



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO - CTC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL

Samara Gonçalves dos Santos

**Estudo de cenários para o uso do lodo produzido na estação de tratamento de
esgoto de Canasvieiras, Florianópolis, SC.**

FLORIANÓPOLIS

2022

Samara Gonçalves dos Santos

Estudo de cenários para o uso do lodo produzido na estação de tratamento de esgoto de Canasvieiras, Florianópolis, SC.

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Armando Borges de Castilhos Júnior

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra

Santos, Samara Gonçalves dos

Estudo de cenários para uso do lodo da estação de tratamento de esgoto de Canasvieiras, Florianópolis, SC. / Samara Gonçalves dos Santos ; orientador, Armando Borges de Castilhos Júnior , 2022.

73 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Uso do lodo. 3. Minimização da produção do lodo. I. , Armando Borges de Castilhos Júnior . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. III. Título.

Samara Gonçalves dos Santos

Estudo de cenários para o uso do lodo produzido na estação de tratamento de esgoto de Canasvieiras, Florianópolis, SC.

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental e aprovado em sua forma final pelo Curso Engenharia Sanitária e Ambiental

Florianópolis, 15 de março de 2022.

Prof. (a) Maria Elisa Magri, Dra.
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Armando Borges de Castilhos Júnior, Dr.
Orientador
Instituição UFSC

Claudia Lavina Martins, Dra.
Avaliadora

Marcelo Seleme Matias, Dr.
Avaliador

AGRADECIMENTOS

A minha maior alegria foi perceber que chegou a parte que mais aguardei para escrever, os agradecimentos, a gratidão certamente nos torna pessoas mais entusiasmadas. Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por ser tão generoso comigo e ter me dado tudo o que eu precisava para chegar até aqui. Agradeço aos meus pais Maria e Valdemir, que foram minha fonte de inspiração, de força e resiliência para continuar quando as coisas ficavam difíceis. Agradeço aos meus irmãos Gisele, Rodolfo, Valdir, Sabrina, Naiara por sempre acreditarem no meu potencial. Deixo aqui um agradecimento especial para a minha irmã Maynara, que sempre foi minha confidente, obrigada por ouvir minhas histórias e oferecer consolo em momentos de desespero, obrigada por toda ajuda e dedicação para que me alimentasse bem nessa rotina exaustiva de trabalhar e estudar. Agradeço a toda minha família, que de alguma forma participou dessa fase da minha vida, inclusive as minhas cachorras que amo do fundo do meu coração, obrigada Mary, Eliza e Dory por me proporcionarem alegria singela e sorrisos espontâneos de deixar o coração quentinho.

Agradeço às minhas amigas que conquistei durante o curso Fernanda, Jessica, Lidiana, Rhamany por compartilhar seus conhecimentos e por sempre estarem dispostas a ajudar, desde um desafio em uma disciplina, até com um aconchego quando estávamos muito cansadas. Não posso deixar de mencionar a parceria infinita com a Caroline e a Marisa, vocês foram o incentivo e a resistência que eu precisava para não desistir.

Agradeço às minhas amigas de estágio Andressa, Fernanda, Juliana, Marina, Sofia e Tallyta pelas conversas tranquilizadoras e por dividirem suas experiências comigo. Agradeço aos meus amigos de longa data Pedro, Jefferson, Rafael. Pedro por ser o melhor amigo a oferecer um suporte emocional, Jefferson pela paciência em me ajudar nas disciplinas do início do curso, Rafael por sempre estar disponível para uma aventura daquelas que faz esquecer qualquer problema. Não posso deixar de agradecer ao Dalcimar, que chegou no finalzinho dessa caminhada, mas que contribuiu muito, seja com momentos leves de descontração, quanto com suas observações semânticas valiosas referentes a este trabalho, sem falar no apoio emocional na reta final quando me sentia sobrecarregada.

Agradeço ao Prof. Dr. Armando Borges de Castilhos Júnior pela orientação e por auxiliar na conclusão deste TCC que passou por diversos imprevistos e desafios. Agradeço a equipe da CASAN, por colaborarem com esta etapa da minha formação. Um agradecimento especial aos meus colegas de trabalho que por vezes realizaram trocas de plantão para me ajudar com as demandas de horário da faculdade. Agradeço também a Cris e ao Dr. Marcelo, que cuidaram da minha saúde mental e física nesse período.

Vocês todos tornaram tudo possível. Não sei como tive tanta sorte de poder contar com cada um dos citados aqui.

RESUMO

A busca por soluções que visam melhorar o processo de gerenciamento dos resíduos gerados no saneamento, vem sendo um assunto muito discutido atualmente. Estudos focados na viabilização técnica, econômica e ambiental de cenários para a utilização de lodos gerados em estação de tratamento de esgoto, se mostram promissores. Este trabalho avalia três cenários para a utilização do lodo produzido pela estação de tratamento de esgoto (ETE) de Canasvieiras, localizada na região norte de Florianópolis, administrada pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN). Atualmente o lodo gerado no local de estudo é encaminhado para um aterro sanitário localizado em Blumenau. Os dados solicitados sobre a ETE de Canasvieiras, foram fornecidos pela CASAN, as informações obtidas foram utilizadas para analisar os custos com a atual solução adotada pela empresa. O estudo inclui a identificação dos desafios inerentes ao processo de mudança do cenário tradicional, para a adoção de técnicas mais sustentáveis, que combinam mais com o estilo de uma economia circular. Respeitando a hierarquia do Plano Nacional de Resíduo Sólidos (PNRS), esta pesquisa, também sugeriu um método de minimização da geração deste material, por cloração na recirculação do lodo. Através da análise de custo da disposição no aterro e da identificação dos desafios que impedem o avanço da transformação desse panorama, a incineração, o uso na indústria da construção civil e uso na reciclagem agrícola, foram selecionados como os processos de utilização do lodo mais interessantes para a região. Dentre as três opções levantadas, a reciclagem agrícola foi indicada como a alternativa mais viável para o processamento do lodo do local.

Palavras-chave: Resíduos do saneamento, reuso de lodo, Aplicabilidade do Lodo, Ecoeficiência, Sustentabilidade.

ABSTRACT

The search for solutions that aim to improve the management process of waste generated in sanitation, has been a subject much discussed today. Studies focused on the technical, economic and environmental feasibility of scenarios for the use of sludge generated in a sewage treatment plant are promising. This work suggests three scenarios for the use of sludge produced by the sewage treatment plant (ETE) of Canasvieiras, located in the northern region of Florianópolis, managed by Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN). Currently, the sludge generated at the study site is sent to a sanitary landfill located in Blumenau. The requested data on the Canasvieiras ETE were provided by CASAN, the information obtained was used to analyze the costs with the current solution adopted by the company. The study includes the identification of the challenges inherent in the process of changing the traditional scenario, towards the adoption of more sustainable techniques, which are more in keeping with the style of a circular economy. Respecting the hierarchy of the National Solid Waste Plan (PNRS), this research also suggested a method to minimize the generation of this material, by chlorination in the sludge recirculation. Through cost analysis and the identification of the challenges that prevent the advancement of the transformation of this scenario, incineration, use in the civil construction industry and agricultural recycling, were selected as the most interesting sludge treatment and use processes for the region. Among the three options raised, agricultural recycling was indicated as the most viable alternative for the processing of sludge from the site.

Keywords: Sanitation Waste. Sludge reuse. Sludge Applicability. Eco-efficiency. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Características Gerais do Esgoto	19
Figura 2 - Fluxograma das etapas encontradas na metodologia	40
Figura 3 - Vista superior das unidades que compõem a ETE de Canasvieiras	46
Figura 4 - Fluxograma simplificado da ETE Canasvieiras.	47
Figura 5 - Área de cobertura SES Canasvieiras	49
Figura 6 - ETE de Canasvieiras e local de disposição final	50
Figura 7 - Quantitativo mensal de lodo gerado	51
Figura 8 - Proporção dos custos totais.....	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação de tipos de lodo.	21
Quadro 2 - Índices de custo - Aterro	52
Quadro 3 - Sugestão de possíveis cenários.....	57
Quadro 4 - Análise de alguns fatores sobre a incineração	59
Quadro 5 - Análise de alguns fatores sobre o uso do lodo na construção civil	61
Quadro 6 - Análise de alguns fatores sobre a reciclagem agrícola.....	64
Quadro 7 - Comparação dos cenários sugeridos	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variabilidade mensal da geração de lodo.....	51
Tabela 2 - Custos de transporte	53
Tabela 3 - Custos da disposição do lodo no aterro	54
Tabela 4 - Custo mensal e anual total de disposição de lodo no aterro.....	55
Tabela 5 - Custos totais de disposição do lodo no Aterro.....	55
Tabela 6 - Simulação de custos	59
Tabela 7 - Custo médio de uma construção por m ²	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al Alumínio

BADOP Banco de Dados Operacional

CASAN Companhia Catarinense de Águas e Saneamento

Ca Cálcio

Cd Cádmio

CO₂ Dióxido de Carbono

Co Cobalto

CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente

Cr Cromo

Cu Cobre

DBO Demanda Bioquímica de oxigênio

DQO Demanda Química de Oxigênio

ETE Estação de Tratamento de Esgoto

Fe Ferro

Hg Mercúrio

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Mg Manganês

NBR Norma Brasileira

Ni Níquel

NT Nitrogênio total

NTK Nitrogênio total Kjeldahl

Pb Chumbo

pH Potencial Hidrogeniônico

PMISB Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico

PNRS Política Nacional de Resíduos Sólidos

PO₄ Fosfato

P Fósforo

Se Selênio

SES Sistema de Esgotamento Sanitário

Si Silício

SINAPI Sistema Nacional de Pesquisa de Custo e Índices da Construção Civil

SNIS Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SO₂ Dióxido de Enxofre

SST Sólidos suspensos totais

ST Sólidos totais

STV Sólidos totais voláteis

SV Sólidos voláteis

UASB Upflow anaerobic sludge blanket

Zn Zinco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	OBJETIVOS	18
1.1.1	Objetivo Geral:	18
1.1.2	Objetivos Específicos:	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	CARACTERÍSTICAS DO ESGOTO SANITÁRIO	18
2.2	LODO PROVENIENTE DE ESGOTO DOMÉSTICO	19
2.3	CARACTERÍSTICAS DO LODO	20
2.3.1	Características Gerais	20
2.3.2	Tipos de lodo	20
2.3.3	Riscos Microbiológicos	21
2.3.4	Metais Pesados:	22
2.3.5	Outros compostos potencialmente tóxicos no lodo	23
2.4	TRATAMENTO DO LODO	24
2.4.1	Estabilização	24
2.4.2	Remoção da umidade	25
2.4.3	Higienização	26
2.4.4	Alternativa de gerenciamento do lodo	28
2.5	MÉTODOS DE MINIMIZAÇÃO DE GERAÇÃO DE LODO	28
2.5.1	Tratamento Físico-químico	29
2.5.1.1	<i>Cloração</i>	29
2.5.1.2	<i>Ozonização</i>	30
2.5.1.3	<i>Ultrassom</i>	30
2.5.2	Tratamento Biológico	31
2.6	LEGISLAÇÕES BRASILEIRAS SOBRE RESÍDUOS	31
2.6.1	Lei	31

2.6.2	Resoluções do CONAMA	32
2.6.3	NBR	32
2.7	PROCESSOS DE TRATAMENTO, VALORIZAÇÃO E DESTINAÇÃO FINAL DO LODO DE ESGOTO	33
2.7.1	Processos Térmicos	33
2.7.1.1	<i>Incineração</i>	33
2.7.1.2	<i>Pirólise</i>	34
2.7.2	Uso na Indústria da Construção Civil	34
2.7.3	Reciclagem Agrícola	36
2.7.4	Landfarming	37
2.7.5	Cobertura de Aterro	38
2.7.6	Aterro Sanitário	39
2.8	ECONOMIA CIRCULAR	40
3	METODOLOGIA	40
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	40
3.2	DIAGNÓSTICO DA GERAÇÃO DE LODO DE ESGOTO	41
3.3	ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL.....	42
3.4	CENÁRIOS PARA A UTILIZAÇÃO DO LODO.....	42
3.4.1	Descrição de Cada Cenário	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1	ETE DE CANASVIEIRAS	44
4.1.1	Dados Gerais	45
4.1.2	Unidades Operacionais	45
4.1.2.1	<i>Fluxograma da ETE de Canasvieiras</i>	46
4.1.3	Área de cobertura	49
4.2	DIAGNÓSTICO DA GERAÇÃO DE LODO DE ESGOTO DA ETE DE CANASVIEIRAS	49

4.3	ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL.....	52
4.3.1	Custos do cenário atual: Aterro Sanitário	52
4.3.1.1	<i>Custo de transporte</i>	52
4.3.1.2	<i>Custos da disposição no Aterro.....</i>	53
4.3.1.3	<i>Custo total</i>	54
4.3.1.4	<i>Custo de Operação</i>	56
4.4	POSSÍVEIS CENÁRIOS PARA UTILIZAÇÃO DO LODO	57
4.4.1	Descrição de Cada Cenário	57
4.4.1.1	<i>Minimização da geração de lodo</i>	57
4.4.1.2	<i>Cenário 1.....</i>	58
4.4.1.3	<i>Cenário 2.....</i>	60
4.4.1.4	<i>Cenário 3.....</i>	63
4.5	DESAFIOS DO PROCESSO DE VALORIZAÇÃO DO LODO.....	65
4.6	COMPARAÇÃO DAS ALTERNATIVAS.....	66
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	67
	REFERÊNCIAS.....	68
	ANEXOS	72

1 INTRODUÇÃO

A universalização do saneamento vem sendo defendida como uma forma de avanço para a qualidade de vida. Um elemento importante para alcançar o progresso nessa área, é fazer das tecnologias de tratamento de esgoto uma fonte de água, nutrientes e energia. Atualmente, as estações de tratamento de esgoto, modernas visam o reaproveitamento dos produtos e subprodutos gerados no processo de tratamento do efluente. Deste modo, a quebra de paradigmas do setor de saneamento, especificamente no tratamento de águas residuárias urbanas, consiste em transformar as estações de tratamento de esgoto (ETE) de consumidoras para produtoras de recursos (CAI, LI, 2013; CANO, NOLASCO, 2017).

A busca por cenários mais qualificados para a utilização do lodo gerado pelo processo de oxidação da matéria orgânica, previne impactos diretos ao meio ambiente e visa agregar valor para uma atividade considerada onerosa e complexa. Atualmente existem diversos estudos que demonstram viabilidade técnica, econômica e ambiental para o uso desse material como um recurso de valor promissor.

As soluções mais adotadas para o encaminhamento do lodo, são a disposição em aterros, a incineração e a reciclagem agrícola. No Brasil, a destinação para aterros ainda é o meio mais utilizado (ANDREOLI; PINTO, 2001). O gerenciamento tradicional desses resíduos, através de aterros, pode ser considerado ambientalmente e economicamente insustentável, já que este método é responsável pelo desperdício de área para a disposição final do lodo e leva a perda de recursos que poderiam ser aproveitados por outros processos. Desta forma, a intenção deste trabalho é investigar as possíveis técnicas de recuperação desse material, que atualmente é visto como um problema, e transformá-lo em um recurso com valor. Além de identificar quais os desafios enfrentados pelo setor do saneamento, para alcançar soluções mais eficientes, na gestão desse resíduo.

A abordagem deste trabalho apresenta questões relevantes sobre possíveis utilizações do lodo gerado na estação de tratamento de esgoto de Canavieiras, localizada na região norte de Florianópolis, que está situada no estado de Santa Catarina. Atualmente o lodo gerado no local de estudo, é destinado para um aterro sanitário em Blumenau. Através de todo contexto apresentado, surge o objetivo de encontrar melhores possibilidades de utilização deste material. Atualmente o lodo

produzido na ETE de Canasvieiras faz parte de um dos grupos de maiores despesas de todo o sistema operacional, o intuito é transformar esse insumo através da incineração, do uso na indústria da construção civil e do uso na agricultura de modo que agregue valor a este recurso. A questão mencionada, vai ser elaborada ao longo dessa jornada de pesquisas. Os resultados obtidos através desta investigação visam sugerir alternativas mais viáveis para utilização do lodo, bem como contribuir com informações para incentivar avanços no panorama atual.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral:

O objetivo principal deste trabalho é realizar estudos de cenários diferentes para o uso do lodo gerado pela estação de tratamento de esgoto de Canasvieiras, localizada em Florianópolis, SC, administrada pela empresa CASAN.

