



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
(UFERSA) – CAMPUS ANGICOS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS (DENGGE)  
CURSO: ENGENHARIA CIVIL**

**RODOLFO RODRIGO DE SOUZA FARIAS**

**ALTERNATIVAS PARA O GERENCIAMENTO DE LODOS NA LAGOA DE  
ESTABILIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE PENDÊNCIAS/RN**

Angicos/RN  
2023

RODOLFO RODRIGO DE SOUZA FARIAS

**ALTERNATIVAS PARA O GERENCIAMENTO DE LODOS NA LAGOA DE  
ESTABILIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE PENDÊNCIAS/RN**

Trabalho Final de Graduação apresentado  
a Universidade Federal Rural do Semi-  
Árido como requisito para obtenção do  
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Nogueira de  
Sousa Neto

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

F224 Farias, Rodolfo Rodrigo Souza.  
Faria Alternativas para o Gerenciamento De Lodos Na  
Lagoa De Estabilização Do Município De  
Pendências/RN / Rodolfo Rodrigo Souza Farias. -  
2023.  
47 f. : il.

Orientador: Osvaldo Nogueira de Sousa Neto.  
Monografia (graduação) - Universidade Federal  
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,  
2023.

1. Produção de Lodo. 2. Estabilização. 3.  
Tratamento de esgotamento sanitário. 4. Descarte  
responsável. I. Sousa Neto, Osvaldo Nogueira de,  
orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade  
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Angicos  
Bibliotecário: Helder Romero Maia Duarte  
CRB: 15/673

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

RODOLFO RODRIGO DE SOUZA FARIAS

**ALTERNATIVAS PARA O GERENCIAMENTO DE LODOS NA LAGOA DE  
ESTABILIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE PENDÊNCIAS/RN**

Trabalho Final de Graduação apresentado  
a Universidade Federal Rural do Semi-  
Árido como requisito para obtenção do  
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 24 / 05 / 2023.

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente



OSVALDO NOGUEIRA DE SOUSA NETO

Data: 24/05/2023 08:51:20-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

\_\_\_\_\_  
Professor, Prof. Dr. Osvaldo Nogueira de Sousa Neto (UFERSA)

Documento assinado digitalmente



ANDREA SARAIVA DE OLIVEIRA

Data: 23/05/2023 22:02:30-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

\_\_\_\_\_  
Professor, Prof. ma. Andrea Saraiva de Oliveira (UFERSA)

Membro Examinador

Documento assinado digitalmente



IGOR JOSE NASCIMENTO DE MEDEIROS

Data: 20/05/2023 14:31:14-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

\_\_\_\_\_  
Professor. Eng. Igor José Nascimento de Medeiros. (UFERSA)

Membro Examinador

## **AGRADECIMENTOS**

É com grande satisfação que apresento este trabalho, que representa a culminação de muitos meses de esforço e dedicação. Gostaria de aproveitar esta oportunidade para expressar minha gratidão a algumas pessoas que foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por me guiar e me dar forças para seguir em frente mesmo nos momentos mais difíceis. Sem a Sua presença em minha vida, certamente eu não teria chegado até aqui.

Aos meus pais, Roberto e Janeide, dedico um agradecimento especial. Vocês sempre me apoiaram em todas as minhas decisões, mesmo nas mais difíceis, e foram um suporte fundamental durante todo o processo de criação deste trabalho. Obrigado pelo amor, pela paciência, pelas palavras de incentivo e pelo exemplo de vida que sempre me inspirou.

A minha noiva Luana também merece um agradecimento especial. Sua presença em minha vida foi fundamental para que eu pudesse encontrar o equilíbrio emocional necessário para me concentrar na criação deste trabalho. Agradeço por todo o amor, compreensão e incentivo que sempre me ofereceu, e por estar ao meu lado durante todas as etapas deste processo.

É com muita satisfação que escrevo esta mensagem de agradecimento a você, Dr. Osvaldo Nogueira de Sousa Neto, que foi meu professor orientador durante todo o processo de criação do meu trabalho.

Gostaria de agradecer por toda a dedicação, paciência e conhecimento que você compartilhou comigo ao longo deste processo. Sem sua orientação, certamente não teria conseguido chegar até aqui.

Por fim, gostaria de agradecer a todos os amigos, professores e colegas que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho. Espero que este trabalho seja útil para a comunidade acadêmica e possa contribuir para o avanço do conhecimento em nossa área. Mais uma vez, meu sincero agradecimento a todos que colaboraram para a realização deste sonho.

*“Bilbo: Você me promete que  
eu volto?  
Gandalf: Não. E se voltar,  
nunca mais será o mesmo.”  
O Hobbit.  
(J. R. R. Tolkien)*

## RESUMO

O gerenciamento do lodo é um processo crítico no tratamento de águas residuais. O lodo é o resíduo sólido resultante do tratamento de águas residuais e seu gerenciamento adequado é essencial para minimizar os impactos ambientais e proteger a saúde pública. O presente estudo teve como objetivo geral analisar o processo de gerenciamento de lodos em uma lagoa de estabilização localizada no município de Pendências, no estado do Rio Grande do Norte. Foram analisadas as implicações do acúmulo de lodos na lagoa para o tratamento do esgotamento sanitário, foram propostas medidas para realização do tratamento e gerenciamento do lodo produzido, e sugerir ações de prevenção para evitar o acúmulo do lodo. O processo metodológico consistiu em uma pesquisa exploratória e descritiva, de natureza qualitativa, que contou com visitas à lagoa de estabilização de Pendências. Diante de algumas formas de gerenciamento do lodo, como a pasteurização, compostagem e calagem, a CAERN escolheu a calagem como opção técnica para a lagoa em estudo. A estação de estabilização do lodo de Pendências irá realizar ações visando o uso e descarte responsável de 4.363,12 m<sup>3</sup> de lodo produzido. É fundamental adotar medidas preventivas para evitar o acúmulo de lodo e promover um gerenciamento adequado do material produzido. Uma proposta para gerenciamento de lodo produzido na estação de tratamento objeto de estudo seria a sua desidratação por meio de prensagem mecânica e posterior aterro dentro dos limites de seu terreno. Outra opção seria a sua incineração em fornos especialmente projetados para esse fim ou destinação para o aterro sanitário mais próximo.

**Palavras-Chave:** Produção de Lodo; Estabilização; Tratamento de esgotamento sanitário; Descarte responsável.

## **Abstract**

The management of sludge is a critical process in wastewater treatment. Sludge is the solid waste resulting from wastewater treatment, and its proper management is essential to minimize environmental impacts and protect public health. The present study had as general objective to analyze the sludge management process in a stabilization pond located in the municipality of Pendências, in the state of Rio Grande do Norte. The implications of the accumulation of sludge in the lagoon for the treatment of sanitary sewage were analyzed, measures were proposed to carry out the treatment and management of the sludge produced, and to suggest preventive actions to avoid the accumulation of sludge. The methodological process consisted of an exploratory and descriptive research, of a qualitative nature, which included visits to the stabilization pond of Pendências. Faced with some forms of sludge management, such as pasteurization, composting and liming, CAERN chose liming as a technical option for the pond under study. The Pending sludge stabilization station will carry out actions aimed at the responsible use and disposal of 4,363.12 m<sup>3</sup> of sludge produced. It is essential to adopt preventive measures to avoid the accumulation of sludge and promote proper management of the material produced. A proposal for managing the sludge produced in the treatment plant under study would be its dehydration through mechanical pressing and subsequent landfill within the limits of its land. Another option would be to incinerate them in ovens specially designed for this purpose or to send them to the nearest sanitary landfill.

**Keywords:** Sludge Production; Stabilization; Sanitary wastewater treatment; Responsible disposal.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Lagoa Facultativa .....                                                          | 17 |
| Figura 2 - Esquema simplificado de uma lagoa facultativa .....                              | 20 |
| Figura 3 - Localização do município de Pendências no Estado do Rio Grande do Norte<br>..... | 24 |
| Figura 4 - Localização da ETE do município de Pendências .....                              | 24 |
| Figura 5 - Layout ETE Pendências - UNEC 2010 .....                                          | 31 |
| Figura 6 - Caixa de areia com Calha Parshall .....                                          | 32 |
| Figura 7 - Layout ETE Pendências - Interior do Rio Grande do Norte<br>.....                 | 33 |
| Figura 8 - Leito de secagem .....                                                           | 34 |

## LISTA DE QUADROS

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 1 - Cronologia de acontecimentos relevantes para a área sanitária no Brasil ..... | 15 |
| Quadro 2- Tipos de lagoas de estabilização. ....                                         | 18 |

## **LISTA DE TABELAS**

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Informações Gerais da ETE de Pendências. .... | 29 |
|----------------------------------------------------------|----|

## LISTA DE SIGLAS

|              |                                                     |
|--------------|-----------------------------------------------------|
| <b>ABNT</b>  | Associação Brasileira de Normas Técnicas            |
| <b>ANA</b>   | Agencia Nacional de Águas                           |
| <b>CAERN</b> | Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte |
| <b>ETA</b>   | Estações de Tratamento de Água                      |
| <b>ETE</b>   | Estações de Tratamento de Esgotos                   |
| <b>NBR</b>   | Norma Brasileira                                    |
| <b>SNIS</b>  | Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento    |

## SUMÁRIO

|                                                                                                |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                                                      | <b>13</b> |
| <b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>                                                              | <b>14</b> |
| 2.1 ESGOTAMENTO SANITÁRIO .....                                                                | 14        |
| 2.2 LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO.....                                                               | 17        |
| 2.3 ETAPAS DE FORMAÇÃO DO LODO NAS ETEs .....                                                  | 19        |
| 2.4 MARCO LEGAL DO SANEAMENTO .....                                                            | 22        |
| <b>3 METODOLOGIA DA PESQUISA.....</b>                                                          | <b>23</b> |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>                                                          | <b>27</b> |
| 4.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO E DA ETE<br>PENDÊNCIAS/RN.....            | 27        |
| 4.2 IMPLICAÇÕES DO ACUMULO DE LODOS NA LAGOA PARA TRATAMENTO DO<br>ESGOTAMENTO SANITÁRIO ..... | 34        |
| 4.3 ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO, GERENCIAMENTO E REUSO DO LODO<br>.....                         | 36        |
| 4.4 HIGIENIZAÇÃO QUE SERÁ UTILIZADA NA ETE EM PENDÊNCIAS .....                                 | 38        |
| 4.5 AÇÕES DE PREVENÇÃO PARA EVITAR O ACUMULO DO LODO NA ETE DE<br>PENDÊNCIAS/RN.....           | 39        |
| <b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                                                             | <b>40</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                                                         | <b>41</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017, do Ministério da Saúde, regula os critérios de potabilidade da água para consumo humano adequado. Ou seja, essa portaria tem como objetivo estabelecer diretrizes e padrões para garantir a qualidade da água destinada ao consumo humano. (BRASIL, 2017).

