



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

KARINE DE LIMAS

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE COM
ADIÇÃO DE MEIO SUPORTE EM TANQUE DE AERAÇÃO**

Tubarão

2021

KARINE DE LIMAS

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE COM
ADIÇÃO DE MEIO SUPORTE EM TANQUE DE AERAÇÃO**

Relatório de Estágio apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Alessandro de Oliveira Limas, Ms.

Tubarão

2021

KARINE DE LIMAS

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE COM
ADIÇÃO DE MEIO SUPORTE EM TANQUE DE AERAÇÃO**

Este Relatório de Estágio foi julgado adequado à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Química da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 13 de julho de 2021.

Prof. Alessandro de Oliveira Limas, Ms. (orientador)
Universidade do Sul de Santa Catarina

Prof. Suzana Cimara Batista, Dra.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Para minha família: mãe, avô e avó. *Por todo apoio, compreensão e confiança em mim depositados.*

E para minhas afilhadas Lara e Alice. *Para as quais quero servir de exemplo de persistência para atingir os objetivos sonhados.*

AGRADECIMENTOS

Sou grata à Deus acima de tudo, sua luz me indicou o caminho para o sucesso. Agradeço a minha família, que sempre me deu o suporte necessário para que aqui eu estivesse.

À minha mãe Aleksandra, que lutou para desempenhar o papel de mãe e pai em minha vida e me deu todo apoio e incentivo nas horas mais difíceis dessa caminhada. À minha avó Carmen, por estar sempre ao meu lado me dando segurança e mostrando que eu seria capaz de superar qualquer obstáculo. Ao meu avô Galdino, que tenho muita admiração e que nunca duvidou da minha capacidade nesse longo caminho, me fazendo ter confiança em todas as minhas decisões.

Agradeço à minha prima Caroline, por todo conselho, paciência e companheirismo nesse período. E ao meu primo Brendon (*in memoriam*), que costumava sentar-se ao meu lado, mesmo que em silêncio, fazendo-me companhia enquanto estudava. Agradeço por ter renovado minha fé, e por ter mostrado que tudo vai além do que se vê. Não o vejo mais, mas sinto-o sempre em meu coração.

Aos amigos e companheiros que o curso me deu de presente. Em especial à minha amiga Jéssica, que compartilhou lágrimas e sorrisos durante esse percurso. À minha amiga Iasmin, que sempre com bom humor e otimismo me ajudou a não desistir nos momentos de desânimo. E ao meu amigo Caio, que sempre se prontificou a ajudar quando as dúvidas surgiam.

Agradeço à Universidade e ao corpo docente, por todo conhecimento compartilhado. Ao professor Diogo, por ter o cuidado e atenção com os alunos, identificando e ajudando nas dificuldades. E ao professor Jonathan, que se tornou um grande amigo, por todo zelo, compreensão e empatia.

“Um líquido é um estado de matéria sem formato específico. Muda facilmente e se molda ao recipiente que o contém. O corpo humano é 70% água.” (Beto Chacon).

RESUMO

Em função do crescimento das cidades e indústrias, o efluente quando não tratado, se torna hoje um grande risco ao meio ambiente. Existem várias tecnologias no mercado para o seu tratamento, como o biológico, este, é utilizado para remover substâncias orgânicas biodegradáveis, nitrogênio, fósforo, entre outros. O tratamento deve atender os parâmetros estabelecidos pelas legislações nacionais, estaduais e municipais, estando sempre de acordo com o mais restritivo. O estudo foi realizado na empresa Tempo Bio Soluções, que atua no ramo de tratamento de efluentes utilizando a tecnologia SISNATE[®], sendo este, um sistema natural anaeróbio, constituído por meio de suporte inoculado e ativado com consórcios microbianos. O processo é composto por um tratamento biológico anaeróbio e um pós-tratamento com aeração. Busca-se um aprimoramento nesta última etapa, a qual apresenta eficiência de até 20%. O objetivo deste relatório foi avaliar a eficiência da adição de meio suporte biológico no tanque de aeração, conhecido como sistema híbrido, testando diferentes tempos de detenção hidráulica. Dentre os tempos de detenção hidráulica, o que obteve maior eficiência foi de 2 horas com 40% de remoção de matéria orgânica. Os resultados obtidos dos testes em bancada mostraram remoção de Sólidos Sedimentáveis, Sulfetos, Nitrogênio Amoniacal, DQO e DBO, sendo suas eficiências aproximadamente 90%, 60%, 42%, 33% e 40%, respectivamente. Os parâmetros atenderam as legislações vigentes e a adição do meio suporte mostrou-se eficiente, enquanto o sistema atual (sem meio suporte) tem 20% de remoção de matéria orgânica, o testado apresenta 40%. Recomenda-se a continuidade deste trabalho através da implementação do sistema de pós-tratamento com meio suporte em uma ETE, a fim de testar o sistema em escala real.

Palavras-chave: Tratamento de efluente. Tanque de aeração. Meio suporte.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma das atividades centrais da pesquisa.....	25
Figura 2 - Estrutura do experimento	28
Figura 3 - Amostra do bambu utilizado.....	29

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Sólidos Sedimentáveis	36
Gráfico 2 - Nitrogênio Amoniacal.....	39
Gráfico 3 - DQO	40
Gráfico 4 - DBO.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações da bombona utilizada	26
Tabela 2 - Especificações do aquário utilizado	27
Tabela 3 - Especificações do compressor utilizado	27
Tabela 4 - Tubos e conexões utilizados.....	27
Tabela 5 - Dados do bambu utilizado	27
Tabela 6 - Vazões calculadas para experimento	30
Tabela 7 - Dados da coleta	33
Tabela 8 - Resultados dos parâmetros analisados na amostra bruta	33
Tabela 9 - Resultados de pH – Fluxo contínuo	34
Tabela 10 - Resultados de pH – Batelada	34
Tabela 11 - Concentrações de Sólidos Sedimentáveis – Fluxo contínuo	35
Tabela 12 - Concentrações de Sólidos Sedimentáveis – Batelada.....	35
Tabela 13 - Resultados de Sulfetos – Fluxo contínuo.....	36
Tabela 14 - Resultados de Sulfetos – Batelada	37
Tabela 15 - Resultados de Nitrogênio Amoniacal – Fluxo contínuo.....	38
Tabela 16 - Resultados de Nitrogênio Amoniacal – Batelada	38
Tabela 17 - Resultados de DQO – Fluxo contínuo	39
Tabela 18 - Resultados de DQO – Batelada.....	40
Tabela 19 - Resultados de DBO – Fluxo contínuo.....	41
Tabela 20 - Resultados de DBO – Batelada	42
Tabela 21 - Eficiência dos testes	43

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ALESC	Assembleia Legislativa do Estado de Santa Catarina
CONAMA	Conselho Nacional Do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
NBR	Norma Brasileira
OD	Oxigênio Dissolvido
pH	Potencial Hidrogeniônico
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	JUSTIFICATIVA	15
1.2	OBJETIVOS	15
1.2.1	Objetivo Geral	15
1.2.2	Objetivos Específicos	16
2	APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	17
2.1	A EMPRESA	17
2.2	SISNATE®	17
2.3	O TRATAMENTO	17
2.3.1	Tratamento Primário	18
2.3.2	Tratamento Secundário (Reatores Anaeróbios)	18
2.3.3	Tratamento Terciário	18
3	REVISÃO TEÓRICA	19
3.1	POLUIÇÃO E CONTAMINAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS	19
3.2	EVOLUÇÃO DOS TRATAMENTOS DE ESGOTO	19
3.2.1	Tratamentos Biológicos	20
3.2.2	Pós-tratamento de efluentes	20
3.3	MEIO SUPORTE	21
3.3.1	Bambu	22
3.3.2	Adição de material suporte no tanque de aeração	23
3.4	LEGISLAÇÃO	23
3.4.1	Lei Federal do Saneamento Básico (Nº 11.445/2007)	23
3.4.2	Resolução CONAMA (Nº 430/2011)	23
3.4.3	Legislação Estadual – Santa Catarina (Nº 14675/2009)	24
4	MÉTODOS	25
4.1	AMOSTRAGEM	25
4.1.1	Pontos de amostragem	26
4.2	TESTE EM LABORATÓRIO	26
4.2.1	Materiais	26
4.2.2	Experimento	28
4.3	ENSAIOS	30

4.3.1 Ph.....	30
4.3.2 Sólidos Sedimentáveis	31
4.3.3 Sulfeto, Nitrogênio amoniacal e DQO.....	31
4.3.4 Oxigênio Dissolvido.....	31
4.3.5 DBO₅.....	32
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1 AMOSTRAS	33
5.2 ANÁLISES	33
5.2.1 pH	34
5.2.2 Sólidos Sedimentáveis	35
5.2.3 Sulfetos	36
5.2.4 Nitrogênio Amoniacal	38
5.2.5 DQO	39
5.2.6 DBO₅.....	41
5.3 EFICIÊNCIA DO SISTEMA	43
6 CONCLUSÃO	45
7 REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

Segundo LEME (2010), o crescimento populacional e a característica do ser humano de se aglomerar em localizações onde geralmente coincide em áreas com maior disponibilidade da água, têm originado a poluição e contaminação dos recursos hídricos pelo lançamento de seus próprios efluentes.