1.1.2 Objetivos Específicos:

- Caracterizar quantitativamente o lodo produzido ao longo de um ano na ETE de Canasvieiras.
- Analisar os custos da atual solução do encaminhamento do lodo para o aterro sanitário.
- Verificar outros cenários possíveis para a região.
- Identificar os desafios que impedem o avanço da implementação dessas medidas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

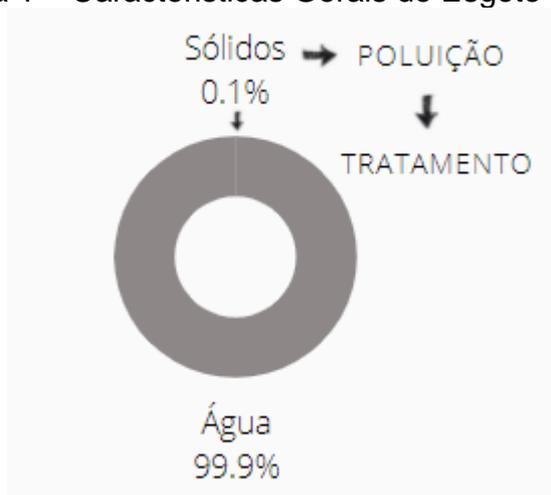
2.1 CARACTERÍSTICAS DO ESGOTO SANITÁRIO

As águas residuárias têm sua origem através das atividades domésticas ou industriais, assim a característica do esgoto está relacionada diretamente com o uso que essa água foi submetida (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2014).

Os componentes dos esgotos podem ser caracterizados através das suas propriedades físicas, químicas e biológicas. As características gerais dos esgotos domésticos consistem basicamente em que 99,9% do volume é água e apenas 0,1%

do restante trata-se de sólidos. Os sólidos são por compostos orgânicos, nutrientes, metais, sólidos inertes, sólidos inorgânicos, compostos não biodegradáveis, microrganismos, em alguns casos, ainda podem possuir contaminantes tóxicos (BATISTA, 2015). Na figura 1, é representado de forma gráfica e visual as características do volume do esgoto.

Figura 1 – Características Gerais do Esgoto



Fonte: Adaptado de Andreoli, Fernandes, Sperling (2014)

2.2 LODO PROVENIENTE DE ESGOTO DOMÉSTICO

O lodo de esgoto pode ser definido como qualquer material sólido produzido pelo processo de tratamento do esgoto doméstico, possuindo elevada concentração de sólidos em suspensão e que ainda não tenha sido submetido a eliminação de microrganismos ou atração de vetores. É composto por uma fração sólida e possui os contaminantes removidos do esgoto, é acumulado no sistema e necessita ser removido continuamente de maneira mais adequada de acordo com o tratamento adotado. Se o lodo passar por um processo de estabilização, então pode ser denominado de biossólido e dessa forma pode ser aproveitado, tornando possível a valorização produtiva desse recurso. Entre os resíduos removidos nas ETEs, o lodo é o que representa o maior volume, destacando-se ainda pela alta complexidade no seu gerenciamento. O processamento, o reuso e sua disposição final correspondem às atividades mais desafiadoras na área de tratamento de efluentes (METCALF; EDDY, 2016).

2.3 CARACTERÍSTICAS DO LODO

Conhecer as características do lodo é função precípua, já que suas propriedades causam efeitos diretos no seu processamento e a também na sua disposição final, através dessas informações pode-se definir um planejamento mais adequado para o manejo do lodo.

2.3.1 Características Gerais

O lodo de esgoto doméstico pode ser definido como um resíduo com elevada carga de matéria orgânica, nutrientes, organismos patogênicos, além de poder conter metais pesados, que representam riscos à saúde e ao meio ambiente, no entanto são inúmeras as possibilidades de aplicação deste recurso, evitando assim, um destino final inadequado. O alto teor de umidade presente no lodo, torna a sua disposição onerosa, já que no transporte a maior parte carregada é água. A proporção de nutrientes (N, P e micronutrientes) e o teor de matéria orgânica presentes no lodo têm maior relevância nos casos de aplicação no solo ou uso para produção de fertilizantes. (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

2.3.2 Tipos de lodo

Os tipos de lodos variam de acordo com a origem e a tecnologia utilizada para o processo de tratamento da fase líquida, quanto mais complexo for o fluxograma de uma ETE, maior será a variabilidade do lodo gerado. (BATISTA, 2015). No Quadro 1 apresenta-se um resumo da classificação dos tipos de lodo, relacionado com o processo de origem e sua característica.

Quadro 1 – Classificação de tipos de lodo.

Tipo de lodo	Origem	Características
Lodo primário ou bruto	Proveniente do tratamento primário do esgoto é obtido, normalmente, por sedimentação.	Possui uma coloração acinzentada, é pegajoso, de odor desagradável e pode decompor-se facilmente.
Lodo digerido	Processos de estabilização de lodos.	Apresenta redução de SSV superior a 40%, dependendo do processo empregado. Quando bem digerido não possui odor ofensivo.
Lodo aeróbio não estabilizado	Sistemas de lodos ativados e em reatores aeróbios com biofilmes – alta carga	Compreende a biomassa de micro-organismos aeróbios, gerada nos processos metabólicos de degradação da matéria orgânica, descartada do sistema. Necessita de processo de digestão complementar.
Lodo aeróbio estabilizado	Lodos ativados com aeração prolongada e reatores aeróbios com biofilmes – baixa carga	Constitui o lodo excedente, resultante de respiração endógena prevaiente, com um menor teor de matéria orgânica e maior quantidade de sólidos inorgânicos, não havendo necessidade de uma etapa posterior de digestão.
Lodo anaeróbio estabilizado	Processos de degradação da matéria orgânica, em condições anaeróbias. Ocorrência em reatores anaeróbios e no fundo de lagoas de estabilização.	Lodo com menor teor de matéria orgânica, quanto melhor a digestão, menor o potencial de geração de odor.
Lodo misto	Tratamento conjunto de lodos excedentes, de origem em tratamentos primário e secundário.	Suas características são uma composição dos lodos que lhe deram origem.
Lodo químico	Produzido em estações de tratamento onde se tem uma etapa físico-químico de tratamento da fase líquida.	Este lodo é usualmente resultante da precipitação química com sais metálicos ou com cal. A preocupação com odores é menor que com o lodo primário, embora esses possam ocorrer (somente no caso de uso de cal como coagulante). A taxa de decomposição do lodo químico nos tanques é menor que o lodo primário.

Fonte: Adaptado de Andreoli, Fernandes, Sperling (2014); Ferreira et al. (1999)

O entendimento referente ao tipo de lodo encontrado em planta na ETE, é fundamental para a escolha mais adequada de qual tratamento é mais indicado e qual a forma de valorização é recomendada segundo suas características.

2.3.3 Riscos Microbiológicos

Os microrganismos assumem um papel de grande importância, sendo encontrados com uma elevada predominância no lodo de esgoto. São associados a depuração dos esgotos ou ligados a problemas relacionados a doenças. Os microrganismos podem ser do tipo saprófitos, comensais, simbiotes ou parasitas, sendo esta última categoria a única considerada patogênica, possuindo o potencial de causar doenças ao ser humano e também nos animais, através de contato direto ou através de vetores, que mantenham contato com esse lodo contaminado (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2014).

Os principais grupos de microrganismos investigados, quando se trata de saúde pública são: os agentes bacterianos como *Salmonella* spp., *Shigella* sp., *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae*, *Leptospira* sp; os agente virais que possui a dose mínima infectante na ordem de 10^2 pode ser representado pela hepatite A, rotavírus, enterovírus, e reovírus; os protozoários representados pelos organismos *Cryptosporidium*, *Entamoeba histolytica*, *Giardia lamblia*, *Balantidium coli* e *Toxoplasma gondii*; os helmintos mais frequentes pode ser citado *Ascaris lumbricoides*, *Ascaris sum*, *Toxocara* sp., *Trichuris trichiura*, *Taeniasolium*, *Taeniasaginata*, *Necator americanus* e *Hymenolepis nanam*, *Hymenolepis diminuta* (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2014; SOCCOL et al., 2010).

No tratamento do lodo, os helmintos chamam atenção, isto porque a sua sobrevivência no meio externo é elevada, e sua dose infectiva é baixa, um cisto é o suficiente para atingir e infectar o hospedeiro (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2014). Dentre as bactérias, as enfermidades transmitidas pelo lodo têm frequência baixa, no entanto o uso do lodo no solo pode elevar o perigo de um incidente de contaminação humana. As principais enterobactérias patogênicas encontradas no lodo de esgoto, é a *Salmonella* spp e a *Shigella* spp, estas caracterizam uma maior ameaça de infecção para humanos (ANDREOLI; FERREIRA; CHERNICHARO, 2003).

Como exposto até aqui, é possível observar que é rica a quantidade de patógenos presentes no lodo bruto, dessa forma é necessário submeter este subproduto a processos de estabilização e higienização, a fim de reduzir os níveis de patogenicidade, evitando ameaças à saúde pública e respeitando as exigências para o uso desse recurso.

2.3.4 Metais Pesados:

O termo metal pesado, pode ser entendido como uma substância que em determinada concentração e tempo de exposição, ofereça risco à saúde e ao meio ambiente. Diante deste fato, é necessário avaliar as potenciais ameaças oferecidas para os organismos vivos, por essas substâncias. Os metais, Zn, Mg, Cu e Fe, chamados de micronutrientes, desempenham em determinadas quantidades, funções essenciais na manutenção de alguns organismos, enquanto outros não

desempenham nenhuma função no metabolismo e sua concentração, torna o meio tóxico para as plantas e também para os animais. O Pb, Hg e Cd são metais pesados que naturalmente não existem em qualquer organismo, não cumpre nenhuma função nutricional ou bioquímica, em qualquer concentração esses elementos são prejudiciais (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2014).

O lodo das ETEs que recebem apenas efluentes de origem doméstica contam com uma pequena quantidade de metais pesados oriunda da própria natureza dos resíduos e das canalizações (FERREIRA et al., 1999). Quanto à característica negativa, o lodo de esgoto pode conter elevadas concentrações de metais pesados, dependendo do efluente que o originou.

Nos casos de utilização na reciclagem agrícola, caso se constate uma presença significativa de metais no lodo, deve-se controlar e monitorar a aplicação. Principalmente dos mais perigosos como, zinco, cobre, níquel e cádmio, se presentes em teores elevados podem ser fitotóxicos, prejudicando o desenvolvimento das plantas e sendo nocivo aos animais que se alimentam delas (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

2.3.5 Outros compostos potencialmente tóxicos no lodo

Além de metais pesados, da matéria orgânica, dos nutrientes essenciais para as plantas e dos microrganismos são encontrados, também, complexos orgânicos no lodo de esgoto. A presença desses compostos também pode representar um perigo por sofrerem reações químicas e biológicas no solo que alteram sua solubilidade e mobilidade e, conseqüentemente, a disponibilidade e toxicidade para as plantas (MIYAZAWA et al., 2001). As normas brasileiras dão mais atenção aos metais pesados e aos organismos patogênicos, não dando a ênfase necessária para os contaminantes orgânicos.

O cuidado com compostos orgânicos perigosos está associado ao potencial de carcinogenicidade, mutagenicidade, teratogenicidade e risco à saúde humana. As principais geradoras de compostos orgânicos são: indústria química, de plásticos, produtos mecânicos, indústrias farmacêuticas, de formulação de pesticidas, ferro e aço, indústria de petróleo, lavanderias e indústrias da madeira. Os poluentes orgânicos mais frequentes de serem encontrados nos efluentes industriais são:

cianeto, fenol, cloreto de metileno, tolueno, etil benzeno, tricloroetileno, clorofórmio, naftaleno, acroleína, xileno, cresóis, acetofenona, anilina, acetato de etila, entre outros (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2014).

2.4 TRATAMENTO DO LODO

O tratamento de lodo é realizado com o intuito de diminuir o teor de material orgânico biodegradável, eliminar organismos patogênicos além de reduzir o teor de água, assim é possível atingir um tipo de material sólido mais estável e menos perigoso para a saúde pública, a sua manipulação é facilitada e o transporte é mais econômico quando se trata de um lodo tratado adequadamente (HAANDEL; MIKI; SOBRINHO, 2006).

As fases adotadas para o tratamento do lodo devem ser coerentes com a utilização almejada para este material. Se o destino do lodo for o uso agrícola, as exigências são maiores e a concentração de patógenos e seu potencial de geração de odores são de elevada importância.

2.4.1 Estabilização

O processo de estabilização do lodo consiste na biodegradação de parte da matéria orgânica, reduzindo o potencial de geração de odores e o nível de microrganismos patogênicos. Como o lodo continua com elevadas concentrações de patógenos, a seleção de uma alternativa de disposição final poderá indicar a necessidade de um processo adicional de estabilização, para tornar as características sanitárias do lodo compatíveis com o uso (BATISTA, 2015).

O processo de estabilização de lodo utilizado, pode ser dividido em 3 principais tipos, estabilização biológica, que utiliza bactérias específicas para a estabilização da fração biodegradável da matéria orgânica, é realizada através de processos de digestão anaeróbia ou aeróbia; estabilização química, que consiste na adição de produtos químicos e é responsável pela oxidação química da matéria orgânica, sendo o tratamento químico mais utilizado é via alcalina, em que uma base, normalmente a cal, é misturada ao lodo, elevando o pH e destruindo a maior parte dos microrganismos; estabilização térmica que é obtida a partir da ação do calor sobre a

fração volátil em recipientes hermeticamente fechados (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2014).

Dentre os processos biológicos de estabilização de lodo, o principal tipo mais utilizado é a digestão anaeróbia, a digestão aeróbia ainda é pouco difundida nos tempos atuais. O processo de compostagem também promove a estabilização da matéria orgânica, além de ser um método que pode ser utilizado para a higienização do lodo (JORDÃO; PESSÔA, 2005). A presença de patógenos é reduzida de forma significativa após o processo de digestão do lodo. No caso dos ovos de helmintos, é constatado que os mesmos são mais resistentes ao processo (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2014).

2.4.2 Remoção da umidade

A remoção da umidade de lodos de esgotos tem como principal objetivo a redução do volume do lodo em excesso. As etapas a serem consideradas para a remoção da umidade do lodo são o adensamento e o desaguamento. Este procedimento é efetuado por processos físicos, naturais ou mecanizados, os processos naturais referem-se à percolação e evaporação como ferramenta de remoção da água, sua operação é simples e barata, no entanto necessitam uma grande quantidade de área e tempo, além de condições adequadas para ocorrer o procedimento. Enquanto os processos mecanizados utilizam a filtração, a compactação e a centrifugação para acelerar a remoção da água. No Brasil os principais processos naturais utilizados são: leitos de secagem, lagoas de lodos e canteiros de mineralização. Quanto aos processos mecânicos, os mais empregados são: centrífugas, prensas desaguadoras e filtros-prensa (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2014). A escolha do tipo de desaguamento adotado depende principalmente do tipo do lodo e da área disponível para a implementação dessa etapa de desaguamento.

A diferença entre as etapas mencionadas anteriormente para a remoção da umidade é que o adensamento é uma fase preliminar, com eficiência limitada, o teor de sólidos obtido varia entre 2 e 8%. Através do adensamento, consegue-se diminuir a capacidade volumétrica das unidades seguintes, como digestores, tamanho das bombas, entre outros. Outra vantagem relevante do adensamento está na redução da

utilização de produtos químicos na etapa de condicionamento pré-desidratação (MIKI, 2001).

A etapa do desaguamento mecânico do lodo destaca-se por possuir uma eficiência mais elevada, produzindo um lodo desidratado com teores de sólidos que variam entre 15 e 35%, dependendo da tecnologia empregada e do tipo de lodo e das condições operacionais (BATISTA, 2015).

A desidratação do lodo possui muitas vantagens, entre elas pode se citar: a redução do custo de transporte; a melhoria nas condições de manejo do lodo, pois o lodo desaguado é mais facilmente processado, transportado e estocado; aumento do poder calorífico, quando o destino final é a incineração; redução do volume para disposição em aterro ou para o reuso na agricultura; e diminuição da produção de lixiviados, quando é disposto em aterros (GONÇALVES et al., 2001).

2.4.3 Higienização

O controle de patógenos só é alcançado através do processo de estabilização conhecido como higienização, o qual visa eliminar ou reduzir significativamente a quantidade de patógenos, tornando o produto final biologicamente seguro para as diferentes aplicações desejadas (PASSAMANI; KELLER; GONÇALVES, 2002). Além de reduzir a densidade de patógenos, a higienização do lodo visa eliminar os maus odores e inibir, reduzir ou eliminar o potencial de putrefação (MIKI; SOBRINHO; HAANDEL, 2006). É relevante evidenciar que não se trata de uma desinfecção, já que não é possível desativar totalmente todos os microrganismos que constituem o lodo.

