



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE TÉCNICAS DE
BIORREMEDIAÇÃO E ADENSAMENTO DE LODO EM UMA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES**

Daniela Eduarda Maurer

Lajeado, junho de 2021

Daniela Eduarda Maurer

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE TÉCNICAS DE
BIORREMEDIAÇÃO E ADENSAMENTO DE LODO EM UMA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES**

Projeto de Monografia apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Engenharia Ambiental, da Universidade do Vale do Taquari - Univates, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Professor Dr. Odorico Konrad

Lajeado, junho de 2021

RESUMO

Percebe-se que o conceito de ecoeficiência nas empresas vem sendo amplamente discutido, este conceito busca conciliar o desempenho econômico, social e ambiental. Dessa forma, o controle de resíduos gerados durante o tratamento de efluentes de uma indústria, como é o caso do lodo biológico, também é de fundamental importância, pois relaciona impactos ambientais, econômicos e sociais. O objetivo do presente trabalho é avaliar a viabilidade técnica e econômica do sistema de tratamento de efluentes (ETE) de uma indústria de bebidas situada no município de Lajeado/RS, através da adição de microrganismos e de uma etapa de adensamento de lodo utilizando polímeros, de forma a reduzir a quantidade de lodo gerada ao final do tratamento e aprimorar a qualidade do efluente tratado. A eficiência do produto biorremediador e do uso de polímeros foi avaliada por meio de monitoramento analítico e comparação com o histórico de resultados da empresa. Através das análises realizadas no presente trabalho não foi possível avaliar a redução de lodo na ETE estudada em decorrência da dosagem do produto biorremediador, sendo necessário mais tempo para avaliação da sua performance. O estudo de viabilidade econômica mostra que o investimento no produto não é atrativo. Referente à técnica de dosagem de polímeros, o polímero aniônico mostrou-se mais eficiente na remoção de poluentes do efluente, obtendo melhores resultados na análise realizada do sobrenadante. A aplicação do polímero aniônico para adensamento reduz em cerca de 50% do volume de lodo, o que se mostra extremamente viável avaliando os investimentos no sistema de dosagem do produto e compra do mesmo.

Palavras-chave: Eficiência. Tratamento de Efluentes. Biorremediação. Polímeros.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tanque de aeração equipado com difusores de ar em forma de disco.....	28
Figura 2 - Aeradores de eixo vertical ou horizontal	29
Figura 3 - Etapas do sistema convencional de lodos ativados	31
Figura 4 - Etapas do sistema de lodos ativados com aeração prolongada	32
Figura 5 - Etapas do sistema de lodos ativados de fluxo intermitente.....	33
Figura 6 - Fungos observados em um sistema de lodos ativados.....	34
Figura 7 - Rotíferos observados em um sistema de lodos ativados	35
Figura 8 - Zooglea observada através de microscópio.....	36
Figura 9 - Protozoário ciliado encontrado em um sistema de lodos ativados.....	37
Figura 10 - Estrutura típica de um floco de lodo ativado	38
Figura 11 - Biota da ETE antes e depois da bioaumentação	40
Figura 12 – Fluxograma representativo da ETE.....	46
Figura 13 - Equipamento de teste de jarros	49
Figura 14 – Resultados da dosagem de 1 mL de polímero no lodo ativado adicionar nome nas amostras	60
Figura 15 – Resultados da dosagem de 2 mL de polímero no lodo ativado.....	61
Figura 16 – Resultados da dosagem de 2 mL de polímero no lodo ativado no segundo dia de testes	63

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Histórico de descarte de lodo	58
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros físicos avaliados para a caracterização de efluentes.....	18
Tabela 2 - Parâmetros químicos avaliados para a caracterização de efluentes.....	19
Tabela 3 - Parâmetros biológicos avaliados para a caracterização de efluentes	21
Tabela 4 - Limites de lançamento para efluentes líquidos, conforme Resolução CONSEMA n.º 355/2017	23
Tabela 5 - Valor médio mensal dos parâmetros do efluente bruto	24
Tabela 6 - Parâmetros analisados para caracterização do efluente bruto	47
Tabela 7 - Parâmetros analisados para caracterização do lodo ativado	47
Tabela 8 - Parâmetros analisados para caracterização do efluente tratado	48
Tabela 9 - Parâmetros analisados para caracterização do efluente bruto	51
Tabela 10 - Parâmetros analisados para caracterização do lodo ativado	52
Tabela 11 - Parâmetros analisados para caracterização do efluente tratado.....	53
Tabela 12 – Parâmetros do lodo ativado analisados 30 dias após a aplicação do produto biorremediador	54
Tabela 13 - Parâmetros do efluente tratado analisados 30 dias após a aplicação do produto biorremediador	54
Tabela 14 – Parâmetros do lodo ativado analisados 60 dias após a aplicação do produto biorremediador	55
Tabela 15 - Parâmetros do efluente bruto e tratado analisados 60 dias após a aplicação do produto biorremediador	56
Tabela 16 – Parâmetros do lodo ativado analisados 90 dias após a aplicação do produto biorremediador	57
Tabela 17 - Parâmetros do efluente bruto e tratado analisados 90 dias após a aplicação do produto biorremediador	57
Tabela 18 -Taxa de geração de lodo por m³ de efluente de entrada na ETE.....	59

Tabela 19 - Parâmetros do efluente tratado da amostra com dosagem de 2 mL de polímero catiônico	62
Tabela 20 - Parâmetros do efluente tratado da amostra com dosagem de 2 mL de polímero aniônico	64
Tabela 21 – Estimativa de redução de 50% de descarte de lodo após adensamento com polímeros.....	66
Tabela 22 – Orçamento para instalação do sistema de dosagem de polímeros na ETE	67

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

A/M	Relação alimento/microrganismo
CIP	Clean In Place
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Efluente
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – RS
IVL	Índice Volumétrico de Lodo
NaOH	Hidróxido de sódio
NBR	Norma Brasileira
OD	Oxigênio Dissolvido
pH	Potencial Hidrogeniônico
Q	Vazão
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica
V	Volume

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos	14
1.1.1 Objetivo Geral	14
1.1.2 Objetivos específicos	14
1.3 Justificativa.....	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1 Importância do tratamento de efluentes e seu impacto no ambiente	16
2.2 Caracterização de efluentes.....	17
2.2.1 Características físicas	17
2.2.2 Características químicas.....	19
2.2.3 Características biológicas	21
2.3 Legislações aplicáveis ao tratamento de efluentes	22
2.4 Caracterização dos efluentes de indústrias de bebidas não alcoólicas.....	23
2.5 Conceitos importantes para controle do processo	24
2.5.1 Relação alimento microrganismo	25
2.5.2 Idade do lodo	25
2.5.3 Tempo de detenção hidráulica (TDH)	25
2.5.4 Recirculação de lodo.....	26
2.5.5 Índice volumétrico de lodo (IVL).....	26
2.6 Aeração no sistema.....	26

2.6.1	Sistemas de ar difuso.....	27
2.6.2	Aeração mecânica	29
2.7	Tratamento de efluentes utilizando o sistema de lodos ativados	29
2.7.1	Lodos ativados convencionais (fluxo contínuo).....	30
2.7.2	Lodos ativados com aeração prolongada (fluxo contínuo).....	31
2.7.3	Lodos ativados de fluxo intermitente (batelada).....	32
2.8	Microbiologia do lodo ativado	33
2.8.1	Bactérias	35
2.8.2	Protozoários	37
2.8.3	Flocos de lodos ativados.....	38
2.9	Biorremediação (bioaugmentação)	39
2.10	Técnicas de adensamento de lodo	40
2.10.1	Adensadores por gravidade	41
2.10.2	Flotadores por ar dissolvido	41
2.10.3	Centrífugas	41
2.10.4	Prensas desaguadoras	42
2.11	Condicionamento de lodo utilizando polímeros.....	42
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	45
3.1	Monitoramento analítico	47
3.2	Avaliação da técnica de biorremediação	48
3.3	Avaliação da técnica de adensamento com o uso de polímeros.....	49
3.4	Viabilidade econômica	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	51
4.1	Caracterização do efluente	51
4.1.1	Efluente bruto.....	51
4.1.2	Efluente biológico (lodo ativado)	52
4.1.3	Efluente tratado.....	53

4.2	Avaliação da técnica de biorremediação.....	53
4.2.1	Avaliação 30 dias após a aplicação	53
4.2.2	Avaliação 60 dias após a aplicação	55
4.2.3	Avaliação 90 dias após a aplicação	56
4.2.4	Descarte de lodo.....	58
4.3	Avaliação da técnica de adensamento do lodo utilizando polímero	59
4.3.1	Primeiro dia de testes – dosagem de 1 mL de polímero	60
4.3.2	Primeiro dia de testes – dosagem de 2 mL de polímero	60
4.3.3	Primeiro dia de testes – Resultados da análise do efluente sobrenadante com dosagem de polímero catiônico	62
4.3.4	Segundo dia de testes – dosagem de 2 mL de polímero	63
4.3.5	Segundo dia de testes – Resultados da análise do efluente sobrenadante com dosagem de polímero aniônico	64
4.4	Avaliação da viabilidade econômica.....	65
4.4.1	Técnica de biorremediação aplicada ao tratamento de efluentes	65
4.1.2	Técnica de adensamento de lodo utilizando polímeros	65
5	CONCLUSÕES	68
	REFERÊNCIAS.....	69

1 INTRODUÇÃO

Metcalf e Eddy (2016) citam que o desenvolvimento das técnicas de tratamento de efluentes durante a história progrediu devido à preocupação com a saúde e impactos ambientais, sobretudo após o crescimento das cidades, sendo que a água deve ser devolvida aos corpos hídricos em condições de qualidade adequadas e de acordo com os parâmetros estabelecidos pelos órgãos ambientais. Além disso, o foco também foi concentrado em melhorar a eficiência e o controle sobre os processos de tratamento de acordo com as características específicas de cada tipo de efluente, de forma que as ETEs projetadas ocupassem menos espaço de instalação.

Giordano (2004) cita que o uso da água nas indústrias pode ocorrer de várias formas, como incorporação ao produto, processos de limpeza de máquinas e estruturas da atividade, utilização em sistemas de resfriamento, higiene pessoal e geração de vapor. A água que não foi incorporada ao produto ou perdida através da evaporação origina os efluentes líquidos. Para o tratamento eficiente dos efluentes líquidos gerados deve-se considerar diversos fatores como: legislação ambiental aplicável, caracterização do efluente, clima, segurança operacional, natureza do corpo hídrico receptor do efluente tratado, consumo de energia e a qualidade final do efluente. Para que a técnica de tratamento adequada seja escolhida é importante sobretudo, ter conhecimento do processo industrial e os pontos de geração dos efluentes líquidos da indústria.

Atualmente as opções de tratamento de efluentes são classificadas em físicas, químicas ou biológicas. O tratamento biológico realiza a decomposição dos poluentes através de reações bioquímicas realizadas por microrganismos sob condições controladas e em intervalos de tempo menores em relação ao processo que ocorre na

natureza. Entre as técnicas utilizadas estão os sistemas de lodos ativados, empregados quando há necessidade de alta qualidade do efluente e pequena área de instalação, porém a operação destes sistemas deve ser realizada de forma próxima e cautelosa, sendo que também implicam em um maior consumo de energia elétrica devido a necessidade de aeração (VON SPERLING, 2002).

Para que ocorra a etapa biológica do sistema de lodos ativados são utilizados três elementos principais: o tanque de aeração, o tanque de decantação e a recirculação de lodo. No tanque de aeração ocorre a decomposição da matéria orgânica devido a atividade de bactérias aeróbias, nesta etapa deve ser fornecido oxigênio de forma controlada a fim de disponibilizar energia para a síntese microbiana e a respiração endógena. A mistura causada no tanque de aeração permite um contato mais íntimo entre o efluente e os flocos já formados com os microrganismos presentes no ambiente. O controle de microrganismos ocorre através da recirculação de lodo, auxiliando a manter a alta concentração de sólidos no tanque de aeração, permitindo que os mesmos cresçam e se reproduzam de forma contínua. Após a formação de flocos devido à propriedade gelatinosa das bactérias, a separação de sólidos do efluente tratado é facilitada pelo tanque de decantação final (VON SPERLING, 2002).

Para maior precisão na caracterização do efluente de uma ETE é necessário o controle de alguns parâmetros como vazão, pH, DQO, DBO, quantidade de sólidos, nitrogênio e fósforo. Além disso, caso seja adotado o sistema de lodos ativados é de importância fundamental conhecer a microbiologia presente no tanque de aeração, compreendendo a reação da microfauna presente, frente à despejos de variados tipos de efluentes. Este conhecimento pode auxiliar na tomada de decisão por parte da operação técnica, garantindo maior eficiência durante todo o processo. Segundo McKinney (1962) o uso de microorganismos nas plantas de tratamento de efluentes não pode ser ignorado, os mesmos devem ser considerados no momento do projeto, sendo que deve-se entender o seu comportamento. Podem ser integrantes do lodo ativado diferentes tipos de enzimas, protozoários, fungos, algas e bactérias.

Segundo Marcon (2018), nas indústrias de bebidas a caracterização do efluente bruto pode variar devido aos diferentes processos realizados na empresa. A geração de efluente pode ocorrer em processos de limpeza (CIPs) de máquinas,

tubulações e tanques, onde são utilizados produtos químicos específicos que costumam ser alcalinos, como por exemplo soluções de hidróxido de sódio (NaOH) também conhecido como soda cáustica. Podem ainda ocorrer despejos de efluente ácido na ETE tal como através de descartes refrigerante resultantes de avarias ou ineficiência do processo produtivo.

Silva *et. al.* (2013) citam que os efluentes de indústrias de bebidas em geral podem ser caracterizados como tendo uma elevada carga orgânica, com valores médios de DQO que podem variar de 2000 mg/L a 4000 mg/L. Os parâmetros de nitrogênio, sólidos suspensos e fósforo apresentam concentrações médias.

De modo geral grande parte de indústrias de bebidas costumam adotar um tratamento de efluentes biológico, tendo um sistema de lodos ativados como parte integrante do processo, principalmente visando a grande parcela de matéria orgânica biodegradável presente no efluente. No entanto para manter o equilíbrio do sistema é necessário atentar para diversos fatores que podem impactar na eficiência do tratamento final. Uma das variáveis a ser controlada é a capacidade de sedimentação de sólidos, quando este fator é impactado negativamente a qualidade final do efluente tratado pode ficar fora dos padrões estabelecidos na legislação ambiental aplicável, bem como há probabilidade de aumentar a quantidade final de lodo biológico excedente extraído no decantador (VON SPERLING, 2002).

Atualmente podem ser empregadas diversas práticas para a redução do lodo biológico excedente nas estações de tratamento de efluentes. O adensamento baseia-se na remoção da umidade do lodo, aumentando a concentração de sólidos e reduzindo o volume final a ser descartado, este processo costuma ser realizado na etapa final de tratamento. As técnicas de estabilização são comumente utilizadas após o tanque de aeração, pois baseiam-se na remoção de matéria orgânica, reduzindo os sólidos voláteis e consequentemente implicando na redução na massa final de lodo. O uso de tais técnicas pode ainda acarretar outros benefícios, como elevar a qualidade final do efluente, reduzir patógenos e eliminar odores (GUIMARÃES, 2007).

De acordo com Marcon (2018), percebe-se que o conceito de ecoeficiência nas empresas de diversos ramos vem sendo amplamente discutido. Este conceito busca conciliar o desempenho econômico, social e ambiental das empresas. Pode-se afirmar que uma organização ecoeficiente obtém maior competitividade no mercado, pois

seus custos são reduzidos através de ações corretivas que diversas vezes também são voltadas ou contribuem para a preservação ambiental. Neste processo a imagem da empresa também pode ser impactada de forma positiva. Alinhado a este conceito o controle de resíduos gerados no processo de tratamento de efluentes de uma indústria, como é o caso do lodo biológico, também é de fundamental importância, já que relaciona impactos ambientais, econômicos e sociais. Para que ocorra o desenvolvimento do conceito da ecoeficiência dentro de uma empresa é fundamental que seja adotada uma postura ativa, buscando a efetivação de melhorias no processo, através de empenho e inovação.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo do presente trabalho é avaliar a viabilidade técnica e econômica do sistema de tratamento de efluentes (ETE) de uma indústria de bebidas situada na cidade de Lajeado/RS, através da adição de microrganismos e de uma etapa de adensamento de lodo utilizando polímeros, de forma a reduzir a quantidade de lodo gerada ao final do tratamento e melhorar a qualidade do efluente tratado.

1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterização do efluente e do lodo da estação de tratamento de efluentes;
- Utilização de microrganismos para melhorar a qualidade do efluente tratado e redução de lodo no sistema;
- Utilização de polímeros para adensamento do lodo;
- Avaliação da viabilidade técnica e econômica dos processos de redução e adensamento de lodo abordado acima.

1.3 Justificativa

Sabe-se que qualquer indústria visa obter boa eficiência no tratamento de seus efluentes para estar de acordo com as legislações ambientais aplicáveis, tendo

também o objetivo de devolver para o meio ambiente a água em condições adequadas, evitando grandes impactos negativos.