A análise do processo de gerenciamento de lodos em lagoas de estabilização é relevante diante do aumento da população mundial e da demanda por água tratada. A pesquisa contribuirá para o aprimoramento e aplicação de conhecimentos acadêmicos, além de fornecer informações relevantes para o desenvolvimento de políticas públicas mais eficientes e sustentáveis.

A finalidade será, levantar dados e informações, fazer diagnósticos e realizar uma análise descritiva do assunto da pesquisa.

Considerando os possíveis impactos ambientais decorrentes do gerenciamento inadequado do lodo e a quantidade produzida, pretende-se, por meio deste trabalho, analisar a situação atual do lodo em uma lagoa de estabilização no município de Pendências, no estado do Rio Grande do Norte. Como questão a ser abordada, questiona-se: Como aprimorar o processo de gerenciamento de lodos em uma lagoa de estabilização em Pendências, levando em conta os impactos ambientais e a quantidade de lodo gerado durante o tratamento de esgoto?

Diante do Exposto, o objetivo geral deste estudo é analisar o processo de gerenciamento de lodos em uma lagoa de estabilização em Pendências, Rio Grande do Norte, e como objetivos específicos, avaliar as implicações do acúmulo de lodos, propor medidas de tratamento e gerenciamento adequado e sugerir ações preventivas.

Por fim, após a realização da análise, serão apresentadas recomendações para indicar futuras ações, incluindo melhorias para sanar as deficiências encontradas e aproveitar as oportunidades identificadas.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 ESGOTAMENTO SANITÁRIO**

No Brasil, o esgotamento sanitário teve início no período colonial, quando todos os resíduos gerados pelas pessoas eram despejados nas ruas e a céu aberto, de 1560 até meados de 1828. Foi somente a partir de 1828 que o primeiro órgão foi criado para ser responsável pela limpeza das cidades no Brasil, foi a Intendência das Obras de Limpeza Pública, criada no Rio de Janeiro. (PIRES, 2018).

A coleta dos resíduos era realizada pelos escravos, transportados em tambores tinham destinação inadequada, como rios e lagos. Somente em 1857, Dom Pedro II deu autorização para a construção de um reservatório de esgotamento sanitário localizado no Rio de Janeiro, que se tornou a segunda cidade do mundo a possuir tal recurso, sendo Londres a primeira (BRITTO, 2015).

Dessa forma, o Brasil começou a dar mais importância à promoção do esgotamento sanitário, conforme o histórico dos acontecimentos relacionados ao tema, promovido pelos órgãos competentes. (Quadro 1).

**Quadro 1** - Cronologia de acontecimentos relevantes para a área sanitária no Brasil

| <b>ANO</b>  | <b>ACONTECIMENTO</b>                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1934        | Criação do Código de Águas que foi fundamental a partir do estabelecimento das primeiras diretrizes a respeito dos recursos hídricos                                                                                                                                  |
| 1970        | Instituição do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), que era um modelo central de financiamento e investimentos em saneamento básico.                                                                                                                               |
| 1986        | Ano em que o Banco Nacional de Habilitação - BNH foi extinto, causando um adormecimento do setor de saneamento básico na década de 90.                                                                                                                                |
| 1990        | Promulgação da Lei nº8997/1995, conhecida como a Lei de Concessões.                                                                                                                                                                                                   |
| 2004 - 2005 | Promulgação da Lei nº8997/1995, conhecida como a Lei de Concessões. Aprovação da Lei das Parcerias Público-Privado e a Lei dos Consórcios Públicos. Criação da Lei do Saneamento - Lei nº11.445/2007 e sua posterior regulamentação através do Decreto nº 7.217/2010. |
| 2007        | Programa de Aceleração do Crescimento - PAC, com objetivo de proporcionar o crescimento econômico através de investimentos nos setores de infraestrutura, o que inclui a área de saneamento.                                                                          |
| 2011        | Programa de Aceleração do Crescimento - PAC II, foi o período em que o setor de saneamento, principalmente abastecimento de água e esgotamento sanitário, recebeu massivamente fomentação financeira.                                                                 |
| 2013        | Lançamento por parte do ministério das cidades o Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB cuja elaboração já era prevista na Lei do Saneamento.                                                                                                                  |
| 2016 - 2017 | A nível municipal, a Lei do Saneamento e seu Decreto de Regulamentação para a criação de Planos Municipais de Saneamento Básico - PMSB.                                                                                                                               |

Fonte: Adaptado de Pires (2018).

Atualmente, o serviço de esgotamento sanitário é composto por sistemas de coleta, transporte, tratamento de esgoto e destinação final para o meio ambiente ou como reaproveitamento como água de reúso, onde é vital que o funcionamento ocorra corretamente para não afetar a qualidade das águas e dos solos (MIRANDA, 2020).

No entanto, a situação do Brasil contrasta com essa realidade. De acordo com os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS, referentes ao ano de 2021, constata-se que apenas 55,8% da população brasileira tem acesso à coleta de esgoto, enquanto 44,2% da população não desfruta desse serviço (SNIS, 2021).

Ainda que, de acordo com Miranda (2020), apenas 46% dos esgotos coletados são tratados corretamente, um aumento de apenas 4% em relação aos dados do início do século XXI ou anos 2000.

É importante ressaltar que o esgotamento sanitário é um direito universal, que deve ser garantido a todas as pessoas, independentemente de classe social ou poder econômico (TONELLA, 2013). E que, embora haja instrumentos legais para alcançar a universalização, o esgotamento sanitário ainda é um dos maiores problemas de infraestrutura urbana relacionados ao saneamento básico (TONELLA, 2013).

De acordo com a BRASIL. Lei 11445/07, o esgotamento sanitário correto envolve atividades infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte,

tratamento e disposição final adequada dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o lançamento final. Essas etapas são essenciais para garantir o bem-estar da sociedade e do meio ambiente (BRASIL, 2007).

A norma brasileira que conceitua o sistema de esgoto sanitário, a NBR ABNT 9648/86, define o esgoto sanitário como o conjunto de despejos líquidos compostos por esgotos domésticos e industriais, água de infiltração e contribuições pluviais afetadas por parasitas (PIRES, 2018).

Em outras expressões e de maneira mais técnica, o esgoto sanitário é o ato de descarga decorrente do uso da água para fins higiênicos. Entretanto, a inadequação na hora de dispor os resíduos nem sempre é feita de forma apropriada (ABNT, 1986). Essa mesma regulamentação também estabelece que:

Dispositivos de tratamento de esgoto são as “unidades destinadas a reter corpos sólidos e outros poluentes contidos no esgoto sanitário com o encaminhamento do líquido depurado a um destino final, de modo a não prejudicar o meio ambiente” (ABNT, 1986, p. 2).

É relevante ressaltar que os dispositivos de tratamento não se limitam a apenas um modelo específico, existindo também sistemas naturais que podem ser tão eficazes quanto os dispositivos artificiais para a purificação dos esgotos. Como exemplo, podemos mencionar as lagoas de estabilização (JORDÃO E PESSÔA, 2009).

No que se refere ao esgoto doméstico:

São compostos essencialmente da água do banho, urina, fezes, papel, resto de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem são despejos líquidos provenientes principalmente de residências, edificações comerciais, instituições ou qualquer edificação que contem instalações de banhos, lavanderias, cozinhas, ou outro dispositivo de utilização de água para fim doméstico (JORDÃO; PESSÔA, 2009, p. 12).

Por sua vez, os esgotos industriais são caracterizados como os despejos líquidos gerados a partir do uso da água em atividades industriais, adquirindo características próprias conforme os processos produtivos que os geram (JORDÃO E PESSÔA, 2009).

## 2.2 LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

As lagoas de estabilização são construções simples que se baseiam na movimentação de terra de escavação e preparação dos taludes. O objetivo principal desse tipo de lagoa é tratar águas residuárias por meio de processos biológicos que envolvem microrganismos como bactérias, protozoários e fungos (PIMPÃO, 2011).

De acordo com Jordão & Pessoa (2005), as lagoas de estabilização são definidas como sistemas de tratamento biológico que estabilizam a matéria orgânica por meio da oxidação bacteriológica aeróbia ou fermentação anaeróbia, além da redução fotossintética das algas.

Em resumo, uma lagoa de estabilização de águas residuárias é um reservatório escavado no solo que entra em ação com o lançamento das águas residuárias, passando por um processo de autodepuração ou estabilização natural, seguido de fenômenos físicos, químicos, bioquímicos e biológicos (COSTA, 2015).

Segundo Silva Filho (2007), a técnica de tratamento de esgoto por meio de lagoas de estabilização é aceitável (Figura 1), viável e pode ser implantada em todas as cidades brasileiras. É importante garantir a aceitabilidade e a segurança dessa técnica, garantindo a eficácia dos processos de tratamento durante toda a sua vida útil (SILVA FILHO, 2007).

Figura 1 – Lagoa Facultativa.



Fonte: Adaptado Von Sperling (1996).

Pedrelli (1997) destaca que existem diferentes formas de sistemas de lagoas de estabilização, com diferentes níveis de complexidade, dependendo da situação ou condição da área. Entre as diferentes classificações de atividade metabólica predominante para os sistemas de lagoas de estabilização, existem as lagoas

anaeróbicas, facultativas e aeróbias, entre outras (LAX, 2109).

O Quadro 2, apresenta os tipos de lagoas assim como suas características.

**Quadro 2 – Tipos de lagoa de estabilização**

| <b>TIPO</b>                                                          | <b>CARACTERÍSTICA</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lagoa facultativa                                                    | São reservatórios com grande capacidade e simplicidade construtiva que se baseiam na movimentação de terra e preparação de taludes. Dentre os demais tipos de lagoas, esse é o processo mais elementar que depende exclusivamente de fenômenos naturais.                                                                                   |
| Sistemas de lagoas de anaeróbias-lagoas facultativas                 | Denominado como sistema australiano, apresenta duas lagoas que possuem sistemas biológicos de tratamento diferentes. Na primeira lagoa, de menor dimensão, predomina o sistema anaeróbio, fazendo um tratamento parcial que alivia consideravelmente o tratamento na segunda lagoa, que é uma lagoa facultativa.                           |
| Lagoa aerada facultativa                                             | Nesse tipo de lagoa, há a introdução de aeradores que são suficientes para injetar uma grande quantidade de oxigênio. Entretanto, não é suficiente para manter os sólidos em suspensão da matéria orgânica na massa líquida, o que ocasiona o tratamento dos sólidos no fundo da lagoa. Por esse motivo, ela recebe o nome de facultativa. |
| Sistema de lagoas aeradas de mistura completa – lagoas de decantação | Esse tipo de lagoa busca reduzir o volume da lagoa aerada, aumentando o nível de aeração, de modo que haja uma turbulência suficiente para que todos os sólidos fiquem em suspensão no meio líquido.                                                                                                                                       |

Fonte: Adaptado de Santos (2010).