As limitações para a utilização do lodo referente aos microrganismos patogênicos podem ser controladas por soluções técnicas de higienização que provoquem a inativação de patógenos. As soluções escolhidas devem levar em consideração condições como a viabilidade econômica, segurança e facilidade de aplicação prática. Pode ser citado como sendo os processos mais utilizados, a compostagem, a caleação, a pasteurização e a secagem térmica (ANDREOLI; FERNANDES; SPERLING, 2014).

As alternativas citadas utilizam como princípios de desinfecção do lodo a temperatura e o pH. Essas condições apresentam faixas em que os organismos se mantêm vivos no lodo, caso seja quebrado o equilíbrio suportado por eles, os

organismos são destruídos. A intensidade e o tempo em que os microrganismos são submetidos a estas condições adversas determinam a eficiência da desinfecção (ILHENFELD, 1999).

Em relação aos métodos empregados para a realização da higienização, se sobressai por conta da facilidade e pelos baixos custos operacionais, a compostagem e a calagem (BATISTA, 2015).

O sistema de compostagem mais utilizado são as leiras (revolvidas ou aeradas), pilha estática aerada e reatores, apesar de existir diversos tipos essas são as mais indicadas para o lodo de esgoto. Tanto o lodo bruto quanto o lodo digerido podem ser compostados. Os principais benefícios da compostagem são: produto final de alta qualidade e grande aceitação na agricultura; a conversão da matéria orgânica putrescível em matéria estabilizada; a destruição de patógenos; a redução da umidade do lodo; a possibilidade de utilização combinada com outros processos de estabilização; e baixo custo de implementação (TSUTIYA, 2001)

A caleação ou a estabilidade alcalina como também pode ser chamada, é um processo que pode ser utilizado na higienização tanto de lodos primários, secundários ou digeridos, estando estes em estado líquido ou sólido. Quando é adicionado uma quantidade suficiente para aumentar o PH do lodo até 12, o resultado consiste na redução de patógenos que constituem esse material, além de diminuir eventos de maus odores (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2014).

De acordo com Andreoli et al. (2001) a caleação é um método com grande potencial de consolidação pela alta eficiência na desinfecção, relativa facilidade no procedimento (se comparado à compostagem) e é uma das alternativas mais econômicas de higienização do lodo de esgoto. Os produtos mais utilizados na calagem são a cal virgem (CaO) e a cal Hidratada (Ca(OH)₂). A quantidade de cal para elevar o PH na ordem de 12, depende de inúmeros fatores, como teor de sólidos, tipo de lodo entre outros. A cal virgem é incorporada ao lodo de esgoto com o principal objetivo de diminuir o grau de contaminação, já que ele apresenta agentes patogênicos como ovos de helmintos, esporos de fungos e colônias de bactérias, e também melhorar a consistência do lodo e servir como corretivo no solo, já que a maior parte dos solos brasileiros apresentam caráter ácido, necessitando de correção do pH através aplicação de calcário para as práticas agrícolas.

É relevante destacar que os helmintos são os agentes patogênicos que apresentam maior resistência às condições do meio, conseqüentemente, quando é efetivado o controle desses patógenos, os demais estarão automaticamente em níveis admissíveis, compatíveis com usos mais exigentes do lodo como o uso agrícola, não proporcionando riscos aos usuários do produto e ao ambiente (ANDREOLI et al., 2001).

2.4.4 Alternativa de gerenciamento do lodo

O lodo produzido deve receber tratamento e disposição final adequada, correspondendo ao gerenciamento do lodo. A escolha dos processos de tratamento a serem utilizados irá depender do tipo e quantidade de lodo gerado, além do tamanho e da localização da ETE. As principais etapas de tratamento do lodo são: adensamento (tem como objetivo remover umidade e assim diminuir o volume de lodo), estabilização (o objetivo é a remoção da matéria orgânica), condicionamento (é a preparação do lodo para a desidratação), desidratação (etapa aplicada para remover umidade e reduzir o volume de lodo) e higienização (etapa com o objetivo de remover organismos patogênicos). A partir daí o lodo segue para a destinação final, que pode ser aterro sanitário, a reciclagem agrícola, landfarming (disposição no solo), incineração, usos industriais, etc (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2014).

A análise de alternativas para o gerenciamento do lodo de esgoto é complexa por envolver aspectos técnicos, econômicos, ambientais e legais. Do ponto de vista sustentável pode-se citar algumas possibilidades cabíveis para enfrentar esse desafio, como: a diminuição da produção do lodo, a produção de lodo de melhor qualidade e reciclar a maior parte possível deste material (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2014).

Muitos países já entenderam que a disposição em aterros sanitários não é uma prática sustentável e que a tendência para esta destinação é se tornar cada vez mais onerosa. A reciclagem agrícola do lodo é a atividade que possui maior potencial de disseminação mundial, por ser uma técnica econômica e ambientalmente aceitável.

2.5 MÉTODOS DE MINIMIZAÇÃO DE GERAÇÃO DE LODO

Há um número relevante de técnicas baseadas em métodos físicos, químicos, mecânicos, térmicos e biológicos para minimização da produção de lodo em estações de tratamento de esgotos. Estes mecanismos frequentemente apresentam bons resultados na redução da produção de lodo, no entanto existe o risco de causar influência negativa sobre o sistema de tratamento do efluente, ser responsável por aumentar o custo operacional do sistema, além de poder gerar subprodutos tóxicos (ROSA, 2015). Algumas técnicas disponíveis para o processo de minimizar a produção de lodo, vão ser comentadas brevemente nos próximos tópicos, com a intenção apenas de citar as soluções conhecidas e acessíveis até o momento.

2.5.1 Tratamento Físico-químico

A maior parte destas tecnologias é focada em solubilizar sólidos, desintegrar a estrutura biológica do floco e causar ruptura de células bacterianas, e como exemplo pode-se citar processos que envolvem aplicação de gás ozônio, cloração, desintegração ultrassônica, metabolismo desacoplado e aplicação de ácido fólico. A forma de ação desses mecanismos citados, já é amplamente compreendida e apresentada na literatura. Os processos ocorrem por meio da oxidação do material orgânico ou pela lise celular bacteriana, tornando a massa global do sistema mais biodegradável. Mesmo que a eficiência na redução da produção de lodo seja comprovada, as técnicas citadas anteriormente representam alguns desafios como o alto custo operacional, a geração de compostos tóxicos e os efeitos negativos sobre o processo de tratamento do efluente (VELHO, 2015).

As técnicas de minimização da produção de lodo, por tratamento físico-químico, foram sintetizadas com a intenção de apresentar as principais alternativas que serão abordadas sobre o assunto. Dentre inúmeras técnicas disponíveis, os métodos que serão estudados são a cloração, a ozonização e a desintegração ultrassônica. Essas técnicas são baseadas na lise celular que pode ser provocada por diferentes mecanismos que comprometam a integridade da biomassa.

2.5.1.1 Cloração

O cloro é um forte agente oxidante, podendo promover a oxidação química da biomassa, além de causar a morte e a lise celular dos microrganismos que entram em contato, o produto desse processo é liberado no meio líquido e é submetido à degradação a partir do metabolismo microbiano no sistema de tratamento do esgoto. Este método apresenta algumas possíveis desvantagens, como a deterioração na sedimentabilidade do lodo e a formação de trihalometanos que se trata de uma substância tóxica formada pela reação do cloro com matéria orgânica, além disso a utilização de cloro em excesso pode comprometer a eficiência da remoção da DQO. O processo de oxidação por cloro foi recomendado para substituir a ozonização, por ser um procedimento economicamente mais viável. O cloro, devido à sua ação oxidante, pode ser utilizado para minimizar a produção de lodo em sistemas de lodos ativados (VELHO, 2015).

2.5.1.2 Ozonização

O ozônio é um forte agente oxidante, pode ser utilizado na redução da produção de biomassa em excesso e no melhoramento das condições de sedimentação do lodo. Essa tecnologia apresenta alguns riscos associados como a geração de subprodutos tóxicos, provocados pela reação do ozônio com outras substâncias. O custo de operação e de implementação desses sistemas são elevados, por conta da alta quantidade de energia necessária para produção de ozônio. Apesar disso, avaliações econômicas apontam que levando em consideração a desidratação e disposição final do lodo, o custo com o processo de ozonização torna-se mais vantajoso (OSELAME, 2011).

2.5.1.3 Ultrassom

A desintegração ultrassônica promove a lise celular das bactérias presentes no lodo. Apesar dessa técnica ser eficiente e não introduzir no sistema substâncias com potenciais riscos biológicos, a demanda de energia e os custos são relativamente elevados. No entanto, os custos gerais envolvidos para empregar este mecanismo, pode ser compensado, pela economia gerada no processo de tratamento e disposição do lodo gerado (VELHO, 2015).

2.5.2 Tratamento Biológico

No tratamento biológico, uma opção eficiente para redução da produção de lodo é a inclusão de um reator anaeróbio na linha de recirculação do lodo. Nesse sistema, os sólidos sedimentados do decantador são encaminhados ao reator anaeróbio antes de voltarem ao tanque de aeração, com objetivo de reduzir o lodo em excesso, chamado sistema OSA (Oxic-Settling-Anaerobic system). Este mecanismo reduz de forma eficiente e econômica, a produção de lodo, já que não é necessário a adição de produtos químicos. Este processo também conta com estabilidade operacional, melhora na qualidade do efluente e as propriedades de sedimentabilidade do lodo. Entretanto, o tratamento biológico de redução da produção de lodo e seus mecanismos de ação continuam não sendo totalmente claros e os seus custos de utilização ainda são carentes de estudos (ROSA, 2015).

2.6 LEGISLAÇÕES BRASILEIRAS SOBRE RESÍDUOS

No Brasil, o uso de lodos gerados em estações de tratamento de esgotos sanitários é disciplinado por inúmeras leis, resoluções e normas as mais relevantes sobre esse assunto, serão comentadas brevemente abaixo. A legislação ambiental vem se tornando cada vez mais restritivas, forçando as empresas a terem um comportamento ambiental mais ativo. Cada processo de tratamento e valorização do lodo conta com uma série de diretrizes ou restrições, assim para um estudo mais aprofundado é recomendado a investigação para cada caso e que as mesmas sejam analisadas em sua totalidade.

2.6.1 Lei

A Lei nº 12.305 de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) define como princípio o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania. Considerando esta definição, a busca pelo uso e valorização do lodo de esgoto em cenários diferentes do habitual encaminhamento para aterros

sanitários é uma alternativa mais benéfica e que ainda se enquadra nos princípios de reutilização e reciclagem de resíduos estando em consonância com esta lei. Além disso, um dos objetivos da PNRS é a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem e o tratamento dos resíduos sólidos, bem como a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, devendo ser observada, na gestão e no gerenciamento dos resíduos, essa ordem de prioridade.

2.6.2 Resoluções do CONAMA

O uso e disposição do lodo no solo é determinado pela resolução do CONAMA 375/2006 e 498/2020. A (CONAMA, 2006) caracteriza duas classes de lodos de esgotos: a classe A que pode ser usada em quaisquer culturas, respeitando algumas restrições e a classe B trata-se de uma utilização restrita ao cultivo de café, silvicultura, culturas para produção de fibras e óleos, com aplicação mecanizada, em sulcos ou covas, seguida de incorporação. Além de determinar a proibição da utilização de qualquer classe de lodo de esgoto ou produto derivado em pastagens e cultivo de olerícolas, tubérculos e raízes, e culturas inundadas, bem como as demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo.

A CONAMA 498/2020 define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólidos em solos e segundo o artigo 9º o biossólido pode ser classificado como, Classe A ou Classe B e ambos deverá atender um limite máximo de *Escherichia coli* por grama de sólidos totais, especificado na norma para cada classe. No artigo 10º o biossólido é classificado como Classe 1 ou Classe 2, de acordo com os valores máximos permitidos de substâncias químicas. No artigo 12 é enfatizado que o lodo de esgoto sanitário que não se enquadrar nos limites e critérios definidos na resolução deverá receber outra forma de destinação final ambientalmente adequada, que não seja a aplicação direta no solo.

A resolução do CONAMA 375/2006 e 498/2020 impõe uma série de restrições, estabelece a necessidade de projetos agrônômicos, específica taxa de aplicação e, portanto, deve ser consultado na íntegra

2.6.3 NBR

A norma brasileira (NBR) 10004/2004, classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente. De acordo com a norma os resíduos são classificados em resíduos classe I (Perigosos), resíduos classe II (Não perigosos). Os resíduos de classe II ainda podem ser classificados em, Classe II A (não inertes) e Classe II B (inertes).

2.7 PROCESSOS DE TRATAMENTO, VALORIZAÇÃO E DESTINAÇÃO FINAL DO LODO DE ESGOTO

As alternativas tecnicamente mais aceitáveis para disposição final do lodo, serão comentadas ao longo dos tópicos sobre: processos térmicos, o uso na indústria da construção civil, a reciclagem agrícola, landfarming, a cobertura de aterro e o aterro sanitário.

2.7.1 Processos Térmicos

Nos processos de tratamentos térmicos do lodo de esgoto, ocorre uma relevante redução do volume dos resíduos finais, além de ser uma alternativa sustentável para o reaproveitamento do lodo.

2.7.1.1 Incineração

O cenário da incineração do lodo é um processo térmico, que ocorre de 550°C a 950°C, usualmente 800°C, consiste na estabilização e redução de volume do material para a disposição final. A temperatura é elevada, da ordem de 1000°C, podendo haver grande aproveitamento de energia, a partir da utilização dos gases quentes provenientes da queima para aquecimento dos digestores e para geração de vapor. Este método implica na destruição das substâncias orgânicas, inclusive os organismos patogênicos, através da combustão. O volume de cinza residual é normalmente inferior a 4% do volume de lodo desaguado alimentado ao incinerador. Apesar de se tratar de uma opção com alto custo de implementação e operação, conforme a disponibilidade de áreas adequada, para a implementação de outros

métodos de disposição de lodo, se torne limitada, a incineração pode vir a ganhar mais atenção. Os produtos da combustão completa do lodo são: vapor de água, CO₂, SO₂ e cinzas inertes. A utilização de filtros sofisticados é função precípua na adoção da técnica de incineradores, já que essa atividade necessita de um controle da emissão atmosférica. A notável redução do volume de lodo na incineração, não resolve completamente o desafio da disposição final do lodo, a cinza residual que é um subproduto da combustão deste material ainda precisa de uma destinação adequada, que pode ser encaminhado para um aterro sanitário ou para outra alternativa viável (ANDREOLI, FERNANDES, SPERLING, 2014).

2.7.1.2 Pirólise

Nesse processo de tratamento térmico o lodo passa por uma série de etapas. Na primeira etapa, chamada de zona de secagem, a temperatura varia de 100°C a 150°C. Na segunda etapa conhecida como zona pirólise, a temperatura varia de 300°C a 1600°C e ocorrem importantes reações químicas como a fusão, volatilização e oxidação. Por fim, vem a etapa da zona de resfriamento onde os resíduos são coletados como char, cinzas e escórias. A pirólise é executada na ausência de oxigênio e o lodo é convertido principalmente em produtos como carvão (sólidos), óleos de pirólise (líquido), vapor d'água e gases combustíveis (fração gasosa). A fração sólida ou o carvão, trata-se de um material com carbono em abundância e pode ser utilizado para a produção de carvão ativado, que é conhecido pela sua ampla utilização na extração de metal, purificação de água e entre outros. A fração líquida ou o bio-óleo, pode ser utilizada em caldeiras, além de ter apresentado potencial para uso em motores a diesel e turbinas. Já a fração gasosa possui um alto poder calorífico. Esses produtos possuem um elevado poder energético, assim os materiais obtidos possuem uma grande utilidade e uma fração dos produtos gerados podem inclusive ser incinerados e usados como energia para aquecimento no próprio processo de pirólise (MOURA et al., 2020).

2.7.2 Uso na Indústria da Construção Civil

O aproveitamento desse material na produção de insumos para a construção civil, vem sendo abordado como uma alternativa na busca por soluções mais ecológicas para a disposição final desse resíduo, que registra a cada ano o aumento do seu volume de produção, à medida que o setor de saneamento é ampliado.