Atualmente a técnica de biorremediação é comumente utilizada para tratamento de solos contaminados, porém estudos voltados para a utilização de microrganismos como forma de corrigir o tratamento de efluentes ainda é considerado baixo.

O presente trabalho justifica-se pelo fato da redução do lodo final gerado, através do uso da biorremediação e do adensamento. Fazendo o uso de uma ou ambas as técnicas pode-se reduzir custos de descarte final, além de diminuir riscos ambientais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância do tratamento de efluentes e seu impacto no ambiente

Jordão e Pessôa (2014) citam que desde o princípio a humanidade procurou se estabelecer próximo à recursos hídricos por questões de sobrevivência, no entanto com o passar do tempo as ações humanas ineficientes no uso dos recursos disponíveis na natureza trouxeram consequências como a geração de três resíduos principais: efluentes líquidos, resíduos sólidos e efluentes gasosos.

De acordo com Archela *et. al.* (2003) os efluentes líquidos são definidos como resíduos líquidos decorrentes de atividades humanas, podendo ser subdivididos em duas categorias principais de acordo com a sua origem: efluentes domésticos e efluentes industriais. Os efluentes domésticos, gerados em maior volume por estruturas como residências, centros comerciais, hotéis, entre outros, podem causar contaminação na água devido às bactérias presentes nas fezes humanas e também contaminação através de substâncias orgânicas recalcitrantes encontradas nos detergentes e outros produtos de limpeza utilizados para lavagem. Os efluentes industriais são gerados em grandes ou pequenas indústrias, que podem ter atividades variadas, onde a contaminação da água costuma ocorrer por compostos orgânicos, como por exemplo os compostos fenólicos e devido a compostos inorgânicos, como os metais pesados.

No século XX, principalmente após os anos 60 houve um grande crescimento industrial que deu origem a grandes centros urbanos e conseqüentemente aumento do consumo de produtos. Através desse processo os recursos hídricos foram os mais prejudicados com a poluição, pois o esgoto doméstico gerado era despejado

diretamente nos rios. Atualmente este ainda é um grande problema a ser enfrentado. O despejo de efluentes líquidos domésticos nos recursos hídricos pode causar além de problemas ambientais, danos à saúde humana. Os problemas ambientais mais comuns são a diminuição da autodepuração dos recursos hídricos, pois a taxa de absorção de oxigênio é afetada. As células dos microrganismos presentes nesse meio também sofrem danos, impedindo a oxidação da matéria orgânica biodegradável. Em relação à saúde, a contaminação da água por efluentes domésticos geralmente está associada a quadros de diarreia e infecções (ARCHELA *et. al.*, 2003).

Britto e Rangel (2008) destacam que a contaminação de efluentes industriais também pode trazer consequências graves. A contaminação da água por compostos fenólicos, que estão presentes nos efluentes de algumas indústrias, podem causar danos ao sistema nervoso e circulatório humano. No meio ambiente este efluente pode provocar a mortandade de peixes e outras espécies biológicas.

Portanto, percebe-se que é de fundamental importância realizar o tratamento de efluentes para manter a qualidade da água dos recursos hídricos que é um dos patrimônios comuns da humanidade

2.2 Caracterização de efluentes

Metcalf e Eddy (2016) definem que as características dos efluentes podem ser determinadas analisando suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Estas propriedades podem variar conforme os ramos de atividade de cada indústria e as matérias-primas utilizadas. A caracterização dos efluentes pode auxiliar na escolha do meio de tratamento adequado, suas propriedades possuem parâmetros de qualidade e são apresentadas nas subseções abaixo.

2.2.1 Características físicas

Von Sperling (2005) cita que as principais características físicas dos efluentes são avaliadas pelos parâmetros de cor, odor, sabor, temperatura e turbidez. Na Tabela 1 são apresentados os parâmetros físicos e suas características.

Tabela 1 - Parâmetros físicos avaliados para a caracterização de efluentes

Parâmetro	Características
Cor	Característica causada pela presença de sólidos dissolvidos
Odor	Sensação olfativa
Sabor	Caraterística relacionada ao gosto
Temperatura	Representa a intensidade de calor
Turbidez	Característica causada pela presença de sólidos suspensos que impedem a passagem da luz, gerando um aspecto turvo

Fonte: adaptado pela autora com base em Von Sperling (2005) e Silva (2018).

Para Metcalf e Eddy (2016) o parâmetro de turbidez não costuma ser avaliado para caracterização de efluentes brutos, porém pode ser utilizado para o controle do processo de tratamento em algumas estações, principalmente aquelas que utilizam processos anaeróbios como o sistema de lodos ativados, pois pode-se estabelecer uma relação entre o parâmetro de turbidez do efluente tratado e o bom desempenho do reator biológico.

De acordo com Macêdo (2001) a quantificação dos parâmetros de sabor e odor podem variar de pessoa para pessoa, pois a avaliação é realizada usando a sensibilidade dos sentidos humanos, sendo que os mesmos são mais comumente utilizados para avaliação da qualidade dos tratamentos de águas. Para o parâmetro de cor dos efluentes industriais tratados deve-se verificar a necessidade de atendimento aos padrões de cor do corpo receptor (PIVELI, 2005).

A temperatura pode ser considerada um dos parâmetros físicos mais importantes a serem avaliados no tratamento de efluentes pois dita a taxa de reações bioquímicas. Segundo Metcalf e Eddy (2016) o aumento da temperatura na água faz com que o oxigênio seja menos solúvel, podendo causar a mortandade de peixes em recursos hídricos. No sistema de lodos ativados a taxa de digestão aeróbia pode ser elevada se a temperatura se mantiver em uma faixa de 25°C a 35°C, considerada a temperatura ótima para a atividade biológica dos microrganismos mesófilos.

2.2.2 Características químicas

Von Sperling (2005) relata que os principais parâmetros químicos a ser avaliados são: pH, cloretos, acidez, alcalinidade, dureza, ferro e manganês, nitrogênio, fósforo, oxigênio dissolvido, matéria orgânica e micropoluentes orgânicos e inorgânicos. Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros químicos e suas características.

Tabela 2 - Parâmetros químicos avaliados para a caracterização de efluentes

Parâmetro	Características
pH	Medida do grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade da amostra
Cloretos	Originados através da separação de sais
Acidez	Capacidade da água em resistir às mudanças de pH causadas pelas bases
Alcalinidade	Capacidade da água de neutralizar os ácidos
Dureza	Caracterizada pela concentração de íons de minerais dissolvidos na água
Ferro e manganês	São elementos metálicos encontrados de forma natural no meio ambiente
Nitrogênio	Este elemento pode ser encontrado na natureza em diferentes estados de oxidação: nitrogênio orgânico (N ₂), amônia (NH ₃), nitritos (NO ₂ ⁻) e nitratos (NO ₃ ⁻)
Fósforo	Este elemento pode ser encontrado na natureza nas seguintes formas: ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico
Oxigênio dissolvido	Medida da quantidade de oxigênio presente na água
Matéria orgânica	Parâmetro indicativo da presença de poluição na água
Micropoluentes inorgânicos	Geralmente caracteriza metais tóxicos
Micropoluentes orgânicos	Compostos que resistem à degradação biológica

Fonte: adaptado pela autora com base em Von Sperling (2005) e Silva (2018).

Segundo Jordão e Pessôa (2014) o pH representa a concentração de íon hidrogênio, sendo um parâmetro de considerável avaliação no tratamento de efluentes, pois tem influência sobre as taxas de crescimento de microrganismos. Os parâmetros de acidez e alcalinidade apresentam uma relação direta com o pH. A concentração de hidróxidos, bicarbonatos e carbonatos relaciona-se à alcalinidade, já a presença de gás carbônico livre indica o valor de acidez.

Para Von Sperling (2005) a concentração de cloretos na água pode ser originada de forma natural, através da dissolução de minerais, ou de forma antrópica a partir de despejos domésticos e industriais. A avaliação deste parâmetro costuma ser mais frequente para caracterização de águas de abastecimento ou esgotos tratados que serão utilizados para fins de irrigação.

Van Haandel e Marais (1999) citam que a remoção de nutrientes, como o nitrogênio e o fósforo, no efluente tratado é muito significativa pois, quando estes nutrientes são lançados em altas concentrações nos corpos hídricos pode ocorrer um processo chamado eutrofização, estimulando o crescimento de algas e causando um desequilíbrio da ecologia do local.

Os parâmetros de dureza, ferro e manganês são utilizados com mais frequência para caracterizar as águas de abastecimento, brutas e tratadas. (VON SPERLING, 2005).

A concentração de oxigênio dissolvido nos corpos hídricos é um importante indicativo de qualidade da água, conforme comentado anteriormente a temperatura elevada pode ocasionar a redução do OD nas águas, causando a mortandade da fauna aquática. No tratamento de efluentes o oxigênio dissolvido auxilia os microrganismos aeróbios na realização da sua respiração e consequente degradação de matéria orgânica (JORDÃO; PESSÔA, 2014).

Von Sperling (2005), destaca que a quantidade de matéria orgânica presente na água irá indicar o grau de poluição do meio. Através da matéria orgânica ocorre também o consumo de OD pelos microrganismos, sendo que há dois métodos principais para quantificação da matéria orgânica: a medição do consumo de oxigênio (através da Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO e pela Demanda Química de Oxigênio - DQO) e a medição do carbono orgânico (Carbono Orgânico Total - COT). Geralmente os parâmetros de DBO e DQO são utilizados com maior frequência.

De acordo com Jordão e Pessôa (2014) a DBO pode ser caracterizada como o valor de oxigênio necessário para consolidar a matéria orgânica biologicamente. Já o parâmetro DQO quantifica o oxigênio necessário para oxidação da fração orgânica.

Os micropoluentes inorgânicos, quando encontrados em grandes concentrações, podem ser tóxicos para os microrganismos do tratamento biológico de

efluentes, para os consumidores de água e para a fauna aquática. Entre estes os metais têm destaque especial, todavia os mesmos podem ser usados como nutrientes para alguns seres vivos. Já os micropoluentes orgânicos são aqueles que não fazem parte dos ciclos biogeoquímicos, ou seja, não sofrem degradação biológica. Provém principalmente de produtos químicos, detergente e defensivos agrícolas, podendo gerar problemas relacionados à toxicidade no meio em que são inseridos (VON SPERLING, 2005).

2.2.3 Características biológicas

Jordão e Pessôa (2014) consideram que conhecimentos básicos no campo da biologia são essenciais para o bom desempenho de uma planta de tratamento de efluentes. Os principais constituintes biológicos encontrados nos efluentes são: bactérias, protozoários, fungos, vírus e as algas. Na Tabela 3 são exibidos os parâmetros biológicos e suas características.

Tabela 3 - Parâmetros biológicos avaliados para a caracterização de efluentes

Parâmetro	Características
Bactérias	Pode ter uma grande variedade de tipos, caracterizada por realizar a decomposição da matéria orgânica
Protozoários	Organismos típicos de fezes humanas, associados a causa de doenças, são unicelulares
Fungos	Organismos multicelulares, a maioria dos fungos são aeróbios e resistentes à baixos valores de pH
Vírus	São infecciosos, caracterizados por instalar-se dentro de uma célula hospedeira para realizar sua reprodução
Algas	Ricas em nutrientes, podendo causar o efeito de eutrofização em corpos hídricos

Fonte: adaptado pela autora com base em Jordão e Pessôa (2014) e Metcalf e Eddy (2016).

Von Sperling (2005) cita que os microrganismos têm um papel fundamental para ocorrência dos ciclos biogeoquímicos, tanto na natureza como em estações de tratamento de efluentes.

As bactérias podem ser consideradas os microrganismos mais importantes do grupo dentro de uma ETE, pois tem a função de estabilizar a matéria orgânica, auxiliam na remoção de DBO e promovem a nitrificação e desnitrificação. As bactérias podem ter formas, tamanhos e agrupamentos variados (VON SPERLING, 1996).

Pelas palavras de Metcalf e Eddy (2016) os protozoários podem causar uma série de doenças, contudo em efluentes, em especial em tratamentos biológicos, os mesmos atuam como polidores, consumindo material orgânico particulado e bactérias. Conforme Von Sperling (1996) o consumo de bactérias e outros microrganismos é fundamental para manter um equilíbrio entre os diversos grupos.

Os fungos possuem características de conversão da matéria orgânica em substâncias mais simples e devido à sua resistência a um pH baixo pode ser empregado em sistemas de tratamento de efluentes industriais de empresas de variados ramos de atividade (ROSSETTINI, 2015).

De acordo com Von Sperling (2005) o vírus está ligado a efluentes domésticos e a condição de saúde das pessoas responsáveis por tal efluente, porém podem atuar atacando bactérias dentro do sistema. Este parâmetro costuma ser verificado para indicar a eficiência de tratamentos de água.

Em termos de tratamento de efluentes as algas não possuem uma atuação importante, apenas tratando-se de lagoas de estabilização, onde as mesmas auxiliam na oxidação aeróbia, todavia quando um efluente tratado rico em nutrientes é lançado em um recurso hídrico o crescimento de algas é estimulado, causando o processo de eutrofização (JORDÃO; PESSÔA, 2014).

2.3 Legislações aplicáveis ao tratamento de efluentes

De acordo com a Resolução CONAMA n. ° 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes para seu enquadramento, os recursos hídricos de acordo com a qualidade de sua água podem ser divididos em diferentes classes. A Resolução estabelece os usos indicados para cada classe bem como os valores máximos que os parâmetros de controle podem atingir para enquadramento.

A Resolução CONAMA n.º 430/2011 trata sobre os padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos. No conteúdo desta legislação também é indicado que órgãos ambientais são encarregados por estabelecer limites de lançamentos de efluentes, respeitando os limites da Resolução, podendo restringi-los.

No estado do Rio Grande do Sul, os padrões para lançamento de efluentes líquidos em recursos hídricos são definidos pela Resolução CONSEMA n.º 355/2017. Os limites são divididos conforme a vazão de lançamento no corpo receptor. No caso de efluentes líquidos, com exceção dos efluentes sanitários, os limites de lançamento devem respeitar os seguintes valores expressos na Tabela 4.

Tabela 4 - Limites de lançamento para efluentes líquidos, conforme Resolução CONSEMA n.º 355/2017

Faixa de vazão do efluente (m³/d)		DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	Fósforo Total		Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	Coliformes Termotolerantes	
					(mg/l)	Eficiência		NMP/100 mL	Eficiência
(1)	$Q < 100$	120	330	140	4	75%	20	10^5	95%
(2)	$100 \leq Q < 500$	110	330	125	3	75%	20	10^4	95%
(3)	$500 \leq Q < 1.000$	80	300	100	3	75%	20	10^4	95%
(4)	$1.000 \leq Q < 3.000$	70	260	80	2	75%	20	10^4	95%
(5)	$3.000 \leq Q < 7.000$	60	200	70	2	75%	20	10^4	95%
(6)	$7.000 \leq Q < 10.000$	50	180	60	2	75%	20	10^4	95%
(7)	$10.000 \leq Q$	40	150	50	1	75%	20	10^3	95%

Fonte: Adaptado de CONSEMA (2017).

2.4 Caracterização dos efluentes de indústrias de bebidas não alcoólicas

De acordo com Galvão (2010) na indústria de bebidas não alcoólicas pode ocorrer a geração de três tipos de efluente: o efluente sanitário, efluente do processo industrial e o efluente de diferentes atividades da empresa. O efluente gerado no processo industrial geralmente possui uma carga orgânica alta devido a possíveis perdas de bebida pronta durante o processo. Outras atividades como lavagem de equipamentos, pisos, veículos e diferentes processos de limpeza dentro da empresa também são responsáveis por uma parte dos efluentes gerados.

A composição do efluente de uma indústria de bebidas não alcoólicas pode ser bastante variável, portanto para garantir a eficiência do tratamento é indicado que sejam feitas algumas análises no efluente bruto, para examinar as ações a serem adotadas no tratamento, como pH para definir se o efluente é ácido ou básico, DBO e

DQO para verificar a carga orgânica que irá entrar no sistema e os parâmetros de cor e turbidez devido à possíveis descartes de xarope e açúcar no processo produtivo (ANDRES JUNIOR, 2015).

Andres Junior (2015) destaca ainda que saber o valor da vazão de entrada do efluente também é um fator importante. Em indústrias de bebidas que tem embalagens retornáveis em seu portfólio de produtos, como por exemplo refrigerante em garrafas de vidro, a geração do efluente costuma ser maior, pois grande parte é gerada no processo de lavagem dessas embalagens. A lavagem das garrafas necessita de bastante água, além de utilizar uma concentração de NaOH (hidróxido de sódio) em uma das etapas de lavagem.

Em um estudo realizado por Silva *et. al.* (2013) foi realizada a análise de parâmetros do efluente bruto de uma indústria de bebidas não alcoólicas, os resultados médios mensais são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Valor médio mensal dos parâmetros do efluente bruto

Parâmetro	Valor médio mensal
Vazão (m³/d)	3.122,6
pH	10,49
DQO (mg/L)	2.391
DBO (mg/L)	1.206

Fonte: adaptado pela autora com base em Silva *et. al.* (2013).