Para tentar minimizar os danos que o homem gera ao meio ambiente, torna-se essencial o tratamento dos efluentes gerados. Além da poluição de solos e águas, quando não tratado, este resíduo traz grandes riscos para a saúde.

Considerando a relevância nacional e internacional que o saneamento possui para o meio ambiente e para as condições de vida da população, a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico voltou a ser realizada investigando os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Tal pesquisa, tem como objetivo obter informações de âmbito nacional, avaliando a oferta e qualidade dos serviços prestados nessa área, analisando as condições ambientais e suas implicações diretas com a saúde e a qualidade de vida da população.

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS 2019, apenas 49,1% do esgoto produzido no país é tratado. O restante é devolvido à natureza sem o devido tratamento.

Com várias tecnologias no mercado, pode-se destacar os tratamentos biológicos, que possuem baixo custo e tem uma simplicidade maior de operação. Dentro dessa tecnologia, temos os tratamentos aeróbios e anaeróbios, onde no primeiro, os microrganismos necessitam de ar para obter energia, e no segundo, não necessitam de oxigênio para crescer. Porém, esses sistemas apresentam limitações, como: geração de maus odores, tempo lento para o início do processo e necessidade de uma etapa de pós-tratamento para que se enquadre nos parâmetros necessários de lançamento estabelecidos pela legislação.

Com o objetivo de estar sempre entregando seu melhor, a empresa Bio Soluções está em constante estudo para aprimorar cada vez mais o seu tratamento. Este, atualmente, é constituído pelo tratamento anaeróbio no reator SISNATE®, e por um pós-tratamento com sistema de lodo ativado, complementando o sistema anaeróbio. Sabendo da importância de manter a qualidade do efluente tratado, o presente estudo tem por finalidade buscar a melhoria do sistema adicionando meio

suporte no tanque de aeração, em busca de resultados de maior remoção de matéria orgânica e nutrientes.

1.1 JUSTIFICATIVA

Atualmente, os sistemas anaeróbios são amplamente utilizados para o tratamento de efluentes. Nesses sistemas os microrganismos não utilizam oxigênio para crescer. Entretanto, comumente é necessário a utilização de um pós-tratamento para que os parâmetros atendam as legislações.

Um pós-tratamento muito utilizado é o lodo ativado, onde o efluente passa por um tanque de aeração e segue para um tanque de decantação. Estes mecanismos combinados (anaeróbio-aeróbio), geram menor quantidade de lodo, necessitam de menor consumo de energia elétrica e possuem baixo requerimento de espaço físico, favorecendo o aspecto econômico.

Quando, ainda se deseja aumentar o desempenho do pós-tratamento, podem ser adicionados meios de suporte para o crescimento da biomassa dentro do tanque de aeração. Esses processos são conhecidos como sistemas híbridos e são constituídos pela combinação de biomassa fixa + biomassa livre em um único reator. A seleção do material de enchimento deve levar em consideração o custo, facilidade de manuseio e de acesso.

A empresa em que o estudo será feito utiliza como pós-tratamento o tanque de aeração sem meio suporte, o que gera uma eficiência de, no máximo, 20%. Desta forma, busca-se um aprimoramento no sistema para que haja uma melhoria na eficiência. Levanta-se então, a seguinte questão: **A adição de meio suporte no tanque de aeração aumentará a eficiência do sistema?**

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

- Avaliar a eficiência no pós-tratamento de efluente sanitário com adição de meio suporte no tanque de aeração.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Adicionar o meio suporte e testar, em laboratório, diferentes tempos de detenção hidráulica;
- Realizar análises de parâmetros como DQO, DBO, sulfeto, OD, nitrogênio amoniacal e sólidos sedimentáveis no efluente tratado;
- Determinar a eficiência do sistema pós-tratamento com meio suporte em relação ao sistema atual;
- Avaliar os resultados do efluente tratado após implantação do meio suporte.

2 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

2.1 A EMPRESA

A empresa Tempo Bio Soluções Ambientais, localizada no município de Laguna/SC, atua no ramo de tratamento de efluentes utilizando a biotecnologia SISNATE[®], que é um sistema natural de tratamento de efluentes constituído por meio de suporte inoculado e ativado com consórcios microbianos.

Possui áreas de atuação em piscinas e águas termais, tratamento de lagoas, empresas de transportes viários, criadouros de camarão, resorts, hotéis e pousadas, suporte à outras estações de tratamento, projetos para redução de custos e adequações energéticas, gestão administrativa, química e mecânica de ETE's de terceiros.

2.2 SISNATE[®]

O produto SISNATE[®] compreende sete tipos diferentes de espécies de micro-organismos, são elas: Aquaspirillum Sinuosum, Nitrobacter Vulgaris, Azospirillum Brasilense e Pseudomonas Nitroreducens. Possuindo 5 estágios, a tecnologia é iniciada com a inoculação de biomassa e reações biológicas, no segundo estágio o processo de nitrificação e desnitrificação, no terceiro estágio ciclo de Krebs ou ciclo do ácido cítrico (uma das fases da respiração celular), no quarto estágio a adsorção e biossorção e, no quinto e último estágio o filtro biológico.

2.3 O TRATAMENTO

Atualmente, o sistema de tratamento é constituído por 6 processos de tratamento: etapa preliminar, equalizador, reatores anaeróbicos, aerador, decantador e desinfecção.

2.3.1 Tratamento Primário

- Peneira: são utilizadas para um pré-tratamento, onde os sólidos insolúveis com diâmetros superiores a 10 mm, que causam entupimentos ou com considerável carga orgânica ficam retidos. As aberturas da malha empregada ou das chapas perfuradas situam-se na faixa de 10 mm. Para evitar a corrosão acentuada de materiais ferrosos deve-se utilizar aço inox na concepção construtiva da peneira.
- Elevatória: unidade em Polietileno, que tem por objetivo a elevação do perfil hidráulico do efluente para os processos de tratamento implantados a nível de solo;
- Equalizador: Etapa de tratamento primário que tem por objetivo a homogeneização do efluente, retenção de escumas, de óleos, graxas e areia.

2.3.2 Tratamento Secundário (Reatores Anaeróbios)

Unidade de tratamento que tem por objetivo a degradação da matéria orgânica, macro nutrientes (nitrogênio e fósforo), série dos sólidos, processos de adsorção e bioissorção através da biomassa de tratamento.

2.3.3 Tratamento Terciário

- Aerador: unidade de tratamento por ar difuso pós-reatores, que tem por objetivo a inserção de oxigênio dissolvido no meio, favorecendo o crescimento de bactérias aeróbicas para remoção de Amônia, DBO e oxidando séries de enxofre, evitando assim, odores inconvenientes.
- Decantador: unidade de tratamento que tem por objetivo a retenção de sólidos sedimentáveis oriundos da etapa de aeração.
- Desinfecção: processo através de hipoclorito de sódio, concentração 12%, injetado através de bombas dosadoras, tendo como finalidade a remoção dos coliformes totais, fecais e series nitrogenadas como nitrogênio amoniacal e clarificação.

3 REVISÃO TEÓRICA

3.1 POLUIÇÃO E CONTAMINAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

No Brasil, a falta de saneamento é um dos grandes problemas do país. A revista “Em Discussão”, do Senado Federal afirma:

Grande quantidade de esgoto não tratado é lançada em rios, lagos e represas, constituindo um dos principais fatores do baixo índice de qualidade da água, o que ameaça a saúde da população e a preservação do meio ambiente. (Revista Em Discussão, 2014, p.34)

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS 2019, apenas 49,1% do esgoto produzido no país é tratado. O restante é devolvido à natureza sem o devido tratamento.