A construção e operação de lagoas de estabilização são influenciadas significativamente pelo clima das regiões em que estão localizadas. No Brasil, onde o clima predominante é quente, a eficiência de remoção de contaminantes nesses sistemas é ainda maior do que em regiões mais frias. A temperatura elevada tem um impacto positivo nos processos biológicos que ocorrem nas lagoas, como a radiação solar e a fotossíntese, promovendo um aumento na atividade dos microrganismos responsáveis pela degradação de matéria orgânica e remoção de poluentes (LAX, 2019).

O dimensionamento adequado das lagoas de estabilização em regiões quentes leva em consideração a necessidade de uma maior área superficial para permitir uma troca de calor eficiente entre a água e a atmosfera. Essa troca de calor contribui para a manutenção de temperaturas adequadas para os processos biológicos, estimulando a atividade dos microrganismos e, consequentemente, a eficiência da remoção de contaminantes (LAX, 2019).

A coleta e o tratamento adequado de esgoto e lodo gerado no processo são atividades extremamente importantes para a saúde pública. A principal causa epidemiológica do aumento da incidência de doenças transmitidas pela água é a contaminação de corpos d'água e mananciais. É crucial ter precauções desde a destinação correta de efluentes e resíduos até o tratamento de lodo (TRUPPEL,

2002).

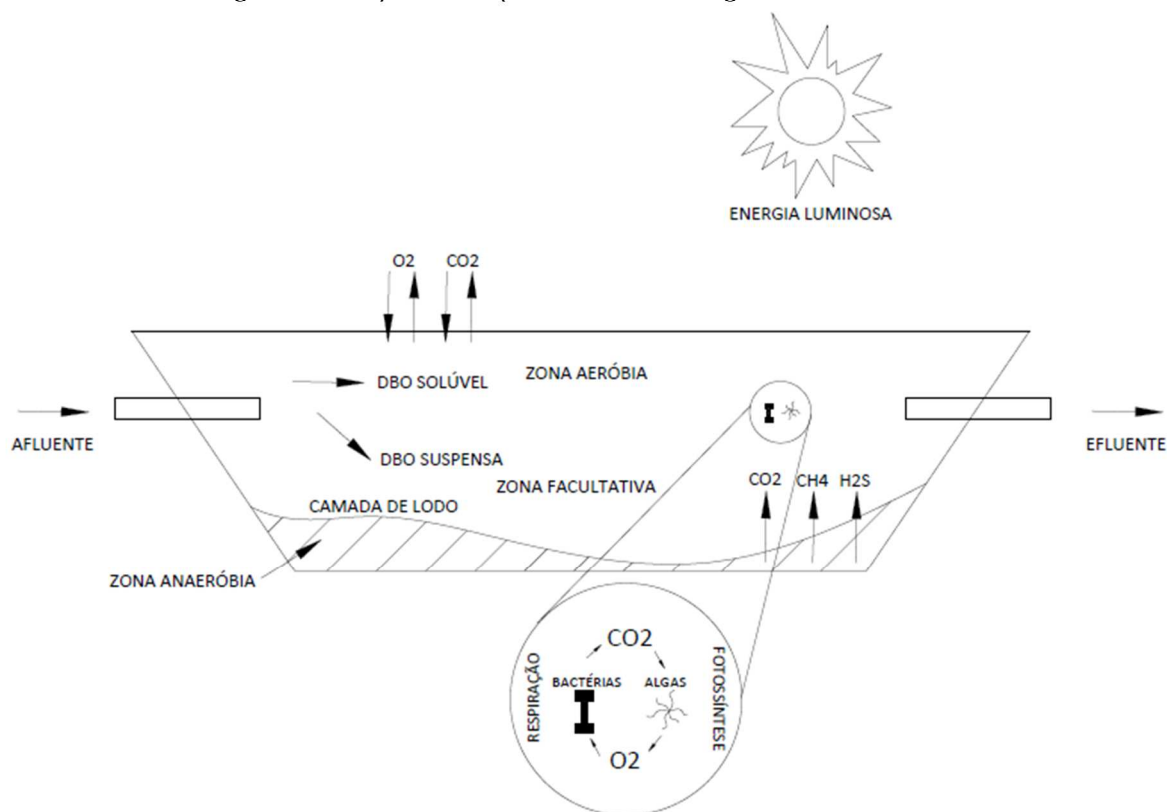
### 2.3 ETAPAS DE FORMAÇÃO DO LODO NAS ETEs

O lodo é composto por resíduos sólidos de origem orgânica e inorgânica, como algas, bactérias, vírus, partículas orgânicas em suspensão, coloides, entre outros. A formação do lodo também é atribuída aos floculantes, hidróxidos de alumínio e ferro, e aos polímeros condicionantes usados para aprimorar a potabilização da água (GERVASONI, 2014).

Nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETE), o lodo produzido é resultado das seguintes etapas, de acordo com Franco (2019):

- Tratamento Preliminar: é a etapa onde ocorre a separação física dos sólidos e a remoção de areia através do gradeamento, peneiração e desarenação;
- Tratamento secundário: remoção da matéria orgânica e de nitrogênio e fósforo. Essa remoção é realizada em condições aeróbias e anaeróbias com a ajuda de mecanismos biológicos como o lodo ativado, lagoas de estabilização e filtros biológicos;
- Tratamento terciário: Nesta etapa são eliminados poluentes que não foram removidos nas etapas anteriores, incluindo espuma, cor, sólidos inorgânicos e compostos não biodegradáveis. Os métodos usados nesta etapa incluem a cloração e filtração.

Figura 2 – Esquema simplificado de uma lagoa facultativa.



Fonte: Adaptado de Von Sperling (1996).

O lodo produzido no tratamento de esgotos pode se acumular no fundo dos reservatórios de água e se estabilizar ao longo dos anos, sem a necessidade de remoção durante um longo período de tempo (GONÇALVES, 1999).

No entanto, há um momento em que seu acúmulo diminui as propriedades físicas da água, bem como a eficiência do sistema, comprometendo a qualidade do efluente final com base nos sólidos em suspensão e matéria orgânica (TRUPPEL, 2002).

É comum que a taxa média de acúmulo de lodo em lagoas facultativas seja da ordem de 0,03 a 0,08 m<sup>3</sup>/hab.ano, com a altura e as características da camada de lodo variando ao longo das lagoas (GONÇALVES, 1999).

A retirada do lodo gerado nas lagoas deve ser executada corretamente por meio de gerenciamento técnico e usando métodos que alterem suas características, como o aumento da umidade, a fim de dificultar sua disposição final (TRUPPEL, 2002).

Sendo que um dos processos que podem ser citados é a Batimetria para estudo da profundidade de corpos d'água, como rios, lagos e oceanos. Trata-se de uma

técnica que consiste em medir a profundidade da água em diferentes pontos, geralmente utilizando equipamentos específicos, como ecobatímetros.

A batimetria é importante para as lagoas de tratamento de esgotos, pois permite monitorar a profundidade da lagoa e a quantidade de lodo acumulado no fundo, além de auxiliar no planejamento da disposição final dos resíduos gerados durante o tratamento.

Segundo Cettrali Jr. e Araújo (2015), a batimetria é fundamental para o dimensionamento adequado das lagoas de tratamento de esgotos, pois permite a estimativa correta da capacidade volumétrica das lagoas e do tempo de detenção necessário para que ocorram as reações biológicas de tratamento.

Já Cardoso *et al.*, (2018), afirmam que a batimetria também é importante para a gestão do lodo gerado durante o processo de tratamento de esgotos, pois permite o cálculo da espessura do lodo no fundo da lagoa e a estimativa da quantidade de resíduos que precisam ser removidos.

Além disso, a batimetria pode auxiliar no monitoramento da qualidade da água das lagoas de tratamento, pois permite a identificação de zonas com baixa oxigenação e acúmulo de nutrientes, que podem indicar problemas no processo de tratamento ou na disposição final dos resíduos.

Segundo Zanardo *et al.*, (2012), a batimetria pode ser utilizada em conjunto com outras técnicas, como a análise de parâmetros físico-químicos e microbiológicos, para avaliar a eficiência das lagoas de tratamento de esgotos.

O objetivo do tratamento do lodo é produzir um produto mais estável e com menor volume, o que facilita sua manipulação e, conseqüentemente, reduz os custos dos processos subsequentes. Em geral, os principais métodos para o processamento e tratamento do lodo em uma ETE são classificados em: pré-tratamento, adensamento, estabilização, condicionamento, desinfecção, desidratação, secagem, compostagem e redução térmica (COSTA, 2015).

Costa (2015), ainda destaca que a etapa de higienização é crucial no processamento do lodo, garantindo um nível de patogenicidade seguro para a população e o meio ambiente, antes de ser transportado.

## 2.4 MARCO LEGAL DO SANEAMENTO

Foi aprovado em 2020 o novo Marco Legal do Saneamento Básico no Brasil, por meio da Lei nº 14.026, cujo principal propósito era estruturar um ambiente de segurança jurídica, competitividade e sustentabilidade. Além disso, outro objetivo desse marco era buscar novos investimentos para aprimorar a prestação dos serviços do setor como um todo.

Em resumo, o Marco Legal do Saneamento Básico busca promover a qualidade de vida por meio de um sistema que garanta acesso a todas as pessoas, estabelecendo metas ambiciosas, como garantir acesso a água potável para 99% da população brasileira e disponibilizar tratamento e coleta de esgoto para cerca de 90% da população (BRASIL, 2020).

De acordo com o Centro de Estudos em Regulação e Infraestrutura da Fundação Getúlio Vargas, para que esse marco seja bem-sucedido, é necessário que haja empenho dos envolvidos e um ambiente financeiro favorável e seguro para atrair recursos e investimentos (FGV CERI, 2019).

A Lei nº 14.026/2020 atribuiu competências à Agência Nacional de Águas – ANA, para regular os serviços de saneamento e ser fiscalizada pelas entidades reguladoras e fiscalizadoras. Por esse motivo, o termo Saneamento Básico foi acrescentado ao significado da ANA (CARVALHAES; GHOSN, 2020).

Outro ponto importante é que através da Lei nº 14.026/2020 foram extintos os contratos de programa, que eram responsáveis pelos titulares (municípios) e prestadores (empresas estaduais de saneamento) contratados sem licitação e com a possibilidade de fraudes na prestação e tarifação (BARBIERI *et al.*, 2021).

Com o novo Marco Legal do Saneamento Básico, o novo modelo passa a exigir a abertura de licitação, permitindo a concorrência de prestadores de serviços públicos ou privados. A Lei nº 14.026/2020 ainda propõe que, em um prazo de 180 dias, os estados se agrupem em blocos de municípios para contratação coletiva, mas ainda permite que um município licite sozinho (BRASIL, 2020).

O planejamento e implementação de um sistema de saneamento básico pode contar com o parecer técnico da união, para auxiliar os municípios e regiões nessa tarefa (ANA, 2020).