Pode-se verificar através dos parâmetros avaliados que o efluente gerado no período de 30 dias apresentou uma característica alcalina devido a descargas de soda cáustica utilizada nos processos de lavagem, no entanto este fator pode alterar em diferentes indústrias conforme a periodicidade de limpezas. Os valores de DQO e DBO encontrados são considerados típicos das indústrias de bebidas, principalmente devido à descartes de bebida final (SILVA *et. al.*, 2013).

2.5 Conceitos importantes para controle do processo

Nos tópicos abaixo são destacados conceitos fundamentais de controle para a eficiência dos sistemas de lodos ativados.

2.5.1 Relação alimento microrganismo

A relação A/M (alimento/microrganismo) é obtida entre a quantidade de substrato no sistema e os microrganismos, que podem ser quantificados como os sólidos suspensos voláteis no tanque de aeração. Este conceito é relacionado a eficiência do sistema, pois entende-se que quanto maior a carga orgânica (maior relação A/M), menor será a eficiência de absorção do substrato. O ideal é manter esta relação em um valor constante garantindo assim a eficiência de remoção de matéria orgânica (JORDÃO; PESSÔA, 2014).

2.5.2 Idade do lodo

Van Haandel e Marais (1999) definem a idade do lodo como o tempo médio de permanência do mesmo dentro do sistema, podendo ser obtido através da razão entre a massa total de lodo e a massa removida diariamente. Dessa forma é possível estimar com qual frequência o conteúdo do tanque de aeração é renovado, ou seja, o tempo de permanência dos organismos no tanque.

2.5.3 Tempo de detenção hidráulica (TDH)

O tempo de detenção hidráulica (TDH) pode ser definido como o período em que o efluente permanece dentro do sistema de tratamento, sendo geralmente expresso em dias. Conforme Jordão e Pessôa (2014), o TDH pode ser determinado através da equação abaixo:

$$TDH = \frac{V}{Q} \quad (1)$$

Onde:

TDH= tempo de detenção hidráulica (dia)

V= volume do reator (m³)

Q= vazão média diária (m³/d)

2.5.4 Recirculação de lodo

De acordo com Von Sperling (2002) a recirculação de lodo em um sistema de tratamento é essencial para garantir a elevada concentração de sólidos e uma idade do lodo maior que o tempo de detenção hidráulica. O processo de recirculação geralmente é realizado com auxílio de uma bomba e quantidade recirculada depende da concentração de sólidos no decantador secundário, ou seja, quanto maior o adensamento do lodo no decantador, maior a concentração de sólidos no lodo e menor será a taxa de recirculação do sistema.

2.5.5 Índice volumétrico de lodo (IVL)

O índice volumétrico de lodo serve como um indicador utilizado para verificar se a decantabilidade está sendo eficiente. O IVL é obtido após deixar a amostra sedimentando durante um tempo de 30 minutos em um cone graduado de 1 a 2 litros, onde é verificado o volume (em mL) ocupado por gramas de lodo sedimentado (METCALF; EDDY, 2016).

2.6 Aeração no sistema

Segundo Van Haandel e Marais (1999) a aeração nos sistemas de lodos ativados é realizada com dois objetivos principais: transferir oxigênio para o efluente, processo que auxilia na decomposição do material orgânico, e provocar agitação suficiente no reator para que o lodo permaneça em suspensão.

Pode-se destacar dois sistemas de aeração principais, um que introduz o oxigênio puro no reator biológico e outro que introduz ar, sendo este o processo mais usual. O oxigênio puro injetado no reator fornece algumas vantagens como menor necessidade de área e volume, além de necessitar um tempo de aeração menor, mantendo altas concentrações de oxigênio dissolvido e sólidos. Em relação às desvantagens pode-se citar as instalações que serão requeridas para armazenamento do oxigênio, considerando também sua operação e manutenção, além da técnica

exigir equipamentos adequados que promovam a dissolução do oxigênio puro na água, já que o mesmo é muito insolúvel. Os sistemas de aeração convencionais são os mais utilizados atualmente, podendo ser classificados pela forma como o ar é incorporado. O processo pode acontecer por meio de difusores, agitadores mecânicos ou ainda uma combinação de ambos (JORDÃO; PESSÔA, 2014).

2.6.1 Sistemas de ar difuso

Jordão e Pessôa (2014) citam que os difusores podem se classificar através de três fatores: de acordo com o sistema de montagem, material de fabricação e os tipos de bolhas formadas. Referente aos sistemas de montagem os difusores podem ser fixos no fundo do reator ou então montados em um sistema móvel, sendo que neste último modelo citado a limpeza ocorre de forma mais fácil, pois basta emergir o sistema do líquido, já no sistema fixo o tanque precisa ser esvaziado. Os difusores mais utilizados no mercado são os porosos cerâmicos, porosos não cerâmicos e os não porosos, podendo formar bolhas finas, médias e grossas.

Segundo Metcalf e Eddy (2016) os difusores porosos são feitos em diversas formas, porém as mais adotadas são em forma de discos, membranas, tubos, placas e cúpulas. Estes difusores costumam formar bolhas de ar finas, apresentando maior benefício na transferência de oxigênio para o efluente, pois o contato superficial das bolhas com o mesmo é maior. A utilização de difusores de bolhas de ar finas requer uma boa filtragem do ar que alimenta os compressores, de modo a evitar entupimentos nas tubulações. A Figura 1 apresenta um exemplo de como os aeradores em forma de disco podem ser instalados em um tanque de aeração.

Figura 1 - Tanque de aeração equipado com difusores de ar em forma de disco



Fonte: Metcalf e Eddy (2016).

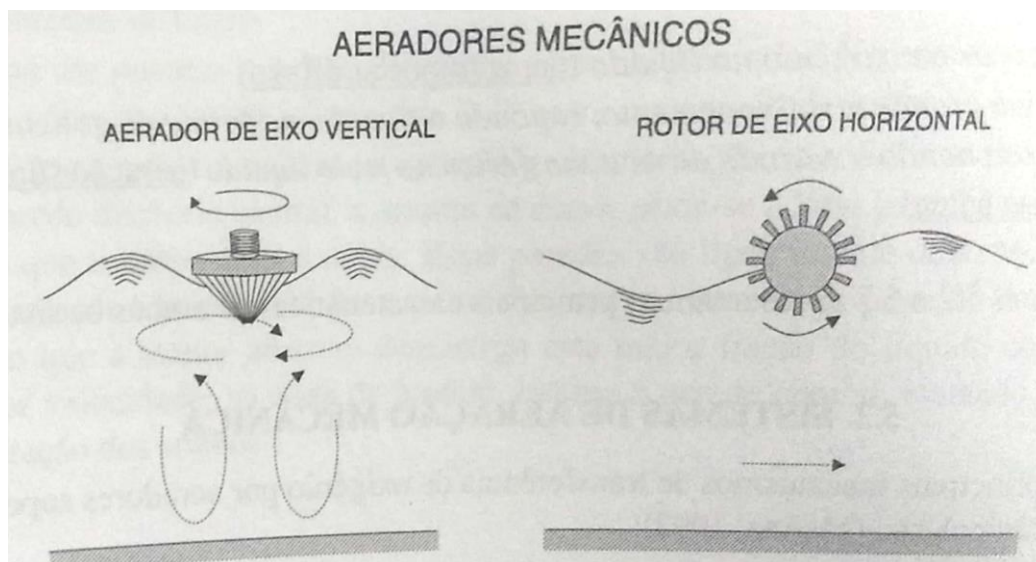
Os difusores de bolhas médias são porosos e não cerâmicos, sendo adotados plásticos porosos como o principal material constituinte, a utilização deste material fornece uma vantagem em relação à cerâmica, pois sua limpeza pode ser feita utilizando detergentes, já o material cerâmico exige que seja feito um tratamento químico para eliminação das impurezas (JORDÃO; PESSÔA, 2014).

Os difusores não porosos, conhecidos também por formar bolhas grossas possuem uma eficiência menor de aeração, porém quando comparados aos sistemas apresentados anteriormente apresentam vantagens em relação à menores custos, menor manutenção e menor consumo de energia, já que o ar requerido pelos compressores não necessita ser puro, sendo que o risco de entupimento é menor. Devido à menor eficiência este sistema costuma ser indicado à etapas anteriores à aeração de lodo ativado, como caixas de areia ou canais intermediários (METCALF; EDDY, 2016).

2.6.2 Aeração mecânica

Von Sperling (2002) comenta que nos sistemas de aeração mecânica pode ser feita a transferência do oxigênio para o lodo ativado, sendo que parte do líquido também pode ser projetado no ar, favorecendo a incorporação de oxigênio. Os aeradores mecânicos mais utilizados podem ser classificados em relação ao seu eixo de rotação, sendo verticais ou horizontais, conforme exemplificado na Figura 2.

Figura 2 - Aeradores de eixo vertical ou horizontal



Fonte: Von Sperling (2002).

Os aeradores podem ser ainda fixos em um único local ou flutuantes. Um fator importante a ser verificado é a submersão das hélices no lodo ativado, pois este irá determinar a eficiência da incorporação de ar no efluente (VON SPERLING, 2002).

2.7 Tratamento de efluentes utilizando o sistema de lodos ativados

De acordo com Cordi *et. al.* (2008) há cada vez mais a presença de interesses econômicos, sociais e ambientais no tratamento de efluentes industriais e domésticos antes de sua incorporação em recursos hídricos. Um dos principais tratamentos utilizados é o biológico, que consiste na remoção da matéria orgânica dos efluentes, sendo medida através da DBO e da DQO.

Anteriormente ao século XX, os esgotos domésticos e despejos industriais eram submetidos unicamente ao tratamento primário, no entanto percebeu-se que a

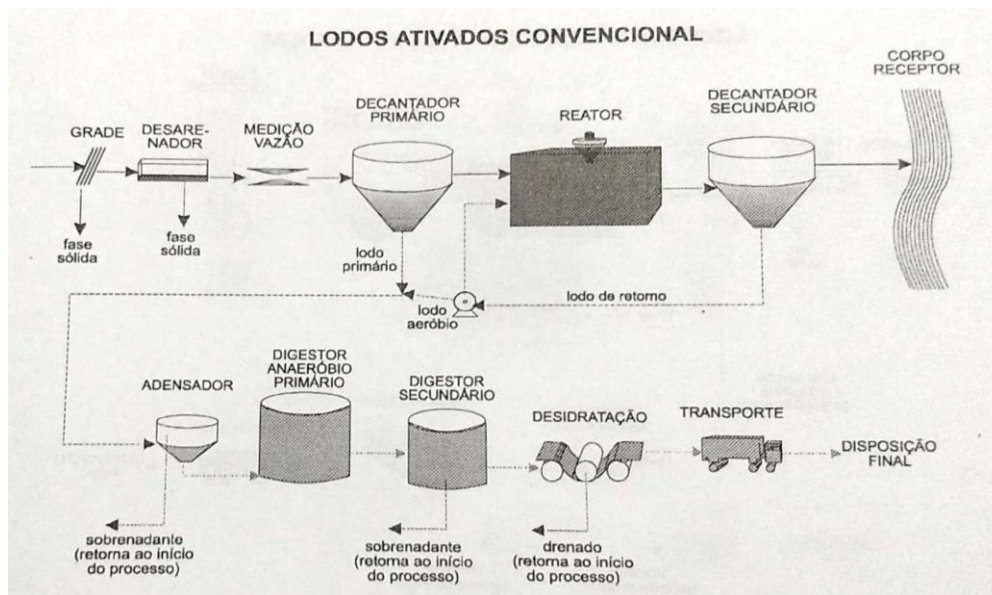
matéria orgânica não era totalmente removida, pois havia uma parte não sedimentável, iniciando-se uma busca por tratamentos secundários. Conforme citado por Van Haandel e Marais (1999) o sistema de lodo ativado foi descoberto em 1914, por Locket e Ardern. Estes pesquisadores demonstraram que sujeitar o efluente à aeração ocasionava a remoção de material orgânico, pois formam-se flocos de microrganismos que sedimentam mais facilmente devido à maior densidade. Notou-se ainda que a adição deste lodo já aerado e com flocos formados à uma nova parcela de efluente bruto podia acelerar ainda mais a sua decantação final.

Após as descobertas de Locket e Ardern houve inúmeras contribuições de outros pesquisadores que melhoraram a eficiência do sistema de lodos ativados. O sistema que antes era operado somente em regime de batelada foi transformado em um regime contínuo. Conforme Von Sperling (2002) a entrada contínua de alimento permite aos microrganismos presentes no tanque de aeração que se reproduzam de forma incessante. Neste quesito, para que seja mantido o equilíbrio no sistema é necessário remover o lodo biológico excedente na mesma taxa de reprodução dos microrganismos.

2.7.1 Lodos ativados convencionais (fluxo contínuo)

De acordo com Oliveira (2006) visando a economia no consumo de energia os sistemas convencionais de lodo ativado contam com um decantador que antecede o tanque de aeração, removendo parte da matéria orgânica. Neste sistema o estágio de detenção hidráulica é de 6 a 8 horas. A idade do lodo deste sistema requer que o lodo excedente sofra ainda um processo de adensamento, estabilização e desidratação antes de sua disposição final. A Figura 3 exemplifica as etapas do sistema convencional.

Figura 3 - Etapas do sistema convencional de lodos ativados



Fonte: Von Sperling (2002).

2.7.2 Lodos ativados com aeração prolongada (fluxo contínuo)

Segundo Von Sperling (2002), no processo de lodos ativados com aeração prolongada o lodo é estabilizado no próprio tanque de aeração devido ao período mais longo que o efluente fica exposto à aeração, podendo em alguns casos este período ser de 18 à 30 dias, o estágio de detenção do líquido é em torno de 16 a 24 horas. Devido ao longo período o reator carecerá maiores dimensões, portanto a concentração de matéria orgânica comparada ao volume do tanque será menor, fazendo com que as bactérias passem a consumir sua própria matéria orgânica, que posteriormente é convertida em água e gás carbônico, deixando o lodo estabilizado, não necessitando de mais uma etapa de tratamento. A Figura 4 demonstra um diagrama de fluxo de um sistema de aeração prolongada.

Figura 4 - Etapas do sistema de lodos ativados com aeração prolongada

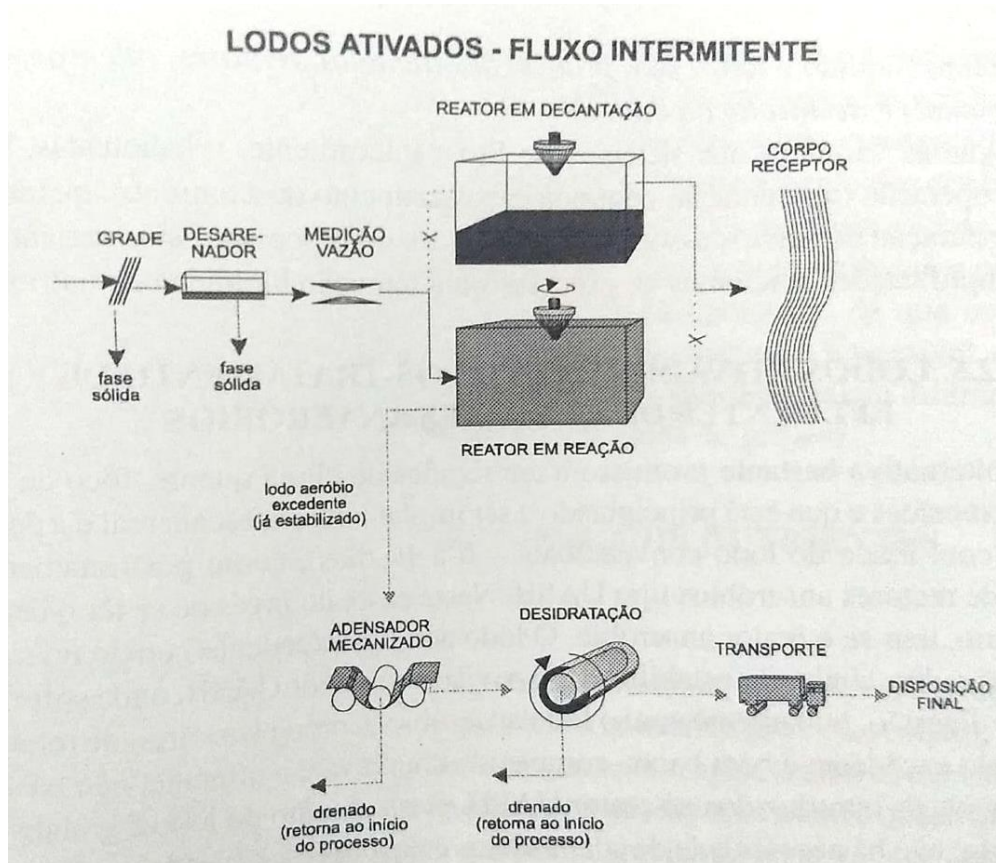


Fonte: Von Sperling (2002).