De acordo com Geyer (2001) os primeiros estudos para a utilização de lodos de esgoto como subprodutos na engenharia civil estão relacionados à produção de materiais cerâmicos. Estes materiais usam pouca tecnologia e não exigem alto grau de pureza da matéria prima, admitindo a adição de lodo de esgoto na sua composição. A literatura ainda relata que este material pode ser utilizado desde a produção de agregados leves ou até na produção de argamassas e concretos. O lodo de esgoto pode ser utilizado de duas maneiras, como insumo na produção de tijolo, o lodo na forma parcialmente desidratada ou adicionar a cinza proveniente da incineração do mesmo. Pesquisas realizadas sobre esse tipo de produto, os chamados tijolos ecológicos, observam que a adição de lodo desidratado reduz a resistência à compressão, sendo recomendável limites de até 30% do volume. Os tijolos com adição de cinzas apresentam desempenho melhor, embora ambos estejam de acordo com as normas. A incorporação do lodo de esgotos na fabricação de produtos cerâmicos, como telhas, tubos, tijolos e lajotas, tem-se mostrado uma alternativa viável de destinação adequada.

Existem atualmente no Japão e na Europa uma mistura entre as cinzas do lodo com cimento, desta forma a conservação dos metais pesados é mais segura. Pode-se praticar também novamente a incineração do lodo em fornos de cimento que utilizam o carvão mineral como combustível, a vantagem encontra-se na redução dos custos de implantação e operação. Os procedimentos de operação e manutenção da unidade são integrados à rotina da indústria, possibilitando a redução do custo total de disposição final (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2014).

Segundo Geyer (2001), a produção de agregado leve tem encontrado dificuldades em entrar no mercado, devido ao seu custo elevado em comparação com as alternativas disponíveis, no entanto o mesmo relata que existem inúmeras formas de reaproveitamento do lodo na construção civil, como na produção de agregado graúdo, miúdos, e até mesmo como adição metodicamente controlada na produção de cimento, concreto e argamassas tudo depende apenas do que o projeto a ser executado exige.

A eficiência dos métodos e a qualidade dos insumos produzidos com o lodo de esgoto, não representam grandes restrições de aproveitamento desde que não sejam utilizados em obras estruturais. Os testes verificados em diversos estudos demonstraram a incorporação lodo como insumo na construção civil, mostraram-se uma alternativa viável do ponto de vista técnico e ambiental, embora a aplicação deste seja mais comum em países que enfrentam fatores agravantes para os descartes tradicionais, como o encaminhamento para aterro ou para agricultura (BATISTA, 2015).

2.7.3 Reciclagem Agrícola

O cenário para a reciclagem agrícola do lodo consiste em uma prática que realiza a incorporação do lodo de esgoto ao solo com a finalidade do aproveitamento nutricional para o desenvolvimento das culturas. Os biossólidos, como também podem ser chamados os lodos estabilizados, possuem muitos nutrientes essenciais para o crescimento das plantas.

A reciclagem agrícola dentre todas as opções aceitáveis para a disposição do lodo, é o processo que representa o cenário de maior aplicação em todo o mundo, por se tratar da possibilidade mais econômica e ambientalmente mais adequada. Esta escolha de disposição final deve ser entendida como a fabricação de um insumo de boa qualidade para a agricultura, sua utilização deve ser empregada através de orientações técnicas adequadas, para garantir a segurança sanitária e ambiental, além de possibilitar ganhos consideráveis ao produtor rural, já que reduz a necessidade de fertilizantes químicos. Os requisitos de qualidade e a segurança ambiental têm se tornado cada vez mais restritivos, há uma tendência no aumento dos custos para estas práticas (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2014).

As práticas de disposição de lodo de esgoto no solo possuem uso benéfico, desde que seja submetido a algum tipo de tratamento complementar, atingindo parâmetros definidos por legislação garantindo a segurança do meio ambiente e a saúde pública. Segundo Martins (2015), existem muitos artigos científicos publicados sobre a reciclagem agrícola do lodo e nenhum efeito prejudicial do uso controlado deste material foi encontrado. A partir desta conjuntura se confirma a necessidade da regulamentação do uso deste material, de maneira clara e com diretrizes que

assegurem a qualidade das culturas que forem receber o insumo para garantir a proteção do ambiente e da saúde pública. O panorama atual do Brasil, onde a maior parte de lodo produzido é encaminhado para aterro, deve ser subvertida quando atingirmos um grau maior de consciência sustentável, até lá é fundamental a criação de normas e legislações que incentivem a reciclagem do lodo.

O controle dos principais parâmetros enfatizados nas regulamentações, se baseiam nos riscos associados à utilização agrícola do lodo através das análises: dos metais pesados, os aspectos sanitários, os micropoluentes orgânicos e o nitrogênio. É importante seguir as recomendações da resolução CONAMA 375/2006, CONAMA 498/2020, as mesmas foram comentadas item 2.6.2.

Segundo Martins (2015), esta opção alia baixo custo e impacto ambiental positivo se realizado dentro de critérios seguros. Para ele, o cenário explorado é ambientalmente a solução mais correta, pois viabiliza o retorno dos nutrientes ao solo, contribuindo para o fechamento no ciclo dos elementos. São inúmeras vantagens da utilização do biossólido na agricultura, podendo citar a melhora da produtividade agrícola, a resistência do solo à erosão, o fornecimento de nutrientes para as plantas, a redução dos custos de produção para os agricultores, redução do impacto ambiental decorrentes da inadequada disposição final de lodo de esgoto, entre outros.

2.7.4 Landfarming

Nesse cenário para a utilização do lodo o objetivo final não é a utilização dos nutrientes para fins produtivos, como na reciclagem agrícola. Neste caso a intenção é que ocorra a biodegradação deste material pelos microorganismos presentes no perfil arável, onde os metais presentes fiquem retidos na camada superficial do solo, evitando a contaminação do lençol freático.

Pela falta de reaproveitamento nutricional e energético é considerado como uma disposição sem fins benéficos. É uma alternativa oferece baixo custo e simples execução, mas possui algumas desvantagens preocupantes como o acúmulo de metais pesados e elementos de difícil decomposição no solo; apresenta ainda a possibilidades de contaminação do lençol freático; liberação de odores e atração de vetores; e a dificuldade de reintegração da área após a desativação. O contexto exposto pode ser contornado ao garantir uma boa instalação e monitoramento da

área, evitando danos ao meio ambiente. Pode então ser considerado como uma boa alternativa para um plano de emergência de sistemas de reciclagem. (MARTINS, 2015).

As taxas de aplicação de lodo nesse sistema são maiores se comparadas com a taxa de aplicação na reciclagem agrícola. No entanto, as restrições impostas para a reciclagem agrícola também são válidas para este caso, se tratando apenas de limites diferentes. O landfarming conta com maior intervenção tecnológica para um controle ambiental mais seguro, a compactação e impermeabilização da camada de solo da superfície é uma alternativa técnica que permite uma disposição maior das taxas de aplicação desse insumo no solo (ANDREOLI, SPERLING, FERNANDES, 2014).

As NBRs, 13894/1997 e 14283/1999 definem melhor o procedimento a ser seguido para a implementação desse sistema, embora no Brasil não seja muito empregado esse tipo de solução para lodos provenientes do esgoto doméstico.

2.7.5 Cobertura de Aterro

De acordo com Prim (2011), em diversos países o lodo de esgoto é utilizado corriqueiramente como cobertura de aterro. O processo construtivo de impermeabilização e cobertura, são estruturas e componentes de um aterro sanitário que requer ênfase. As camadas impermeáveis são capazes de serem aproveitadas na cobertura de aterros e também na impermeabilização da base. Essas técnicas construtivas são empregadas quando se tem o objetivo de evitar a entrada de água da chuva, ou a saída de líquidos percolados, diminuindo a geração de fluidos na massa de lixo impedindo o contato com o lençol freático e com o solo natural. A função desse sistema é minimizar impactos ambientais e proteger a superfície das células de resíduos, além de controlar a exalação de odores, poeiras e dificultar a proliferação de vetores.

A camada de impermeabilização pode ser constituída por uma ou mais camadas, com funções distintas. A seleção do material a ser utilizado nas camadas, é realizada através das necessidades quanto às propriedades, funções e do custo do produto. Entre os materiais alternativos, pode-se citar: matérias residuais recuperadas ou recicladas, solos orgânicos, lodos, lamas etc. O biossólido tem esse encaminhamento principalmente quando não alcança qualidade considerável para

usos mais exigentes, como na agricultura ou quando passa a ser uma alternativa estratégica na gestão do lodo, já que ao mesmo tempo em que se valoriza um resíduo, minimiza-se a demanda por solo em jazidas naturais. O material mencionado pode ser utilizado tanto em cobertura diária quanto em cobertura final, no entanto, precisa estar estabilizado e com umidade inferior a 50% para o primeiro caso e 80% para o segundo. Pode-se citar algumas vantagens do lodo de esgoto estabilizado nas camadas diárias de cobertura, como: o auxílio no controle de vetores, a redução da emissão de odores, o favorecimento da geração de metano, a redução do potencial de contaminação do solo e da chance de ocorrência de incêndios em aterros sanitários nas coberturas finais é necessário tomar outros cuidados quanto ao deslizamento nas encostas laterais (PRIM, 2011).

2.7.6 Aterro Sanitário

O cenário com a disposição final em aterros sanitários, embora não viabilize a recuperação desse recurso, é considerada uma solução ambientalmente adequada. A instalação de um aterro sanitário requer estudos para que certas condições sejam cumpridas, como a proteção do solo, do ar e dos recursos hídricos, garantindo a mitigação de efeitos adversos possíveis causados pela disposição dos resíduos.

O resíduo é confinado em células e passa por processos de biodegradação anaeróbia, gerando vários subprodutos como metano e chorume. Um ponto importante para a implementação de um aterro é a disponibilidade de área próxima a produção do resíduo. Para o desenvolvimento adequado do empreendimento, alguns elementos de projeto precisam ser assegurados como: a capacidade do aterro, a impermeabilização do leito do aterro, a drenagem das águas pluviais, a drenagem de percolados, a drenagem de gases e o tratamento dos percolados. O porte do aterro vai depender do volume de resíduo a ser disposto por um determinado tempo, geralmente é adotado entre 15 a 20 anos de operação, o sistema deve ser monitorado durante toda a sua vida útil e muitos anos após seu encerramento, já que os percolados e os gases serão produzidos mesmo após a desativação das atividades. (ANDREOLI, FERNANDES, SPERLING, 2014).

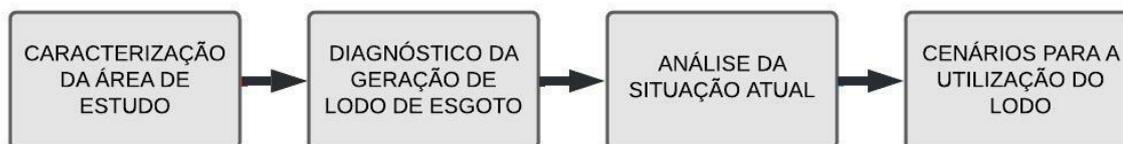
2.8 ECONOMIA CIRCULAR

O estilo de economia linear, onde se baseia apenas na produção e descarte, colabora com a situação de sobrecarga ecológica. A demanda humana sobre o planeta, supera a capacidade da natureza repor os recursos e absorver resíduos. A economia circular é muito mais ambiciosa do que a reciclagem, ou a ação “lixo zero para aterros”. Ela amplia a cadeia de valor para abranger todo o ciclo de vida do produto. Pode envolver o uso de subprodutos e a recuperação do valor de todo material excedente de uma atividade. Isso exige uma reconsideração da cadeia de suprimentos e a criação de redes simbióticas colaborativas, capazes de se interconectar dentro dos setores de atividades correlatas. À medida que pesquisas criam novas maneiras de extrair valor do que antes era lixo, a cadeia de suprimentos deve evoluir continuamente para sustentar os novos fluxos de materiais e produtos (WEETMAN, 2019).

3 METODOLOGIA

O desenvolvimento deste estudo foi construído através das etapas ilustradas no fluxograma representado na figura 2, com a intenção de organizar as informações e trazer clareza o assunto.

Figura 2 - Fluxograma das etapas encontradas na metodologia



Fonte: Elaborado pela autora.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Este trabalho trata sobre as possíveis formas de utilização do lodo gerado na ETE de Canasvieiras, uma das estações de tratamento de esgoto administrada pela CASAN. Esta infraestrutura encontra-se localizada na capital de Santa Catarina, Florianópolis é uma cidade situada na região sul do Brasil que contempla uma área

de 438,5 km² e segundo o Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico de Florianópolis (PMISB, 2021) o índice de atendimento de esgoto da cidade, atualmente é de 65%. Este índice conta apenas com os locais contemplados com a rede pública de esgoto ativa, tendo em vista somente o efluente coletado e encaminhado para uma ETE. A parte de esgoto que não é encaminhada para a rede pública é adotado soluções individuais, com ou sem tratamento, onde o mesmo é conduzido para rios, solos, rede de drenagem ou para o mar.

Ainda de acordo com o Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico de Florianópolis (PMISB, 2021) o sistema de esgotamento sanitário do município é composto por 10 (dez) estações de tratamento de esgotos. Entre elas, 8 (oito) são operadas pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento – CASAN, uma por empreendedor privado (SES do Balneário de Jurerê Internacional) e uma por entidade pública federal (SES da Base Aérea).

Na busca por cenários que incluam valorização do lodo na região de Florianópolis, este trabalho realizará o estudo de caso de uma das ETEs do município de Florianópolis. Atualmente a ETE de Canasvieiras é responsável por encaminhar o segundo maior volume de lodo de esgoto, da cidade, para o aterro sanitário, ficando atrás somente da ETE Insular. O local selecionado para o estudo, além de administrar o seu próprio lodo produzido, recebe também lodo de outras unidades de tratamento da CASAN de menor porte, tornando ainda mais complexo a gestão desse resíduo no local.

Foram realizadas análises das possíveis conjunturas mais eficazes para a utilização deste material, buscando por cenários que representem perspectivas promissoras quanto a viabilidade técnica, econômica e ambiental do local.

3.2 DIAGNÓSTICO DA GERAÇÃO DE LODO DE ESGOTO

O diagnóstico da produção de lodo de esgoto foi realizado através das características quantitativas. As visitas ao local serão responsáveis por identificar as tecnologias utilizadas para o tratamento do efluente, além das etapas unitárias empregadas para a estabilização, desidratação, desinfecção e destinação adotadas pela ETE de Canasvieiras. Os dados necessários foram coletados com a Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN). O pedido formal dos dados será

realizado através de um ofício e as informações necessárias foram solicitadas por trocas de e-mails com os colaboradores da prestadora de serviço.

As informações solicitadas incluíam, documento com informações básicas da ETE de Canasvieiras como, bairros atendidos, vazão tratada, tipo de tratamento utilizado, gerenciamento do lodo no local, informações quanto a característica do efluente e lodo gerado, a quantidade de lodo gerada na ETE de Canasvieiras em um período de um ano (2020 à 2021). Dados quanto ao custo de transporte e com o destino atual dado ao lodo gerado.

As informações solicitadas não foram atendidas em sua totalidade, no entanto os dados oferecidos pela empresa foram o suficiente para a realização de uma análise satisfatória da produção de lodo do local.

3.3 ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL

A análise de custo foi realizada a partir de um intervalo de tempo de um ano, referente ao mês de outubro de 2020 a setembro de 2021. Para essa análise foram necessárias informações junto a CASAN, empresa responsável por administrar a ETE de Canasvieiras.

Os valores como a quantidade de lodo gerenciado no local e volume de efluente tratado em cada mês, será obtida através do BADOP (Banco de Dados Operacional). Os índices de custo do transporte realizado pela empresa Nisul e com a disposição no aterro administrado pela Momento Engenharia, foi identificado através do contrato fechado com estas prestadoras de serviço.

Nesta etapa, através do software Excel®, foram calculados os custos com transporte, com a disposição final no aterro e no fim é realizada a somatória de ambos. Para então obter os índices de custo total, com transporte, com a disposição final no aterro por tonelada de lodo desidratado.

3.4 CENÁRIOS PARA A UTILIZAÇÃO DO LODO

Como visto no item 3.1, o percentual de cobertura do sistema de esgotamento sanitário de Florianópolis, através da rede pública onde o efluente é coletado e encaminhado para uma ETE, ainda é baixo. A tendência é que o alcance da rede

pública aumente e o volume de produção de lodo acompanhe esse crescimento, se expandindo consideravelmente nos próximos anos. Este fato demonstra a necessidade da elaboração deste estudo, que buscará por soluções mais adequadas para a gestão desse resíduo, verificando novas alternativas para utilização e valorização deste material na região.