Dados por região:

- O tratamento de esgoto é de 22% na região Norte.
- O Nordeste trata 33,7% dos esgotos.
- O esgoto tratado no Sudeste é de 55,5%.
- O Sul trata 47% dos esgotos.
- O índice de tratamento de esgoto é de 56,8% no Centro Oeste.

3.2 EVOLUÇÃO DOS TRATAMENTOS DE ESGOTO

Os métodos de tratamento de esgotos foram, inicialmente, desenvolvidos com enfoque na saúde pública e nas condições adversas causadas pela descarga de esgotos no meio ambiente. Além disso, conforme as cidades foram se desenvolvendo, não havia mais a disponibilidade de áreas necessárias para tratamento e disposição [...] por isso, tornou-se necessário desenvolver novos métodos de tratamento visando acelerar as forças da natureza, sob condições controladas, em estações de tratamento projetadas para utilizar menores áreas para instalação. (Metcalf, Eddy, 2016, p.4)

Atualmente existem várias tecnologias disponíveis no mercado, dentre elas, existem os tratamentos químicos, físicos e biológicos. Para a seleção mais adequada, os aspectos mais importantes a serem considerados são os técnicos e econômicos. Deve-se então observar a eficiência, área requerida, formação de lodo, custos de implantação e manutenção e simplicidade do sistema. Uma tecnologia em destaque

é a biológica, onde microrganismos removem a matéria orgânica dissolvida e suspensa e a transforma em sólidos sedimentáveis e gases.

3.2.1 Tratamentos Biológicos

Segundo LEME (2010), nesses processos a remoção é feita a partir de mecanismos biológicos, por meio da ação metabólica e da floculação de partículas em suspensão. Esses processos são utilizados para remover matéria orgânica e nutrientes (nitrogênio e fósforo), sendo este tratamento, utilizado geralmente no nível secundário.

O tratamento secundário, realizado por processos biológicos, reproduz os mecanismos naturais de oxidação e estabilização da matéria orgânica que normalmente ocorrem nos corpos de água, porém, em menor período de tempo, com a utilização de menor espaço. (LEME, 2010, p.43)

Os tratamentos biológicos são divididos em processos aeróbios e anaeróbios, onde:

- Tratamento Aeróbio:

São tratamentos onde os microrganismos dependem do oxigênio para obter energia.

- Tratamento Anaeróbio:

São tratamentos onde os microrganismos não utilizam oxigênio para crescer.

3.2.2 Pós-tratamento de efluentes

Segundo VESILIND, et. al, há situações em que o tratamento secundário não é suficiente para atender aos limites dos parâmetros de lançamento. Uma preocupação, é que os nutrientes como nitrogênio e fósforo, ainda possam causar algum dano caso o efluente seja descarregado.

Além disso, se a água a jusante de uma descarga for utilizada para finalidades recreacionais, será necessário um alto grau de tratamento, especialmente na remoção de sólidos e elementos patogênicos. Quando o aperfeiçoamento do processo de tratamento secundário não atender aos limites de descarga mais rigorosos, o efluente do tratamento secundário passa por outros tratamentos ainda mais intensos para alcançar a qualidade necessária, seja ela qual for. (VESILIND, et. al, 2018, p. 294)

Uma opção de pós-tratamento é a utilização de tanque de aeração seguido de tanque de decantação, sistema conhecido por lodo ativado. Esse sistema apresenta alta eficiência de remoção de matéria orgânica e nutrientes, complementando os processos anaeróbios.

3.2.2.1 Lodo Ativado

O processo de lodo ativado se caracteriza por envolver a produção de uma massa ativada de microrganismos com capacidade de estabilizar aerobiamente o efluente. Nesta tecnologia o tratamento ocorre em duas etapas, onde a primeira é a degradação da matéria orgânica pela ação dos microrganismos, e a segunda, a decantação dos sólidos presentes no efluente.

O efluente é introduzido no tanque de aeração, que é composto por um sistema de aeração artificial através de difusores ou aeradores mecânicos.

O tanque de aeração atua como um biorreator, em que microrganismos aeróbios, oriundos do próprio efluente, fazem a degradação da matéria orgânica presente. Devido a sua atividade e ao seu crescimento, os microrganismos originam agregados ou flocos, estimulado pela ação do oxigênio no sistema. (ROCHA, 2020, p. 197)

Após o tempo de detenção hidráulica adequado, o efluente é passado para um tanque de sedimentação, também conhecido por tanque de decantação. Neste tanque, são extraídas as partículas sólidas presentes no efluente. Uma porção dos sólidos que foram sedimentados é recirculada para o tanque de aeração, para manter a concentração desejada de microrganismos atuando no processo de degradação biológica.

3.3 MEIO SUPORTE

Meio suporte, superfície suporte ou mídias, são materiais utilizados para a aderência de microrganismos, eles devem ter baixa densidade e quanto maior a área de superfície, maior a eficiência. Podem ser de materiais de origem natural ou sintético, como: pedra britada, escória de alto forno e materiais sintéticos de várias formas e tamanhos.

Para a escolha do meio de suporte deve-se levar em conta a facilidade de aquisição e manuseio, menor custo e menor massa para facilitar a distribuição do líquido.

Segundo FONTANA (2007), o meio suporte, além de reter fisicamente os sólidos suspensos presentes no esgoto, deve ser adequado à fixação dos microrganismos na formação do biofilme. Biofilmes são comumente definidos como consórcios microbianos estabelecidos em estruturas tridimensionais. Segundo AZEREDO et al. (2017), consistem em comunidades multicelulares composta por organismos embutidos em uma matriz que é criada principalmente por material sintetizado pela própria comunidade.

As mídias ou superfície suporte de microrganismos são misturadas à água para favorecer o desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela redução da carga orgânica dos efluentes. Além da remoção de nitrogênio, remoção de DBO/DQO e capacidade de melhorar sistemas e reatores deficientes, a mídia incrementa remoção de fósforo e pode ser usada em todo o tipo de efluentes. (SNATURAL, 2017, p.24)

3.3.1 Bambu

O uso de bambu como meio suporte para microrganismos vem sendo estudado desde 1977, onde BRITO et al. chamam atenção para o potencial de utilização do mesmo. Os resultados já mostravam baixo custo para obtenção deste material como recheio e baixo custo na construção dos reatores.

Em 2011, TONETTI et al. avaliaram a partida e operação de filtros anaeróbios tendo o bambu como material de recheio, conforme estudo de CAMARGO (2000), demonstrando resultados de remoção de matéria orgânica de 81,4%. Com este filtro, utilizado para tratamento de efluentes domésticos, analisaram diferentes tempos de detenção hidráulica (TDH). Observaram que o filtro era mais eficiente para efluentes com valores maiores de DBO e conforme o TDH testado, obtinha maior ou menor eficiência.

Um inconveniente dos materiais de recheio costuma-se ser o custo, onde torna-se necessário o estudo de materiais alternativos aos tradicionalmente empregados. Não foram encontrados relatos da utilização de bambu como meio suporte em sistemas aeróbios (como o tanque de aeração) na literatura, entretanto, mostram-se eficientes em sistemas anaeróbios tanto quanto outros materiais, pois constituem uma

boa área superficial útil facilitando a formação de biofilme, resultando assim, em uma boa adsorção da matéria orgânica.

3.3.2 Adição de material suporte no tanque de aeração

Existem muitas pesquisas desenvolvidas combinando os processos de culturas livres com culturas fixas. Esses processos são conhecidos como sistemas híbridos e são constituídos pela combinação de biomassa fixa + biomassa livre em um único reator.

Segundo OSELAME (2010), nos sistemas híbridos, são adicionados meio suporte para o crescimento da biomassa dentro do tanque de aeração, com intuito de aumentar o desempenho das estações de tratamento de esgotos, tornando-o mais eficiente na remoção de carga orgânica e minimizando a produção de lodo. Em um mesmo reator é possível obter ótimas eficiências de nitrificação, desnitrificação e remoção de fósforo.

Como vantagens temos: menor custo de operação relacionados à aeração, instalações mais compactas e melhor decantação de lodo.