2.7.3 Lodos ativados de fluxo intermitente (batelada)

Conforme Oliveira (2006) nesse sistema, todas as etapas de tratamento de lodos ativados ocorrem em um único tanque, ou seja, neste tanque pode ser promovida a decantação primária e secundária e a oxidação biológica em uma sequência no tempo e não mais em etapas separadas como ocorre no sistema convencional e de aeração prolongada. O sistema possui ciclos de tratamento bem definidos, são eles: enchimento, reação, sedimentação, descarte do efluente tratado e repouso. Nos casos em que a estação de tratamento recebe efluentes de forma contínua, costuma-se trabalhar com dois tanques, sendo que um deles é destinado exclusivamente a promover a decantação, enquanto no outro pode ser realizada a aeração. Este sistema permite operar de modo convencional ou com aeração prolongada. Na Figura 5 pode-se verificar o esquema de um sistema de fluxo intermitente.

Figura 5 - Etapas do sistema de lodos ativados de fluxo intermitente



Fonte: Von Sperling (2002).

2.8 Microbiologia do lodo ativado

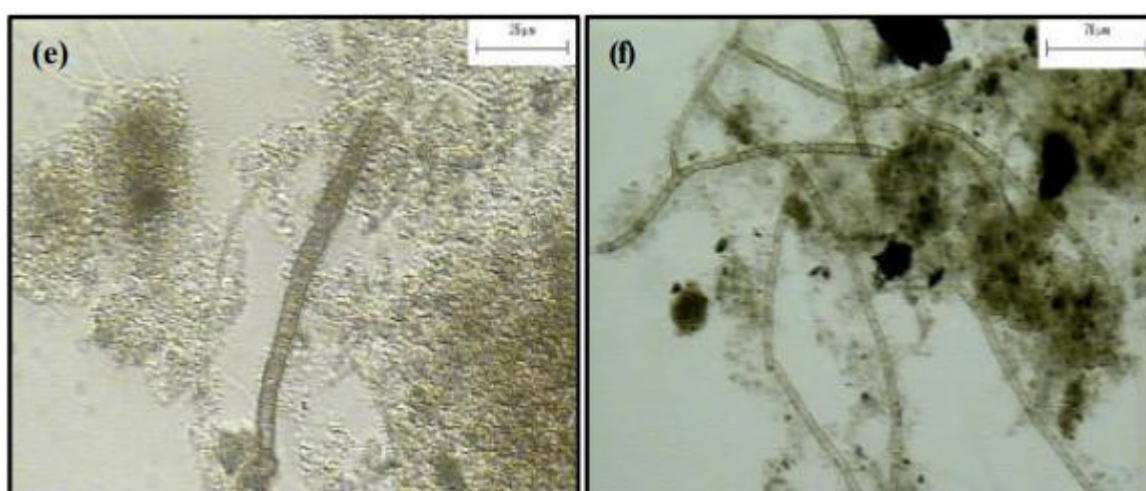
Para que o tratamento biológico de efluentes seja eficiente é fundamental compreender a sua microbiologia. No passado as plantas eram projetadas com base nos conhecimentos empíricos dos engenheiros, porém nas últimas décadas através da expansão do conhecimento foram realizadas importantes contribuições referente ao comportamento biológico nestes sistemas. Através dos novos conhecimentos considerados durante os projetos foi possível obter uma redução de custos e aumento na eficiência do tratamento (VON SPERLING, 1996; MCKINNEY, 1962).

Mendonça (2002) destaca que no sistema de lodos ativados os principais organismos da microbiota são os protozoários, bactérias, algas, fungos e enzimas. Dentre os organismos existente no lodo ativado as bactérias são consideradas as mais importantes na decomposição da matéria orgânica.

Metcalf e Eddy (2016) citam que os protozoários também têm uma função importante no tratamento, pois auxilia na clarificação de efluentes. A presença destes organismos é considerada como um indicador de uma boa operação e de um processo sem dificuldades no tratamento.

Podem ainda ser encontrados no tratamento aeróbio fungos e rotíferos, porém estes são de menor importância. Os fungos não são desejados no sistema de lodos ativados pois costumam ter uma estrutura filamentosa, conforme pode ser visualizado na Figura 6, que reduz a eficiência do processo por prejudicarem a decantabilidade do lodo (VON SPERLING, 1996).

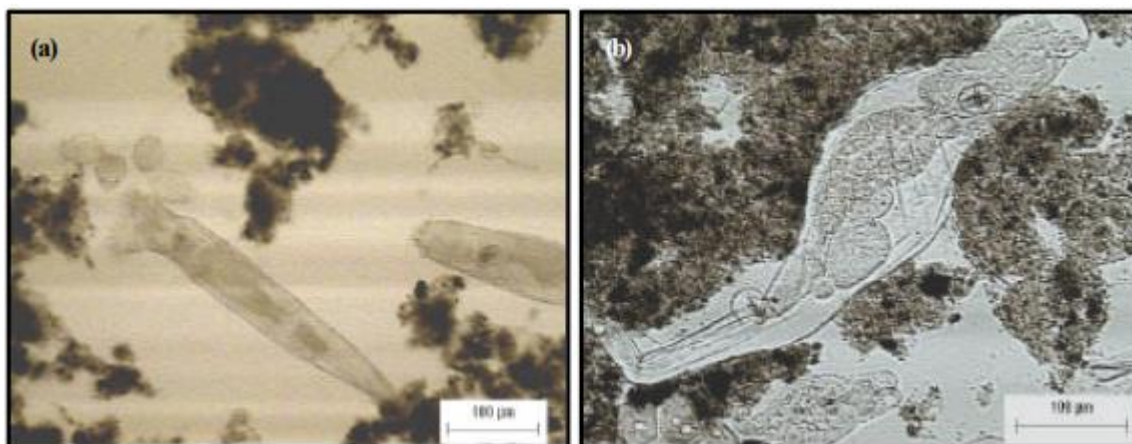
Figura 6 - Fungos observados em um sistema de lodos ativados



Fonte: Mendonça (2002).

Segundo Von Sperling (1996) e Mendonça (2002) a presença de rotíferos no lodo ativado indica que o processo de purificação biológica é realizado de forma eficiente, sendo que isso ocorre devido ao consumo de bactérias de pequenas partículas de matéria orgânica. Na Figura 7 é possível observar a estrutura de rotíferos encontrados em lodos ativados.

Figura 7 - Rotíferos observados em um sistema de lodos ativados



Fonte: Mendonça (2002).

2.8.1 Bactérias

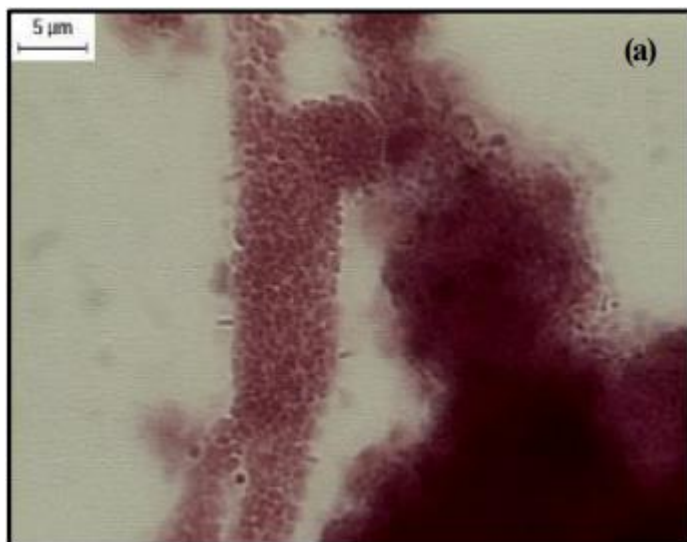
Conforme Mendonça (2002) as bactérias são organismos procarióticos unicelulares que se reproduzem por fissão binária, sendo que a faixa de pH ótima para a sobrevivência das mesmas é de 6,5 a 7,5. As bactérias podem ser caracterizadas como autótrofas, aquelas que produzem o seu próprio alimento através da fotossíntese ou quimiossíntese, ou como heterótrofas, aquelas que não sintetizam a sua alimentação.

Oliveira (2016) cita que as bactérias heterótrofas são as responsáveis pelo maior consumo de matéria orgânica em um sistema de tratamento, possuindo também um papel importante na remoção de outras bactérias indesejáveis, como a *E. coli*, promovendo um equilíbrio na microfauna presente no meio.

Segundo Von Sperling (1996) além do processo de deterioração da matéria orgânica as bactérias autotróficas quimiossintetizantes e facultativas desempenham ainda outros papéis importantes no tratamento de efluentes como a conversão da amônia a nitrito, conversão do nitrito a nitrato (processos de nitrificação) e a conversão do nitrato a nitrogênio gasoso (processo de desnitrificação).

Entre as bactérias mais encontradas do lodo ativado estão a *Zooglea*, conforme demonstrada na Figura 8, *Achromobacterium*, *Chromobacterium*, *Pseudomonas*, *Sphaerotilus natans*, *Thiothrix*, *Beggiatoa* e *Nocardia* (MENDONÇA, 2002).

Figura 8 - Zooglea observada através de microscópio



Fonte: Mendonça (2002).

Moreira (2018) cita que o crescimento das bactérias ocorre em quatro fases principais:

- Fase de retardo ou adaptação, onde as bactérias se adaptam ao substrato fornecido;
- Fase de crescimento exponencial, momento em que as bactérias são divididas e seu número aumenta consideravelmente, isso ocorre pois há uma grande quantidade de substrato disponível;
- Fase estacionária, ocorre quando o substrato começa a ficar escasso, fazendo com que a taxa de crescimento e mortalidade de bactérias se iguale;
- Fase de declínio, após o substrato ficar escasso as bactérias utilizam seu próprio organismo como forma de alimentação, fazendo seu número diminuir consideravelmente no meio.

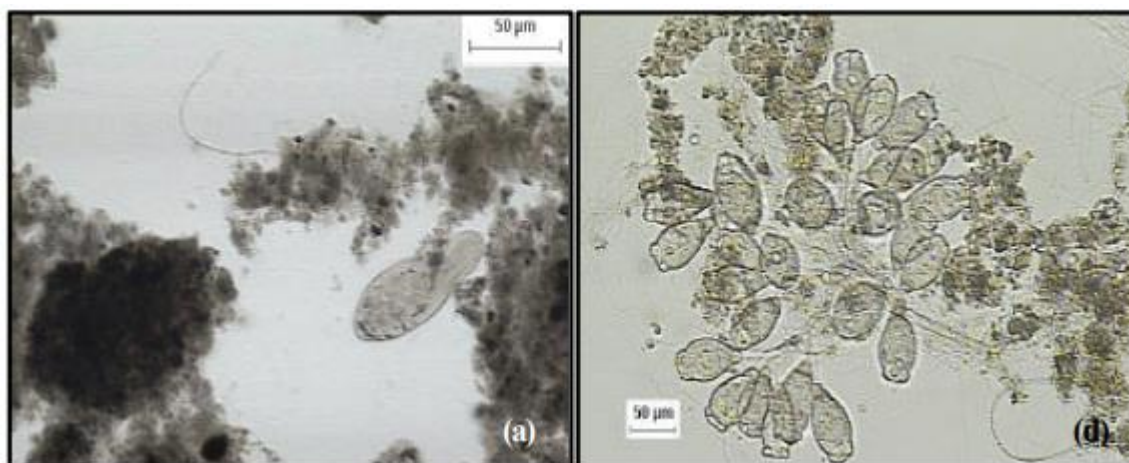
Oliveira e Prado (2016) declaram ainda que as bactérias possuem um papel fundamental na formação dos flocos biológicos.

2.8.2 Protozoários

Os protozoários são organismos eucariotas formados por uma única célula, sua reprodução ocorre por divisão binária e por serem maiores do que as bactérias costumam alimentar-se delas. Os protozoários podem ser divididos em três grupos principais: ciliados, flagelados e amebas (VON SPERLING, 1996).

Os ciliados, como o próprio nome indica, possuem cílios em várias partes do corpo que tem como função o transporte de alimentos e a sua locomoção. Alimentam-se de material orgânico e bactérias, o que auxilia na clarificação do efluente (OLIVEIRA; PRADO, 2016). Na Figura 9 é possível observar ciliados encontrado em um sistema de lodos ativados.

Figura 9 - Protozoário ciliado encontrado em um sistema de lodos ativados



Fonte: Mendonça (2002).

Os flagelados são organismos pequenos que se movimentam rapidamente, seu corpo possui flagelos alongados em pontos específicos para facilitar seus movimentos. Sua presença é maior em lodos ativados de alta carga ou em sistemas no início de operação quando o lodo ainda é jovem, alimentando-se basicamente de matéria orgânica (OLIVEIRA; PRADO, 2016).

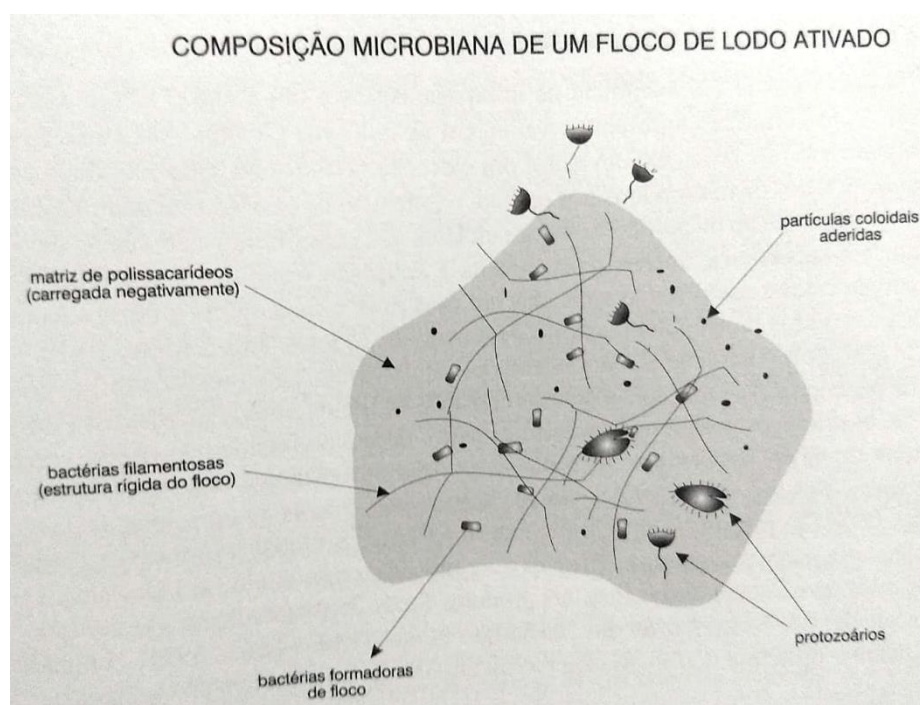
Oliveira e Prado (2016) afirmam que as amebas são organismos unicelulares e seu corpo pode assumir diversas formas. Algumas amebas podem ter uma casca protetora em volta de seu corpo e devido à presença ou ausência das mesmas as amebas podem ser classificadas como amebas nuas ou amebas com teca. As amebas nuas não competem por alimento, portanto a sua presença costuma ocorrer em

ambientes com alta carga, indicando baixa eficiência de depuração. As amebas com teca competem por alimento apenas quando o mesmo é fornecido em grandes proporções, sua presença caracteriza efluentes nitrificados.

2.8.3 Flocos de lodos ativados

Segundo Jordão e Pessôa (2011) com a preocupação da qualidade do efluente tratado iniciou-se uma pesquisa mais aprofundada por parte dos pesquisadores pela formação dos flocos de lodo ativado. Os organismos podem formar flocos de lodo que floculam e sedimentam de forma adequada, o que é desejado em um sistema de tratamento, porém podem também formar flocos dispersos que não sedimentam de forma adequada devido à presença de organismos filamentosos, o que não é desejado. A estrutura típica de um floco de lodo ativado é apresentada na Figura 10.

Figura 10 - Estrutura típica de um floco de lodo ativado



Fonte: Von Sperling (1996).

De acordo com Von Sperling (2016) o floco de lodo ideal é obtido através do equilíbrio entre os organismos filamentosos e formadores de flocos, no entanto esta relação é delicada e pode levar a três situações:

- Equilíbrio entre organismos filamentosos e formadores de flocos, nesta condição o lodo tem uma boa sedimentação e uma boa eficiência do tratamento.
- Predominância de organismos formadores de flocos, nesta condição o floco não possui rigidez suficiente, fazendo com que o mesmo fique fraco e não ocorra uma boa sedimentação.
- Predominância de organismos filamentosos, quando isto ocorre os filamentosos em excesso dificultam a aderência a outros flocos, fazendo com que o IVL do sistema aumente, pois, os flocos ocupam um volume excessivo.

2.9 Biorremediação (bioaugmentação)

De acordo com Jones (2016) as legislações ambientais que tratam sobre os padrões para lançamento de efluentes estão cada vez mais exigentes, através disso algumas unidades de tratamento de efluentes encontram-se em seu limite de capacidade, levando-as a buscar inovações para o sistema e atingimento da meta de eficiência.

