	Mensal	Operador/Técnico	Inversão do fluxo com água limpa para desobstrução e reativação parcial do meio filtrante
Verificação completa do sistema hidráulico	Trimestral	Engenheiro/Técnico especializado	Avaliação geral do desempenho hidráulico, vazões, pressões e operacionalidade das válvulas
Revisão técnica e auditoria	Semestral	Engenheiro	Auditoria técnica e verificação de conformidade com a legislação ambiental (CONAMA 430/2011) e otimização do sistema

Fonte: Elaborado pelos autores (2026), com base na metodologia RCM de Moubray (1997).

6.11 SEGURANÇA OPERACIONAL

A operação da estação de tratamento requer medidas rigorosas de segurança, mirando proteger a integridade física dos operadores e prevenir acidentes com riscos biológica, químicos e mecânicos.

a) Riscos biológicos

A quitosana, embora de origem natural, pode apresentar potencial alérgico em determinadas condições operacionais.

Medidas de controle:

- Utilização de proteção respiratória adequada;
- Operação em ambientes ventilados;
- Treinamento dos operadores.

b) Riscos químicos

O manuseio de ácido acético e hidróxido de sódio apresenta risco de corrosividade química.

Medidas de controle:

- Utilização de EPIs adequados;
- Observância das FISPQ;
- Disponibilização de chuveiro de emergência e lava-olhos;
- Armazenamento adequado dos produtos químicos.

c) Riscos mecânicos

Relacionam-se à operação de equipamentos com partes móveis e sistemas rotativos.

Medidas de controle:

- Instalação de dispositivos de proteção;
- Inspeções periódicas;
- Capacitação operacional dos usuários.

Deve ser garantida a disponibilização das Fichas de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) para todos os insumos utilizados, em conformidade com a ABNT NBR 14725.

Os Equipamentos de proteção individual e coletivo adequados para o manuseio estão mencionados na tabela 16.

TABELA 16 - EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL (EPIs) E COLETIVO (EPCs)

TIPO	EQUIPAMENTO	FINALIDADE	RISCO CONTROLADO	OBSERVAÇÃO
EPI	Luvras de nitrila	Proteção das mãos contra agentes químicos e efluentes	Químico e biológico	Resistencia a ácidos e óleos
EPI	Máscara PFF2/N95	Proteção contra inalação de partículas	Químico	Obrigatório apenas no preparo da quitosana em pó
EPI	Óculos de proteção com vedação lateral	Proteção dos olhos contra respingos de ácido acético e efluente	Químico	Indispensável durante preparo da solução e operação dos módulos
EPI	Avental PVC	Proteção do tronco contra respingos e umidade	Químico	Material impermeável, de fácil limpeza
EPI	Botas de segurança (PVC ou borracha)	Proteção dos pés contra umidade, escorregamento e contaminação	Químico e mecânico	Solado antiderrapante
EPC	Chuveiro de emergência e lava-olhos	Descontaminação imediata em caso de projeção de produtos químicos.	Químico	Deve estar em local acessível e próximo ao manuseio de ácidos.
EPC	Sistemas de ventilação / Ambiente ventilado	Dispersão de partículas de pó e vapores de reagentes.	Químico e biológico	Essencial para reduzir o potencial alergênico da quitosana em pó.
EPC	Dispositivos de proteção mecânica	Impedir o contato direto com partes móveis (agitador).	Mecânico	Carenagens ou grades para proteção do eixo e hélice no Módulo 2.
EPC	Tampas de fechamento (PEAD)	Isolar o efluente e evitar respingos para fora dos tanques.	Químico e biológico	Instaladas na parte superior de todos os módulos.
EPC	Sinalização de segurança e FISPQs	Informação técnica e visual sobre riscos e procedimentos.	Geral / Operacional	Disponibilização das fichas de segurança (NBR 14725) e avisos de risco

Fonte: Elaborado pelos autores conforme NR 6 - EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL.