3.4 LEGISLAÇÃO

3.4.1 Lei Federal do Saneamento Básico (Nº 11.445/2007)

Esta Lei estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. Abordando o conjunto de serviços de abastecimento público de água potável; coleta, tratamento e disposição final adequada dos esgotos sanitários; drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, além da limpeza urbana e o manejo dos resíduos sólidos.

3.4.2 Resolução CONAMA (Nº 430/2011)

Esta Resolução dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, alterando parcialmente e complementando a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.

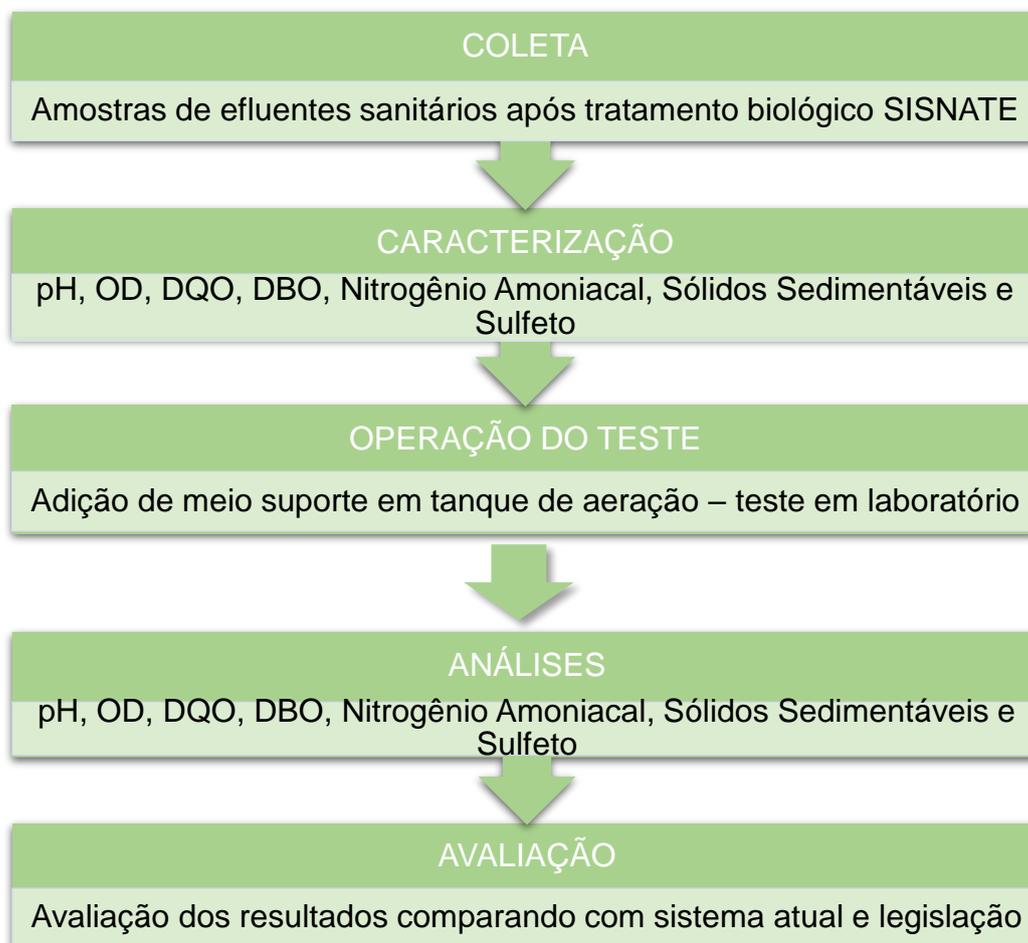
3.4.3 Legislação Estadual – Santa Catarina (Nº 14675/2009)

Esta Lei, ressalvada a competência da União e dos Municípios, estabelece normas aplicáveis ao Estado de Santa Catarina, visando à proteção e à melhoria da qualidade ambiental no seu território. O Art. 177º estabelece condições de lançamento dos efluentes.

4 MÉTODOS

As atividades centrais da pesquisa estão relacionadas na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma das atividades centrais da pesquisa.



FONTE: AUTORA, 2021.

4.1 AMOSTRAGEM

O estudo foi realizado entre maio e junho, com amostras de um sistema de tratamento de esgoto unifamiliar de uma residência localizada no município de Laguna/SC.

Este modelo de ETE atende a residências e pequenos sítios ou qualquer outra aplicação que necessite realizar o tratamento orgânico de esgoto sanitário. Conforme “NBR 13969:1997 - Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação”, este modelo se enquadra a utilização em residências de baixo padrão (classe c) para até 5 pessoas

com capacidade de tratamento volumétrica de até 1m³/dia. É um modelo compacto e construído em estruturas termoplásticas (Anexo A).

Para a amostragem, seguiu-se a NBR 9898 – Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores.

Esta Norma fixa as condições exigíveis para a coleta e a preservação de amostras e de efluentes líquidos domésticos e industriais e de amostras de água, sedimentos e organismos aquáticos dos corpos receptores interiores superficiais. (ABNT, 1987, p.1)

4.1.1 Pontos de amostragem

Os pontos de coleta foram determinados conforme a NBR 9897 - Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores.

Esta Norma fixa as condições exigíveis para a elaboração de planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos de água receptores. Esta Norma se aplica aos corpos de água receptores superficiais e interiores e às águas residuárias nelas lançadas. (ABNT,1987, p.1)

Desta forma, o ponto escolhido para a coleta da amostra foi no último reator.

4.2 TESTE EM LABORATÓRIO

A prática foi realizada em teste de bancada (considera-se teste de bancada aquele que utiliza equipamentos simples e bastante distantes da escala industrial), no laboratório da própria empresa.

4.2.1 Materiais

- Bombona:

Tabela 1 - Especificações da bombona utilizada

Capacidade	Material	Quantidade
50 L	Plástico	1

FONTE: AUTORA, 2021.

- Aquário:

Tabela 2 - Especificações do aquário utilizado

Material	Volume total	Volume útil	Quantidade
Vidro	15,625 L	11,875 L	1

FONTE: AUTORA, 2021.

- Compressor:

Tabela 3 - Especificações do compressor utilizado

Marca	Modelo	Tipo	Motor	Quantidade
Nexco	2CRN 110 15 SM	Mono estágio	0,25 kW; Monofásico; 115/230 V; 3,4/1,7 Ampères; 50 Hz	1
Nexco	Acessório	Filtro de entrada	-	1

FONTE: AUTORA, 2021.

- Válvulas, tubos e conexões:

Tabela 4 - Tubos e conexões utilizados

Tipo	Modelo	Material	Quantidade
Tubo	Marrom soldável	PVC	-
Joelho	90° - marrom soldável	PVC	7
União	Marrom soldável	PVC	2
Válvula	Registro esfera	PVC	3

FONTE: AUTORA, 2021.

- Bambu:

Tabela 5 - Dados do bambu utilizado

Espécie	Idade	Corte	Peso	Diâmetro
<i>Bambusa Vulgaris</i>	2 anos	Anéis	744,47 g	Di médio de 2 cm; D _{ex} médio de 3,25 cm

FONTE: AUTORA, 2021.

4.2.2 Experimento

Para o experimento, foi montado uma estrutura em bancada com os materiais descritos anteriormente, conforme Figura 2:

Figura 2 - Estrutura do experimento



FONTE: AUTORA, 2021.

a) Bombona:

A bombona foi utilizada para armazenar as amostras coletadas. Adicionou-se um registro em sua parte inferior para controlar a vazão correta para cada experimento.

b) Compressor:

Na entrada e saída do compressor, foram adicionados registros para controlar a vazão que entrava e saía o ar. Para o experimento, foram utilizadas as menores correntes de ar que o compressor suportava, para que a agitação do efluente e mídias não fossem altas demais.

c) Aquário:

O aquário foi utilizado simulando um tanque de aeração. Este, foi calculado o volume útil resultando no valor de 11,785 litros.

d) Bambu:

- O bambu foi utilizado como meio suporte para a fixação dos microrganismos. A seleção desse material foi baseada, principalmente, nos custos e familiaridade com o mesmo;
- O bambu foi cortado em anéis com dimensões médias aproximadas entre 2 e 3,5 cm de diâmetro. Uma parte da amostra pode ser observada na figura 3:

Figura 3 - Amostra do bambu utilizado



FONTE: AUTORA, 2021.