O principal objetivo nesta etapa de estudo de novos cenários da utilização do lodo gerado na ETE de Canasvieiras, é estabelecer uma ordem de prioridades, onde os efeitos ambientais adversos sejam minimizados e a valorização deste recurso seja eficiente. A ambição pelo acesso a essas tecnologias de valorização do lodo, está na intenção da substituição da tradicional economia linear, por um modelo de economia circular que é responsável por promover um desenvolvimento mais sustentável. A hierarquia a ser seguida na gestão dos resíduos de acordo com a PNRS, é a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem e o tratamento dos resíduos sólidos, bem como a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Além de estudos de cenários para a valorização do lodo da ETE de Canasvieiras, faz parte deste trabalho identificar os possíveis desafios para o avanço da implementação dessas técnicas, bem como listar algumas recomendações para a superação dessas barreiras.

3.4.1 Descrição de Cada Cenário

Para algumas alternativas de utilização do lodo, o processo só é viável a partir de um determinado volume produzido e somente com uma análise econômica completa é possível garantir qual a faixa de aplicabilidade ideal para cada caso. Como este trabalho é referente apenas a uma estação de tratamento de esgoto do município, o volume total de lodo gerado no ano não justificaria a implementação de algumas destas alternativas e por esta razão, a análise econômica de cada caso não será efetuada. Desta forma, para direcionar o debate e os resultados dos cenários apresentados, serão utilizados arquivos científicos com estudos práticos, onde essas pesquisas selecionadas permitam especulações entre as opções sugeridas. As opções selecionadas, foram um método de minimização de geração de lodo e três métodos de utilização do lodo.

Inicialmente, para a técnica de minimização de geração de lodo foi pensado na possibilidade da utilização de um método físico, pelo processo de ultrassom, descrito no item 2.5.1.3. O mecanismo de ultrassom apresenta diversas vantagens, quanto a não geração de subprodutos tóxicos, destruir bactérias filamentosas, melhorar a sedimentação, reduzir a geração do lodo e entre outros. No entanto, essa tecnologia reflete em custos vitalícios elevados para o consumo de energia elétrica, segundo o relatório de custos elaborado pela CASAN, a energia elétrica é o grupo de gasto que tem o maior impacto nas despesas do sistema. Além do gasto energético, seria necessário um investimento inicial elevado para aquisição do equipamento. Tornando assim, essa uma alternativa cara e pouco atraente. Estas variáveis citadas foram a motivação inicial para não dar prioridade para este mecanismo.

Já para o método de minimização de lodo pelo tratamento biológico, citado no item 2.5.2, que consiste na inclusão de um reator anaeróbio na linha de recirculação do lodo, haveria a exigência da demanda de uma equipe de projetistas, uma empresa para a execução da obra, além de necessitar de área disponível para a construção dessa nova unidade. Levando em consideração que é citado em literatura, que ainda não se conhece muito bem os mecanismos de ação dessa técnica e os seus custos de utilização ainda são carentes de estudos, optou-se por dar preferência para outro método.

Para as técnicas de utilização de lodo foram selecionadas a incineração, o uso na construção civil e o uso na agricultura. A incineração por se tratar de uma técnica que representa uma redução de volume impressionante. O uso na construção civil, por Florianópolis ser um grande polo atrativo da região, concentrando então um grande crescimento populacional, que resulta no aumento da exploração de matérias de construção para atender as demandas habitacionais. E o uso na agricultura, já que o efluente do local estudado é de origem essencialmente doméstica e esse fato mencionado, geralmente, indica que não existe restrições quanto o uso do lodo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ETE DE CANASVIEIRAS

4.1.1 Dados Gerais

Segundo o Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico de Florianópolis (PMISB, 2021) esta infraestrutura atende e trata os esgotos coletados de uma população de 62.795 pessoas. O objetivo desta estrutura, é que os seus efluentes atendam aos padrões de lançamento e possa ser encaminhado para um corpo receptor.

A ETE de Canasvieiras foi inaugurada no ano de 1995, passou por obras de ampliações e hoje possui duas plantas: uma do tipo lodo ativado por valo de oxidação na modalidade aeração prolongada e outra uma planta pré-fabricada do tipo filtração biológica de alta taxa seguido por floco-flotação denominada de ETE compacta. Esse sistema de esgotamento sanitário (SES) conta com um total de 26 estações elevatórias. A capacidade de tratamento é de 284 L/s, sendo 184 L/s na planta biológica e 100 L/s na ETE compacta. A vazão média é de 125,59 L/s, porém na alta temporada, de dezembro a fevereiro, a ETE recebe uma vazão maior, proporcional a população flutuante de turistas que a cidade acomoda nesta época.

No anexo 1 encontra-se a composição típica dos esgotos domésticos, observa-se que os valores das características do efluente do local variam de acordo com cada componente entre médio e forte. O esgoto da ETE de Canasvieiras é de origem essencialmente doméstica, normalmente não apresenta restrições quanto à qualidade do lodo gerado.

4.1.2 Unidades Operacionais

A planta biológica da ETE Canasvieiras possui as etapas de tratamento preliminar, com gradeamento automático, calha parshall com medidor ultrassônico de vazão e dois desarenadores; tratamento secundário, com três UASBs, três valos de oxidação e três decantadores secundários, unidade para desinfecção, tanque de água de serviço, centrífugas desaguadoras e leitos de secagem. A destinação final, é constituída de encaminhamento do efluente tratado ao canal do Rio Papaquara, que por sua vez é afluente do rio Ratonas e que deságua na baía norte.

A ETE compacta começou a operar em 2016 e possui tratamento preliminar, filtro biológico de alta taxa seguido por flotação por ar dissolvido com auxílio de cloreto férrico e cloração do efluente final.

A ETE possui uma unidade de recebimento de caminhões limpa-fossa, formada por duas células, com três tanques em série, cujo objetivo é a retenção de sólidos grosseiros e gordura. Na figura 3, é possível observar a vista superior do local, bem como a localização de cada unidade.

Figura 3 - Vista superior das unidades que compõem a ETE de Canasvieiras

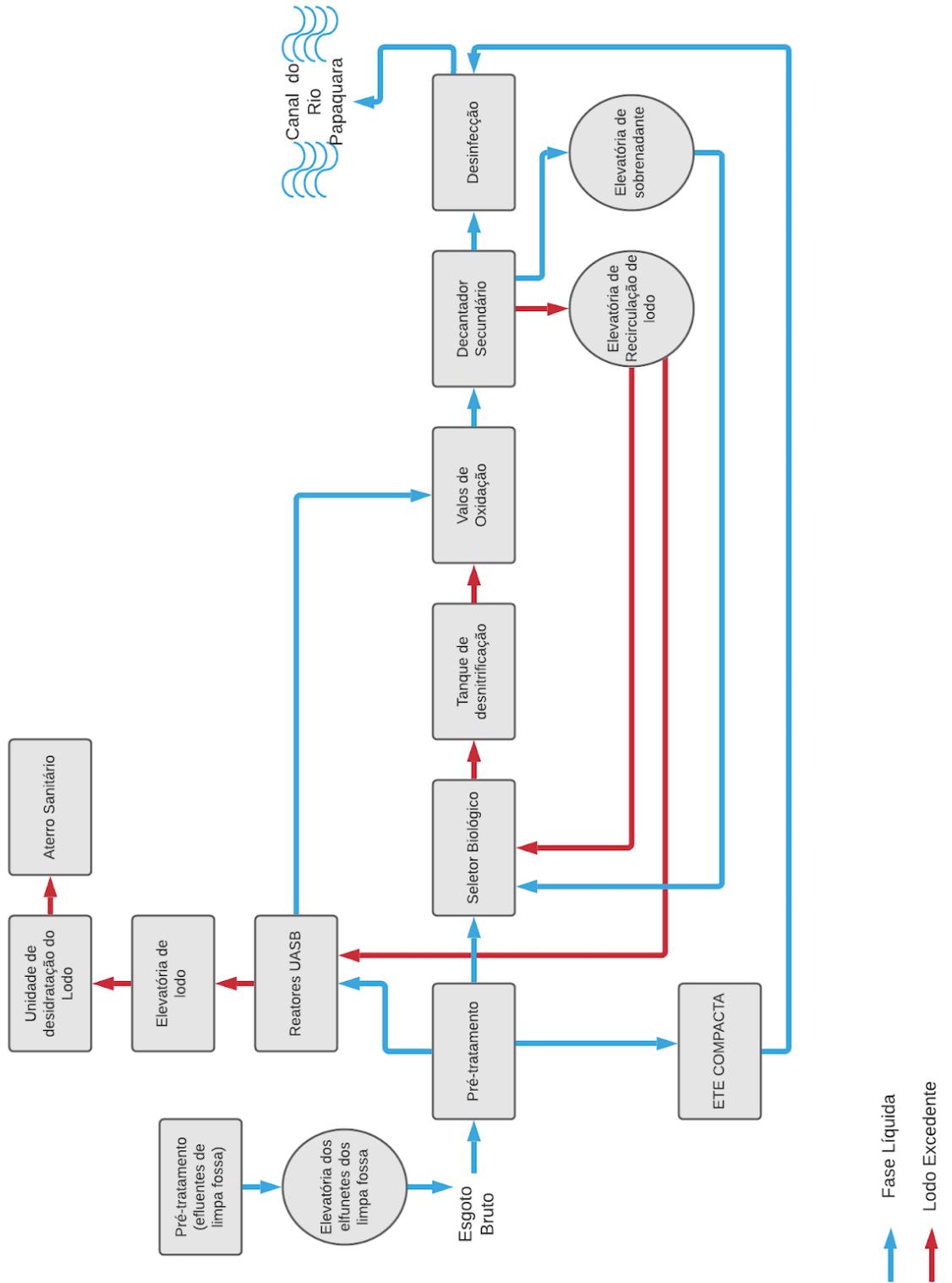


Fonte: Elaborado pela autora (2022)

4.1.2.1 Fluxograma da ETE de Canasvieiras

O funcionamento do sistema de tratamento da ETE Canasvieiras mostra-se na Figura 4, com o fluxograma simplificado da representação das unidades de tratamento encontradas no local.

Figura 4 - Fluxograma simplificado da ETE Canasvieiras.



Fonte: CASAN (2017) e adaptado pela autora (2022)

O fluxograma também pode ser dividido em Fase Líquida e Fase Sólida, como pode ser observado acima. Segundo o manual de operação da CASAN que descreve a fase líquida nas etapas: primeiro o esgoto bruto chega à estação de tratamento onde é encaminhado para o gradeamento mecanizado, calha parshall e a caixa de areia. Nessas unidades ocorre a retenção de resíduos grosseiros e da areia presentes no esgoto. No pré-tratamento, que recebe caminhões limpa-fossa, também ocorre a retenção de resíduos grosseiros, gordura e da areia presentes neste efluente, que segue para a elevatória de limpa fossa até o tratamento preliminar, onde ocorre a mistura com o esgoto afluente à ETE. Após o tratamento preliminar, o esgoto é enviado preferencialmente para o reator UASB. Existe, no entanto, um by-pass de esgoto pré-tratado para os valos de oxidação, de forma a ajustar o aporte de matéria orgânica nestas unidades, o efluente tratado nos reatores UASB segue para a caixa distribuidora de vazão dos valos de oxidação, para dar continuidade ao tratamento. Após os valos de oxidação o efluente é encaminhado aos decantadores secundários, nos decantadores secundários, ocorre a separação da fase sólida (lodo) da fase líquida (efluente tratado). Nas calhas dos decantadores ocorre a aplicação de cloro, de forma a garantir a desinfecção do efluente final direcionado ao corpo receptor, o Rio Papaquara.

Ainda segundo o manual de operação da CASAN, a fase sólida do sistema, descreve que os resíduos grosseiros e a areia retirada do canal de gradeamento e desarenador, como também do pré-tratamento dos caminhões limpa-fossa, são armazenados em um contentor de acúmulo para posterior encaminhamento ao aterro sanitário. O lodo sedimentado nos decantadores secundários segue para a estação elevatória de recirculação de lodo, que recalca para a caixa de distribuição de vazão localizada ao lado do preliminar, com o objetivo de recircular o lodo para os valos de oxidação. Também é necessário efetuar o descarte do lodo aeróbio em excesso, sendo este enviado para a estabilização nos reatores UASB. Quando é identificado o excesso de lodo nos reatores UASB, seja através da inspeção visual realizada nos pontos de amostragem da manta de lodo ou pelos resultados das análises de laboratório, um determinado volume de lodo é encaminhado para o tanque de homogeneização para posterior desaguamento. Nesta unidade ocorre a dosagem de polímero que proporciona a separação das fases líquida e sólida por uma centrífuga. O lodo desaguado é disposto diretamente na carreta do caminhão, para posterior

encaminhamento ao aterro sanitário licenciado. O clarificado resultante segue para a elevatória do clarificado da centrífuga, com retorno para o Reator UASB 03.

4.1.3 Área de cobertura

Esse SES atende as regiões de Canasvieiras, Ponta das Canas, Canajurê, Cachoeira do Bom Jesus, Vila União, Praia Brava, Jurerê Tradicional e Ingleses, como pode ser observado na figura 5. O corpo receptor do efluente tratado desta ETE é o Rio Papaquara, que deságua no Rio Ratoles e, posteriormente, na Baía Norte.

Figura 5 - Área de cobertura SES Canasvieiras



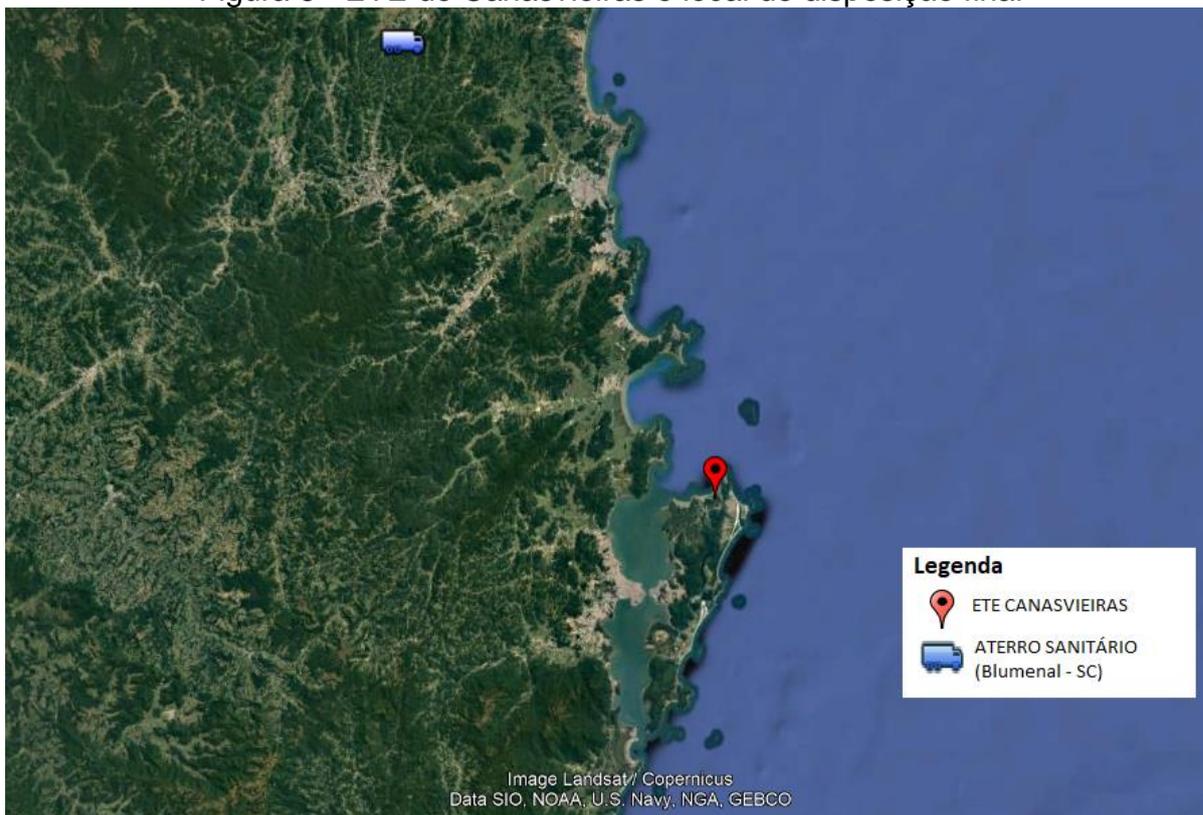
Fonte: PMISB, 2021

4.2 DIAGNÓSTICO DA GERAÇÃO DE LODO DE ESGOTO DA ETE DE CANASVIEIRAS

Nesta etapa foi analisada a geração de lodo da ETE de Canasvieiras, no período de um ano, de outubro de 2020 a setembro de 2021. Logo abaixo na figura 6, pode-se verificar a localização deste empreendimento da CASAN no município de Florianópolis, bem como a atual instalação do aterro sanitário onde é feita a disposição final do resíduo produzido. O aterro sanitário é administrado pela empresa Momento

Engenharia Ambiental Ltda e localizado no município de Blumenau (SC), na rua Rua Paulo Litzenberger nº 1400 é responsável por realizar a recepção, tratamento e destinação de resíduos classe I e IIA e IIB, domiciliares e resíduos de serviço de saúde.