7 CONCLUSÃO

Com base nos estudos realizados, foi possível concluir que a proposta de uma estação compacta para tratamento de efluentes industriais associada ao uso da quitosana apresenta potencial técnico para aplicação em sistemas de tratamento físico-químico.

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, verificou-se que a combinação das etapas de separação física, coagulação, floculação, decantação e filtração pode contribuir para a remoção de sólidos suspensos, óleos, graxas, metais e outros contaminantes frequentemente encontrados em efluentes industriais. Nesse cenário, a quitosana mostrou-se uma alternativa promissora por reunir características como capacidade de adsorção, biodegradabilidade e baixa toxicidade, além de poder atuar tanto na formação de flocos quanto na retenção complementar de contaminantes.

As pesquisas analisadas indicam que a configuração proposta possui potencial de aplicação prática, especialmente em oficinas mecânicas, centros de usinagem e pequenos empreendimentos que necessitam de soluções mais compactas para o tratamento de seus efluentes. Embora a estação não tenha sido construída ou testada experimentalmente, sua estrutura foi desenvolvida com base em conceitos, processos e critérios amplamente utilizados na área de tratamento de águas e efluentes.

Também foi possível observar que o desempenho do sistema está diretamente relacionado ao controle de parâmetros operacionais, como pH, dosagem de quitosana e tempo de mistura. Por esse motivo, a realização de testes preliminares e o acompanhamento das condições de operação são fatores importantes para garantir maior eficiência ao tratamento.

Outro aspecto relevante refere-se aos resíduos gerados durante o processo. O lodo sedimentado e as borras provenientes do tratamento podem concentrar parte dos contaminantes removidos do efluente e, por isso, exigem manejo adequado. Conforme estabelece a ABNT NBR 10004-1:2024, esses resíduos podem ser classificados como Classe I – Perigosos, devendo ser armazenados, transportados e destinados de acordo com a legislação ambiental vigente, com

acompanhamento por empresas devidamente licenciadas e utilização do Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR).

Dessa forma, considera-se que o problema apresentado neste trabalho foi respondido de maneira satisfatória. A proposta demonstra que é possível desenvolver uma estação compacta capaz de integrar diferentes etapas de tratamento e atuar mesmo diante de variações nas características do efluente. Além disso, o uso da quitosana reforça a busca por alternativas mais sustentáveis para o setor, contribuindo para a redução dos impactos ambientais e para uma gestão mais responsável dos resíduos gerados pelas atividades industriais.

REFERÊNCIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10004:2024: resíduos sólidos — classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2024. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br>. Acesso em: 27 maio 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12209:2011: projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Brasília, DF: CONAMA, 2011.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Perguntas e respostas sobre EPI. Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Emprego, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/ptbr/assuntos/inspecaodotrabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/equipamentosde-protecaoindividualepsi/perguntas_e_respostas. Acesso em: 29 maio 2026.

COSTA JÚNIOR, Jefferson Alves da. Síntese e eficiência da quitosana catiônica no tratamento físico-químico da água. 2023. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br>. Acesso em: 28 maio 2026.

COUTO, Eduardo de Souza. Performance do processo de coagulação/floculação no tratamento do efluente líquido gerado na galvanoplastia. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2008. Disponível em: <https://tede.unioeste.br>. Acesso em: 26 maio 2026.

CRINI, Grégorio; BADOT, Pierre-Marie. Application of chitosan, a natural amino polysaccharide, for dye removal from aqueous solutions by adsorption processes. *Progress in Polymer Science*, v. 33, n. 4, p. 399–447, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2007.11.001>. Acesso em: 27 maio 2026.

CRINI, Grégorio. Adsorption of dyes and heavy metal ions by chitosan composites: a review. *Carbohydrate Polymers*, Oxford, v. 83, n. 4, p. 1446– 1456, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com>. Acesso em: 28 maio 2026.