A espécie de bambu utilizada foi a *Bambusa Vulgaris*, nativo da Ásia, uma das espécies mais comuns no Brasil e de fácil acesso na região Sul. A espécie foi escolhida por já ser utilizada com sucesso como meio suporte no estágio anaeróbio, que faz parte do processo de tratamento.

O meio suporte interfere diretamente, entre outros, no volume efetivo dos tanques que pode ser preenchido com esgotos para o tratamento. Quanto maior o índice de vazios proporcionado pelo material, maior o volume efetivo conseguido no sistema. (ZANELLA, 2008, p.80)

O índice de vazios utilizado nos cálculos foi 62%, dado retirado do memorial descritivo da empresa. Através dele, foi calculado o Volume do suporte, resultando em 1550 cm³.

A razão entre o volume ocupado pelos meios suportes e o volume total do reator (V_s/V_r) é chamado de razão de recheio ou fração de enchimento (%). Essa razão geralmente apresenta-se entre 30 e 70%, não sendo recomendado valores acima destes para que não seja comprometida a movimentação dos suportes. (MELCHIORS, 2019, p. 26)

Optou-se por utilizar a fração de enchimento de 10%, pois diante do custo, utilizar essa razão de recheio em estações maiores seria viável financeiramente.

Foram realizados testes com três tempos diferentes de detenção hidráulica em fluxo contínuo e batelada. Para fluxo contínuo, utilizou-se a seguinte equação para calcular a vazão:

$$Q = \frac{V}{TDH} \left(\frac{cm^3}{min} \right)$$

Na tabela 6, estão os valores obtidos das vazões para os três tempos:

Tabela 6 - Vazões calculadas para experimento

TDH	60 min	120 min	180 min
Vazão	172,08 mL/min	86,04 mL/min	57,36 mL/min

FONTE: AUTORA, 2021.

4.3 ENSAIOS

A escolha dos parâmetros analisados foi feita de acordo com a necessidade da empresa, onde alguns destes se desejava aumentar a eficiência de remoção. São os seguintes: Nitrogênio Amoniacal, Sulfeto, DQO, DBO e Sólidos Sedimentáveis.

4.3.1 Ph

Para realizar a medição do pH foi utilizado o pHmetro (medidor de potencial hidrogeniônico), equipamento constituído por um eletrodo e um circuito potenciométrico, que possibilita a conversão do valor de potencial do eletrodo em unidades de pH. Após o equipamento ser calibrado com uma solução tampão, o

eletrodo é submerso na amostra e imediatamente produz milivolts que são transformados para uma escala de pH.

4.3.2 Sólidos Sedimentáveis

Na quantificação dos Sólidos Sedimentáveis seguiu-se a NBR 10561 – Águas – Determinação de resíduo sedimentável (sólidos sedimentáveis) – Método do cone de Imhoff. Esta norma prescreve o método para a determinação de resíduo sedimentável em amostras de águas e efluentes domésticos e industriais. Tem como princípio, a sedimentação das partículas em suspensão pela ação da gravidade, a partir de 1L de amostra em repouso, por 1h, em cone Imhoff.

4.3.3 Sulfeto, Nitrogênio amoniacal e DQO

Para a determinação dos parâmetros sulfeto, Nitrogênio amoniacal e DQO, foi utilizado o Espectrofotômetro Prove100 da Merck. Este, é um equipamento com alta capacidade de desenvolvimento, fácil uso, rápido e seguro. Utilizado para determinar os valores de luz transmitida e luz absorvida de uma solução em comprimentos de onda, ele permite a inserção direta da cubeta e é pré-programado para ampla gama de kits.

Para as análises, são adicionados reagentes às amostras de acordo com cada kit, que então, são adicionadas em cubetas, onde essas, são inseridas no equipamento que lê o resultado.

4.3.4 Oxigênio Dissolvido

O Oxigênio Dissolvido (OD) foi medido através de um oxímetro com eletrodo galvânica, que são sondas com membrana e funcionam como uma bateria, produzindo uma voltagem. Uma membrana permeável ao oxigênio separa o ânodo e o cátodo da amostra que está sendo medida. O oxigênio interage com o ambiente externo da sonda e produz uma corrente elétrica proporcional à concentração de oxigênio.

4.3.5 DBO₅

Para realizar a análise da Demanda Bioquímica de Oxigênio, com base nos valores de DQO, utilizou-se os valores de OD inicial e final para chegar, então, nos resultados em mg O₂.L⁻¹.

A DBO₅ é um teste realizado a temperatura de 20°C durante um período de incubação de 5 dias. É medida pela diferença do OD antes e depois do período de incubação. Para isso, foram retiradas alíquotas da amostra, adicionadas aos frascos de DBO completando o volume com água de diluição. Em seguida, utilizando um oxímetro, o valor de oxigênio dissolvido inicial foi medido. Levou-se a incubadora a 20°C por um período de 5 dias e realizou-se novamente a medição do OD.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 AMOSTRAS

A tabela 7 mostra os dados da coleta da amostra utilizada:

Tabela 7 - Dados da coleta

Coleta	Data	Hora	Clima	Materiais Flutuantes
1	01/06/2021	08:00	Sol	Ausente

FONTE: AUTORA, 2021.

Segundo a Normativa NBR 9897 – Planejamento de amostragem de efluentes líquido e corpos receptores, para a localização dos pontos de amostragem, deve-se considerar o objetivo que se pretende alcançar. Se o objetivo é detectar violação dos padrões de lançamento, deverão ser escolhidos pontos onde a probabilidade dessas violações acontecerem seja maior. Entretanto, não existe uma regra geral para a escolha dos pontos de amostragem.

Nos casos em que ocorre pouca variação nas características do efluente, são necessárias poucas amostras.

5.2 ANÁLISES

Na tabela 8 apresentam-se os resultados das análises realizadas na amostra coletada no último reator, antes de passar pelo experimento:

Tabela 8 - Resultados dos parâmetros analisados na amostra bruta

pH	DQO mg/L	DBO mg/L	Sulfetos mg/L	Nitrogênio Amoniacal mg/L	Sólidos Sedimentáveis mL/L
7,0	521	325	0,82	7,5	2,5

FONTE: AUTORA, 2021.

5.2.1 pH

Na tabela 9, os valores de pH após experimento em fluxo contínuo nos três tempos de detenção hidráulica testados.

Tabela 9 - Resultados de pH – Fluxo contínuo

	60 min	120 min	180 min
pH	7,0	7,0	7,0

FONTE: AUTORA, 2021.

Na tabela 10, os valores de pH após experimento em batelada nos três tempos de detenção hidráulica testados.

Tabela 10 - Resultados de pH – Batelada

	60 min	120 min	180 min
pH	7,0	7,0	7,0

FONTE: AUTORA, 2021.

Pode-se observar que não houve alteração no valor de pH comparando os dois experimentos e TDH testados. Também não houve alteração comparando com a amostra coletada do último reator.

Os resultados estão de acordo com os valores estabelecidos pela Lei Estadual 14.675/2009 e com a legislação federal CONAMA 430/2011, ambas determinam faixa de pH entre 6,0 e 9,0.

O pH é um dos principais parâmetros a se analisar nos efluentes. O potencial hidrogeniônico representa a acidez, alcalinidade ou neutralidade da amostra. É de extrema importância pois efluentes básicos podem provocar severos danos a fauna e flora dos rios em que forem despejados, provocando morte de peixes, concentração de metais e precipitação de minerais.

Nos tratamentos biológicos, além dos microrganismos se desenvolverem em uma certa faixa de pH, outros processos também dependem de um pH controlado próximo a neutralidade, como a oxidação da amônia a nitrato e a desinfecção do efluente com a cloração.

5.2.2 Sólidos Sedimentáveis

Na tabela 11, as concentrações e eficiência de remoção de sólidos sedimentáveis após experimento em fluxo contínuo nos três tempos de detenção hidráulica testados:

Tabela 11 - Concentrações de Sólidos Sedimentáveis – Fluxo contínuo

Sólidos S. (mL/L)	60 min	120 min	180 min
	0,5	0,3	0,1
Eficiência %	80%	88%	96%

FONTE: AUTORA, 2021.

Na tabela 12, as concentrações e eficiência de remoção de sólidos sedimentáveis após experimento batelada nos três tempos de detenção hidráulica testados.