Figura 6 - ETE de Canasvieiras e local de disposição final



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

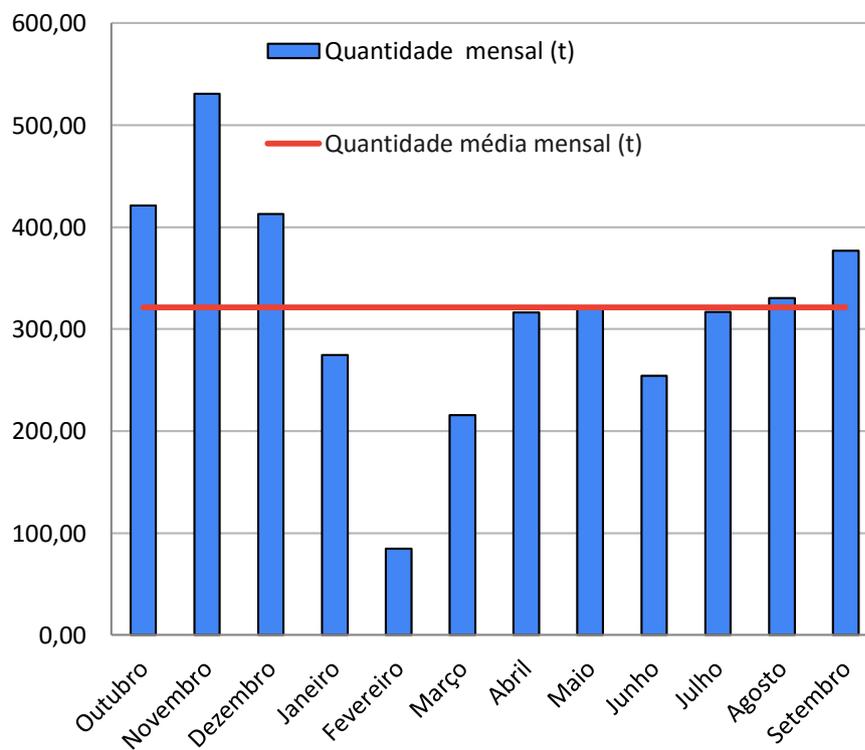
Na ETE Canasvieiras a produção de lodo varia de acordo com o volume de esgoto coletado. Na tabela 1 e na figura 7, é exposto os valores de lodo enviado para o aterro de acordo com cada mês, até fechar o ciclo de um ano. O período selecionado para esse estudo coincidiu com a pandemia provocada pelo coronavírus, por consequência esse evento também afetou a demanda da planta por se tratar de uma cidade turística é esperado que nos meses de dezembro a fevereiro o município receba milhares de visitantes, refletindo no acréscimo de efluente a ser tratado, assim aumentando a produção de lodo. Com as restrições impostas devido às circunstâncias expostas, a cidade passou pelo período de alta demanda praticamente com a população local, sendo esse um motivo para que os meses mencionados não tenham exibido os maiores valores de lodo encaminhado para o aterro.

Tabela 1 - Variabilidade mensal da geração de lodo

Mês	Ano	Quantidade de Lodo (t)
Outubro	2020	421,36
Novembro	2020	530,90
Dezembro	2020	413,01
Janeiro	2021	274,85
Fevereiro	2021	84,53
Março	2021	215,66
Abril	2021	316,30
Maio	2021	320,30
Junho	2021	254,24
Julho	2021	316,94
Agosto	2021	330,57
Setembro	2021	376,88
Total	-	3.855,54
Valor médio	-	321,30

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 7 - Quantitativo mensal de lodo gerado



Fonte: Elaborado pela autora.

Novembro foi o mês que apresentou a maior quantidade de lodo encaminhado para o aterro, enquanto fevereiro um mês considerado de alta demanda, teve o menor valor de lodo encaminhado para o aterro. Conforme a situação citada anteriormente sobre a pandemia outras questões influenciaram nesse resultado, como por exemplo, problemas na eficiência do funcionamento da centrífuga e pelo o período de limpeza dos leitos de secagem ser antecedente aos meses de alta demanda. Para finalizar o diagnóstico de lodo produzido, constatou-se que a média de geração do período estudado é de 321,3 toneladas mensais.

4.3 ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL

4.3.1 Custos do cenário atual: Aterro Sanitário

Os gastos com o atual cenário utilizado, são fixados em contratos, e seguem os parâmetros especificados no quadro 2.

Quadro 2 - Índices de custo - Aterro

Índices de custo – Aterro		
Custo do transporte	0,44	R\$/T.Km
Custo da disposição no aterro	218,64	R\$/T de lodo desidratado

Fonte: CASAN (2021).

Afim de tornar mais claro os cálculos para obter o custo total desta solução, a análise inicia com o custo com o transporte, depois com o custo com a disposição no aterro e finalmente é efetuado o custo total do atual cenário.

4.3.1.1 Custo de transporte

O gasto com transporte pode ser verificado através dos dados da quantidade de lodo desidratado que é enviado ao aterro, além de ser considerando também o percurso entre a ETE de Canasvieiras e o aterro em Blumenau, a distância entre esses dois pontos soma aproximadamente 206 km. Através dos dados fornecidos pela CASAN foi possível calcular o custo de transporte para cada mês no período de outubro de 2020 a setembro de 2021, contabilizando um ano de despesa com transporte, conforme descrito na tabela 2, abaixo.

Os custos com os transportes foram calculados através de uma multiplicação simples, entre a quantidade de lodo (t), a distância percorrida (Km) e o índice de custo (R\$).

Tabela 2 - Custos de transporte

Mês	Ano	Distância (Km)	Índice do custo (R\$)	Quantidade de Lodo (t)	Custo com Transporte
Outubro	2020	206	0,44	421,36	R\$ 38.192,07
Novembro	2020	206	0,44	530,90	R\$ 48.120,78
Dezembro	2020	206	0,44	413,01	R\$ 37.435,23
Janeiro	2021	206	0,44	274,85	R\$ 24.912,40
Fevereiro	2021	206	0,44	84,53	R\$ 7.661,80
Março	2021	206	0,44	215,66	R\$ 19.547,42
Abril	2021	206	0,44	316,30	R\$ 28.669,43
Mai	2021	206	0,44	320,30	R\$ 29.031,99
Junho	2021	206	0,44	254,24	R\$ 23.044,31
Julho	2021	206	0,44	316,94	R\$ 28.727,44
Agosto	2021	206	0,44	330,57	R\$ 29.962,86
Setembro	2021	206	0,44	376,88	R\$ 34.160,40
Total	-	-	-	3.855,54	R\$ 349.466,15

Fonte: Elaborado pela autora (2022)

O resultado total de custo com transporte, no período analisado, foi de R\$ 349.466,15 o que representa um valor médio de R\$ 90,64 para cada tonelada de lodo desidratado deslocado para o aterro, neste ano.

4.3.1.2 Custos da disposição no Aterro

Conhecendo a quantidade de lodo desidratado encaminhando para o aterro em cada mês, no período desejado, é possível calcular também o custo da disposição desse material no aterro. Seguindo uma multiplicação simples entre a quantidade de lodo gerado no mês (t) e o índice de custo para a disposição final do lodo (R\$), obtém-se o valor referente a esse gasto. Na tabela 3 encontra-se o resultado dos cálculos descritos anteriormente.

Tabela 3 - Custos da disposição do lodo no aterro

Mês	Ano	Índice do custo (R\$)	Quantidade de Lodo (t)	Custo com Disposição Final
Outubro	2020	218,64	421,36	R\$ 92.126,15
Novembro	2020	218,64	530,90	R\$ 116.075,98
Dezembro	2020	218,64	413,01	R\$ 90.300,51
Janeiro	2021	218,64	274,85	R\$ 60.093,20
Fevereiro	2021	218,64	84,53	R\$ 18.481,64
Março	2021	218,64	215,66	R\$ 47.151,90
Abril	2021	218,64	316,30	R\$ 69.155,83
Mai	2021	218,64	320,30	R\$ 70.030,39
Junho	2021	218,64	254,24	R\$ 55.587,03
Julho	2021	218,64	316,94	R\$ 69.295,76
Agosto	2021	218,64	330,57	R\$ 72.275,82
Setembro	2021	218,64	376,88	R\$ 82.401,04
Total no ano	-	-	3.855,54	R\$ 842.975,27

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O atual cenário de encaminhamento do lodo, é responsável por determinar uma despesa anual de R\$ 842.95,27, de taxa para a disposição em aterro sanitário. O índice de custo por tonelada de lodo desidratado neste período é fixado em R\$ 218,64.

4.3.1.3 Custo total

Para obter o custo total do atual cenário, basta somar o custo com o transporte ao custo da disposição final no aterro. Na tabela 4, podemos observar o resultado desses cálculos para cada mês do ano e através dessa demonstração observa-se que a empresa possui uma despesa anual de R\$ 1.192.441,41 para a destinação do lodo gerenciado na ETE de Canasvieiras.

Tabela 4 - Custo mensal e anual total de disposição de lodo no aterro

Mês	Ano	Quantidade de Lodo (t)	Custo Transporte e Aterro
Outubro	2020	421,36	R\$ 130.318,22
Novembro	2020	530,90	R\$ 164.196,75
Dezembro	2020	413,01	R\$ 127.735,73
Janeiro	2021	274,85	R\$ 85.005,61
Fevereiro	2021	84,53	R\$ 26.143,44
Março	2021	215,66	R\$ 66.699,32
Abril	2021	316,30	R\$ 97.825,26
Maio	2021	320,30	R\$ 99.062,38
Junho	2021	254,24	R\$ 78.631,35
Julho	2021	316,94	R\$ 98.023,20
Agosto	2021	330,57	R\$ 102.238,69
Setembro	2021	376,88	R\$ 116.561,45
Total no ano	-	3.855,54	R\$ 1.192.441,41

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Na tabela 5, pode-se verificar o índice de custo total médio para este caso que é de R\$ 309,28 por tonelada de lodo desidratado encaminhado para o aterro. Logo abaixo é possível observar a tabela com os custos totais e uma figura ilustrativa da proporção do custo do transporte versus o custo com a disposição no aterro.

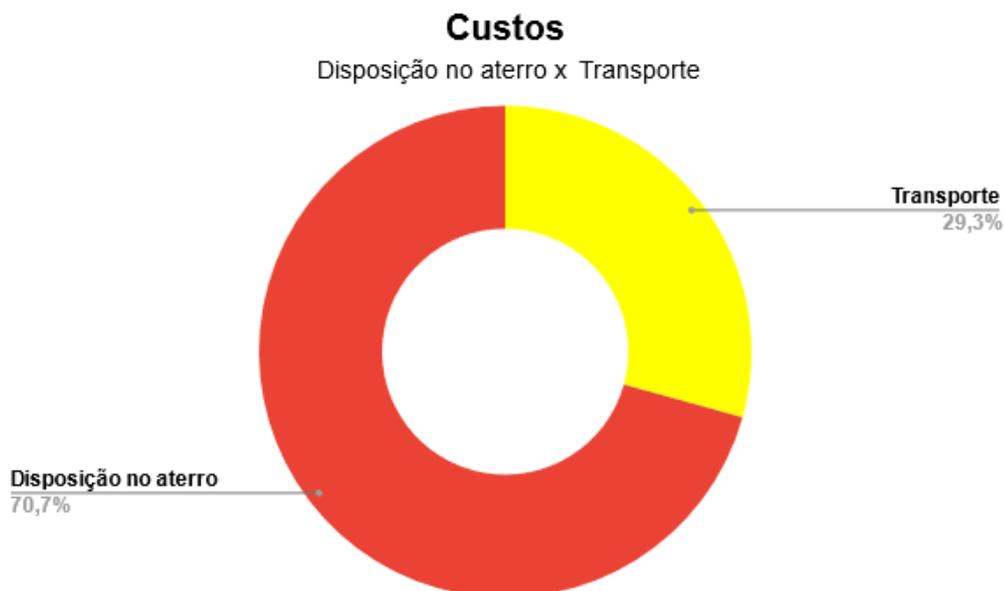
Tabela 5 - Custos totais de disposição do lodo no Aterro

	Custo de Transporte	Custo da Disposição Final	Custo Total
Total Anual (R\$)	R\$ 349.466,15	R\$ 842.975,27	R\$ 1.192.441,41
% do Custo	29,31%	70,69%	100%
Índice de custo (R\$/ T lodo)	R\$ 90,64	R\$ 218,64	R\$ 309,28

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Na figura 8, é possível verificar o peso que cada despesa calculada até aqui, representa no custo total da atual solução de um aterro sanitário.

Figura 8 - Proporção de custos



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Ao verificar na tabela 5 e a figura 7 com os custos referentes a tecnologia atual empregada, a disposição final no aterro corresponde a aproximadamente 70,7% do valor total demonstrado, enquanto o transporte representa 29,3% do valor total da despesa com essa alternativa. A maior parte da despesa analisada é para enterrar o lodo, ficando explícito a necessidade iminente de cenários que pratiquem a valorização desse recurso e o transforme em um ativo financeiro.

A solução tradicional, de encaminhamento do lodo para o aterro sanitário, apesar de ser uma opção de disposição de resíduo adequada, ainda gera sérios impactos ambientais. Esta alternativa também não supre a busca pela minimização gastos excessivos no momento presente e muito menos no futuro, visto que existe uma tendência crescente para a ampliação do acesso ao saneamento, se considerarmos que atualmente boa parte dos esgotos domésticos gerados na cidade não é coletado pelos sistemas públicos. O aumento da produção de lodo é proporcional ao acréscimo da cobertura de saneamento da população e ambos seguem uma tendência de expansão.

4.3.1.4 Custo de Operação

O relatório técnico dos custos de operação das estações de tratamento de esgoto da CASAN, elaborado por funcionários da empresa no ano de 2017, consta que o custo médio por volume tratado na ETE de Canasvieiras era de 0,77 (R\$/m³). Os custos investigados foram divididos em seis grupos para verificação da contribuição de cada um na despesa do local, a secção dos grupos e a proporção de cada um está ilustrada no anexo 2. Observa-se que a energia elétrica agrega um alto custo à operação, em seguida destaca-se também a disposição dos resíduos como um grupo de grande impacto na despesa.

4.4 POSSÍVEIS CENÁRIOS PARA UTILIZAÇÃO DO LODO

No quadro 3, abaixo foi elencado três sugestões de possíveis cenários para a utilização do lodo produzido na ETE de Canasvieiras.

Quadro 3 - Sugestão de possíveis cenários

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Tecnologia para minimização da geração do lodo	Tratamento químico por cloração	Tratamento químico por cloração	Tratamento químico por cloração
Tecnologia para utilização do lodo	Incineração	Uso na Construção Civil	Reciclagem Agrícola

Fonte: Elaborado pela autora

4.4.1 Descrição de Cada Cenário

O cenário 1, 2 e 3 foram pensados, com o intuito de respeitar a ordem de hierarquia estabelecida pelo PNRS, a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem e o tratamento dos resíduos com a sua disposição final ambientalmente adequada. O primeiro ponto a ser visto é quanto a não geração e a redução, esses itens foram trabalhados através da técnica de minimização de geração de lodo. As tecnologias selecionadas para a utilização do lodo foram o processo de incineração, no uso da indústria da construção civil e no uso na agricultura. Esses métodos buscam atender demais diretrizes estipuladas pelo PNRS, como o reuso a reciclagem e a disposição ambientalmente adequada.