A bioaugmentação consiste na prática de adicionar microrganismos específicos em um meio para aumentar ou estimular algumas reações e atividades bioquímicas conforme necessidades específicas do sistema. Os microrganismos a ser utilizados são previamente selecionados e concentrados, podendo ser posteriormente agrupados de acordo com suas especialidades para aplicação, estas comunidades são comercialmente chamadas de *blends* (VEIGA, 2003).

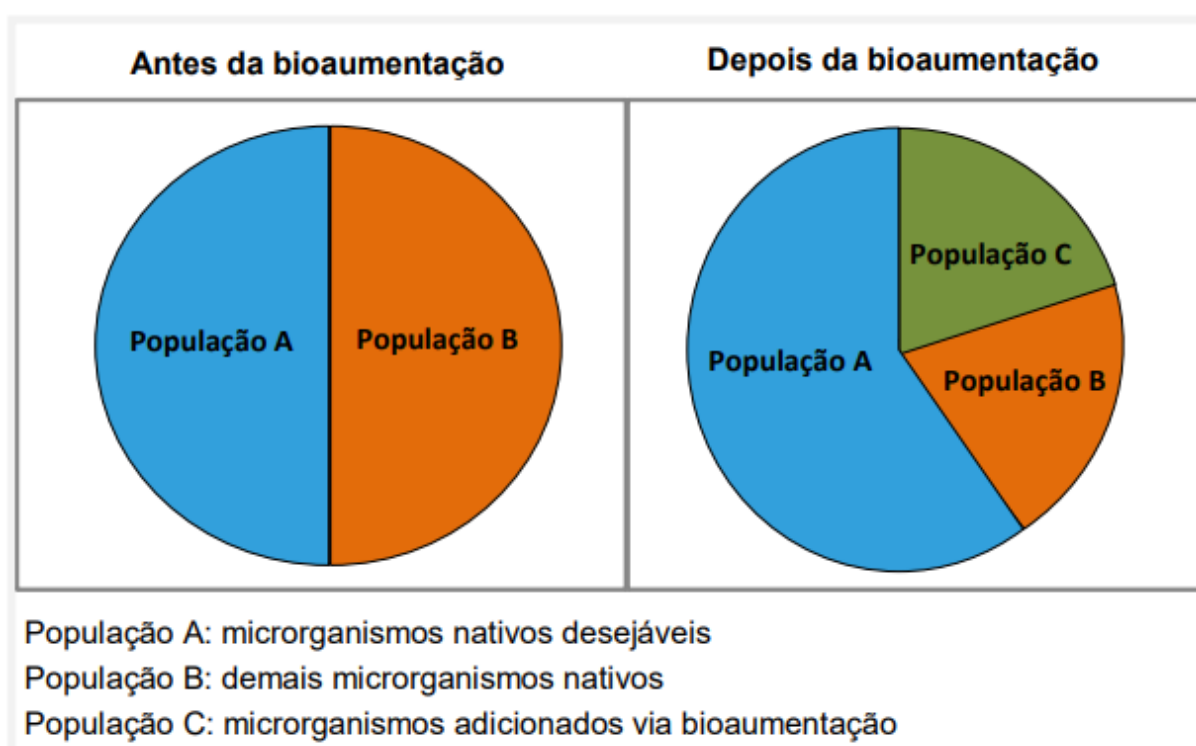
Veiga (2003) cita ainda que apesar de já existirem microrganismos naturais presentes no tratamento aeróbio a dosagem de novos agentes biológicos promove maior facilidade de decomposição dos poluentes encontrados em efluentes.

No ambiente os microrganismos são encontrados em equilíbrio, ou seja, em estado de homeostase. Quando há a inclusão de uma nova população microbiana em determinado meio o estado de homeostase é quebrado, pois os mesmos estimulam a degradação dos compostos orgânicos e consequentemente os microrganismos nativos do meio adotam o mesmo ritmo de atividade. O aumento da degradação permite melhor qualidade do efluente final, posteriormente os agentes biológicos

nativos tendem a predominar novamente no meio, entrando em equilíbrio (MAUER, 2016).

Segundo Jones (2016), a bioaugmentação além de proporcionar melhor qualidade do efluente pode auxiliar ainda a restabelecer a população microbiana após ter recebido um choque tóxico ou de alta carga orgânica no sistema de tratamento, ajudando a recuperar a operação da ETE após a ocorrência de variações no processo. Na Figura 11 é demonstrado o objetivo da bioaugmentação, modificando a biota da estação de tratamento de efluentes.

Figura 11 - Biota da ETE antes e depois da bioaugmentação



Fonte: Jones (2016).

2.10 Técnicas de adensamento de lodo

Andreoli *et.al.* (2001) citam que o processo de remoção de umidade do lodo é uma etapa fundamental que auxilia a reduzir o volume total do lodo em excesso a ser removido do sistema, implicando em menores custos de transporte e destinação final do lodo. Abaixo são demonstrados os principais métodos de adensamento de lodo utilizados.

2.10.1 Adensadores por gravidade

De acordo com Metcalf e Eddy (2016) o adensador por gravidade é o método mais utilizado para a finalidade de adensamento e o processo é realizado em um tanque similar aos tanques de sedimentação.

O lodo a ser inserido no sistema é alimentado por uma tubulação central, o mesmo fica no tanque por certo período até que ocorra a sedimentação e adensamento, sendo removido através de um cone localizado centralmente ao fundo do tanque. Neste processo o lodo que sedimenta no fundo do tanque é retirado por pás raspadoras, há ainda a presença de outros raspadores verticais que tem a finalidade de promover uma agitação lenta no lodo para eliminar o gás e a água aprisionados. O sobrenadante é retirado pela parte superior do tanque de adensamento e o lodo retirado no fundo do tanque é transportado com o auxílio de bombas para a próxima etapa, podendo ser digestores ou equipamentos de desaguamento, de acordo com o tratamento adotado (METCALF; EDDY, 2016).

2.10.2 Flotadores por ar dissolvido

Segundo Andreoli *et.al.* (2001) o efluente é mantido sob uma pressão elevada, onde é introduzido o ar dissolvido, quando ocorre a despressurização do sistema, as bolhas de ar tendem a carregar as partículas de lodo para cima, chegando à superfície onde podem ser removidas.

O adensamento utilizando flotadores a ar dissolvido apresentam uma boa aplicabilidade nos casos em que o lodo deve permanecer em condições aeróbias, como por exemplo ETEs que necessitam realizar a remoção biológica do fósforo. Uma forma de aumentar a quantidade de sólidos removidos por este sistema de adensamento é a dosagem de polímeros (ANDREOLI *et. al.*, 2001).

2.10.3 Centrífugas

Pelas palavras de Jordão e Pessôa (2011) as centrífugas podem ser utilizadas para o adensamento e para o desaguamento, costumando ser mais indicadas para tratamento do lodo em excesso a ser removido. A instalação consiste em um cilindro montado de forma horizontal, com um eixo central que gira com determinada

velocidade, levando os sólidos do lodo até uma das extremidades, onde o mesmo pode ser removido.

Conforme Metcalf e Eddy (2016) atualmente as centrífugas modernas realizam o adensamento de forma eficiente, sem o uso de polímeros, no entanto a adição deste produto podem melhorar ainda mais o desempenho do processo.

2.10.4 Prensas desaguadoras

As prensas desaguadoras para promover o adensamento do lodo consistem em uma esteira composta por uma manta sobre a qual o lodo ativado é depositado, através da ação da gravidade ocorre a drenagem da água, que é captada por um poço de drenagem abaixo da esteira. O lodo que permanece na esteira é revolvido com o auxílio de lâmina que tem o objetivo de facilitar o escoamento da água, ao final da esteira o lodo é prensado por cilindros e é realizada a descarga do material para posterior destinação. Nesta técnica de adensamento é necessária a dosagem de polímeros antes da entrada no equipamento (METCALF; EDDY, 2016).

2.11 Condicionamento de lodo utilizando polímeros

Segundo Manfio (2014) o condicionamento do lodo é uma etapa do tratamento que visa melhorar a sua manipulação, facilitando etapas de desidratação, adensamento e desaguamento. O condicionamento pode ser realizado através de processos físicos ou químicos.

Para Andreoli *et.al.* (2001) o condicionamento tem como principal objetivo agrupar as pequenas partículas em agregados maiores, nos processos químicos esse processo ocorre através de uma etapa de coagulação, seguida pela floculação e decantação. A coagulação causa uma desestabilização nas partículas do lodo, fazendo com que a força de repulsão entre elas seja diminuída, já a floculação permite a aglomeração das partículas que posteriormente são sedimentadas.

Os polímeros orgânicos são utilizados de forma ampla para promover o condicionamento de lodos, entre suas principais vantagens pode-se citar que o acréscimo de massa no lodo é reduzido se comparado a outros condicionadores químicos, como por exemplo o cloreto férrico e a cal. Outra vantagem é que a

utilização de polímeros costuma reduzir problemas de manutenção e operação no sistema (NETO, 2016).

Andreoli *et.al.* (2001) citam que os polímeros orgânicos são originados através de diversas reações de polimerização, podendo ser sintetizados a partir de monômeros. Atualmente a acrilamida é um dos monômeros mais utilizados na síntese de polímeros orgânicos.

Os polímeros podem ser classificados em três grupos de acordo com a sua carga superfície: catiônicos, aniônicos ou não iônicos. Os polímeros catiônicos são aqueles que possuem cargas positivas, já os aniônicos introduzem nas soluções aquosas as cargas negativas. Devido os lodos ativados possuírem predominância de cargas negativas, os polímeros catiônicos apresentam maior eficiência no condicionamento, no entanto a determinação do polímero ideal deve ser feita através de testes (ANDREOLI *et.al.*,2001).

A dosagem da quantidade correta de polímero é um fator de fundamental importância pois, conforme relatado por França *et. al.* (2017) a dosagem do produto em excesso pode aumentar a viscosidade da amostra de lodo ativado, reduzindo a velocidade de sedimentação, o que é indesejado no sistema de tratamento. Além disso a dosagem incorreta também pode interferir na relação polímero-partícula durante a etapa de coagulação, fazendo com que o processo se torne ineficiente. Através destas considerações é recomendado que antes de iniciar o uso na planta sejam realizados testes de bancada.

Metcalf e Eddy (2016) citam que os polímeros podem ser encontrados na forma líquida ou em pó, além possuir diferentes densidades de carga e pesos moleculares. Os polímeros em pó podem ter um período de estocagem que varia de um a vários anos, já os produtos líquidos costumam permanecer em estoque de 6 a 12 meses.

Os polímeros secos exigem um cuidado maior durante a sua dosagem, isto porque o produto deve ser diluído antes da dosagem, caso não seja bem diluído podem ocorrer danos aos equipamentos das etapas anteriores, bem como entupimento de bombas e tubulações. Assim como os polímeros secos, com produto líquido também deve ser realizada uma diluição antes da dosagem, porém este oferece menores riscos para os equipamentos (ANDREOLI *et.al.*,2001).

Ritter (2013) comenta ainda que outra alternativa é o uso de polímeros naturais, que são aqueles que podem ser retirados da natureza. Estes por sua vez podem vir a apresentar menor custo e menores riscos à saúde humana.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

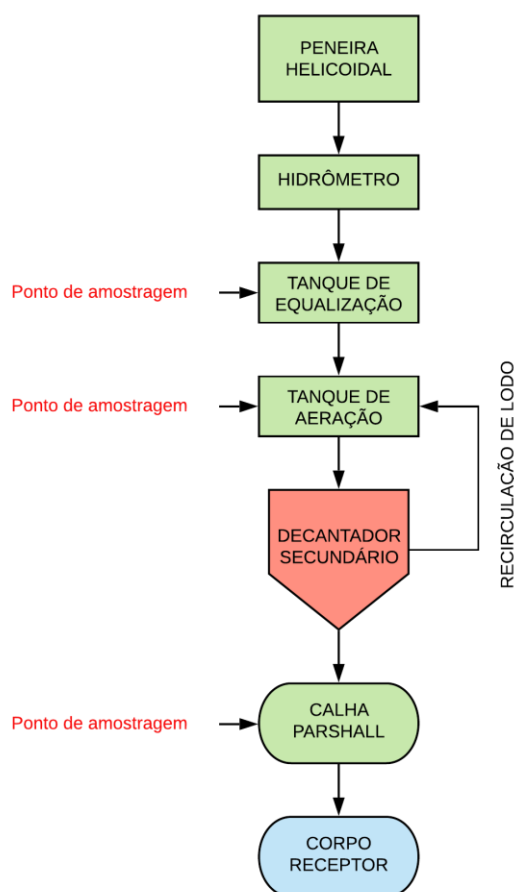
A estação de tratamento de efluentes onde foram realizados os testes localiza-se em uma indústria de bebidas não alcoólicas no município de Lajeado/RS, onde atualmente é produzido refrigerante e suplemento energético além de ocorrer o envase de água mineral. Além do pavilhão industrial a área da empresa também é composta por um prédio administrativo, área de central de utilidades, armazém, resíduos sólidos, almoxarifado e manutenção, onde circulam diariamente cerca de 450 funcionários.

A geração de efluentes ocorre sobretudo devido ao processo de lavagem de embalagens de vidro retornáveis, outros processos de higienização de equipamentos e nas linhas de envase. Avarias e não conformidades nos produtos no cotidiano também geram efluentes pois, é necessário realizar o seu descarte, além disso a estação de tratamento também recebe o efluente sanitário proveniente dos banheiros da empresa. Além dos efluentes dos produtos que já são produzidos na indústria, o setor de resíduos sólidos recebe ainda os produtos vencidos que são recolhidos dos clientes através da política de troca da empresa. Entre estes produtos incluem-se ainda sucos, cervejas e energético, que são fabricados de forma terceirizada, porém são comercializados pela empresa.

Atualmente a vazão de entrada na estação de tratamento de efluentes é de cerca de 130 a 180 m³/d e a carga orgânica varia entre uma DQO de 1000 mg/L a 3000 mg/L. A estrutura da estação de tratamento conta inicialmente com uma peneira helicoidal para retirada de resíduos de maior tamanho (canudos, rótulos, tampas, lacres dentre outros), em seguida o efluente passa pelo ponto onde se encontra um hidrômetro para medição da sua vazão de entrada. Após o tratamento preliminar, o

efluente é conduzido para o tanque de equalização onde é realizada a homogeneização e correção do pH, quando a capacidade desse tanque é ultrapassada, o efluente é direcionado para o tanque pulmão. O tanque de equalização conta também com um soprador que insufla o ar com o objetivo de promover a mistura do efluente. Após, o efluente é conduzido para o tanque de aeração (lodo ativado), sendo que ocorre o reciclo do lodo de forma contínua do decantador secundário para o tanque de aeração. No tanque de aeração ocorre a medição constante de oxigênio dissolvido, pH e sólidos suspensos totais. O lodo ativado é deslocado até o decantador secundário onde ocorre o processo natural de decantação do lodo e o clarificado é lançado para o corpo receptor, passando antes pela Calha Parshall para medição da sua vazão de saída. As etapas da ETE podem ser visualizadas de forma resumida na Figura 12 abaixo.

Figura 12 – Fluxograma representativo da ETE



Fonte: Da autora, 2021.

3.1 Monitoramento analítico

Para realizar a caracterização do efluente da estação de tratamento estudada neste trabalho foram realizadas análises do efluente bruto, lodo do tanque de aeração e do efluente tratado, conforme pontos de amostragem destacados na Figura 12. As análises foram realizadas pelo laboratório L'áqua Tecnologia Ambiental Ltda, cadastrado na FEPAM sob nº 68/2019, válido até 06/12/2023. Os parâmetros e métodos utilizados para cada ponto de amostragem são apresentados nas Tabelas 6, 7 e 8.

Tabela 6 - Parâmetros analisados para caracterização do efluente bruto

Parâmetro	Método
DQO	Método Colorimétrico
Fósforo total	Método Colorimétrico
NTK	SMEWW - Método 4500 NH3 C e 4500 N org B
pH - bancada	ABNT NBR 9251:1986

Fonte: Da autora, 2021.

Tabela 7 - Parâmetros analisados para caracterização do lodo ativado

Parâmetro	Método
DQO	Método Colorimétrico
Fósforo total	Método Colorimétrico
NTK	SMEWW - Método 4500 NH3 C e 4500 N org B
pH - bancada	ABNT NBR 9251:1986
Sólidos suspensos voláteis	SMEWW - Método 2540 E
Sólidos suspensos totais	SMEWW - Método 2540 D

Fonte: Da autora, 2021.

Tabela 8 - Parâmetros analisados para caracterização do efluente tratado

Parâmetro	Método
Coliformes termotolerantes	SMEWW - Método 9221 E
DBO	SMEWW - Método 5210 B
DQO	POPL 06
Fósforo total	POPL 08
Nitrogênio amoniacal	POPL 12
pH	SMEWW - Método 4500 H B
Sólidos sedimentáveis	SMEWW - Método 2540 F
Sólidos suspensos totais	SMEWW - Método 2540 D

Fonte: Da autora, 2021.