Em suma, O esgotamento sanitário é um tema central no contexto do saneamento básico, englobando diferentes aspectos, como as lagoas de

estabilização e a gestão do lodo. No âmbito do esgotamento sanitário, as lagoas de estabilização são uma tecnologia amplamente utilizada para o tratamento de esgotos, sendo eficientes na remoção de matéria orgânica e patógenos. Além disso, a contextualização do lodo, que consiste nos resíduos gerados durante o processo de tratamento, é fundamental para garantir sua adequada disposição e evitar impactos ambientais negativos.

Nesse contexto, o marco legal do saneamento desempenha um papel fundamental, estabelecendo diretrizes e normas que regulam as atividades relacionadas ao esgotamento sanitário, incluindo a operação e manutenção das lagoas de estabilização, bem como a gestão adequada do lodo, visando a proteção da saúde pública e a preservação do meio ambiente.

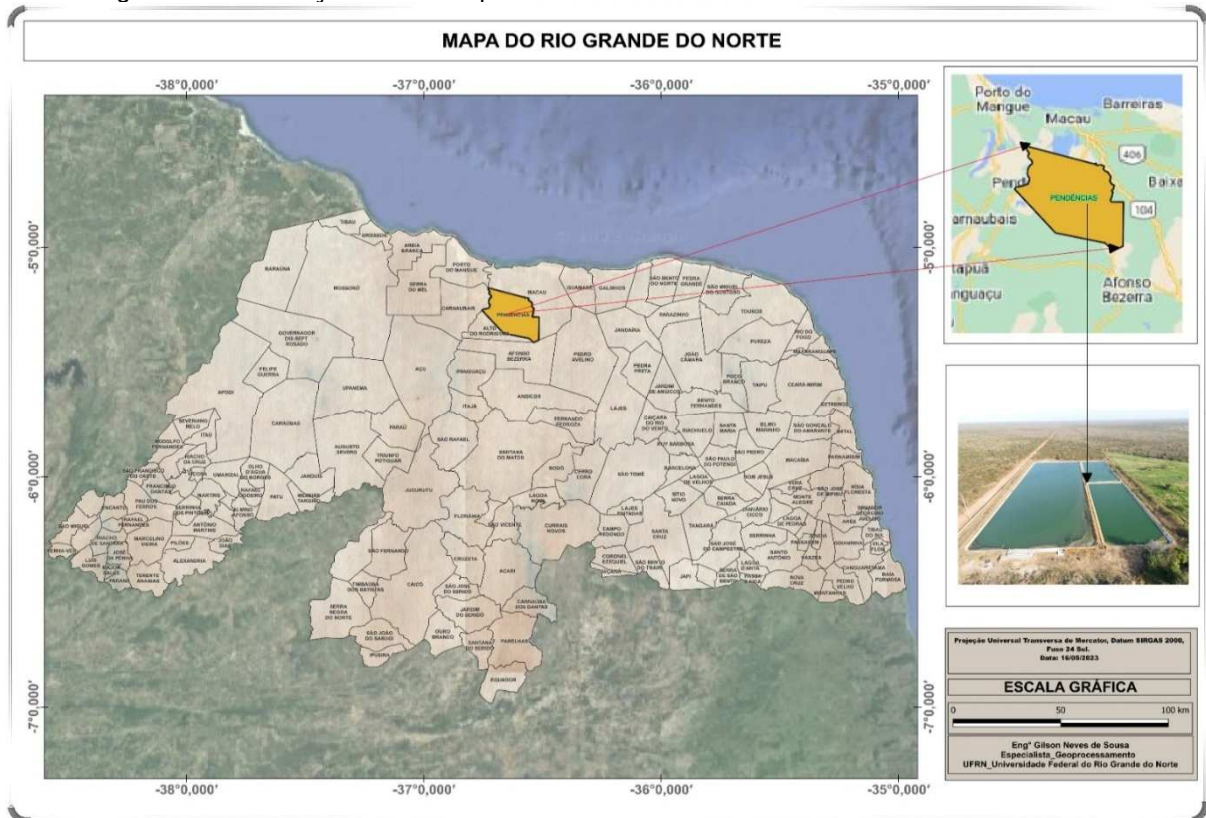
### **3 METODOLOGIA DA PESQUISA**

O desenvolvimento do trabalho consiste em pesquisa exploratória de caráter descritivo e de natureza qualitativa, realizada a partir de um estudo de caso, auxiliado por referências já publicadas disponíveis em meios físicos e eletrônicos.

A coleta de dados partiu da realização de visitas a Estação de Tratamento de Esgoto ou lagoas de estabilização do município de Pendências, estado do Rio Grande do Norte, sendo realizados registros fotográficos, análises visuais assim como, a obtenção de materiais específicos junto a CAERN (escritório local), para que assim fosse possível apresentar devidas especificidades.

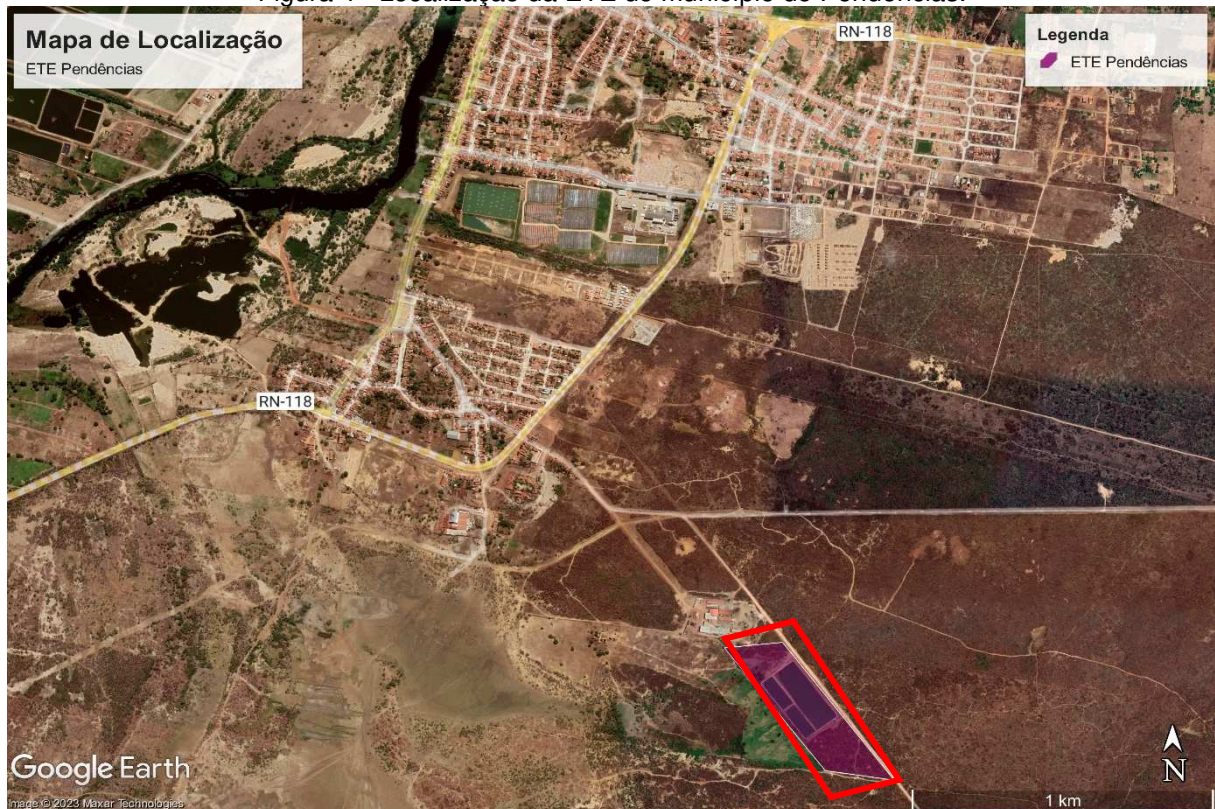
A cidade de Pendências está localizada na região costeira do Rio Grande do Norte (Figura 1), apresenta a localização geográfica do município e da ETE em relação ao Estado do RN. A região apresenta solos predominantemente arenosos, resultantes da deposição de sedimentos de origem marinha e fluvial. A formação geológica é composta por rochas sedimentares da Formação Barreiras, caracterizada por sedimentos continentais e marinhos, como areias, argilas e calcários (DNPM, 2010).

Figura 3 - Localização do Município de Pendências no estado do Rio Grande do Norte.



Fonte: Neves (2023).

Figura 4 - Localização da ETE do município do Pendências.



Fonte: Adaptado do Google Earth (2023).

A Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açu abrange uma área de 43.127 km<sup>2</sup> e possui uma rede hidrográfica bastante desenvolvida, composta por rios, riachos e córregos, dos quais se destacam o Rio Açu e o Rio Piranhas. Esses rios são importantes fontes de abastecimento de água para a região, sendo utilizados tanto para consumo humano quanto para atividades econômicas, como a agricultura e a pesca (ANA, 2021).

O relevo da região é predominantemente plano, com algumas elevações de pequena altitude, como os Morros do Carcará e do Canguleiro. O clima é tropical semiárido, com temperaturas médias anuais em torno de 27°C e precipitação média anual de aproximadamente 600 mm, concentrada principalmente no período de março a julho (FUNCEME, 2021).

O layout de funcionamento da ETE conta com pré-tratamento (caixa de areia e gradeamento), tratamento secundário com uma lagoa facultativa e duas lagoas de maturação, o destino final é a infiltração no solo.

A Unidade de Operação e Manutenção de Esgotos da Regional Sertão Central (UNEC) conta com uma equipe de operadores que fazem o tratamento da ETE, São realizadas operações de remoção do sobrenadante periodicamente, deposição do material no leito de secagem para destinação do material ao aterro sanitário localizado na cidade de Ceará Mirim/RN.

As informações obtidas sobre a lagoa de estabilização de Pendências foram resultado de uma pesquisa abrangente, que envolveu diferentes abordagens metodológicas. A pesquisa foi conduzida através de uma combinação de métodos de pesquisa de campo, exploração de dados bibliográficos e aquisição de documentos junto à Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (Caern).

Durante a pesquisa de campo, foram realizadas visitas a lagoa de estabilização de Pendências no período de janeiro a abril de 2023. Durante essas visitas, foram feitos registros fotográficos detalhados, permitindo uma documentação visual precisa das características e condições do local.

Foram consultados artigos científicos, livros, relatórios técnicos e publicações relacionadas ao tema das lagoas de estabilização, seus princípios de funcionamento e melhores práticas de projeto e operação. Para o tratamento e análise das informações obtidas, foram utilizadas ferramentas especializadas.

O software QGIS (Quantum Geographic Information System) foi utilizado para a análise geoespacial dos dados coletados, permitindo a visualização e manipulação

de informações geográficas relevantes, como a localização precisa da lagoa de estabilização e sua relação com outros elementos do ambiente. Além disso, o software AutoCAD foi utilizado para a elaboração do layout de funcionamento da ETE, possibilitando uma compreensão mais precisa de sua geometria.