4.4.1.1 Minimização da geração de lodo

Seguindo a ordem de prioridade da PNRS, o primeiro ponto a ser atacado é a não geração e a redução do resíduo, com isso podemos recorrer às tecnologias de minimização da geração do lodo. Para todos os cenários foi apresentado a mesma sugestão de mecanismos de minimização da geração de lodo, para a ETE de Canasvieiras, a opção selecionada seguiu a lógica narrada na descrição dos cenários na metodologia.

Pelo raciocínio apresentado na metodologia deste estudo, a tecnologia mais interessante para a minimização da geração do lodo sugerido para o caso estudado, seria a utilização de um método de tratamento químico, pela adição de cloro na recirculação do lodo, descrito no item 2.5.1.1. Dentre todas as opções de minimização da geração de lodo apresentadas no item 2.5, a cloração foi colocada em pauta nessa situação por se tratar de um produto químico já utilizado no local, na realização da desinfecção do efluente e por ser de fácil instalação na planta. Como pode ser observado na figura 3, com a vista superior do local, a casa de cloro é próxima a elevatória de recirculação de lodo e para atingir o objetivo proposto da implementação dessa técnica, só precisaria realizar uma adaptação simples, através da adição de uma tubulação que levasse a dosagem do oxidante em questão, até a recirculação do lodo. A dosagem ideal é responsável por garantir segurança quanto a eficiência deste método e evita o risco do comprometimento da biota que revigora o sistema.

Essa instalação descrita anteriormente, foi realizada no final de 2021 e a manobra de dosar cloro na recirculação de lodo também foi executada no local nesta mesma época, por um período 20 dias. No entanto, o controle da dosagem foi efetuado com a intenção de controlar a formação de espuma microbológica nos valos de oxidação. Apesar da intenção principal ser outra, foi observado a grosso modo na rotina operacional, uma menor geração de lodo quando comparado à situação anterior e posterior ao evento mencionado. Como a intenção da aplicação de cloro na recirculação não era a minimização do lodo, seria necessária uma investigação em um período de tempo maior e com essa finalidade, para se chegar em informações mais precisas. O objetivo desta pesquisa foi trazer a opção mais simples de ser adaptada no local.

4.4.1.2 Cenário 1

No cenário 1, a tecnologia de utilização do lodo sugerido é a incineração. A alternativa foi colocada em pauta, por se tratar de um processo térmico que ocorre na presença de elevadas temperaturas, que promove uma impressionante redução de volume do material incinerado. Trata-se ainda de um excelente método de estabilização do material, já que as altas temperaturas destroem substâncias orgânicas, incluindo microrganismos patogênicos mais resistentes e ainda existe a possibilidade de aproveitamento energético e das cinzas residuais.

Para o sistema de incineração foi elencado a influência de três fatores importantes a serem vistos antes de efetuar a escolha da técnica mais adequada para a região. Essas informações estão expostas no quadro 4.

Quadro 4 - Análise de alguns fatores sobre a incineração

Cenário 1		
Incineração		
Fator Determinante	Fator Motivador	Fator Limitante
<ul style="list-style-type: none"> - Atende populações superiores a 500.000 habitantes; - Teor de umidade de sólidos mínimo de 35%; - Quando o uso do lodo é restrito para agricultura; - Limitações de espaço em aterros sanitários urbanos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Considerável redução no volume do lodo; - Destruição das substâncias orgânicas, inclusive organismos patogênicos; - Possui a capacidade de receber lodo de diversas unidades de tratamento; - Possibilidade de utilização das cinzas resultantes do processo; - Alta taxa de liberação do poder calorífico e potencial de aproveitamento energético; - Adequação à Política Nacional de Resíduos Sólidos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Processo com alto custo de implantação e operação; - Controle da emissão atmosférica; - Risco de disposição inadequada das cinzas.

Fonte: Adaptado de Andreoli, Fernandes, Sperling (2014)

A literatura menciona que o volume de cinza residual é em torno de 4% do volume desidratado produzido. Traduzindo essa informação para os dados analisados do local estudado, obtivemos os resultados apresentados na tabela 6.

Tabela 6 - Simulação de custos

Cenário 1		
Incineração		
	Lodo Desidratado	Cinzas
Total anual gerado (t)	3.855,54	154,22
Nº anual de carretas para o transporte	128,52	5,14
Despesa anual total aterro e transporte	R\$ 1.192.441,41	R\$ 47.697,16
Índice de custo	100,00%	4,00%

Fonte: Elaborado pela Autora

A redução do volume de lodo na incineração é impressionante, no entanto este processo gera subprodutos da combustão deste material, além das cinzas residuais necessitarem de um encaminhamento adequado. O valor anual de lodo desidratado produzido no local é de 3.855,54 toneladas, passando a um volume de 154,22 toneladas após o processo de incineração. Levando em consideração, que cada carreta transportadora deste material, tem a capacidade de levar 30 toneladas, o lodo desidratado necessitaria de 128,52 carretas anuais para efetuar o seu deslocamento, enquanto o transporte das cinzas necessitaria de 5,14 carretas anuais para a mesma atividade.

Existem algumas alternativas para as cinzas geradas, se a opção de tratamento dessas cinzas for a destinação para um aterro sanitário, na simulação de custo feita na tabela 6, o gasto anual sairia em torno de R\$ 47.697,16. Isto representa uma redução de 96% (noventa e seis por cento), quando comparada a atual solução adotada. No valor mencionado só consta a despesa com a disposição das cinzas no aterro, a análise econômica para a implementação do processo de incineração, bem como os custos operacionais e administrativos não constam neste estudo. No entanto, foi realizado o contato com algumas empresas que prestam esse serviço para obter o preço por tonelada de resíduo incinerado, as mesmas não disponibilizaram o valor. O custo apresentado serve apenas para demonstrar o impacto que a redução do volume do lodo na despesa final da disposição em aterro.

Mesmo sem a composição completa dos custos de instalação e operação do sistema de incineração, sabe-se que é uma alternativa com um custo elevado e que apresenta riscos quanto à contaminação do ar, no entanto, pode se tornar uma escolha interessante por demandar uma área menor para a disposição deste resíduo, além da oportunidade de reaproveitamento dos subprodutos gerados por esse mecanismo. Outra alternativa possível é o aproveitamento desse material na produção de insumos para a construção civil que é o próximo cenário a ser abordado.

4.4.1.3 Cenário 2

No cenário 2, a tecnologia de utilização do lodo é através do aproveitamento deste insumo na indústria de construção civil. Essa alternativa é interessante por ser

capaz de reduzir os custos com o descarte do material em aterro sanitário, minimizando impactos financeiros e no meio ambiente.

Para o sistema de aproveitamento do lodo na indústria de construção civil, foi elencado a influência de três fatores importantes a serem vistos antes de efetuar a escolha da técnica mais adequada para a região. Essas informações estão expostas no quadro 5, abaixo.

Quadro 5 - Análise de alguns fatores sobre o uso do lodo na construção civil

Cenário 2		
Uso na Construção Civil		
Fator Determinante	Fator Motivador	Fator Limitante
- Quando o uso do lodo é restrito para agricultura; - Limitações de espaço em aterros sanitários urbanos.	- Baixas restrições; - Redução de áreas desmatadas para exploração de recursos; - Redução de custo dos materiais; - Existem inúmeras formas de reaproveitamento nesse setor; - Adequação à Política Nacional de Resíduos Sólidos.	- Reduz a resistência à compressão; - Não pode ser utilizado em obras estruturais; - Aprovação social.

Fonte: Adaptado de Geyer (2001); Andreoli, Fernandes, Sperling (2014)

A utilização do lodo como insumo na construção civil representa uma alternativa viável quando se pensa no cenário atual e futuro do município. Como comentado ao longo deste trabalho a ampliação da cobertura da rede pública do tratamento de esgoto é uma meta a ser atingida futuramente. À medida que essa meta é alcançada se tem o aumento da produção do lodo. Florianópolis é um grande polo atrativo da região e por isso concentra um grande crescimento populacional. É importante destacar que o crescimento populacional atrai especulação imobiliária, este fato se relaciona com o aumento da exploração de recursos e serviços básicos para manter as demandas habitacionais. Em termos de números, podemos observar na tabela simplificada abaixo quanto é o custo médio de uma construção por metro quadrado.

Tabela 7 - Custo médio de uma construção por m²

Cenário 2		
Uso na Construção Civil		
	setembro 2021	outubro 2021
Custo médio nacional (m ²)	R\$ 1.475,96	R\$ 1.490,88
Materiais	R\$ 877,35	R\$ 888,45
Mão de Obra	R\$ 598,61	R\$ 602,43
Aumento dos materiais (%)	1,19	1,25

Fonte: Adaptado do IBGE, SINAPI (2022)

No Brasil, as séries mensais de índices de custos referente ao valor do metro quadrado de uma construção, no canteiro de obras, são medidas pelo SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. O custo médio nacional da construção, por metro quadrado, em setembro de 2021 saiu de R\$ 1.475,96 para R\$ 1.490,88 em outubro do mesmo ano. Neste valor, R\$ 888,45 são relacionados aos materiais e R\$ 602,43 à mão de obra. Segundo o IBGE, a parcela dos materiais subiu 1,25%, o que representa alta de 0,06 ponto percentual em relação a setembro (1,19%). Essas informações podem ser encontradas no site do IBGE, de acordo com cada mês do ano.

Conforme demonstrado no parágrafo anterior, o grupo de maior impacto nos custos do metro quadrado de uma construção, são os materiais. Com os aumentos constante dos preços ao longo do ano, surge a necessidade de fomentar alternativas mais baratas para a produção desses materiais. O uso do lodo como insumo na construção civil, é uma possibilidade para minimizar impacto financeiro nesse setor, por utilizar um material que seria descartado, também minimizaria impactos ambientais tornando-se uma alternativa sustentável.

Durante a elaboração dessa pesquisa, foram contatadas pelo menos 3 empresas produtoras de materiais cerâmicos ecológicos no estado de Santa Catarina. A intenção era de identificar se as mesmas utilizavam resíduos na composição do seu material produzido. Em resposta foi informado que o produto é considerado ecológico por não efetuar queima de madeiras e árvores na produção. No entanto, uma destas empresas mencionou estar realizando estudos para a integração de uma porcentagem de resíduos como garrafa pet e vidro triturado. A implementação desta técnica depende do resultado da resistência mecânica em análise dos produtos gerados. Nenhuma empresa citou a intenção de incorporar lodo na produção dos seus

materiais ecológicos, esse ponto destaca a necessidade de atrair o mercado para o uso desse material, esclarecendo as vantagens da implementação dessa técnica.

Relembrando o que foi comentado no tópico 2.7.2, foi observado que a adição de lodo desidratado reduz a resistência à compressão de materiais cerâmicos. Então é recomendável seguir os limites estipulados por ensaios de resistência mecânica. Foi identificado ainda que a adição de cinzas apresenta desempenho melhor comparado ao lodo desidratado, embora ambos estejam de acordo com as normas. A incorporação do lodo de esgotos na fabricação de produtos cerâmicos, como telhas, tubos, tijolos e lajotas, tem-se mostrado uma alternativa viável de destinação adequada. A eficiência dos métodos e a qualidade dos insumos produzidos com o lodo de esgoto, não representam grandes restrições de aproveitamento, desde que não sejam utilizados em obras estruturais. Os testes verificados em diversos estudos, demonstraram que a incorporação lodo como insumo na construção civil, mostraram-se uma alternativa viável do ponto de vista técnico e ambiental. No entanto, a demonstração de uma análise econômica completa em conjunto com a demonstração das vantagens da produção desses materiais, são ferramentas essenciais para fomentar a expansão desse mercado.

4.4.1.4 Cenário 3

No cenário 3, a tecnologia de utilização do lodo analisada é através da reciclagem agrícola. Essa prática consiste na incorporação do lodo de esgoto ao solo, com a finalidade do aproveitamento nutricional para o desenvolvimento de algumas culturas. O esgoto da ETE de Canasvieiras é de origem essencialmente doméstica, normalmente não haverá restrições quanto à qualidade do lodo gerado, por isso esse cenário se torna tão interessante. Outro benefício dessa alternativa, está na capacidade de reduzir os custos operacionais com o descarte do material em aterro sanitário, minimizando impactos financeiros e no meio ambiente.

Para o sistema de reciclagem agrícola foi elencado a influência de três fatores importantes a serem vistos antes de efetuar a escolha da técnica mais adequada para a região. Essas informações estão expostas no quadro 6 abaixo.

Quadro 6 - Análise de alguns fatores sobre a reciclagem agrícola

Cenário 3		
Reciclagem Agrícola		
Fator Determinante	Fator Motivador	Fator Limitante
<ul style="list-style-type: none"> - Limitações de espaço em aterros sanitários urbanos. - Qualidade do esgoto; - Possibilidade mais econômica 	<ul style="list-style-type: none"> - Torna o solo mais resistente à erosão; - Fornece nutrientes para as plantas; - Aumenta a produtividade agrícola; - Reduz os custos de produção dos agricultores, pois se diminui o uso de adubos químicos; - Reduz os impactos ambientais decorrentes da inadequada disposição final de lodo de esgoto entre outras vantagens; - Adequação à Política Nacional de Resíduos Sólidos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Os metais pesados; - Os aspectos sanitários; - Os micropoluentes orgânicos; - Estabilidade do nitrogênio; - Interação do lodo com o meio ambiente; - Aprovação social.

Fonte: Adaptado de Andreoli, Fernandes, Sperling (2014)

A escolha dessa alternativa deve ser entendida como a fabricação de um insumo de boa qualidade para a agricultura. A utilização do bio sólido, deve seguir orientações técnicas adequadas, para garantir a segurança sanitária e ambiental que vem se tornando cada vez mais restritiva. Este cenário possibilita ganhos consideráveis ao produtor rural, já que reduz a necessidade de fertilizantes químicos.

Martins (2015), efetuou a seleção de algumas técnicas essenciais para o processo de reciclagem agrícola na região da grande Florianópolis, como o processo higienização, no seu estudo considerou que o método ideal para região da grande Florianópolis é por via alcalina, através da caleação. Esse processo maximiza as vantagens dos agricultores gerando economia, por ser um método com custo relativamente baixo e de fácil aplicação e confere ao bio sólido características alcalinas, permitindo que este substitua os corretores de pH utilizados nos solos ácidos da região. O autor analisou ainda os custos de implementação de uma Unidade Gerenciadora de Lodo e os principais custos operacionais. Como resultado desta análise observou-se que com a economia relativa à adoção da Reciclagem Agrícola no geral, seriam necessários 6,92 anos para recuperar o valor investido na implantação da Unidade Gerenciadora de Lodo.

De acordo com Bittencourt (2014 apud MARTINS, 2015) além da economia gerada pela solução proposta, ocorre também uma economia indireta relativa à redução de custos do agricultor com a compra de fertilizantes e produtos corretivos de pH.

O conjunto de vantagens apresentadas por este método representa condições favoráveis para a implementação desta solução. É importante destacar que a realização de análises laboratoriais do lodo produzido é imprescindível neste caso, visto que o local estudado produz lodo biológico e lodo químico e utiliza produtos como o cloreto férrico e segundo Andreoli, Fernandes e Sperling (2014) a interação do lodo com esse produto químico pode originar compostos como o fosfato pouco solúvel e isto representaria uma desvantagem para a prática da agricultura.

4.5 DESAFIOS DO PROCESSO DE VALORIZAÇÃO DO LODO

Entre os desafios observados para o processo de valorização do lodo, podemos citar a dificuldade de reorganizar estruturas já operantes, bem como projetar e atualizar a ETE de modo a possibilitar resultados seguros e confiáveis. Outra barreira nessa reestruturação, seria quanto ao investimento financeiro, que inicialmente resultaria em gastos elevados, este fato alimenta a insegurança nas empresas, que buscam garantir um retorno econômico significativo no curto prazo, por ter que prestar contas dos lucros obtidos com acionistas, ignorando as metas de longo prazo.

Outro ponto a ser colocado em questão, são os obstáculos institucionais e de infraestrutura, que já estão consolidados e são projetados de acordo com a tradicional economia linear. As atividades de valorização do lodo são complexas e faltam políticas governamentais e legislações claras que incentivem a transição desse modelo tradicional para uma conjuntura mais sustentável. A baixa capacidade de logística reversa se dá pela falta de troca de informações da fonte geradora desse recurso com os setores que apresentam potencial de absorver o uso do material (FONSECA, 2020).

A falta de disposição da sociedade em consumir e pagar por produtos gerados a partir de um resíduo, como o lodo de esgoto, torna-se responsável por ser uma barreira que também distancia a realidade da ampliação do uso dessas técnicas. Desta forma, se mantém estagnado a expansão de uma consciência coletiva mais sustentável, que limita a implementação de um novo paradigma de negócios, como a economia circular.