3.2 Avaliação da técnica de biorremediação

A avaliação do produto biorremediador foi realizada na estação de tratamento de efluente da empresa. A dosagem foi feita na entrada do tanque de aeração conforme orientação do fornecedor do produto, sendo dosados mensalmente 150 litros do consórcio bacteriano, equivalente a 5 litros diários, considerando 30 dias de operação. Conforme informado pelo fornecedor, nos primeiros cinco dias de tratamento foi necessário dobrar a dosagem indicada para aclimação dos microrganismos no sistema, a partir do sexto dia as dosagens retornaram ao volume padrão estabelecido. O *blend* é composto pelos seguintes microrganismos: *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus pasteurii*, *Bacillus polymyxa* e *Bacillus subtilis*. O monitoramento analítico descrito abaixo foi disposto desta forma devido a questões orçamentárias.

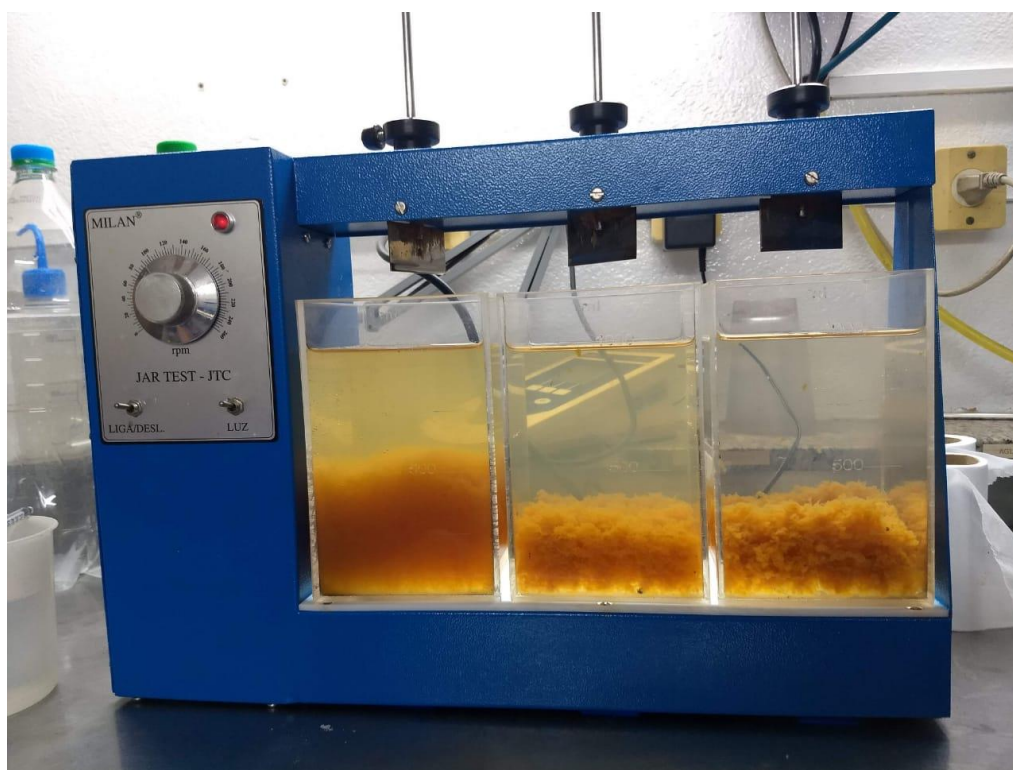
Após um período de 60 dias da aplicação do produto biorremediador foram realizadas análises do efluente bruto, lodo do tanque de aeração e efluente tratado, conforme Tabelas 6, 7 e 8, respectivamente. Aos 30 e 90 dias após o início da dosagem foram avaliados os parâmetros de DQO e pH para efluente bruto e tratado, além dos parâmetros de lodo ativado contemplados na Tabela 7. Posteriormente os resultados das análises de efluente tratado foram comparados aos valores orientadores dispostos na Resolução CONSEMA nº 355/2017.

Atualmente o volume de lodo final é contabilizado através dos descartes realizados com auxílio de um caminhão de 10 m³ para posterior incorporação em solo agrícola, mantendo assim um histórico. Foi avaliado de forma mensal o volume de lodo final descartado, observando se o mesmo sofreu alguma diminuição considerável.

3.3 Avaliação da técnica de adensamento com o uso de polímeros

Para a avaliação da eficiência dos diferentes polímeros para promover o adensamento de lodo foram coletadas amostras diretamente do tanque de aeração da estação de tratamento de efluentes, seguindo as orientações da NBR 9898/1987. As análises de adensamento de lodo com os polímeros foram realizadas utilizando o teste de jarros, conforme Figura 13.

Figura 13 - Equipamento de teste de jarros



Fonte: Da autora, 2021.

Os recipientes receberam uma amostra de lodo ativado, onde houve a dosagem de concentrações diferentes de diversos polímeros. Após a definição da melhor dosagem para cada substância a amostra foi submetida a mistura rápida e posteriormente mistura lenta, reduzindo a velocidade gradativamente para promover

a sedimentação de partículas aglutinadas. Após o ensaio o efluente clarificado foi submetido às análises da Tabela 8. Foi verificada também a decantabilidade do lodo após a aplicação dos polímeros.

3.4 Viabilidade econômica

Para verificar a viabilidade econômica da técnica de biorremediação buscou-se avaliar o histórico do descarte final de lodo e custos associados. Em relação à técnica de adensamento de lodo utilizando polímeros foi realizada uma estimativa de redução de lodo com o uso do polímero que obteve os melhores resultados nas análises, conforme dados históricos fornecidos pela empresa foram avaliados os custos originais em comparação com os custos após a redução do volume final de lodo através da técnica empregada.

A viabilidade econômica foi avaliada através do cálculo de *payback*, que indica o tempo necessário para o retorno do investimento em valores, conforme equação abaixo. Neste caso foi considerado o investimento e a economia no período de um ano.

$$Payback = \frac{\text{Investimento no período}}{\text{Economia no período}}$$

(2)

Para avaliação da viabilidade técnica será avaliado o histórico de eficiência de tratamento obtido pela empresa, através do parâmetro de demanda química de oxigênio (DQO).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização do efluente

Para realizar a comparação das técnicas de biorremediação e adensamento de lodo com polímeros abordadas neste trabalho, foi feito um levantamento de dados a fim de caracterizar o efluente bruto, biológico e tratado da estação de tratamento de efluentes da indústria de bebidas onde foram executados os testes.

4.1.1 Efluente bruto

A Tabela 9 apresenta os resultados das análises obtidos do efluente bruto da empresa. A coleta foi realizada no dia 15 de janeiro de 2021.

Tabela 9 - Parâmetros analisados para caracterização do efluente bruto

Parâmetro	Resultado
DQO	1.230 mg O_2 /L
Fósforo total	3,60 mg/L P
NTK	16,5 mg/L N
pH - bancada	6,6

Fonte: Da autora, 2021

No dia em que foi realizada a coleta para amostragem do efluente bruto havia baixa entrada de carga orgânica na estação de tratamento de efluentes. Este fato pode estar relacionado aos produtos fabricados pela empresa nesta data, como trata-

se de uma empresa de bebidas que também realiza o envase de água mineral o efluente bruto pode ter sofrido diluição. A situação pode ser confirmada pelo pH quase neutro de 6,6 obtido na análise. A vazão média diária de entrada de efluente bruto na estação no mês de janeiro de 2021 foi de 24,74 m³/h e o volume médio diário de entrada foi de 155,86 m³, considerando 6,3 horas de operação.

Assim como apresentado no estudo de Silva (2019) o efluente de indústrias de bebidas que produzem refrigerante pode ter características ácida, no entanto, podem ocorrer diluições no percurso até a ETE, devido a processos de lavagem e produção conjunta de outros itens. Relata-se ainda que a DQO do efluente bruto destas indústrias costumam variar de 1200 a 8000 mg/L, resultado também obtido neste trabalho.

4.1.2 Efluente biológico (lodo ativado)

A Tabela 10 apresenta os resultados das análises obtidos do lodo ativado coletado no tanque de aeração da empresa. A coleta foi realizada no dia 15 de janeiro de 2021.

Tabela 10 - Parâmetros analisados para caracterização do lodo ativado

Parâmetro	Resultado
DQO	2.120 mg O ₂ /L
Fósforo total	25,8 mg/L P
NTK	121,6 mg/L N
pH - bancada	6,8
Sólidos suspensos voláteis	1.270 mg/L
Sólidos suspensos totais	2.160 mg/L

Fonte: Da autora, 2021

Os resultados apresentados estão em situação satisfatória para o tanque de aeração, sendo que ocorreu a concentração dos parâmetros avaliados em comparação com os resultados do efluente bruto, devido a entrada constante de matéria orgânica e do lodo recirculado que chega a partir do decantador.

4.1.3 Efluente tratado

A Tabela 11 apresenta os resultados das análises obtidos do efluente tratado. A coleta foi realizada no dia 15 de janeiro de 2021.

Tabela 11 - Parâmetros analisados para caracterização do efluente tratado

Parâmetro	Resultado
Coliformes termotolerantes	920 NMP/100 mL
DBO	14,7 mg O ₂ /L
DQO	19,9 mg O ₂ /L
Fósforo total	<0,19 mg/L P
Nitrogênio amoniacal	4,9 mg/L N
pH	7,7
Sólidos sedimentáveis	<0,1 mL/L
Sólidos suspensos totais	10 mg/L

Fonte: Da autora, 2021

Todos os parâmetros analisados do efluente tratado atenderam à legislação CONSEMA nº 355/2017. Considerando a DQO de entrada e saída a estação de tratamento apresentou uma eficiência de 98,38% na remoção deste parâmetro.

4.2 Avaliação da técnica de biorremediação

Para realizar a avaliação da eficiência do produto biorremediador na estação de tratamento de efluentes foram verificados os resultados das análises do efluente bruto, lodo ativado e do efluente tratado em um período de 30, 60 e 90 dias após o início da aplicação, além de verificar se a quantidade de lodo descartada sofreu alterações.

4.2.1 Avaliação 30 dias após a aplicação

A Tabela 12 apresenta os resultados das análises obtidos do lodo ativado coletado no tanque de aeração da empresa 30 dias após a aplicação do biorremediador. A coleta foi realizada no dia 09 de abril de 2021.

Tabela 12 – Parâmetros do lodo ativado analisados 30 dias após a aplicação do produto biorremediador

Parâmetro	Resultado
DQO	1.050 mg O_2 /L
Fósforo total	22,0 mg/L P
NTK	88,2 mg/L N
pH - bancada	6,6
Sólidos suspensos voláteis	635 mg/L
Sólidos suspensos totais	975 mg/L

Fonte: Da autora, 2021

Observa-se que todos os parâmetros analisados do lodo do tanque de aeração tiveram uma redução, com atenção especial aos sólidos no sistema. Os sólidos suspensos totais apresentaram um resultado de 975 mg/L e sólidos suspensos voláteis de 635 mg/L, caracterizando uma baixa radical dos sólidos no tanque. Este fato pode ser associado tanto a aplicação do produto de biorremediação, cuja a finalidade é essa, como também a baixa entrada de carga orgânica na ETE.

No trabalho desenvolvido por Terra (2016), que consistiu em aplicar um biorremediador à uma estação de tratamento de esgoto doméstico localizada em Araguaína (TO), obteve-se também a redução de sólidos sedimentáveis no sistema após o início da dosagem. A composição do produto aplicado era com as bactérias *Bacillus*, assim como neste estudo.

A Tabela 13 apresenta os resultados das análises de pH e DQO obtidos do efluente tratado 30 dias após a aplicação do biorremediador. A coleta foi realizada no dia 09 de abril de 2021.

Tabela 13 - Parâmetros do efluente tratado analisados 30 dias após a aplicação do produto biorremediador

Parâmetro	Efluente bruto	Efluente tratado	Eficiência
DQO (mg O_2 /L)	1560,0	49,3	96,8%
pH	5,5	7,8	-

Fonte: Da autora, 2021

Referente a análise realizada em 09 de abril de 2021 a DQO e o pH mantiveram-se dentro dos padrões observados anteriormente. Para o efluente final, a DQO teve um resultado de 49,0 mg/L O₂ e pH de 7,8, ambos adequados à legislação e mantendo o padrão conforme histórico.

4.2.2 Avaliação 60 dias após a aplicação

A Tabela 14 apresenta os resultados das análises obtidos do lodo ativado coletado no tanque de aeração da empresa 60 dias após a aplicação do biorremediador. A coleta foi realizada no dia 07 de maio de 2021.

Tabela 14 – Parâmetros do lodo ativado analisados 60 dias após a aplicação do produto biorremediador

Parâmetro	Resultado
DQO	2.020 mg O ₂ /L
Fósforo total	18,40 mg/L P
NTK	102,6 mg/L N
pH - bancada	6,1
Sólidos suspensos voláteis	1.175 mg/L
Sólidos suspensos totais	1.895 mg/L

Fonte: Da autora, 2021

O lodo do tanque de aeração apresentou sólidos suspensos totais de 1.895 mg/L e sólidos suspensos voláteis de 1.175 mg/L, ou seja, aumentaram em relação ao mês anterior, assim como os demais parâmetros, voltando a se manter dentro do padrão observado antes da aplicação do biorremediador, conforme Tabela 10.

A Tabela 15 apresenta os resultados das análises obtidos do efluente bruto e tratado 60 dias após a aplicação do biorremediador. A coleta foi realizada no dia 07 de maio de 2021.

Tabela 15 - Parâmetros do efluente bruto e tratado analisados 60 dias após a aplicação do produto biorremediador

Parâmetro	Efluente bruto	Efluente tratado	Eficiência
Coliformes termotolerantes	-	210 NMP/100 mL	-
DBO	-	< 5,2 mg O_2 /L	-
DQO	1.460,00	30 mg O_2 /L	97,95%
Fósforo total	2,20	< 0,19 mg/L P	>91,37%
NTK	16,50	< 3,7 mg/L N	>77,58%
pH	5,4	6,9	-
Sólidos sedimentáveis	-	< 0,2 mL/L	-
Sólidos suspensos totais	-	< 3,1 mg/L	-

Fonte: Da autora, 2021

Referente a análise realizada em 07 de maio de 2021 no efluente final, todos os parâmetros mostraram-se adequados à legislação. Foi possível observar que diversos parâmetros tiveram resultados inferiores em comparação a análise de caracterização realizada antes da aplicação do biorremediador, que são apresentados na Tabela 11. Os parâmetros que reduziram foram coliformes termotolerantes, DBO, nitrogênio e sólidos suspensos totais.

A DQO, parâmetro utilizado para medir a eficiência do tratamento do sistema, manteve-se conforme o histórico, que já vinha apresentando bons resultados. Jeronimo *et. al* (2012), Lima (2010) e Cardoso (2020) apontam em seus estudos que a utilização da técnica de biorremediação aplicada ao tratamento de efluentes pode reduzir de 60 a 80% os valores de DQO. Nesta análise, após 60 dias de aplicação do produto a eficiência de remoção da DQO foi de 97,95%, superior aos resultados encontrados na literatura.

4.2.3 Avaliação 90 dias após a aplicação

A Tabela 16 apresenta os resultados das análises obtidos do lodo ativado coletado no tanque de aeração da empresa 90 dias após a aplicação do biorremediador. A coleta foi realizada no dia 02 de junho de 2021.

Tabela 16 – Parâmetros do lodo ativado analisados 90 dias após a aplicação do produto biorremediador

Parâmetro	Resultado
DQO	2.420 mg O_2 /L
Fósforo total	27,80 mg/L P
NTK	119,9 mg/L N
pH - bancada	6,6
Sólidos suspensos voláteis	1.290,00 mg/L
Sólidos suspensos totais	2.040 mg/L

Fonte: Da autora, 2021

Assim como na análise realizada aos 60 dias de aplicação do biorremediador os resultados mantiveram-se dentro do padrão observado antes de sua aplicação na ETE.

A Tabela 17 apresenta os resultados das análises obtidos do efluente bruto e tratado 90 dias após a aplicação do biorremediador. A coleta foi realizada no dia 02 de junho de 2021.

Tabela 17 - Parâmetros do efluente bruto e tratado analisados 90 dias após a aplicação do produto biorremediador

Parâmetro	Efluente bruto	Efluente tratado	Eficiência
DQO	1.200,00	41 mg O_2 /L	96,58%
pH	5,7	7,8	-

Fonte: Da autora, 2021

Conforme as análises anteriores a eficiência de remoção da DQO apresentou-se acima dos valores encontrados na literatura, obtendo um resultado de 96,58%.