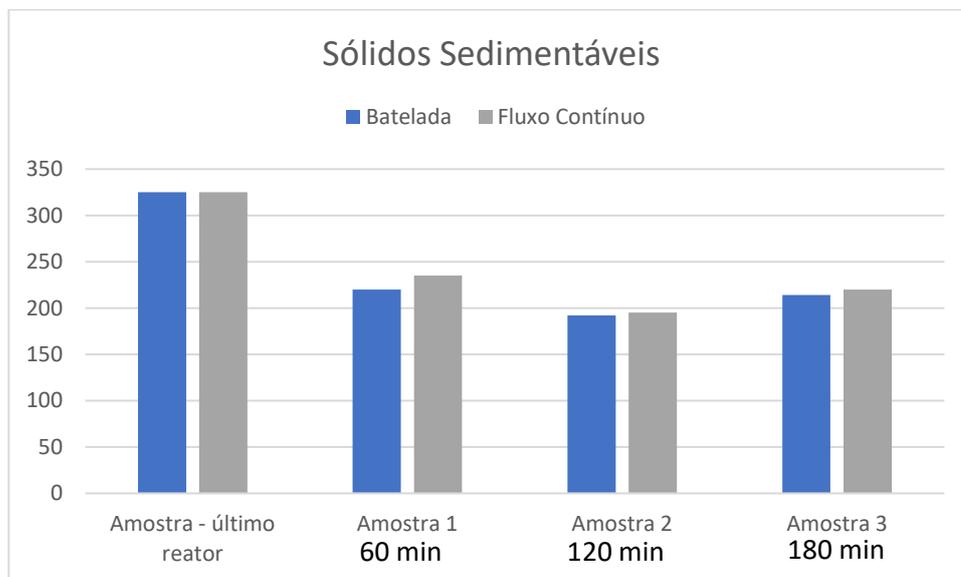
Tabela 12 - Concentrações de Sólidos Sedimentáveis – Batelada

Sólidos S. (mL/L)	60 min	120 min	180 min
	0,5	0,2	0,1
Eficiência %	80%	92%	96%

FONTE: AUTORA, 2021.

Observa-se que entre os dois experimentos as concentrações não apresentaram diferença significativa, entretanto, comparando os diferentes tempos de detenção hidráulica, percebe-se que quanto mais tempo o efluente fica no tanque, maior é a remoção dos sólidos sedimentáveis.

No gráfico 1, a comparação das concentrações entre a amostra do último reator e as amostras de fluxo contínuo e batelada.

Gráfico 1 - Sólidos Sedimentáveis

FORNTE: AUTORA, 2021.

Os sólidos sedimentáveis são um dos indicadores de poluição, eles constituem a parte mais grosseira dos sólidos suspensos e constituem um parâmetro importante de legislações. A resolução CONAMA Nº430/2011 estabelece que efluentes tenham concentrações de até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff.

Nota-se que no último reator, a concentração não estava dentro do valor estabelecido pela legislação, entretanto, depois de passar pelo teste de pós-tratamento, o mesmo se enquadra com a concentração exigida.

A análise de sólidos sedimentáveis é fundamental para garantir que os efluentes estejam livres de contaminação e, por ser um elemento de controle legal do tratamento de efluentes, a análise de sólidos sedimentáveis deve ser realizada de forma recorrente. (PROMATEC, 2020)

5.2.3 Sulfetos

Na tabela 13, as concentrações e eficiência de remoção de sulfetos após experimento em fluxo contínuo nos três tempos de detenção hidráulica testados:

Tabela 13 - Resultados de Sulfetos – Fluxo contínuo

	60 min	120 min	180 min
--	--------	---------	---------

Sulfetos (mg/L)	0,28	0,36	0,37
Eficiência %	66%	56%	55%

FONTE: AUTORA, 2021.

Na tabela 14, as concentrações e eficiência de remoção de sulfetos após experimento em batelada nos três tempos de detenção hidráulica testados.

Tabela 14 - Resultados de Sulfetos – Batelada

Sulfetos (mg/L)	60 min	120 min	180 min
	0,33	0,31	0,35
Eficiência %	60%	62%	57%

FONTE: AUTORA, 2021.

Avaliar as concentrações de Sulfetos no efluente é de extrema importância pois esses geram odores agressivos, toxicidade, baixa qualidade do biogás e pode estimular a formação de ácido sulfúrico, provocando corrosão das superfícies do reator.

Há também algumas vantagens na formação de sulfetos nos reatores anaeróbios, como: remoção de enxofre, remoção de metais pesados e remoção de compostos oxidados do enxofre (sulfato, sulfito), porém, ainda não são suficientes para sobressair aos defeitos.

Nota-se que os valores não tiveram variações relevantes comparando com os tempos de detenção hidráulica testados, porém, comparados à amostra do último reator tiveram eficiência de remoção entre 55 e 66%. A concentração de sulfeto do efluente antes do pós-tratamento já atendia à legislação vigente N° 430/2011 do CONAMA, que determina o valor máximo de 1,0 mg/L. Entretanto, com o pós-tratamento, obteve-se resultados melhores de remoção, complementando o tratamento anaeróbio.

5.2.4 Nitrogênio Amoniacal

Na tabela 15, as concentrações e eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal após experimento em fluxo contínuo nos três tempos de detenção hidráulica testados:

Tabela 15 - Resultados de Nitrogênio Amoniacal – Fluxo contínuo

Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	60 min	120 min	180 min
	6,9	4,2	3,8
Eficiência %	8%	44%	49%

FONTE: AUTORA, 2021.

Na tabela 16, as concentrações e eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal após experimento em batelada nos três tempos de detenção hidráulica testados.

Tabela 16 - Resultados de Nitrogênio Amoniacal – Batelada

Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	60 min	120 min	180 min
	7,4	4,6	3,2
Eficiência %	1%	39%	57%

FONTE: AUTORA, 2021.

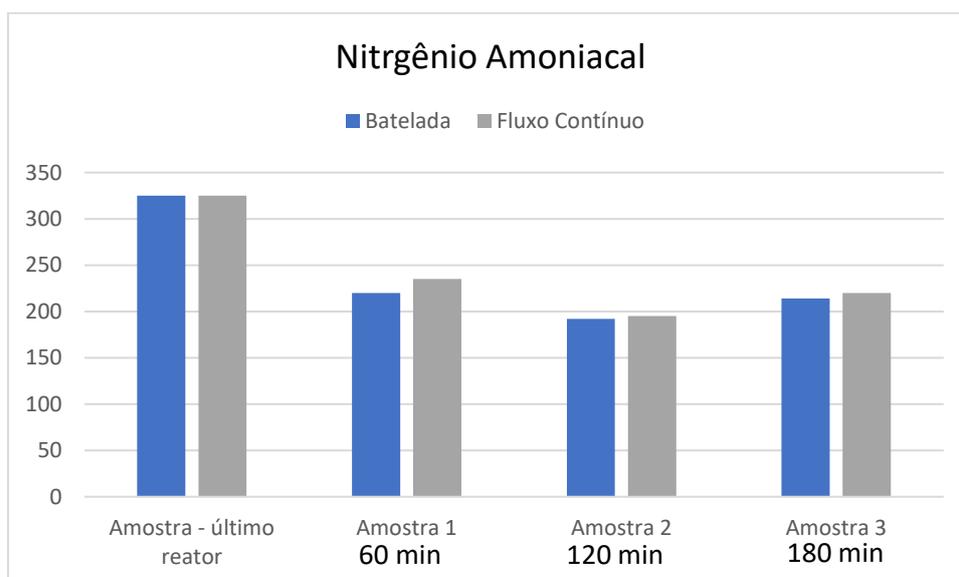
Segundo MENDES, et. At, (2019), o nitrogênio aparece de várias formas e estados de oxidação, sendo indispensável no processo de crescimento de todos os organismos do planeta. Entretanto, é também um dos contaminantes mais importantes presentes nas águas residuais.

As fontes de nitrogênio nas águas naturais são diversas. Os esgotos sanitários constituem, em geral, a principal fonte, lançando nas águas nitrogênio orgânico, devido à presença de proteínas, e nitrogênio amoniacal, pela hidrólise da ureia na água. (CETESB, 2016, p.30)

A resolução Nº 430/2011 do CONAMA sugere uma concentração de até 20 mg/L de Nitrogênio Amoniacal, porém, não é exigido este padrão. Os valores de concentração deste parâmetro estão todos dentro do valor sugerido.

No gráfico 2, a comparação das concentrações entre a amostra do último reator e as amostras de fluxo contínuo e batelada.