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Ângela Di Bernardo. Métodos e técnicas de tratamento de água. 2. ed. São Carlos: RiMa, 2005. Disponível em: <https://www.rimaeditora.com.br>. Acesso em: 27 maio 2026.

KURITA, K. Controlled functionalization of the polysaccharide chitin. *Progress in Polymer Science*, v. 26, n. 9, p. 1921–1971, 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0079-6700\(01\)00007-7](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(01)00007-7). Acesso em: 27 maio 2026.

LIBÂNIO, Marcelo. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. 3. ed. Campinas: Átomo, 2010. Disponível em: <https://books.google.com>. Acesso em: 1 jun. 2026.

METCALF & EDDY. Wastewater engineering: treatment and resource recovery. 5. ed.

New York: McGraw-Hill Education, 2014. Disponível em:

<https://www.accessengineeringlibrary.com>. Acesso em: 1 jun. 2026.

MOURA, C. M. et al. Aplicação da quitosana produzida a partir de resíduos de camarão no tratamento de efluentes. *Vetor*, Rio Grande, v. 16, n. 1/2, p.

33–40, 2006. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/vetor/article/view/294>.

Acesso em: 12 maio

2026.

MULTIFLUXO. EPCs e a legislação brasileira: o que as empresas precisam saber. Disponível em: [https://www.multifluxo.com.br/epcs-e-a-](https://www.multifluxo.com.br/epcs-e-a-legislacaobrasileirao-que-asempresas-precisam-saber/)

[legislacaobrasileirao-que-asempresas-precisam-saber/](https://www.multifluxo.com.br/epcs-e-a-legislacaobrasileirao-que-asempresas-precisam-saber/). Acesso em: 12 out. 2025.

NASCIMENTO, Inara Oliveira do Carmo. Avaliação do processo de coagulação/floculação de lixiviado de aterro sanitário pré-tratado biologicamente utilizando quitosana e sulfato de alumínio como coagulantes. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br>. Acesso em: 19 out. 2025.

RAVI KUMAR, M. N. V. A review of chitin and chitosan applications. *Reactive and Functional Polymers*, Amsterdam, v. 46, n. 1, p. 1–27, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1381-5148\(00\)00038-9](https://doi.org/10.1016/S1381-5148(00)00038-9). Acesso em: 05 nov. 2025.

RINAUDO, Marguerite. Chitin and chitosan: properties and applications. *Progress in Polymer Science*, Oxford, v. 31, n. 7, p. 603–632, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2006.06.001>. Acesso em: 1 fev. 2026.

ROBERTS, George A. F. Chitin chemistry. London: Macmillan Press, 1992. Disponível em: <https://archive.org/details/chitinchemistry0000robe>. Acesso em: 18 jan. 2025.

RODRIGUEZ JIMENEZ, Dalia Milena; GALLEGU SUÁREZ, Darío De Jesús. Evaluación del quitosano como coagulante para el tratamiento de efluentes piscícolas. *Revista Colombiana de Biotecnología*, Bogotá, v. 21, n. 1, p. 6– 17, 2019. Disponível em: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia>. Acesso em: 26 maio 2026.

TCHOBANOGLIOUS, George; STENSEL, H. David; TSUCHIHASHI, Ryujiro; BURTON, Franklin L. *Wastewater engineering: treatment and resource recovery*. 5. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2017. Disponível em: <https://www.accessengineeringlibrary.com>. Acesso em: 21 abr. 2026.

VISENTINI, Franciele et al. Quitosana como coagulante no tratamento de água para abastecimento. *Disciplinarum Scientia – Naturais e Tecnológicas*, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 73–84, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufn.edu.br/index.php/disciplinarumNT>. Acesso em: 26 maio 2026.

VON SPERLING, Marcos. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2017. Disponível em: <https://www.editora.ufmg.br>. Acesso em: 19 fev. 2026.