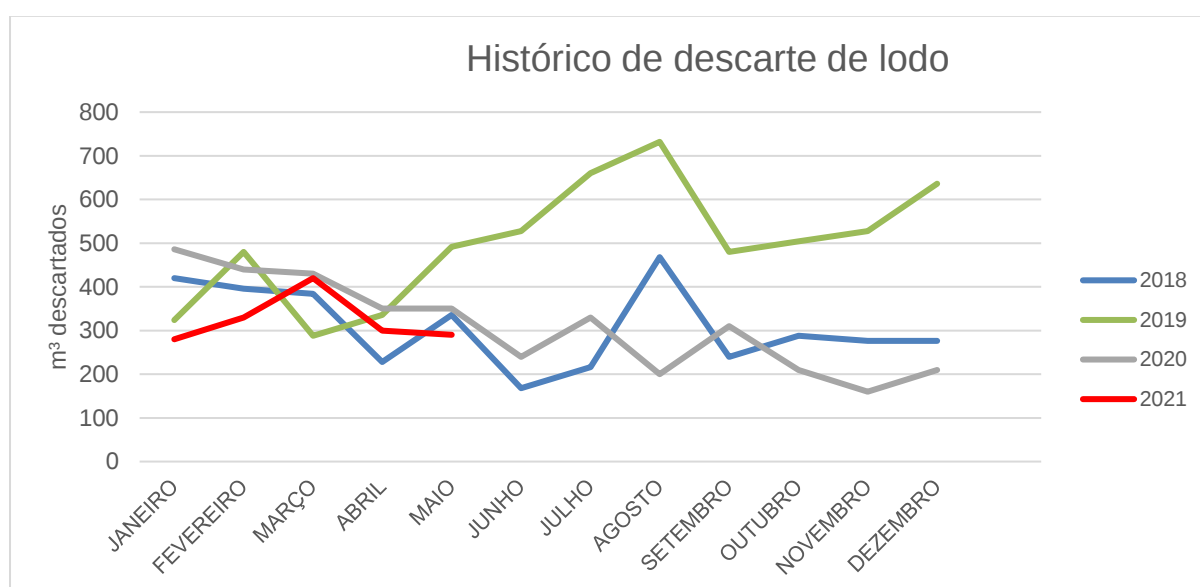
Através do monitoramento analítico foi possível observar que aos 60 dias de aplicação do biorremediador alguns parâmetros do efluente tratado apresentaram uma melhora se comparado às análises realizadas antes do início da dosagem do produto. No entanto, não é possível afirmar que a eficiência na remoção destes

parâmetros esteja diretamente relacionada ao produto sendo necessário mais tempo de avaliação do mesmo.

4.2.4 Descarte de lodo

Após 30, 60 e 90 dias de aplicação do produto biorremediador foi avaliado se houve redução na quantidade de lodo descartado durante os meses de março, abril e maio se comparado ao histórico (GRÁFICO 1).

Gráfico 1 - Histórico de descarte de lodo



Fonte: Da autora, 2021

Através do gráfico é possível constatar que após a aplicação do produto, maio foi o único mês que obteve menor volume de descarte de lodo se comparado ao histórico dos três anos anteriores, descartando 290 m³ de lodo. O mês de março de 2021, quando iniciou a aplicação do biorremediador foi o segundo maior comparado ao histórico, já no mês abril o descarte de lodo foi menor do que em comparação aos anos de 2019 e 2020, mas maior do que em abril de 2018.

Na Tabela 18 é possível verificar a taxa de geração de lodo para cada m³ de efluente bruto que entrou na estação de tratamento de efluentes da empresa, considerando o período de dois meses antes da aplicação do biorremediador e três meses após.

Tabela 18 -Taxa de geração de lodo por m³ de efluente de entrada na ETE

Período	Lodo descartado (m ³)	Entrada de efluente (m ³)	Taxa de geração de lodo (m ³ /m ³)
17/01 a 17/02/2021	360	5594	0,064
17/02 a 17/03/2021	400	5954	0,067
17/03 a 17/04/2021	300	6173	0,048
17/04 a 17/05/2021	340	6352	0,053
17/05 a 17/06/2021	270	6674	0,040

Fonte: Da autora, 2021

Pode-se verificar que a taxa de geração de lodo diminuiu após o início da dosagem, que começou em 17 de março de 2021, sendo que nos dois meses anteriores houve maior descarte de lodo em relação à entrada de efluente na estação de tratamento.

De acordo com Velho (2015) no sistema de lodos ativados cerca de 1 a 2% do efluente bruto que entra na estação de tratamento converte-se em lodo a ser descartado. Neste estudo, a média de geração de lodo representou cerca de 5,45% da entrada de efluente, considerando o período de janeiro a junho, conforme abordado na Tabela 18. Entende-se que este é um valor que pode variar de acordo com o efluente tratado, a carga de DQO recebida na ETE e as particularidades de cada sistema.

Apesar dos resultados satisfatórios, recomenda-se maior tempo de avaliação do produto na ETE, considerando que o mesmo ainda está em fase de aclimação no sistema, dessa forma ainda não é possível afirmar que o biorremediador tenha relação direta com a redução de descarte de lodo.

4.3 Avaliação da técnica de adensamento do lodo utilizando polímero

Referente à avaliação da eficiência dos diferentes polímeros para promover o adensamento de lodo, foi realizado um ensaio em equipamento de teste de jarros, com um polímero catiônico e um polímero aniônico, ambos sólidos. No dia anterior à realização do teste os polímeros foram diluídos a 0,2% em água limpa e pH neutro.

4.3.1 Primeiro dia de testes – dosagem de 1 mL de polímero

No primeiro teste foram utilizadas três cubetas com 1 litro de amostra de lodo em cada, na primeira manteve-se apenas a amostra do lodo retirada do tanque de aeração, na segunda foi feita a dosagem de 1 mL de polímero catiônico e na terceira 1 mL de polímero aniônico. Após as amostras foram submetidas a agitação rápida (60 rpm) por 2 minutos, agitação lenta (20 rpm) por 10 minutos e decantação por mais 10 minutos.

Após a decantação ambos polímeros apresentaram boa sedimentação do lodo, como mostra a Figura 14, porém o polímero catiônico teve destaque, pois a sedimentação ocorreu de forma instantânea.

Figura 14 – Resultados da dosagem de 1 mL de polímero no lodo ativado adicionar nome nas amostras



Fonte: Da autora, 2021

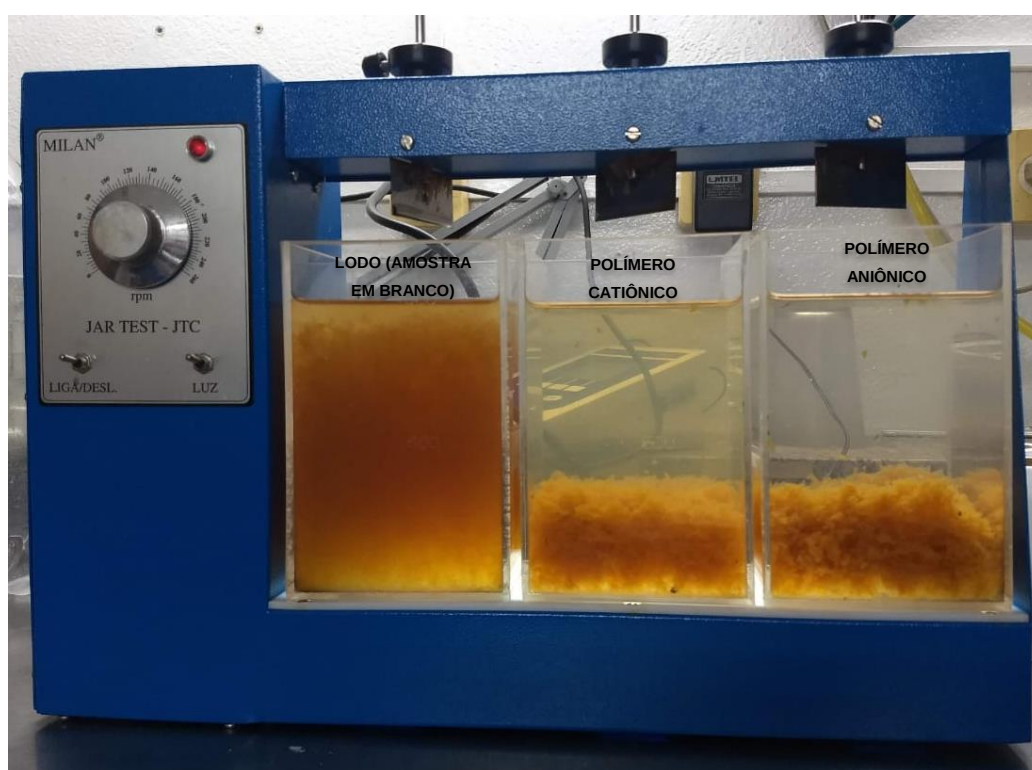
4.3.2 Primeiro dia de testes – dosagem de 2 mL de polímero

No segundo teste foram preparadas mais três amostras, a primeira apenas com lodo, a segunda com 2 mL de polímero catiônico e a terceira com 2 mL de

polímero aniônico, sendo submetidas as mesmas condições de agitação e decantação do teste anterior.

Neste experimento novamente os dois polímeros obtiveram boa sedimentação do lodo, porém o efluente sobrenadante do polímero aniônico apresentou aspecto mais clarificado. Acredita-se que isso se deve pelo fato de ter sido dosado neste dia um coagulante a base de cloreto férrico na estação, com características catiônicas, fazendo assim com que o produto aniônico tivesse maior sucesso na remoção de turbidez, conforme demonstrado na Figura 15.

Figura 15 – Resultados da dosagem de 2 mL de polímero no lodo ativado



Fonte: Da autora, 2021

Após a finalização dos testes foi coletado o clarificado da amostra onde foram dosados 2 mL polímero catiônico para a realização das análises conforme Tabela 8. Neste sentido, foi realizada a análise de apenas uma das amostras no mês em questão (abril de 2021) devido ao valor previsto no orçamento da empresa, sendo que a análise com a outra amostra de polímero foi feita no mês seguinte, quando foi realizado um segundo teste. Neste primeiro momento, a amostra escolhida foi do polímero catiônico devido ao menor custo em relação ao polímero aniônico e também considerando que apesar desta amostra ter um aspecto mais turvo, caso os

resultados dos seus parâmetros estivessem de acordo com a legislação, possivelmente a amostra com dosagem de polímero aniônico também atenderia os padrões, o que posteriormente ainda poderia ser confirmado através de novas análises.

O trabalho realizado por Ismail *et. al* (2019) obteve resultados significativos na remoção de turbidez do efluente após adensamento do lodo com o polímero catiônico, aumentando também a concentração do lodo sedimentado. A escolha do polímero adequado para dosagem está diretamente ligada às características do efluente tratado no sistema.

4.3.3 Primeiro dia de testes – Resultados da análise do efluente sobrenadante com dosagem de polímero catiônico

Para verificar se a dosagem de 2 mL do polímero catiônico foi eficiente na remoção dos poluentes contidos no efluente foram realizadas as análises de efluente tratado, conforme Tabela 8. Os resultados e sua comparação com a Resolução CONSEMA nº 355/2017 são apresentados na Tabela 19, abaixo.

Tabela 19 - Parâmetros do efluente tratado da amostra com dosagem de 2 mL de polímero catiônico

Parâmetro	Resultado	Padrão de emissão (R. CONSEMA nº 355/2017)
DBO	< 5,2 mg O ₂ /L	<= 110 mg/L
DQO	75 mg O ₂ /L	<= 330 mg/L
Fósforo total	1,60 mg/L P	<= 3 mg/L ou 75% de eficiência
Nitrogênio amoniacal	13,1 mg/L N	<= 20 mg NH ₃ - N/L
pH	6,5	entre 6 e 9
Sólidos sedimentáveis	0,2 mL/L	<= 1 mL/L
Sólidos suspensos totais	8 mg/L	<= 125 mg/L

Fonte: Da autora, 2021

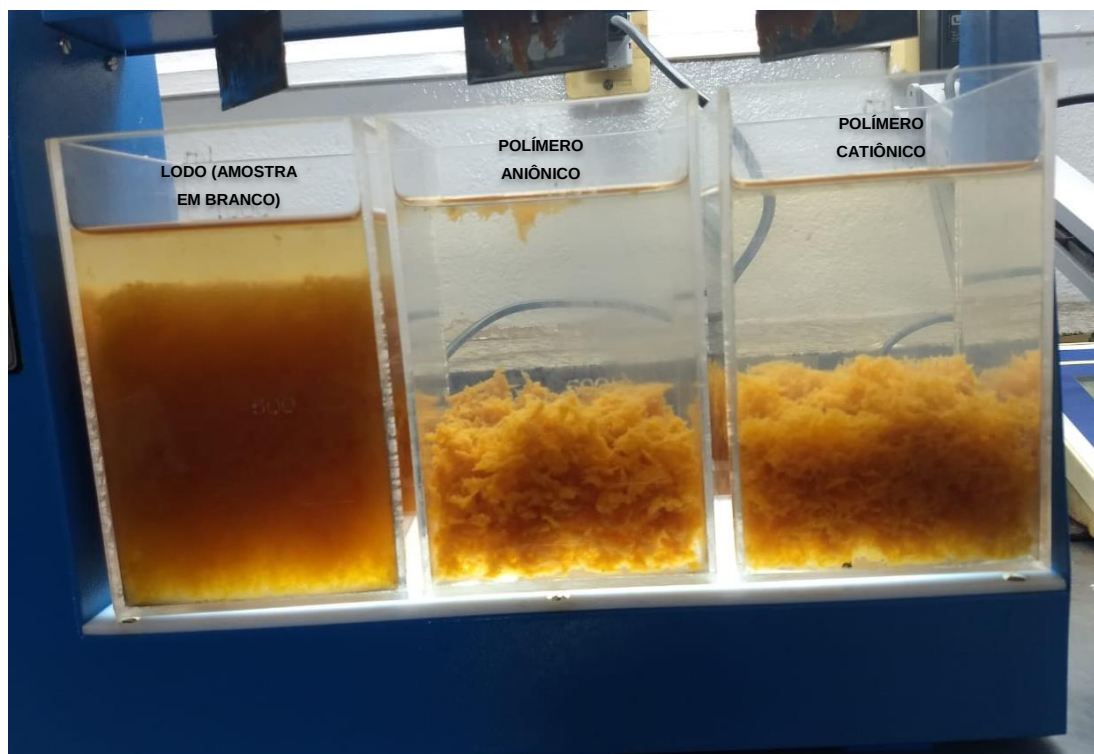
Conforme resultados dos parâmetros analisados, todos ficaram dentro dos padrões de emissão determinados na legislação. Para fins de conferência dos resultados também do polímero aniônico, foi realizado um segundo dia de teste para coletar uma nova amostra de sobrenadante.

4.3.4 Segundo dia de testes – dosagem de 2 mL de polímero

No segundo dia teste foram preparadas mais três amostras, a primeira apenas com lodo, a segunda com 2 mL de polímero aniônico e a terceira com 2 mL de polímero catiônico, sendo submetidas as mesmas condições de agitação e decantação dos testes anteriores.

Assim como nos experimentos realizados anteriormente, os dois polímeros tiveram um bom desempenho na sedimentação do lodo ativado, sendo que o efluente sobrenadante do polímero aniônico apresentou aspecto mais clarificado, conforme demonstrado na Figura 16.

Figura 16 – Resultados da dosagem de 2 mL de polímero no lodo ativado no segundo dia de testes



Fonte: Da autora, 2021

Após a finalização dos testes foi coletado o sobrenadante da amostra onde foram dosados 2 mL polímero aniônico para a realização das análises de efluente tratado conforme determina a licença de operação da empresa.

4.3.5 Segundo dia de testes – Resultados da análise do efluente sobrenadante com dosagem de polímero aniônico

Com o objetivo de verificar se a dosagem de 2 mL de polímero aniônico foi eficiente na remoção dos poluentes contidos no efluente, assim como foi realizado com o polímero catiônico, foram feitas as análises de efluente tratado. Os resultados e sua comparação com a Resolução CONSEMA nº 355/2017 são apresentados na Tabela 20, abaixo.

Tabela 20 - Parâmetros do efluente tratado da amostra com dosagem de 2 mL de polímero aniônico

Parâmetro	Resultado	Padrão de emissão (R. CONSEMA nº 355/2017)
DBO	< 5,2 mg O ₂ /L	<= 110 mg/L
DQO	44 mg O ₂ /L	<= 330 mg/L
Fósforo total	< 0,19 mg/L P	<= 3 mg/L ou 75% de eficiência
Nitrogênio amoniacal	3,4 mg/L N	<= 20 mg NH ₃ - N/L
pH	6,7	entre 6 e 9
Sólidos sedimentáveis	0,2 mL/L	<= 1 mL/L
Sólidos suspensos totais	< 3,1 mg/L	<= 125 mg/L

Fonte: Da autora, 2021

Todos os resultados dos parâmetros analisados atenderam os padrões de emissão da Resolução CONSEMA nº 355/2017.

Se comparada a amostra que foi analisada após a dosagem de polímero catiônico, percebe-se que além da diferença na turbidez, esta amostra onde foi utilizado o polímero aniônico desempenha melhor função na remoção de outros parâmetros como nitrogênio, DQO, sólidos e fósforo total. Foi possível constatar que

o adensamento do lodo com o polímero reduziu em cerca de 50% do volume de lodo a ser descartado, pois o mesmo ficou mais concentrado.