Gráfico 2 - Nitrogênio Amoniacal



FONTE: AUTORA, 2021.

Nota-se uma grande diferença de remoção entre o tempo de 60 min e o tempo de 120 min, enquanto no primeiro tempo a eficiência foi de 1 a 8%, nos tempos de detenção hidráulica de 120 min e 180 min a eficiência foi de 39 a 57%.

5.2.5 DQO

Na tabela 17, as concentrações e eficiência de remoção de DQO após experimento em fluxo contínuo nos três tempos de detenção hidráulica testados:

Tabela 17 - Resultados de DQO – Fluxo contínuo

DQO (mg/L)	60 min	120 min	180 min
	366	350	380
Eficiência %	30%	33%	27%

FONTE: AUTORA, 2021.

Na tabela 18, as concentrações e eficiência de remoção de DQO após experimento em batelada nos três tempos de detenção hidráulica testados.

Tabela 18 - Resultados de DQO – Batelada

DQO	60 min	120 min	180 min
(mg/L)	352	347	386
Eficiência %	32%	33%	26%

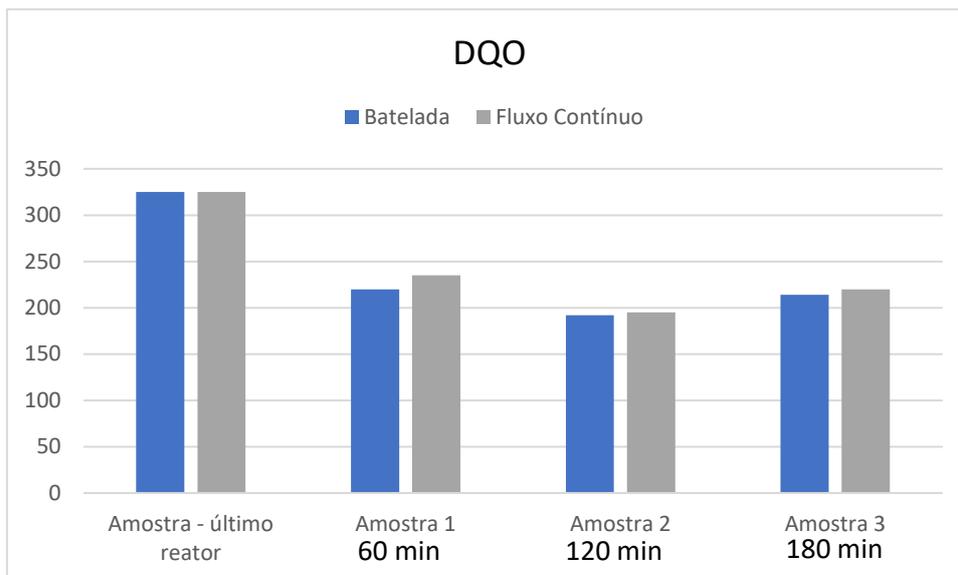
FONTE: AUTORA, 2021.

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) é a quantidade de oxigênio necessária para decompor quimicamente a matéria orgânica, sendo um parâmetro indispensável para a caracterização de efluentes.

A DQO é muito útil quando utilizada conjuntamente com a DBO para observar a biodegradabilidade de despejos. Sabe-se que o poder de oxidação do dicromato de potássio é maior do que o que resulta mediante a ação de microrganismos. Desta forma, os resultados da DQO de uma amostra são superiores aos de DBO. Como na DBO mede-se apenas a fração biodegradável, quanto mais este valor se aproximar da DQO significa que mais biodegradável será o efluente. (CETESB, 2016, p.10)

No gráfico 3, a comparação das concentrações entre a amostra do último reator e as amostras de fluxo contínuo e batelada:

Gráfico 3 - DQO



FONTE: AUTORA, 2021.

Observa-se remoções parecidas nos três tempos de detenção hidráulica testados, com pouco aumento entre o tempo de 120 min e 180 min, variando entre 347 à 386 mg/L de DQO. Uma explicação para esse pequeno aumento estaria relacionada ao bambu, que por ser um material que fermenta, após determinado tempo em contato com o efluente pode aumentar a carga orgânica.

Segundo METCALF e EDDY (2003, apud SCHLUSAZ, 2014) a concentração de DQO é considerada média até 430 mg/L e elevada acima de 800 mg/L.

Na legislação, não há valor de concentração de DQO estabelecido pelo CONAMA e, em Santa Catarina, até o momento também não foi adotado nenhum valor de referência. O que não anula a importância de analisar esse parâmetro, onde o mesmo, é utilizado para a previsão das diluições das amostras na análise de DBO.

5.2.6 DBO₅

Na tabela 19, as concentrações e eficiência de remoção de DBO após experimento em fluxo contínuo nos três tempos de detenção hidráulica testados.

Tabela 19 - Resultados de DBO – Fluxo contínuo

DBO (mg/L)	60 min	120 min	180 min
	235	195	220

Eficiência %	28%	40%	32%
---------------------	-----	-----	-----

FONTE: AUTORA, 2021.

Na tabela 20, as concentrações e eficiência de remoção de DBO após experimento em batelada nos três tempos de detenção hidráulica testados.

Tabela 20 - Resultados de DBO – Batelada

DBO (mg/L)	60 min	120 min	180 min
	220	192	214
Eficiência %	32%	41%	34%

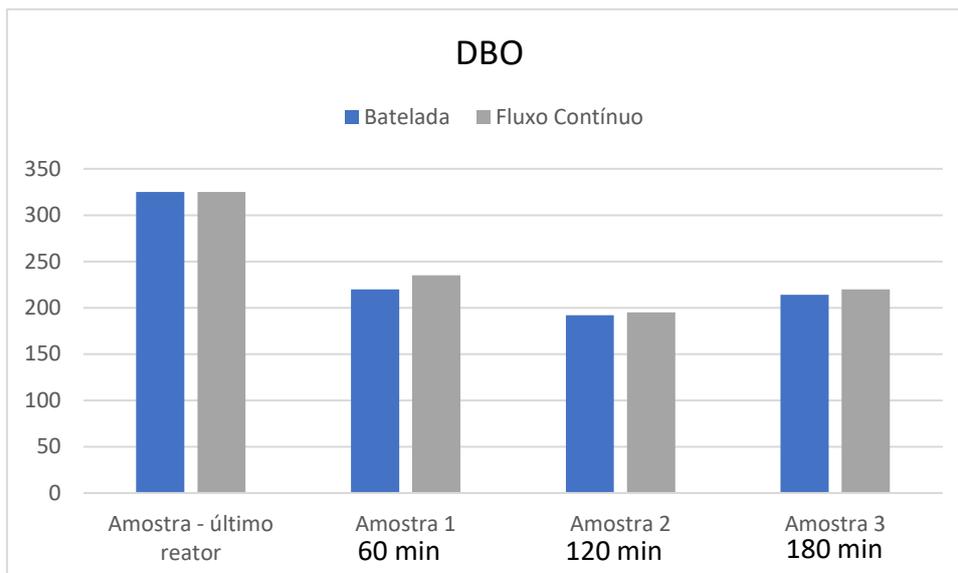
FONTE: AUTORA, 2021.

A Demanda Bioquímica de Oxigênio é a quantidade de oxigênio necessária para decompor biologicamente a matéria orgânica por meio de microrganismos.

No campo do tratamento de esgotos, a DBO é um parâmetro importante no controle das eficiências das estações, tanto de tratamentos biológicos aeróbios e anaeróbios, bem como físico-químicos [...] A carga de DBO expressa em kg/dia, é um parâmetro fundamental no projeto das estações de tratamento biológico de esgotos. Dela resultam as principais características do sistema de tratamento, como áreas e volumes de tanques, potências de aeradores etc. (CETESB, 2016, p.15)

No gráfico 4, a comparação das concentrações entre a amostra do último reator e as amostras de fluxo contínuo e batelada:

Gráfico 4 - DBO



FONTE: AUTORA, 2021.

Como nos dados de DQO, aqui, observa-se remoções de DBO parecidas nos três tempos de detenção hidráulica testados, com pouco aumento entre o tempo de 120 min e 180 min, variando entre 192 à 220 mg/L de DBO. A explicação para esse pequeno aumento estaria também relacionada ao bambu.