4.6 COMPARAÇÃO DAS ALTERNATIVAS

Para poder comparar cada alternativa sugerida, em termos de custos, seria necessário um estudo econômico completo de cada caso. Os custos seriam divididos em grupos, como o investimento inicial requerido para cada técnica, além do processamento do material, do transporte, da disposição, dos custos operacionais e administrativos, a fim de analisar o conjunto todo de uma forma mais homogênea possível. A análise econômica completa não consta nesta pesquisa, a escolha do cenário mais adequado para a região, se baseia nos arquivos científicos com estudos práticos citados para a elaboração deste trabalho.

No quadro 7, é apresentada uma análise comparativa teórica entre os cenários sugeridos para a utilização do lodo na incineração, no uso na indústria da construção civil e na reciclagem agrícola.

Quadro 7 - Comparação dos cenários sugeridos

Parâmetro de Comparação	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Requer Desidratação	Sim	Sim	Sim
Produtos e Subprodutos	Cinzas, Vapor d'água, Dióxido de carbono, Dióxido de enxofre etc.	Materiais cerâmicos, Agregados entre outros.	Adubo
Utilidade	Potencial para a geração de energia e para utilização das cinzas em outras indústrias.	Aproveitamento em obras não estruturais	Aumento da produtividade agrícola
Aspecto Ambiental	Altas restrições	Baixas Restrições	Altas restrições
Aspecto Técnico	Complexo	Moderado	Moderado
Aspecto Econômico	Custo Elevado	Carência de Maiores Informações	Baixo custo

Fonte: Elaborado pela autora

Através da comparação entre os parâmetros elencados e os arquivos científicos consultados ao longo dessa jornada de pesquisas, apenas uma das técnicas apresentadas foi selecionada como a opção mais viável para o lodo produzido na ETE de Canasvieiras. O cenário 3 foi eleito como o mais adequado para a região estudada. O uso do lodo na agricultura foi escolhido como a alternativa mais vantajosa de acordo com critérios econômicos, ambientais e técnicos.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Através das pesquisas realizadas, o cenário 3 foi selecionado como a melhor alternativa para a utilização do lodo produzido na ETE de Canasvieiras. O uso benéfico do bio sólido, na reciclagem agrícola, é uma prática difundida no mundo todo, neste contexto, representa a opção mais interessante levando em consideração a demanda local. O trabalho sobre a análise da viabilidade da reciclagem agrícola do lodo de esgoto na região da grande Florianópolis, efetuado por Martins (2015), concluiu que esta técnica é viável e vantajosa para a região e segue os critérios ambientais, por diminuir impactos gerados com a destinação não benéfica do lodo; agrícola, por melhorar as condições físico-químicas e biológicas do solo, elevando a produtividade das culturas gerando economia aos agricultores; e econômica, por apresentar um significativo retorno financeiro em comparação com a alternativa atual do aterro sanitário.

Considerando a ampliação da rede pública de esgotamento sanitário e tendência de aumento da produção de lodo nos próximos anos, automaticamente as despesas com transporte e disposição em aterro serão cada vez mais onerosas. Segundo Martins (2015) uma maior quantidade de lodo a ser gerenciado colabora com a diluição dos custos de implantação e operação, da reciclagem agrícola, assim a otimização econômica para este cenário é também favorável.

De acordo com o diagnóstico da produção de lodo da ETE de Canasvieiras no período de outubro de 2020 a setembro de 2021, foram descartadas 3.855,54 toneladas de lodo desidratado. Considerando a despesa com transporte e com a disposição final no aterro sanitário, que neste caso foi de R\$ 1.192.441,41, um investimento para reaproveitar esse material seria uma iniciativa que transformaria o problema de gestão do lodo em uma solução, responsável por converter este resíduo em um recurso capaz de se tornar um ativo financeiro. No entanto, as mudanças nas políticas e o investimento em melhorias, sejam elas infraestruturais, operacionais ou comportamentais, envolvem múltiplas partes interessadas e levam tempo. É importante destacar que o presente trabalho desenvolveu uma análise limitada sobre a viabilidade da reciclagem agrícola na região estudada e por isso necessita de aprofundamento em aspectos que não foram considerados.

A promoção desta prática de reutilização do lodo, também é um meio de fortalecer a estrutura de economia circular, que incentiva o fechamento dos ciclos dos materiais e garante a gestão do lodo de uma forma mais sustentável. Este modelo de economia visa direcionar materiais frequentemente descartados para uma nova aplicação produtiva, mas para isso é necessário investimento suficiente para alcançar um nível de otimização e eficiência satisfatório na gestão deste resíduo. Na medida em que a sociedade caminha para a universalização do saneamento, o tema sobre a gestão do lodo deve ocupar maior destaque na agenda governamental para promoção de um desenvolvimento futuro mais sustentável.

Para trabalhos futuros é importante a identificar as principais demandas das plantações da região, e se estas são aptas a receberem esse biossólido. É indicado também verificar uma análise econômica completa, para um sistema de incineração do lodo e para a incorporação desse insumo na produção de materiais ecológicos na construção civil em empresas da região. Pelo contexto apresentado é recomendado que sejam desenvolvidos estudos contendo estratégias para a comercialização deste material, incluindo meios de divulgação eficazes que elevem a confiabilidade do produto e atraia um novo mercado para o uso desse insumo. A proposta da criação de um canal de comunicação, para informações e parcerias, entre as empresas que geram e as que possuem o potencial de utilizar esse insumo também é um ponto a ser trabalhado.

REFERÊNCIAS

AISSE, M.N., van Haandel, A.C., von Sperling, M., Campos, J.R., Coraucci Filho, B., Alem Sobrinho, P. (1999). **Tratamento e destino final do lodo gerado em reatores anaeróbios**. In: Campos, J.R. (ed) Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo, Rio de Janeiro, RJ: ABES, 271-299.

ANDREOLI, C. V. et al. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: Prosab, 2001. 273 p.

ANDROLI C. V; PINTO, M. A. T. Processamento de Lodos de Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs). In: ANDREOLI, C. V. (coordenador). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: Prosab, 2001.

ANDREOLI, C. V.; Ferreira, A.C.; Chernicharo, C.A. (2003). **Secagem e higienização de lodos com aproveitamento do biogás**, cap. 05. In: Digestão de Resíduos Sólidos Orgânicos e Aproveitamento do Biogás. PROSAB 3. Vitória- ES, p.130 -133.

ANDREOLI, C. V. VON SPERLING, M. FERNANDES, F. **Princípios do Tratamento biológico de águas residuárias: Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Vol. 6. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. 2ª Edição, 2014. 444 p.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J. **Uso agrícola do lodo de esgoto: influência nas propriedades químicas e físicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas**. Revista Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 27, n. 4, p. 565-580, out./dez. 2006.

BATISTA, L.F. (2015). **Lodos gerados nas estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal: um estudo de sua aptidão para o condicionamento, utilização e disposição final**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-168/2015, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 197p.

BETTIOL, Wagner e CAMARGO, Otávio Antônio de. **Lodo de Esgoto Impactos Ambientais na Agricultura**. 1. ed. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006.

BITTENCOURT, Simone et al. **Uso agrícola de lodo de esgoto, estudo de caso da região metropolitana de Curitiba**. Revista Aidis: de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica., Curitiba, v. 2, p.1-11, nov. 2009.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 375**, de 29 de agosto de 2006.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 498**, de 19 de agosto de 2020.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. 2010.

CAI, T.; PARK, S. Y.; LI, Y. **Nutrient recovery from wastewater streams by microalgae: Status and prospects**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 19, p. 360-369, 2013.

CIA CATARINENSE DE ÁGUAS E SANEAMENTO (CASAN). **Manual de Operação da Estação de Tratamento de Esgoto de Canasvieiras**. 2017.

CAMPOS, Gabriele Galvão Ferreira **Análise de Áreas Agrícolas para Disposição do Lodo Proveniente da Estação de Tratamento de Esgotos de Tijucas - SC_2017**

CANO, V.; NOLASCO, M.A. . **Energy generation in wastewater treatment using a granular activated carbon microbial fuel cell: preliminary data**. In: INTERNACIONAL RESOURCES RECOVERY CONFERENCE, 2017, New York. Anais, 2017.

FERREIRA, A.C., Andreoli, C.V.; Jürgensen, D. (1999). **Produção e características dos biossólidos**. In: Uso e Manejo do Lodo de Esgoto na Agricultura. Rio de Janeiro: PROSAB.

FONSECA, José Manuel Novo. **Valorização energética de resíduos para uma economia circular: o estado da arte em Portugal**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica) – Departamento de Engenharia Electrotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2020

GEYER, A.L.B., (2001). **Contribuição ao estudo da disposição final e aproveitamento da cinza de lodo de estações de tratamento de esgotos sanitários como adição ao concreto**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, RS, 200p.

GOMES, Lídia de Assis. **Aproveitamento do lodo gerado em estações de tratamento de esgoto e a relação com o meio ambiente** [recurso eletrônico] / Lídia de Assis Gomes. – 2019. 1 recurso online (37 f. : il., color.) : pdf.

GONÇALVES, R. F. et al. **Desidratação de Lodo de Esgotos**. In: ANDREOLI, C. V. (coordenador). Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: Prosab, 2001. Cap. 3. p. 57-86.

IBGE - Instituto de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9270-sistema-nacional-de-pesquisa-de-custos-e-indices-da-construcao-civil.html?edicao=31567&t=resultados>> acesso em: 20/01/2022

ILHENFELD, R. G. K. **Higienização do lodo de esgoto**. In: Uso e Manejo do lodo de esgoto na agricultura. Curitiba: PROSAB, 1999. Cap. 4 p. 27 – 40.

JORDÃO, E.P. e PESSÔA, C.A. (2005). **Tratamento de Esgotos Domésticos**, 4ª ed, Rio de Janeiro: SEGRAC.

KORENTAJER, L. (1991). **A review of the agricultural use of sewage sludge: benefits and potential hazards**, In: Water S.A., 17(3),189-196.

MARTINS, Lucas Emanuel. **Análise da viabilidade da reciclagem agrícola do lodo de esgoto na região da grande Florianópolis**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Centro Tecnológico. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

METCALF e EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse**. 3ª ed., New York : McGraw-Hill. E.U.A, 1991.

METCALF, Leonard; EDDY, Harrison P. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2016. 1980 p. Tradução: Ivanildo Hespanhol, José Carlos Mierzwa.

MIKI, M. K. Capítulo 3: **Tratamento da fase sólida em estações de tratamento de esgotos**. In: TSUTIYA, M. T. et al. (Ed.). Biossólidos na agricultura. 1. ed. São Paulo: ABES/SP, 2001. p. 41-88.

MIKI, M. K., SOBRINHO, P. A., HAANDEL, A.C.V. (2006) **Tratamento da fase sólida em estações de tratamento de esgotos – condicionamento, desaguamento mecanizado e secagem térmica do lodo**. In: Andreoli, C. V (ed). Alternativas de Uso de resíduos do Saneamento - Projeto PROSAB, Rio de Janeiro, ABES.

MIYAZAWA, M., Gimenez, S.M.N., Fernandez, F., Oliveira, E.L., Silva, C.P. (2001). **Aspectos agrônômicos; efeito do lodo de esgoto nos teores de metais pesados no solo e na planta**, cap. 04. In: Reciclagem de Biossólidos – Transformando Problemas em Soluções, 2ª Ed. SANEPAR, FINEP. Curitiba, PR, p.204 -205.

MOURA, A. F. F. et al. **Reaproveitamento energético do lodo de estação de tratamento de esgoto - uma revisão**. The Journal of Engineering and Exact Sciences – jCEC, Vol. 06, N. 05, 2020.

OSELAME, M.C. **Minimização e Gerenciamento do excesso de lodo produzido em uma estação de lodo ativado por aeração prolongada**, TCC - Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

PASSAMANI, Fabiana Reinis Franca; KELLER, Regina; GONÇALVES, Ricardo Franci. **Higienização de lodo utilizando Caleagem e Pasteurização em uma Pequena Estação de Tratamento de Esgoto combinando reator UASB e Biofiltro aerado submerso**. In: XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cancun: México, 2002.

PEGORINI, E.S. (2002). **Avaliação de impactos ambientais do programa de reciclagem agrícola de lodo de esgoto na região metropolitana de Curitiba**. In: Dissertação de mestrado. Curitiba: Universidade Federal do Paraná

Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico. Disponível em: <https://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/29_01_2021_11.21.18.389022061182b941b3d6d84046750119.pdf> acesso em: 13/11/2021

PRIM, E. C. C. **UTILIZAÇÃO DE LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA E ESGOTO COMO MATERIAL DE COBERTURA DE ATERRO SANITÁRIO**, 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

ROSA, Natalia Fernanda Conrado da. **Minimização da produção de lodo em sistema piloto de lodos ativados utilizando o processo oxíc-settling anaerobic**, 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Centro Tecnológico. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

SOCCOL, V.T.; Paulino, E.C.; Castro, E.A. (2001) **Agentes patogênicos: Helmintos e Protozoários**. In: Andreoli, C.V.; Lara, I.A. de; Fernandes, F. (Eds), Reciclagem de Biossólidos. Curitiba: Sanepar, FINEP, p.156-179.

SOCCOL, V.T.; Paulino, E.C.; Pereira, J.T.; Castro, E.A.; Costa, A.O.; Henning L; Andreoli, C. (2010) **Organismos patogênicos presentes em lodo de esgoto a ser aplicado no solo e a Resolução nº375 do CONAMA**. In: Coscione A.R.; Nogueira T.A.R.; Pires A.M.M. (eds):

Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a Resolução nº375 do CONAMA. 1ª ed. Botucatu: FEPAF, p.83-112.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. **Avaliação agrônômica de um biossólido industrial**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 40, n. 3, p.261-269, 01 mar. 2005.

TSUTIYA, M. T. **Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos**. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.). Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: Embrapa, 2000. cap. 4, p. 69-105.

TSUTIYA, M. T. et al. (Ed.). **Biossólidos na agricultura**. 1. ed. São Paulo: ABES/SP, 2001. p. 89-132.

VELHO, Viviane Furtado, **ESTUDO DA MINIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE LODO EM SISTEMAS DE LODOS ATIVADOS PARA ESGOTOS SANITÁRIOS**. 2015, Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina.

Weetman, Catherine, **Economia circular : conceitos e estratégias para fazer negócios de forma mais inteligente, sustentável e lucrativa**; tradução Afonso Celso da Cunha Serra. 1 ed. São Paulo: Autêntica Business, 2019.

WHO (World Health Organisation) (1993). **Guidelines for drinking-water quality**. V.1. Recommendations. WHO, Geneva. 2. Ed. 188 p.

ANEXOS

Anexo 1 – Composição típica dos esgotos domésticos

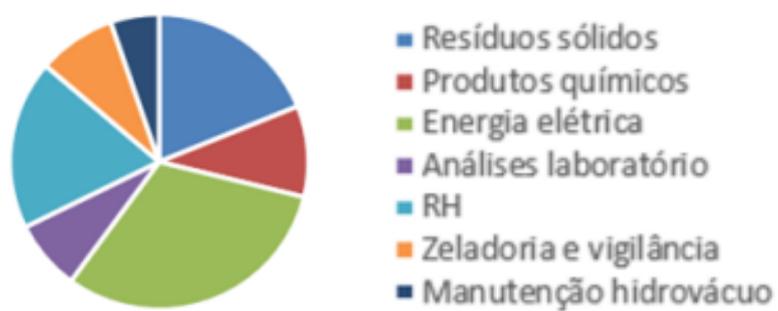
	Componentes Forte (mg/L)	Médio (mg/L)	Fraco (mg/L)	Média ETE Canasvieiras (2017) (mg/L)*
ST	1.000	500	200	828
SST	500	300	100	221
SDT	500	200	100	622
DQO	1.000	500	250	440
DBO ₅	400	220	110	179
Nitrogênio Total - NKT	85	40	20	39
Nitrogênio Amoniacal	50	25	12	25,5
Fósforo total (P)	15	8	4	6
Cloretos	100	50	30	210,6
Alcalinidade	200	100	50	181,9
Óleos e Graxas	150	100	50	88,8

Fonte: Wastewater Engineering, by Metcalf & Eddy (1991) e Laboratório de Esgotos CASAN.

* Dados médios dos parâmetros do esgoto bruto na ETE Canasvieiras no ano de 2017.

Anexo 2 – Custos seccidos por grupo

Canasvieiras



Fonte: CASAN (2017)