4.4 Avaliação da viabilidade econômica

Para análise da viabilidade econômica das técnicas de biorremediação e adensamento do lodo com o uso de polímeros foi realizado o cálculo de *payback*, que indica o tempo necessário para o retorno do investimento em valores, de acordo com os resultados obtidos no trabalho e estimativas para o futuro.

4.4.1 Técnica de biorremediação aplicada ao tratamento de efluentes

Conforme pode ser visualizado na Tabela 18, apesar de ocorrer uma diminuição na taxa de lodo gerado a cada metro cúbico que entrou na ETE, a redução não foi significativa, não sendo considerado um investimento viável até o período avaliado.

Em virtude de não ser possível dar um parecer definitivo sobre o uso do biorremediador na ETE com o objetivo de reduzir as cargas de lodo, indica-se que a empresa siga com a dosagem do produto por um ano, conforme previsto em contrato com o fornecedor e então realize uma nova avaliação para verificar se ocorreram variações positivas em relação ao uso do produto. Caso contrário, recomenda-se que sejam procuradas outras tecnologias e estratégias para resolução do problema.

4.1.2 Técnica de adensamento de lodo utilizando polímeros

A análise de viabilidade econômica da técnica de adensamento de lodo utilizando polímeros levou em consideração os ensaios realizados no teste de jarros, onde foi constatado que o lodo a ser destinado reduziu cerca de 50% do que o volume original, sem adensamento. Tendo em vista o volume médio de 155 m³ tratados diariamente na ETE a dosagem do polímero será de 13,64 quilos em um mês, o que representa um custo de cerca de R\$300,08.

Considerando a média histórica de descarte de lodo dos últimos três anos, a Tabela 21 apresenta a estimativa de economia com o uso de polímeros para adensamento, descontando o valor investido para compra do produto.

Tabela 21 – Estimativa de redução de 50% de descarte de lodo após adensamento com polímeros

Mês	Média histórica de descarte de lodo (m³)	Custo original (R\$)	Volume descartado considerando redução de 50% após adensamento	Custo após redução (R\$)	Economia (R\$)
Janeiro	410,00	R\$15.580,00	205,00	R\$7.790,00	R\$7.489,92
Fevereiro	439,00	R\$16.682,00	219,50	R\$8.341,00	R\$8.040,92
Março	367,00	R\$13.946,00	183,50	R\$6.973,00	R\$6.672,92
Abril	305,00	R\$11.590,00	152,50	R\$5.795,00	R\$5.494,92
Maio	393,00	R\$14.934,00	196,50	R\$7.467,00	R\$7.166,92
Junho	312,00	R\$11.856,00	156,00	R\$5.928,00	R\$5.627,92
Julho	402,00	R\$15.276,00	201,00	R\$7.638,00	R\$7.337,92
Agosto	467,00	R\$17.746,00	233,50	R\$8.873,00	R\$8.572,92
Setembro	343,00	R\$13.034,00	171,50	R\$6.517,00	R\$6.216,92
Outubro	334,00	R\$12.692,00	167,00	R\$6.346,00	R\$6.045,92
Novembro	321,00	R\$12.198,00	160,50	R\$6.099,00	R\$5.798,92
Dezembro	374,00	R\$14.212,00	187,00	R\$7.106,00	R\$6.805,92
Total	4.467,00	R\$169.746,00	2.233,50	R\$84.873,00	R\$81.272,04

Fonte: Da autora, 2021

Conforma mostra a Tabela 21 a economia com o uso de polímeros na ETE supera os R\$80.000,00 por ano.

Para ocorrer a aplicação do polímero, além da compra do produto, é necessário um investimento no sistema dosagem, que compreende em tanques para realizar a diluição e armazenamento do polímero, um agitador, bomba helicoidal e mangueiras para transporte do polímero até o ponto de aplicação. O orçamento para instalação do sistema é apresentado na Tabela 22. Devido a mão de obra ser interna e os tanques já existirem na empresa, necessitando apenas de adequações, o custo total final será menor do que o encontrado no mercado para sistemas de dosagem completos.

Tabela 22 – Orçamento para instalação do sistema de dosagem de polímeros na ETE

Material	Quantidade	Custo total
Tanque para armazenamento e diluição – 1000L	2	-
Agitador	1	R\$ 13.600,00
Mangueira de polietileno	20m	R\$ 70,00
Bomba helicoidal dosadora – 20L/h	1	R\$ 2.190,00
Mão de obra para instalação e adequação dos tanques	-	R\$400,00
TOTAL		R\$ 16.260,00

Fonte: Da autora, 2021

Através da determinação dos valores de investimento e economia com a dosagem dos polímeros é possível determinar o *payback*, que é o tempo necessário para retorno do investimento em valores. O investimento total considera o custo de instalação do sistema e da compra do produto. Foi avaliado o período de um ano.

$$Payback = \frac{R\$ 16.260,00 + R\$3.600,96}{R\$ 81.272,04}$$

$$Payback = 0,2443 \text{ anos}$$

Pelo resultado do cálculo de *payback* pode-se verificar que é viável a utilização de polímeros para o adensamento do lodo, pois o retorno do investimento ocorre em menos de um ano, em aproximadamente apenas 3 meses.

5 CONCLUSÕES

Sabe-se que o tratamento de efluentes tem uma importância fundamental na qualidade ambiental do meio em que vivemos, impactando também na saúde pública. Dessa forma as empresas vêm buscando com maior frequência inovações em seu processo para aumentar a eficiência do seu tratamento ao mesmo passo em que diminuem os seus custos, de forma a tornar seu negócio sustentável.

Através das análises realizadas no presente trabalho não foi possível avaliar a redução de lodo na ETE estudada em decorrência da dosagem do produto biorremediador, sendo necessário mais tempo para avaliação da performance do mesmo. Indica-se que o produto seja avaliado pelo período de um ano.

Os demais parâmetros de efluente tratado analisados após a dosagem do produto não sofreram uma alteração considerável, sendo recomendado também maior tempo de avaliação. Cabe ressaltar que os parâmetros do efluente tratado já vinham apresentando resultados dentro do padrão estabelecido pela legislação.

Referente à técnica de dosagem de polímeros, o polímero aniônico mostrou-se mais eficiente na remoção de poluentes do efluente, obtendo melhores resultados na análise realizada do sobrenadante. A aplicação do polímero aniônico para adensamento reduz em cerca de 50% do volume de lodo, o que se mostra extremamente viável avaliando os investimentos no sistema de dosagem do produto e compra do mesmo. A redução do volume final de lodo diminui de forma direta os custos do transporte dos resíduos até a área de incorporação do mesmo.

REFERÊNCIAS

ANDREOLI, Cleverson V.; VON SPERLING, Marcos; FERNANDES, Fernando (Org.). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG; Curitiba: SANEPAR, 484 p. 2001.

ANDRES JUNIOR, Décio Antônio. **Tratamento de águas residuais de indústrias de bebidas utilizando tratamento convencional e processos de separação com membranas**. 2015. Erechim: Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. Disponível em: <http://www.uricer.edu.br/cursos/arq_trabalhos_usuario/2704.pdf>. Acesso em: 10 out. 2020.

ARCHELA, Edison; CARRARO, Adalberto; FERNANDES, Fernando; BARROS, Omar Neto Fernandes; ARCHELA, Rosely Sampaio. **Considerações sobre a geração de efluentes líquidos em centros urbanos**. 2003. Revista Geografia. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/viewFile/6711/6055>>. Acesso em: 19 set. 2020.

BRITTO, Jaidés Marques; RANGEL, Maria do Carmo. **Processos avançados de oxidação de compostos fenólicos em efluentes industriais**. Quím. Nova, v. 31, n. 1, p. 114-122, 2008.

CARDOSO, Olívia Michels. **Uso de biorremediadores em uma estação de tratamento de efluentes sanitários**. 2020. Relatório de estágio – Curso de Engenharia Química – Universidade do Sul de Santa Catarina. Disponível em: <<https://riuni.unisul.br/bitstream/handle/12345/12100/Relat%c3%b3rio%20de%20Est%c3%a1gio%20-%20Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 10 mai. 2021.

CHEMIN, B. F. **Manual da Univates para trabalhos acadêmicos: planejamento, elaboração e apresentação**. 3. ed. Lajeado: Univates, 2015.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – CONSEMA. Resolução nº 355, de 13 de julho de 2017. Dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. 7 p. Disponível em: <<https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201707/19110149-355-2017-criterios-e-padroes-de-emissao-de-efluentes-liquidos.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2020.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. 27 p. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 20 set. 2020.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do CONAMA. 9 p. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 20 set. 2020.

CORDI, Livia; ASSALIN, Márcia Regina; DIEZ, Maria Cristina; DURÁN, Nelson **Montagem, partida e operação de um sistema de lodos ativados para o tratamento de efluentes: parâmetros físico-químicos e biológicos**. Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia, v. 5, p. 97-115, 2008.

FRANÇA, S.C.A; MELLO, P.H.; TRAMPUS, B.C. **A importância de polímeros floculantes no desaguamento de lama vermelha**. XXVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. 2017. Belém, PA. Disponível em: <<https://www.cetem.gov.br/images/congressos/2017/14-SILVIA.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2020.

GALVÃO, Michel Ribas. **Estudo do reúso não potável de água de processo e efluente tratado em indústria de bebidas**. 2010. Curitiba: Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/25656/Dissertacao_MichelRibasGalvao_final20110417%20entrega%20final%20pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 out. 2020.

GIORDANO, Gandhi. **Tratamento e Controle de Efluentes Industriais**. 2004. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://www.e-publicacoes.uerj.br>>. Acesso em: 13 set. 2020.

GUIMARÃES, Gustavo Costa. **Estudo do Adensamento e Desidratação dos Resíduos Gerados na ETA - Brasília**. 2007. Universidade de Brasília. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br>>. Acesso em: 19 set. 2020.

JERÔNIMO, C. E. M; FERNANDES, H. G; MELO, H. N. S; SOUSA, J. F. **Bioaugmentação para degradação de efluentes do processamento da castanha de caju**. 2012. Universidade Potiguar e Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/829/555>>. Acesso em: 10 mai. 2021.

ISMAIL, Isadora Alves Lovo; DANTAS, Angela Di Bernardo; DI BERNARDO, Luiz; PASCHOALATO, Cristina Filomena Pereira Rosa; GUIMARÃES, Mateus Ancheschi Roveda. **Uso de polímeros sintéticos e naturais no tratamento de resíduos de estação de tratamento de água**. 2019. Encontro técnico AESABESP. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2019/11/polimeros-sinteticos-naturais-tratamento-agua.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2021.

JONES, Cleveland M. **A utilização da bioaugmentação para combater os problemas de saneamento no Brasil**. IX Congresso Brasileiro de Defesa do Meio Ambiente. 2008, Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/270452822_A_Utilizacao_da_Bioaugmentacao_para_Combater_os_Problemas_de_Saneamento_no_Brasil>. Acesso em: 17 out. 2020.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSÔA, Constantino Arruda. **Tratamento de esgotos domésticos**. 7. ed. Rio de Janeiro; 2014.

LIMA, Roberto Albuquerque. **Tratamentos de efluente líquido de unidades produtoras de farinha de mandioca**. 2010. Universidade Católica de Pernambuco. Disponível em: <http://tede2.unicap.br:8080/bitstream/tede/599/1/dissertacao_roberto.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2021.

MACÊDO, Jorge Antônio Barros de. **Águas e águas**. São Paulo, SP: Livraria Varela, 2001.

MANFIO, Denise Vazquez. **Uso de polímeros naturais no desaguamento de lodo de tanque séptico em leito de secagem alternativo**. 2014. Dissertação - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258421/1/Manfio_DeniseVazquez_M.pdf>. Acesso em: 25 out. 2020.

MARCON, André Luis Sagiorato. **Eficiência no Tratamento e Controle de Efluentes de Uma Indústria de Bebidas**. 2018. Universidade Federal de Mato Grosso. Disponível em: <<https://bdm.ufmt.br>>. Acesso em: 13 set. 2020.

MAUER, Carlos Eduardo Saraiva. **Avaliação de eficiência de um bioaditivo comercial no tratamento de efluente doméstico utilizando um protótipo de reator UASB**. 2016. Programa de Pós Graduação em Avaliação de Impactos Ambientais do Centro Universitário La Salle - UNILASALLE, Canoas, RS. Disponível em: <<http://repositorio.unilasalle.edu.br/handle/11690/732>>. Acesso em: 17 out. 2020.

McKINNEY, Ross E. **Microbiology for Sanitary Engineers**. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1962.

MENDONÇA, Luciana Coêlho. **Microbiologia e cinética de sistema de lodos ativados como pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio de leito expandido**. 2002. São Paulo: Universidade de São Paulo. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-07042003-143948/pt-br.php>>. Acesso em: 17 out. 2020.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamento De Efluentes E Recuperação De Recursos**. 5ª edição. Tradução: Ivanildo Hespanhol, Jose Carlos Mierzwa. Bookman. 2016.

MOREIRA, Yasmine Costa. **Composição e dinâmica de micro-organismos em sistema biológico de tratamento de efluentes do tipo lodo ativado submetido à redução gradual da idade de lodo**. 2018. Trabalho de conclusão de curso - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG. Disponível em: <https://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/Moreira-Yasmine_TFC_Eng-Ambiental-e-Sanitaria_04dez2018-1.pdf>. Acesso em: 17 out. 2020.

NETO, Antonio Luiz de Carvalho. **Tratamentos de efluentes agroindustriais utilizando processos alternativos, coagulação/floculação**. 2016. Trabalho de conclusão de curso - Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, MT. Disponível em: <<https://bdm.ufmt.br/bitstream/1/1297/1/TCC-2016-ANTONIO%20LUIZ%20DE%20CARVALHO%20NETO%20.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2020.

OLIVEIRA, Aline da Silva. **Tratamento de esgoto pelo sistema de lodos ativados no município de Ribeirão Preto, SP: avaliação da remoção de metais pesados**. 2006. Dissertação - Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, SP. Disponível em:

<<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/22/22133/tde-20062006-160725/publico/AlineDaSilvaOliveira.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2020.

OLIVEIRA, Francine Bogo de; PRADO, Geisa Percio do. **Microfauna de lodos ativados**: uma excelente ferramenta para determinação de eficiência em tratamento de efluentes. *Tecnológica - Revista Científica*, v. 5, p. 48-62, 2016.

PIVELI, R.P.; KATO, M.T. **Qualidade das águas e poluição**: aspectos físico-químicos. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. 285 p.

RITTER, Cíntia Maria. **Estudo da utilização de polímeros naturais *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench (Malvaceae) e *Moringa oleifera* LAM (Moringaceae) no tratamento de água de abastecimento**. 2013. Trabalho de conclusão de curso - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, PR. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1599/1/CM_COEAM_2013_1_08.pdf>. Acesso em: 25 out. 2020.

ROSSETTINI, Jéssica dos Santos. **Utilização do fungo *Aspergillus niger* em processos biológicos de tratamento de efluentes industriais**: revisão de literatura. 2015. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/15247/1/MD_GAMUNI_I_2014_53.pdf>. Acesso em: 20 set. 2020.

SILVA, Elson Santos da; LISBOA, Fabiana Donato; WERLANG, Lovania Maria. **Caracterização e Acompanhamento da Qualidade do Efluente em Indústrias de Bebidas**: Um Estudo de Caso. 2013. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Disponível em: <<https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com>>. Acesso em: 12 set. 2020.

SILVA, Pedro Brivaldo Viana. **Aspectos do processo, controle de qualidade e tratamento de efluentes**. 2019. Relatório de estágio supervisionado obrigatório – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns, PE. Disponível em: <https://repository.ufrpe.br/bitstream/123456789/1415/1/tcc_eso_pedrobrivaldovianadasilva.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2021.

TERRA, Vinícius do Carmo. **Avaliação da eficiência da biorremediação na redução da carga orgânica de estações de tratamento de esgoto**: o caso da ETE Neblina em Araguaína/TO. *Eixo*, Brasília, v. 5, n. 2, p. 98-105, set. 2016. Disponível em: <<http://revistaixo.ifb.edu.br/index.php/RevistaEixo/article/view/332/218>>. Acesso em: 10 mai. 2021.

VAN HAANDEL, Adrianus.; MARAIS, Gerrit. **O comportamento do sistema de lodo ativado: teoria e aplicações para projetos e operações.** Campina Grande – PB: Epgraf., 1999.

VEIGA, Andréa Azevedo. **Biodegradação de gordura em efluente através da adição controlada de enzimas e microorganismos em reatores aeróbios em série.** 2003. Trabalho de conclusão de curso - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: <<http://www.peamb.eng.uerj.br/trabalhosconclusao/2003/PEAMB2003AAVeiga.pdf>>. Acesso em: 17 out. 2020.

VELHO, Viviane Furtado. **Estudo da minimização da produção de lodo em sistemas de lodo ativados para esgotos sanitários.** 2015. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/156525/336421.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 14 jun. 2021.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios básicos do tratamento de esgotos.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG, 1996. 211 p.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias - Lodos Ativados.** 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002.