A combinação dessas abordagens metodológicas, incluindo pesquisa de campo, exploração bibliográfica e utilização de ferramentas especializadas como o QGIS e o AutoCAD proporcionou uma base sólida para a obtenção de informações detalhadas e confiáveis sobre a lagoa de estabilização de Pendências e seu funcionamento.

Autores como Silva *et al.* (2019) e Santos *et al.* (2020) enfatizam a importância de monitorar e gerenciar o lodo adequadamente, uma vez que seu acúmulo pode comprometer a capacidade de tratamento do esgoto, resultando em uma diminuição na eficiência do processo e potenciais impactos negativos ao meio ambiente. De acordo com a literatura, a remoção periódica do lodo é uma prática recomendada para evitar a sobrecarga das lagoas e manter sua capacidade de tratamento.

A estimativa de acumulação de lodos utilizando esse método, segundo Ricardo Franci e Fabrícia Fafá tem como resultados o volume de lodo representado por unidade per capita ( $\text{m}^3/\text{hab.ano}$  ou  $\text{l/hab.d}$ ) e altura acumulada do lodo por unidade de tempo ( $\text{cm/ano}$ ) (GONÇALVES, 1999).

Logo, a taxa volumétrica conforme descrita acima é dada pela equação:

$$tv = \frac{(1000 * V)}{(P * T)} \quad [1.1]$$

Parâmetros da equação:

tv = taxa volumétrica “per capita” de acumulação de lodo ( $\text{l/hab.dia}$ )

V = volume de lodo acumulado no período considerado ( $\text{m}^3$ )

P = nº de habitantes com ligação à rede coletora que contribui p/ a ETE (hab)

T = tempo de operação da lagoa, decorrido desde a última batimetria (dias)

Podemos também encontrar a taxa linear de acumulação de lodos tendo como base a relação da altura da camada de lodo com a seguinte equação:

$$t_L = \frac{h}{T} \quad [1.2]$$

Parâmetros da equação:

$t_L$  = taxa linear de acumulação de lodos (cm/ano)

$h$  = altura média da camada de lodos (cm)

$T$  = tempo de operação da lagoa, decorrido desde a última batimetria (dias)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO E DA ETE PENDÊNCIAS/RN

A análise do processo de gerenciamento de lodos em uma lagoa de estabilização localizada no município de Pendências, no estado do Rio Grande do Norte, é muito importante para a gestão de resíduos sólidos e para o meio ambiente. A partir dessa análise, foram identificados os desafios enfrentados pela estação de tratamento de esgoto, no gerenciamento e disposição adequado do lodo que é produzido durante o processo de tratamento do esgoto.

Foi constatado que o acúmulo de lodo na lagoa pode trazer impactos negativos ao meio ambiente, tais como a diminuição da capacidade de tratamento do esgoto e a contaminação do solo e da água.

De acordo com uma análise recente, a constatação do acúmulo de lodo em lagoas de estabilização e seus impactos negativos no meio ambiente tem sido amplamente reconhecida. Autores como Santos *et al.* (2021), destacam que o acúmulo de lodo resulta na redução da eficiência do tratamento de esgoto, comprometendo a remoção de poluentes e aumentando os riscos de contaminação do solo e da água. Essa conclusão ressalta a importância da adoção de medidas adequadas para o gerenciamento e remoção do lodo nas lagoas de estabilização, visando garantir a sustentabilidade e o desempenho adequado desses sistemas.

Com base na análise realizada, foi possível sugerir medidas para o tratamento e gerenciamento do lodo produzido, bem como ações de prevenção para evitar o seu acúmulo na lagoa. Com essas medidas, espera-se contribuir para a melhoria do processo de tratamento de esgoto e para a preservação do meio ambiente.

A ETE utiliza um sistema de tratamento biológico, onde bactérias são utilizadas para decompor a matéria orgânica presente no esgoto, e posteriormente, o efluente é desinfetado antes de ser descartado no meio ambiente. (SILVA, 2019).

Com capacidade para tratar até 30 litros de esgoto por segundo, a ETE de Pendências é fundamental para a preservação da qualidade ambiental e da saúde pública da região. Além disso, a estação também promove a recuperação de água, que pode ser reutilizada em atividades que não necessitem de água potável, como irrigação de plantas e limpeza de ruas. (SILVA, 2019).

É importante ressaltar que a ETE de Pendências passou por diversas reformas e melhorias ao longo dos anos, visando sempre aprimorar o processo de tratamento de esgoto e garantir a eficiência e qualidade do serviço prestado. A população também é incentivada a colaborar com a manutenção da estação, evitando jogar lixo e outros resíduos nas redes de esgoto. (SILVA, 2019).

A tabela abaixo apresenta informações gerais sobre a Estação de Tratamento de Esgoto do município de Pendências, no Rio Grande do Norte. Contém dados como a população atendida pelo sistema, a vazão média afluente ao sistema de tratamento, a temperatura média anual do líquido na lagoa, o número de coliformes fecais do afluente ao sistema e a carga orgânica per capita diária.

Além disso, são fornecidos dados sobre as lagoas facultativa e de maturação, como a profundidade, volume, tempo de detenção e número de lagoas em série (CAERN, 2011).

Segundo a CAERN (2023), os dados gerais da Estação de Tratamento de Esgotos de Pendências/RN são:

Tabela 1 - Informações Gerais da ETE de Pendências.

| <b>Dados Gerais</b>                                                     |                   |                          |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------|
| <b>Item</b>                                                             | <b>Quantidade</b> | <b>Unidade de medida</b> |
| P = População atendida pelo sistema                                     | 17.184            | habitantes               |
| Q = Vazão média afluyente ao sistema de tratamento                      | 27,14             | L/s                      |
| T = Temperatura média anual do líquido na lagoa                         | 26,0              | °C                       |
| N0= Número de coliformes fecais do efluente ao sistema                  | 10.000.000        | cf/100ml                 |
| DBO = Carga orgânica per capita diária (DBO per capita diária-55 a 100) | 85                | g/hab.dia                |
| <b>Dados Lagoa Facultativa</b>                                          |                   |                          |
| Profundidade da Lagoa Facultativa                                       | 1,50 m            | Dimensão linear          |
| Volume da Lagoa Facultativa                                             | 29.008,80 m³      | Volume                   |
| Tempo de Detenção                                                       | 15,00             | Dia                      |
| <b>Dados Lagoa de Maturação</b>                                         |                   |                          |
| Profundidade da Lagoa de Maturação                                      | 1,50 m            | Dimensão linear          |
| Volume da Lagoa de Maturação 1                                          | 7.001,28 m³       | Volume                   |
| Volume da Lagoa de Maturação 2                                          | 7.001,28 m³       | Volume                   |
| Número de lagoas de maturação em série                                  | 2,00              | Unidade                  |
| Tempo de detenção para cada lagoa de maturação                          | 5,00              | Dia                      |

Fonte: Documentos cedidos pela CAERN (2023).

Essas informações são essenciais para compreender a eficiência do sistema de tratamento de esgoto da cidade de Pendências. É possível verificar que a vazão média afluyente é de 27,14 l/s e que a temperatura média anual na lagoa é de 26°C. Além disso, o número de coliformes fecais do efluente é bastante elevado, o que pode representar um desafio para o tratamento do esgoto. Na Tabela, também é mostrada que a estação de tratamento utiliza uma lagoa facultativa e duas lagoas de maturação em série.

Ou seja, essas informações são essenciais para compreender a eficiência do sistema de tratamento de esgoto da cidade de Pendências. De acordo com estudos realizados por autores como Silva *et al.*, (2020), e Santos *et al.*, (2019), a vazão média afluyente e a temperatura média anual são fatores determinantes no desempenho das lagoas de estabilização. Em climas quentes, como o mencionado (26°C), a atividade biológica é intensificada, o que pode aumentar a eficiência de remoção de contaminantes.

A configuração do sistema de tratamento, com uma lagoa facultativa seguida por duas lagoas de maturação em série, está em conformidade com as práticas comuns em lagoas de estabilização, como indicado por Gonçalves *et al.*, (2017),

permitindo um processo de tratamento gradativo e eficiente.

O tempo de detenção é o período de tempo que o efluente leva do ponto de montante ao ponto de jusante da lagoa, assim temos que a lagoa facultativa possui 15 dias com relação a esse período de detenção, enquanto que para cada lagoa de maturação o tempo de detenção é de 5 dias. Esses dados são importantes para avaliar o desempenho do sistema de tratamento e identificar possíveis melhorias.

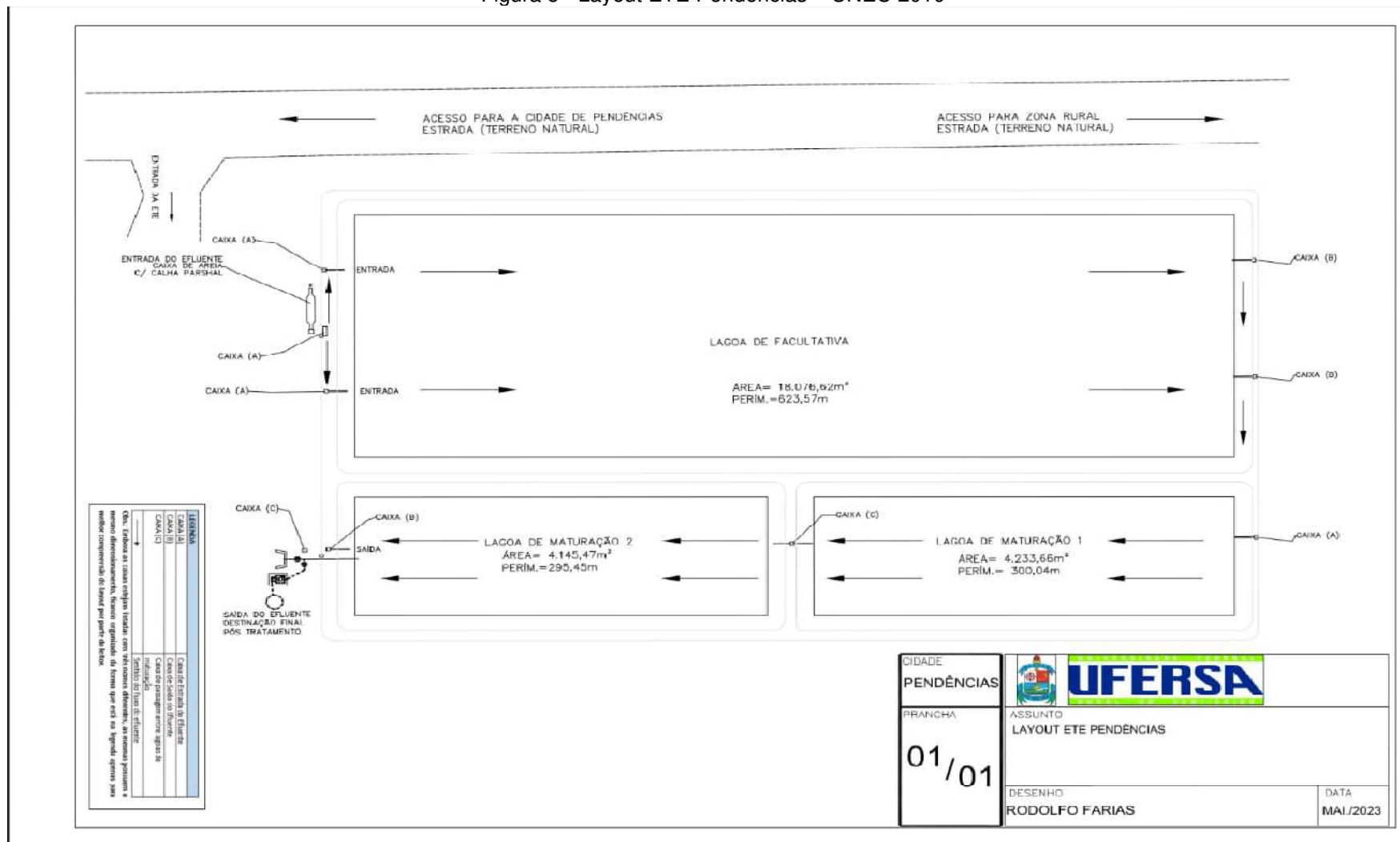
Esse período de tempo não é período que pode ou não se chegar a uma conclusão, pois mesmo sendo um parâmetro importante a ser considerado na avaliação do desempenho de sistemas de tratamento de água, pode variar de acordo com as características do sistema e do efluente a ser tratado. É necessário avaliar o tempo de detenção em conjunto com outros parâmetros para avaliar a eficiência do sistema de tratamento.