Na legislação, a resolução N^o 430/2011 do CONAMA estabelece o valor máximo de DBO de 120 mg/L ou remoção de 60%. Enquanto para o estado de Santa Catarina, a Lei N^o 14.675 de 2009 estabelece o valor máximo de 60 mg/L, sendo que este limite pode ser ultrapassado somente no caso de o efluente ter uma remoção de DBO de 80%.

As concentrações obtidas estão acima dos valores máximos, porém, não é possível afirmar a porcentagem de remoção, pois não foi analisado o efluente bruto no primeiro estágio, já que o estudo tem como objetivo analisar o pós-tratamento.

5.3 EFICIÊNCIA DO SISTEMA

Na tabela 21 encontram-se os valores de eficiência obtidos através dos resultados das análises:

Tabela 21 - Eficiência dos testes

TDH	Eficiência
60 min	30%

120 min	40%
180 min	33%

FONTE: AUTORA, 2021.

Observa-se que o tempo de detenção hidráulica que mostrou melhor eficiência foi de 120 min (2h). Este, já é o tempo adotado pela empresa em que o efluente fica no tanque de aeração, porém, sem meio suporte adicionado.

O pós-tratamento utilizado pela empresa atualmente, aumenta em até 20% a eficiência do sistema. Com base nos resultados dos testes em bancada, a adição de meio suporte no tanque de aeração com razão de enchimento de 10%, utilizando TDH de 2 horas mostra-se eficiente, complementando o sistema anaeróbio e aumentando a eficiência em cerca de 40%.

6 CONCLUSÃO

A avaliação da eficiência do pós-tratamento de efluente com adição de meio suporte biológico mostrou-se eficiente, com taxas de 40% de remoção orgânica e de nutrientes, estando de acordo com a literatura.

Os testes de diferentes tempos de detenção hidráulica foram realizados em fluxo contínuo e batelada, a fim de confirmar os resultados. Considerando todos os parâmetros analisados, o tempo de detenção hidráulica (TDH) que obteve melhores resultados foi de 2 horas com 40% de eficiência, seguido de 3 horas com 33% e 1 hora com 30%.

Os resultados obtidos nos testes em bancada mostraram remoção de Sólidos Sedimentáveis, Sulfetos, Nitrogênio Amoniacal, DQO e DBO, sendo suas eficiências aproximadamente de 90%, 60%, 42%, 33% e 40%, respectivamente.

Os resultados atendem aos padrões vigentes estabelecidos pela Legislação CONAMA Nº 730/2011, e pela Legislação Estadual de Santa Catarina Nº 14.675/2009, com exceção da DBO, onde as concentrações obtidas estão acima dos valores máximos. Porém, não é possível afirmar a porcentagem de remoção total, pois não foi analisado o efluente bruto no primeiro estágio, já que o estudo tem como objetivo analisar o pós-tratamento.

A adição do meio suporte utilizando como material o bambu mostrou-se eficiente, pois enquanto o sistema atual (sem meio suporte) tem 20% de remoção de matéria orgânica, o testado apresenta uma retirada de 40%. Recomenda-se a continuidade deste trabalho através da implementação do sistema de pós-tratamento com meio suporte em uma ETE, a fim de testar o sistema em escala real.

7 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10561**: Águas – Determinação de resíduo sedimentável (sólidos sedimentáveis) – Método do cone de Imhoff. Rio de Janeiro, 1988. Disponível em: <https://document.onl/documents/nbr-10561-1988-aguas-determinacao-de-residuo-sedimentavel-solidos-sedimentaveis-metodo-d.html>. Acesso em: 15 jun. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13969**: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. Disponível em: http://acguasana.com.br/legislacao/nbr_13969.pdf. Acesso em: 10 jun. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9897**: Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro, 1987. Disponível em: <http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-9.897-Planejamento-de-amostras.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9898**: Preservação e técnicas de amostragem de afluente líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro, 1987. Disponível em: <http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-9.898-Coleta-de-Amostras.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2021.

AZEREDO, J. *et al.* **Critical review on biofilm methods. Critical Reviews in Microbiology**, v. 43(3), p. 313-351, 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**: Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA. Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil. Brasília, 2011. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 10 jun. 2021.

BRASIL. Poder Legislativo Federal. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Brasília, 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/L11445compilado.htm. Acesso em: 10 jun. 2021.

BRITO, E.R. *et al.* A Prolegômenos do filtro biológico de bambu. In: **Anais do 9º Congresso de Engenharia Sanitária**, ABES, Belo Horizonte, 1977.

CAMARGO, Sandra Aparecida Rozon. **Filtro anaeróbio com enchimento de bambu para tratamento de esgotos sanitários**: avaliação da partida e operação. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2000.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qualidade das Águas Doces no Estado de São Paulo**: Apêndice E - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade. São Paulo, 2016. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-E-Significado-Ambiental-e-Sanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-2016.pdf> . Acesso em: 19 de jun. de 2020.

FONTANA, Hallan. **Pós-tratamento de esgoto sanitário com biofiltro aerado submerso preenchido com carvão granular**: Desempenho técnico e estudo de viabilidade econômica. 2007. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

LEME, Edson José de Arruda. **Manual prático de tratamento de águas residuárias**. São Carlos; EdUFSCar, 2010.

MELCHIORS, Emeline. **Avaliação do desenvolvimento de biofilme em meio suporte esponjoso em reator biológico de leito móvel (MBBR) no tratamento de efluente de indústria de celulose**. 2019. Dissertação (Mestrado em Tecnologias e Processos Ambientais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

MENDES, Alesi Teixeira. *et al.* Determinação da concentração de nitrogênio amoniacal pelo método de Nessler. In: Congresso técnico científico da Engenharia e da Agronomia, 2019, Palmas. **Artigo**. Palmas, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/hWQTNJv7sPvTfXFCdkMRSvQ/?lang=pt>. Acesso em: 20 jun. 2021.

METCALF & EDDY. **Tratamento de efluentes e Recuperação de recursos**. 5 ed. Porto Alegre; AMG editora Ltda, 2016. E-Book. Acesso restrito via Biblioteca Unisul.

OSELAME, Murilo Custódio. **Estudos de alternativas para minimização do excesso de lodo produzido em estação de lodos ativados**. 2010. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.

PROMATEC. **Qual a importância da análise de sólidos sedimentáveis?**. [Rio Claro, 2020]. Disponível em: <https://www.promatecambiental.com.br/blog/qual-a-importancia-da-analise-de-solidos-sedimentaveis/>. Acesso em: 15 jun. 2021.

ROCHA, Maria Carolina Vieira. **Microbiologia Ambiental**. 1 ed. Curitiba; Editora Intersaberes, 2020. E-book. Acesso restrito via Biblioteca Unisul.

SANTA CATARINA. **Lei nº 14.675, de 13 de abril de 2009**. Alesc, Governo do Estado de Santa Catarina. Florianópolis, 2009. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=240328>. Acesso em: 10 jun. 2021.

SENADO FEDERAL. Escassez de água: cada gota é preciosa. **Revista Em Discussão**. Brasília, n. 23, p. 34, dez. 2014. Disponível em: https://www12.senado.leg.br/emdiscussao/edicoes/escassez-de-agua/@@images/arquivo_pdf/. Acesso em: 3 jun. 2021.

SNATURAL. **Tratamento de água e efluentes**. São Paulo; 2017. Disponível em: <https://www.snatural.com.br/wp-content/uploads/2017/05/Tratamento-Agua-Equipamentos.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2021.

SNIS, **Diagnóstico dos serviços de água e esgoto**. Brasília, 2020. Disponível em: http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2019/Diagn%C3%B3stico_SNIS_AE_2019_Republicacao_31032021.pdf. Acesso em: 3 jun. 2021.

TONETTI, Adriano Luiz. *et al.* **Avaliação da partida e operação de filtros anaeróbios tendo bambu como material de recheio**. Campinas, 2011. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/esa/a/dSTkFbgF67NZKMnBTZVBqRP/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 jun. 2021.

VESILIND, P. Aarne. *et al.* **Introdução a Engenharia Ambiental**. 3 ed. São Paulo; Cengage, 2018. E-Book. Acesso restrito via Biblioteca Unisul.

ZANELLA, Luciano. **Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: wetlands – construídos utilizando brita e bambu como suporte**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.

ANEXOS

ANEXO A – Título

Sistema Natural de Tratamento Mini ETE



Mini ETE visão geral

Para até 5 pessoas



Mini ETE visão geral

Fácil instalação



Mini ETE visão geral

Água 98% reutilizável.