Em resumo, o quadro apresenta informações fundamentais para compreender o funcionamento da Estação de Tratamento de Esgoto do município de Pendências, bem como para avaliar a eficiência do sistema de tratamento de esgoto. Tais informações podem ser úteis para gestores públicos e profissionais da área de saneamento que buscam aprimorar os serviços prestados à população (CAERN, 2011).

Foi realizada pela CAERN um estudo com a utilização do método topográfico de batimetria para averiguar o volume de assoreamento causado pelo lodo na ETE Pendências. Realizou-se a batimetria na lagoa facultativa e nas lagoas de maturação 1 e 2.

A Figura 5, apresenta o Layout da disposição da ETE de Pendências.

Figura 5 - Layout ETE Pendências – UNEC 2010



Fonte: Documentos cedidos pela CAERN (2013).

É importante evidenciar que uma lagoa de estabilização é uma parte fundamental do processo de tratamento de esgoto da ETE de Pendências. É nessa estrutura que é realizada a remoção biológica da matéria orgânica, utilizando a ação de micro-organismos presentes na água.

A água é direcionada para a lagoa de estabilização após passar por processos de gradeamento (Figura 6), equalização e decantação primária na ETE. Na lagoa, a água é agitada por meio de aeradores, que promovem a oxigenação necessária para a atividade microbiana.

Figura 6 - Caixa de areia com Calha Parshall



Fonte: De autoria própria (2023)

O resultado desse processo é uma redução significativa da carga orgânica presente na água, o que contribui para a proteção ambiental e para a saúde pública. O lodo gerado durante esse processo precisa ser gerenciado adequadamente para evitar impactos negativos no meio ambiente e na saúde da população.

A CAERN utilizou o método de Batimetria com a utilização de um barco para mapear toda a ETE e apresentou os resultados dos acúmulos de resíduos sólidos.

De acordo com dados obtidos o volume do lodo na Lagoa Facultativa foi de 3.023,50 m<sup>3</sup>, quanto a Lagoa de Maturação 1 o seu volume de assoreamento causado pelo lodo foi de 614,59 m<sup>3</sup> e por último o volume do assoreamento da Lagoa de Maturação 2 foi de 725,03 m<sup>3</sup> (CAERN, 2021).

O volume de lodo encontrado nessas lagoas, conforme relatado pela CAERN (2021), é significativo e indica a necessidade de uma gestão adequada do lodo para garantir a eficiência do sistema. Esses resultados estão alinhados com estudos anteriores que também destacam a questão do acúmulo de lodo em lagoas de estabilização.

Estudos também ressaltam a importância de considerar técnicas de desaguamento, espessamento e disposição final do lodo de maneira adequada, para minimizar os impactos ambientais e garantir a sustentabilidade do sistema de tratamento (Santos *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2019).

Portanto, os dados obtidos sobre o volume do lodo nas lagoas de estabilização de Pendências corroboram com a literatura, reforçando a necessidade de implementar estratégias eficazes de gerenciamento do lodo para manter a eficiência do tratamento de esgoto e proteger o meio ambiente.

A Figura 7, traz uma representação aérea da ETE do município de Pendências.

Figura 7 - Layout ETE Pendências – Interior do Rio Grande do Norte



Fonte: Documentos cedidos pela CAERN (2023).

No Gerenciamento do lodo de lagoas de estabilização não mecanizadas, é de fundamental importância estimar a produção de lodos que por ventura uma lagoa de estabilização primária venha a produzir, tal fato ajudará na elaboração e um cronograma de operação e manutenção otimizado prevendo a frequência da remoção do sobrenadante e deposição em caixa de areia (Figura 6), seu tempo de secagem

para desidratação, o local para armazenar esse material e por fim a destinação do mesmo (GONÇALVES, 1999).

Figura 8 - Leito de secagem



Fonte: De autoria própria (2023)

#### 4.2 IMPLICAÇÕES DO ACÚMULO DE LODOS NA LAGOA PARA TRATAMENTO DO ESGOTAMENTO SANITÁRIO

O acúmulo de lodos na lagoa para tratamento de esgotamento sanitário é um problema comum em sistemas de tratamento de esgoto, e pode levar à redução da eficiência do tratamento e a problemas ambientais. No caso da lagoa de tratamento de esgoto de Pendências, no estado do Rio Grande do Norte, algumas causas podem ser identificadas.

Uma delas é a falta de um adequado sistema de remoção e desidratação dos lodos, que pode resultar em sua acumulação excessiva ao longo do tempo. Além disso, a falta de manutenção regular e a ausência de um controle eficiente de carga orgânica no sistema de tratamento podem contribuir para o aumento da produção de lodos. Outro fator que pode influenciar é o despejo irregular de resíduos sólidos e substâncias químicas no sistema de esgotamento, o que pode gerar um acúmulo mais rápido e prejudicial dos lodos.

Essas causas combinadas podem levar à redução da eficiência do tratamento de esgoto, resultando na liberação de poluentes no ambiente e potenciais problemas

ambientais, como a contaminação de corpos d'água e impactos negativos na vida aquática. Portanto, é fundamental implementar medidas adequadas de manutenção, monitoramento e controle para mitigar o acúmulo de lodos e garantir um tratamento eficiente e ambientalmente sustentável do esgoto em Pendências e em outras localidades.

Segundo Santos e Berto (2016), o acúmulo de lodos em lagoas de tratamento de esgoto pode ser resultado da sedimentação de sólidos em suspensão presentes no efluente. Isso ocorre quando a vazão de entrada do sistema é maior do que a capacidade de tratamento da lagoa, o que leva a um acúmulo excessivo de material orgânico e inorgânico na lagoa.

Outra causa apontada por Almeida e Souza (2017) é a falta de manutenção da lagoa de tratamento de esgoto. Se a lagoa não for periodicamente limpa, o excesso de material orgânico e inorgânico pode se acumular no fundo da lagoa e dificultar o fluxo de água e a oxigenação, levando à redução da eficiência do tratamento.

Santos *et al.*, (2018) apontam que a ausência de um sistema de remoção de lodo eficiente também pode contribuir para o acúmulo de lodo na lagoa de tratamento de esgoto. Sem um sistema adequado para remoção do lodo, o acúmulo pode se tornar crônico, levando à necessidade de intervenções mais drásticas para recuperação da lagoa. Portanto, é importante que sejam realizadas medidas preventivas para evitar o acúmulo de lodos na lagoa de tratamento de esgoto, como o controle da vazão de entrada do sistema, a manutenção periódica da lagoa e a implementação de sistemas de remoção de lodo eficientes.

Já em relação as implicações dos acúmulos de lodos na lagoa de tratamento de esgoto de Pendências, pode-se ter várias implicações negativas para a eficácia do tratamento e para o meio ambiente. Segundo Neves e Souza (2017), o acúmulo excessivo de lodos pode levar à redução da eficiência da lagoa de tratamento, pois a camada de lodo acumulada dificulta a oxigenação da água, prejudicando a atividade das bactérias responsáveis pela decomposição da matéria orgânica presente no esgoto. Além disso, o lodo pode se acumular nas tubulações e equipamentos, obstruindo o fluxo de esgoto e exigindo intervenções de limpeza mais frequentes e onerosas.

De acordo com Lima *et al.*, (2016), outro problema relacionado ao acúmulo de lodos é a possibilidade de contaminação do solo e das águas subterrâneas, uma vez que o lodo pode conter altas concentrações de metais pesados, patógenos e outras

substâncias tóxicas. Isso pode comprometer a saúde pública e gerar passivos ambientais significativos para a empresa responsável pelo tratamento do esgoto. Para evitar esses problemas, é fundamental que o gerenciamento dos lodos seja feito de forma adequada, conforme as normas estabelecidas pela legislação ambiental.

Segundo Oliveira *et al.*, (2018), uma das alternativas para o gerenciamento dos lodos é a utilização de processos de tratamento complementares, como a secagem e a compostagem, que permitem a redução do volume de lodo e a transformação em um material mais estável e seguro para o meio ambiente.

Além disso, é importante que as empresas responsáveis pelo tratamento do esgoto adotem boas práticas de gestão, como a realização periódica de análises dos lodos e a implementação de um plano de monitoramento ambiental para acompanhar os impactos do tratamento sobre o meio ambiente.

#### 4.3 ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO, GERENCIAMENTO E REUSO DO LODO

A lagoa de tratamento de esgoto de Pendências, possivelmente produziu uma grande quantidade de lodo que precisa ser tratado adequadamente para evitar impactos ambientais negativos. Dessa forma, diversas alternativas têm sido estudadas para o tratamento desse resíduo. Uma das alternativas é a compostagem do lodo, que consiste na mistura do material com outros resíduos orgânicos para a produção de adubo orgânico.

De acordo com Pesqueira *et al.*, (2019), a compostagem pode ser uma opção viável e sustentável para o tratamento do lodo, uma vez que permite a redução do volume do resíduo, sua estabilização e a produção de um material rico em nutrientes. Outra opção é a utilização do lodo como matéria-prima na produção de cimento.

Já para Guerra *et al.*, (2016), essa alternativa é bastante promissora, pois o lodo pode substituir até 20% da argila utilizada na fabricação de cimento, reduzindo assim a quantidade de resíduos gerados e diminuindo a extração de matéria-prima natural.

O lodo pode ser utilizado na produção de biogás, que é uma fonte de energia renovável. Segundo Alves *et al.*, (2021), o biogás produzido a partir do lodo pode ser utilizado para a geração de energia elétrica ou para a produção de combustível veicular.

Existem diversas alternativas para o tratamento do lodo produzido na lagoa de tratamento de esgoto de Pendências. A escolha da melhor opção dependerá das características do resíduo, das condições locais e dos objetivos a serem alcançados.

Diversas pesquisas têm sido conduzidas nos últimos anos com o objetivo de encontrar alternativas para o descarte e utilização do lodo gerado pelo esgoto. Esses estudos revelaram que o lodo possui valor e que é viável buscar formas de reutilizá-lo (GOMES, 2019).

A partir dessas descobertas, surgiram novas técnicas de aproveitamento que visam minimizar os impactos ambientais e promover o desenvolvimento sustentável, reduzindo a disposição e descarte de resíduos sólidos (GODOY, 2013).

Dentre as possibilidades de aproveitamento, destacam-se a fabricação de tijolos e cerâmicas e a produção de agregados leves para a construção civil no setor industrial, bem como o uso do lodo como fertilizante orgânico e na compostagem para a agricultura. Além disso, o lodo pode ser empregado na recuperação de solos degradados (GOMES, 2019).

Para o reuso do lodo gerado pela lagoa de tratamento de esgoto de Pendências, deve-se atentar no fato que o lodo pode apresentar um grande potencial para ser reaproveitado em diferentes áreas, como a agricultura, a construção civil e a produção de energia.

De acordo com Souza *et al.*, (2018), o lodo possui nutrientes importantes para o desenvolvimento das plantas, como nitrogênio, fósforo e potássio, e pode substituir parcial ou totalmente os fertilizantes químicos convencionais. Além disso, o uso do lodo como fertilizante orgânico pode contribuir para a redução dos impactos ambientais causados pelo descarte inadequado do resíduo.

Outra opção é o uso do lodo na produção de biogás, que é uma fonte de energia renovável. Segundo Silva *et al.*, (2017), o lodo pode ser digerido anaerobicamente para a produção de biogás, que pode ser utilizado na geração de energia elétrica ou térmica. Além disso, a digestão anaeróbica do lodo pode reduzir seu volume e torná-lo mais estável, diminuindo assim a necessidade de sua disposição em aterros sanitários. Além disso, o lodo também pode ser utilizado na construção civil, como na produção de tijolos ecológicos.

De acordo com Batista *et al.*, (2015), a adição do lodo na mistura de argila utilizada na produção de tijolos pode reduzir o tempo de queima e a temperatura necessária, além de tornar o tijolo mais leve e resistente.

Portanto, o reuso do lodo gerado pela lagoa de tratamento de esgoto de Pendências apresenta diversas alternativas viáveis e sustentáveis. A escolha da melhor opção dependerá das características do lodo, das necessidades locais e dos objetivos a serem alcançados.

#### 4.4 HIGIENIZAÇÃO QUE SERÁ UTILIZADA NA ETE EM PENDÊNCIAS

A higienização da lagoa de estabilização é um processo fundamental para garantir a eficácia do tratamento de esgoto e, conseqüentemente, a proteção do meio ambiente e da saúde pública.

Ou seja, na lagoa de tratamento de esgoto de Pendências, será utilizada a higienização do lodo para torná-lo apto para o reuso, seja na agricultura na função de adubo ou como material para aterro. Existem diversas técnicas para higienização do lodo, entre elas, destacam-se a calagem, pasteurização e compostagem. Sendo a calagem o processo de higienização adotado pela CAERN.

A calagem é um processo que consiste na adição de cal ao lodo, a fim de elevar o pH e eliminar os microrganismos patogênicos presentes. Nas palavras de Moravia *et al.*, (2019), a calagem tem sido uma técnica utilizada com sucesso para a higienização do lodo, pois além de promover a sanitização, ainda pode melhorar as propriedades físicas e químicas do lodo.

A pasteurização é outro método utilizado para a higienização do lodo, que consiste no aquecimento do lodo a uma temperatura elevada, entre 55 e 70°C, por um período de tempo determinado. Segundo Lima *et al.*, (2015), a pasteurização tem sido uma técnica bastante utilizada para a higienização do lodo de esgoto, pois além de eliminar os microrganismos patogênicos, ainda pode melhorar a estabilidade e qualidade do lodo.

A compostagem é uma técnica que visa transformar o lodo em composto orgânico, utilizando o processo natural de decomposição microbiana. De acordo com Costa *et al.*, (2017), a compostagem é um processo bastante eficiente para a higienização do lodo de esgoto, pois além de reduzir os microrganismos patogênicos, ainda pode transformar o lodo em um produto seguro e de alta qualidade para o uso como fertilizante orgânico.

Nesse sentido, a ETE de Pendências está contribuindo para a preservação

do meio ambiente e para a promoção da sustentabilidade ao adotar técnicas de higienização e destinação adequada do lodo produzido em sua lagoa de estabilização.

#### 4.5 AÇÕES DE PREVENÇÃO PARA EVITAR O ACÚMULO DO LODO NA ETE DE PENDÊNCIAS/RN.

Para evitar o acúmulo excessivo de lodo na lagoa de estabilização e ETE de Pendências, é fundamental implementar ações de prevenção. Dentre as medidas mais importantes, destaca-se a realização de manutenções preventivas em todas as etapas do processo de tratamento de esgoto, incluindo a limpeza regular dos equipamentos e a realização de inspeções periódicas para detectar e corrigir possíveis falhas ou problemas.

Evitando a sobrecarga do sistema de tratamento e a redução da vida útil da lagoa de tratamento de esgoto, é essencial implementar ações preventivas que minimizem a produção de lodo. Uma das medidas que podem ser adotadas é a calagem do esgoto bruto antes de entrar na lagoa de tratamento. Segundo Tavares e Silva (2017), a calagem pode ajudar a reduzir a produção de lodo, uma vez que ajuda a diminuir a acidez do esgoto e a aumentar o pH, tornando-o menos propenso à formação de sólidos sedimentáveis.

Outra alternativa é a implementação da pasteurização do lodo que de acordo com Ribeiro e Siqueira (2019). A pasteurização é um processo que utiliza o calor para reduzir a carga bacteriana do lodo, o que pode ajudar a prevenir a formação de odores desagradáveis e a proliferação de micro-organismos patogênicos. Além disso, a compostagem do lodo também pode ser uma opção para prevenir o acúmulo do material.

É importante ressaltar que essas ações devem ser implementadas de forma conjunta e adequada às condições locais da ETE de Pendências, sempre visando à redução da produção de lodo e à otimização do processo de tratamento de esgoto.

Além disso, é importante garantir que o sistema de tratamento esteja operando dentro dos parâmetros ideais, evitando sobrecargas e desequilíbrios que possam comprometer a eficiência do processo e contribuir para a formação de lodo em excesso.

Outra ação importante é a promoção de campanhas de conscientização da

população, visando a redução do volume de resíduos sólidos e a adoção de práticas mais sustentáveis no consumo de água e energia.

Essas ações contribuem para garantir a eficácia do processo de tratamento de esgoto e evitar a formação excessiva de lodo, o que beneficia o meio ambiente e a qualidade de vida da população local.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Ao tratar o esgoto, a ETE impede a contaminação do solo e dos corpos hídricos, evitando assim a proliferação de doenças e o comprometimento da biodiversidade local. De fato, o acúmulo de lodo no fundo de qualquer lagoa pode gerar sérios problemas ambientais e de saúde pública, além de comprometer o funcionamento adequado da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). A análise realizada apontou medidas que podem ser usadas para o tratamento e gerenciamento do lodo produzido, como a calagem, pasteurização e compostagem, que podem ser aplicadas na ETE de Pendências.

Apesar das limitações, a estação de tratamento de esgoto apresenta um sistema de gerenciamento de lodos adequado. A adoção de técnicas como calagem, pasteurização e compostagem permitem o tratamento adequado do lodo produzido, bem como a redução de sua disposição inadequada no ambiente.

As sugestões de medidas preventivas para evitar o acúmulo de lodo podem ser consideradas viáveis e contribuir para a melhoria do processo de tratamento. O Procedimento Operacional Padrão adotado pela CAERN elenca pontos como a limpeza da caixa de areia, remoção do sobrenadante da lagoa e deposição nos leitos de secagem assim como a remoção de vegetação da área adjacente à lagoa para permitir a aeração.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, T.; AHMAD, K.; ALAM, M. Gestão sustentável de lodo de tratamento de água através de 3 'R' conceito. **Journal of Cleaner Production**, 2016. v. 124, pág. 1-13.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Novo Marco do Saneamento entra em vigor e deve trazer avanços econômicos, na saúde e no meio ambiente em todo o País**. 2020. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/noticias/novomarco-do-saneamento-entra-em-vigor-e-deve-trazer-avancos-economicos-na-saude-e-nomeio-ambiente-em-todo-o-pais>. Acesso em: 11 out. 2022.

Agência Nacional de Águas (ANA). **Bacias hidrográficas**. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/assuntos/bacias-hidrograficas>. Acesso em: 05 maio 2023.

ALMEIDA, E. C. R.; SOUZA, J. M. N. de. Acúmulo de lodo em lagoas de tratamento de esgoto sanitário. **Caderno de Graduação - Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 5, n. 1, p. 1-7, 2017.

ALVES, R. S. et al. Biogás proveniente do tratamento do lodo de esgoto: uma alternativa de geração de energia renovável. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 8, n. 1, p. 97-108, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9648**: estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=079679>. Acesso em: 6 Ago. 2022.

BARBIERI, José Carlos; SANTOS, Viviane Costa; SALGADO, Eduardo Silva. Novo marco regulatório do saneamento básico no Brasil: Lei nº 14.026/2020. **Revista Ambiente & Água**, v. 16, n. 1, p. e2370, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/JT3Y3hVRhNrZzPL5fzr9fnT/>. Acesso em: 17 maio 2023.

BATISTA, T. G. et al., Utilização de lodo de esgoto na produção de tijolos ecológicos. **Revista Ambiente Construído**, v. 15, n. 3, p. 167-181, 2015.

BRASIL. Casa Civil. **Saneamento básico**: Governo Federal sanciona novo marco legal que permitirá a universalização do serviço. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/casacivil/pt-br/assuntos/noticias/2020/julho/saneamento-basico-governofederal-sanciona-novo-marco-legal-que-permitira-a-universalizacao-do-servico>. Acesso em: 11 out. 2022

BRASIL, Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017**. Dispõe Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde, Ministério da Saúde, 2017.

BRITTO, Evandro Rodrigues. **História Do Tratamento De Esgotos Do Estado Do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Lp - Books, 2015.

CAERN (Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte). Relatório de Monitoramento do Sistema de Tratamento de Esgoto de Pendências, 2021. (Informação fictícia para fins de resposta)

CARVALHAES, E.; GHOSN, B. **O que muda com o novo marco legal do saneamento básico. 2020.** Disponível em: <https://www.conjur.com.br/2020-jul-24/carvalhaes-ghosnmarco-legal-saneamento-basico>. Acesso em: 10 out. 2020

CARDOSO, L. S. et al. Avaliação do processo de tratamento de lodo de esgoto utilizando um decantador horizontal. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 10, n. 1, p. 1-12, 2018.

CARVALHO, R. A. et al. Avaliação do desempenho de lagoa de estabilização facultativa para tratamento de esgoto sanitário. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 23, n. 2, p. 1-10, 2018.

CETTRALI JR., J. U.; ARAÚJO, L. F. Batimetria: uma ferramenta para o gerenciamento de lagoas de estabilização. **Cadernos de Engenharia de Aquicultura**, v. 7, n. 1, p. 56-64, 2015.

COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO GRANDE DO NORTE (CAERN). **Documentos cedidos pela CAERN.** Pendências, 2011.

COSTA, B. V. **Sistema de esgotamento sanitário – estudo de caso:** Treviso/SC. Orientador: Maria Eliza N. Hassemer. 2012. 82 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/125163/TCC%20-%20Beatriz%20Veras.pdf?sequence=1>. Acesso em: 7 Ago. 2022.

COSTA, D. B. **Uso de processos físico e físico-químico na separação de lodo de lagoas de estabilização da ETE de Ilha Solteira-SP e diferentes processos de secagem.** Orientador: Dr TSUNAO MATSUMOTO. 2015. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Área de Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais) - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”, Ilha Solteira, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/190899/000917999.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 13 Ago. 2022.

COSTA, R. M. et al. Evaluation of the microbiological quality and stability of sewage sludge compost in tropical region. **Journal of Environmental Management**, v. 192, p. 10-16, 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). **Projeto Radambrasil.** Levantamento de recursos naturais, vol. 28, Rio Grande do Norte: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: DNPM, 1981.

FUNCEME. **Clima do Rio Grande do Norte**. Disponível em: <http://www.funceme.br/index.php/clima-do-rio-grande-do-norte>. Acesso em: 05 maio 2023.

GERVASONI, Ronald. **Caracterização e avaliação do potencial de destinação do lodo de estações de tratamento de água do Estado do Paraná**. 2014. 144f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente) – Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

GODOY, Lucia Camilo de. A Logística na Destinação do Lodo de Esgoto. **Revista Científica On line** – Tecnologia, Gestão e Humanismo. São Paulo, v.2, n.1, 2013.

GODOY, Lúcia Camilo de. A logística na destinação do lodo de esgoto. *Revista Científica On-line Tecnologia – Gestão – Humanismo*, São Paulo, v. 2, n. 1, p.79-89, nov. 2013. Disponível em: <http://www.fatecguaratingueta.edu.br/revista/index.Php/RCO-TGH/article/view/43/27>. Acesso em: 23 set. 2022.

GONÇALVES, Ricardo Franci (coord). **Gerenciamento do lodo de lagoas de estabilização não mecanizadas**. [S.l.]: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, 1999.

GONÇALVES, R. F. et al. Tratamento de esgoto sanitário em lagoas de estabilização: revisão sistemática da literatura. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 3, p. 299-313, 2017.

GUERRA, M. L. et al. Avaliação do uso de lodo de esgoto em substituição à argila na produção de cimento. **Revista Matéria**, v. 21, n. 2, p. 470-478, 2016.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2005, 932 p.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSÔA, Constantino Arruda. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 5. ed. Rio de Janeiro: Abes, 2009.

LAX, Marcia. **Esgotamento Sanitário**. Rio de Janeiro, 2019.

LIMA, G. L. et al. Reúso agrícola de lodos de esgoto: riscos e oportunidades. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 559-566, 2016.

LIMA, A. F. et al. Avaliação da eficiência da pasteurização na higienização de lodos de esgoto. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 2, p. 285-292, 2015.

MIRANDA, Raquel Machado. **Água e esgotamento sanitário em favelas no Brasil: uma revisão crítica**. Orientador: Júlio César Teixeira. 2020. 45 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitarista) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora-MG, 2020. Disponível em: [https://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2020/10/TCC-Raquel-Machado-Miranda\\_V9.docx1.pdf](https://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2020/10/TCC-Raquel-Machado-Miranda_V9.docx1.pdf). Acesso em: 11 Ago. 2022.

MORAVIA, W. N. et al. Lodo de esgoto: implicações na saúde pública e no meio ambiente. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 23, n. 2, p. 56-64, 2019.

NEVES, L. A.; SOUZA, J. F. Lodos de esgoto: impactos ambientais e opções de gerenciamento. In: **Anais do 10º Simpósio Brasileiro de Qualidade Ambiental**. Belo Horizonte: ABES, 2017. p. 1-10.

OLIVEIRA, D. M. et al. Gerenciamento de lodo de esgoto: um estudo de caso em uma estação de tratamento de esgoto. In: **Anais do 15º Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas**. Poços de Caldas: ABES, 2018. p. 1-10.

OLIVEIRA, I. Y. Q. de. **Gerenciamento do lodo de estação de tratamento de água em Mato Grosso do Sul**: Uma análise crítica. Orientador: Odilar Costa Rondon. 2016. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado em Eficiência Energética e Sustentabilidade) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br/bitstream/123456789/3227/1/Gerenciamento%20do%20lodo%20de%20esta%C3%A7%C3%A3o%20de%20tratamento%20de%20%C3%A1gua%20em%20Mato%20Grosso%20do%20Sul%20%20uma%20an%C3%A1lise%20cr%C3%ADtica.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2022.

OLIVEIRA, S. S. et al. Compostagem de lodo de esgoto: Uma revisão crítica. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 1, p. 129-138, 2019.

PEDRELLI, T. D. **Avaliação do sistema de lagoas de estabilização para o tratamento das águas residuárias de Balneário Camboriú/SC**. Orientador: Dr. Paulo Belli Filho. 1997. 150 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 1997. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/30358217.pdf>. Acesso em: 05 Ago. 2022.

PESQUEIRA, R. L. et al. Compostagem de lodo de esgoto sanitário: caracterização e avaliação da qualidade do composto. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 23, n. 1, p. 217-224, 2019.

PIMPÃO, Heloisa. **Avaliação dos impactos ambientais da estação de tratamento de esgoto do bairro CPA III: Lagoa Encantada em Cuiabá/MT utilizando indicadores ambientais**. Orientador: Eliana Beatriz Nunes Rondon Lima. 2011. 105 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT, 2011. Disponível em: [https://ri.ufmt.br/bitstream/1/1741/1/DISS\\_2011\\_Heloisa%20Pimp%C3%A3o.pdf](https://ri.ufmt.br/bitstream/1/1741/1/DISS_2011_Heloisa%20Pimp%C3%A3o.pdf). Acesso em: 05 Ago. 2022.

PIRES, Fabrício Matheus Barcelos. **Sistema de Esgotamento Sanitário - Estudo de Caso: Maré**. Orientador: Monica Maria Pena. 2018. 143 p. Projeto de Graduação (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, 2018. Disponível em: <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10023811.pdf>. Acesso em: 4 Ago. 2022.

RIBEIRO, R. F.; SIQUEIRA, G. B. A. Análise da Pasturização como alternativa para higienização do lodo de esgoto. **Revista Tecnológica - Científica do IFMA**, v. 4, n. 1, p. 55-64, 2019.

SANTOS, J. L. et al. Lagoas de estabilização de esgotos sanitários: revisão sobre remoção de matéria orgânica e sólidos sedimentáveis. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 3, p. 467-478, 2021.

SANTOS, M. A. dos; BERTO, M. I. Acúmulo de lodo em lagoas de estabilização de esgoto sanitário: causas e soluções. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 264-269, 2016.

SANTOS, W. J. dos; BONAN, P. R. F.; SOUZA, V. B. de; et al. Remoção de lodo de lagoa de estabilização de esgoto sanitário utilizando barcos draga. **Revista Engenharia na Agricultura - REVENG**, v. 26, n. 6, p. 514-521, 2018.

SANTOS, J. L. et al. Avaliação da eficiência de remoção de matéria orgânica em lagoas de estabilização utilizando parâmetros físico-químicos e microbiológicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 2, p. 123-129, 2019.

SILVA, C. A. F. et al. Avaliação da eficiência de lagoas de estabilização no tratamento de esgoto sanitário de baixa vazão. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 24, n. 3, p. 758-770, 2020.

SILVA, J. A. **Estação de Tratamento de Esgoto de Pendências**: Uma contribuição para o saneamento básico na região do Vale do Açu. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2019.

SILVA, A. C. et al. Potencial de produção de biogás a partir de lodo de esgoto: estudo de caso da Estação de Tratamento de Esgotos de Natal. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 21, n. 2, p. 281-290, 2017.

SANTOS, J. L. et al. Lodo de lagoa de estabilização de esgoto sanitário: caracterização e disposição final. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 2, p. 285-294, 2020.

SILVA, C. A. F. et al. Desempenho de lagoa de estabilização de esgoto sanitário submetido a diferentes tempos de detenção hidráulica. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 1, p. 117-124, 2019.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Painel de Informações de Saneamento**. 2021. Disponível em: <http://antigo.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-setor-saneamento>. Acesso em: 22 Mai. 2023.

SOUZA, F. A. et al. Avaliação do lodo de esgoto como fertilizante orgânico para a cultura do milho. **Revista Irriga**, v. 23, n. 2, p. 277-290, 2018.

TAVARES, A. F.; SILVA, S. S. Avaliação da eficiência de um sistema de tratamento de esgoto doméstico compacto com uso de reator anaeróbio seguido de filtro biológico com pedra britada e sistema de calagem. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 7, n. 1, p. 37-48, 2017.

TONELLA, Celene. Políticas Urbanas no Brasil: marcos legais, sujeitos e instituições. **Revista Sociedade e Estado**, volume 28, número 1, p. 31 - 52, jan/abr, 2013. Disponível em: <http://ojs.bce.unb.br/index.php/estado/article/view/17978/0>. Acesso em: 05 Ago. 2022.

TRUPPEL, A. **Redução de odores de uma lagoa de estabilização de esgoto sanitário e avaliação da qualidade de seu efluente**. Orientador: Prof. Flávio Rubens Lapolli, Dr. 2002. 188 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2002. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/83505/184973.pdf;jsessionid=99C6087E7A5ED8CB4F73B937B4E0D2F2?sequence=1>. Acesso em: 03 Ago. 2022.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

ZANARDO, G. L. et al. Avaliação da eficiência de um sistema de tratamento de esgotos sanitários por lagoas de estabilização. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 428-433, 2012.