



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE CIÊNCIAS EXATAS E EDUCAÇÃO - CTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA TÊXTIL - PGETEX

Barbara Wittkowski Fendrich

**Lodo proveniente de ETA desidratado com emprego de manta
geotêxtil: estudo de caso**

Blumenau

2024

Barbara Wittkowski Fendrich

**Lodo proveniente de ETA desidratado com emprego de manta
geotêxtil: estudo de caso**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Têxtil.

Orientadora: Prof.^a Selene Maria de Arruda Guelli Ulson de Souza, Dr.^a

Coorientadores: Prof.^a Catia Rosana Lange de Aguiar, Dr.^a e Prof. Antônio Augusto Ulson de Souza, Dr.

Blumenau

2024

Fendrich, Barbara Wittkowski

Lodo proveniente de ETA desidratado com emprego de manta geotêxtil : estudo de caso / Barbara Wittkowski Fendrich ; orientadora, Selene Maria de Arruda Guelli Ulson de Souza, coorientador, Catia Rosana Lange de Aguiar, coorientador, Antônio Augusto Ulson de Souza, 2024.

94 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil, Blumenau, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia Têxtil. 2. Lodo de Tratamento de Água. 3. Manta Geotêxtil. 4. Resíduos sólidos. I. de Souza, Selene Maria de Arruda Guelli Ulson . II. de Aguiar, Catia Rosana Lange . III. de Souza, Antônio Augusto Ulson IV. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil. V. Título.

Barbara Wittkowski Fendrich

**Lodo proveniente de ETA desidratado com emprego de manta geotêxtil:
estudo de caso**

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 03 de maio de 2024, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Odinei Hess Gonçalves, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Prof. Marcel Jefferson Gonçalves, Dr.
Universidade Regional de Blumenau – FURB

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestra em Engenharia Têxtil.

Insira neste espaço a
assinatura digital

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Insira neste espaço a
assinatura digital

Prof.^a. Selene Maria de Arruda Guelli Ulson de Souza, Dr.^a
Orientadora

Blumenau, 2024.

À P.B. e à Barbara do passado. Este trabalho é para vocês, que nunca me deixaram desacreditar em magia e no extraordinário.

AGRADECIMENTOS

Particularmente, ao meu Anjo da Guarda, pela proteção diária, por guiar meus passos e sobretudo por, há poucos dias da defesa deste trabalho, interceder em um grave acidente e me permitir estar aqui, realizando mais este sonho. Que Sua luz divina continue a brilhar, regendo-me e guardando-me.

Agradeço ao Samae, meu local de trabalho, pelo apoio ao longo da minha jornada profissional e acadêmica. Especialmente, à dedicada equipe do laboratório de águas e efluentes, meu sincero "muito obrigada" pela paciência e pelo meticuloso trabalho nas análises, que foram fundamentais para este estudo.

Um especial apreço à empresa SNatural pela generosa doação das mantas geotêxteis, que viabilizaram parte deste trabalho de pesquisa.

Expresso minha gratidão à Universidade Federal de Santa Catarina (câmpus Blumenau e Florianópolis), aos laboratórios, à secretaria do programa de pós-graduação, aos servidores, meus colegas de curso e à coordenação por todo apoio e orientação durante minha trajetória acadêmica. Toda a ajuda recebida transformou-se em um pilar fundamental para meu progresso.

Aos meus professores orientadores, Prof.^a Dr.^a Selene Maria de Arruda Guelli Ulson de Souza, Prof.^a Dr.^a Catia Rosana Lange de Aguiar e Prof. Dr. Antônio Augusto Ulson de Souza, cujas imensas bagagens compartilhadas foram essenciais para o meu desenvolvimento acadêmico, fornecendo insights valiosos, orientação especializada e encorajamento constante. Seus compromissos com a excelência acadêmica e suas paixões pela pesquisa foram uma fonte constante de inspiração para mim.

À Dr.^a Bruna Porto e ao Dr. Wagner Artifon por dedicar seus tempos respondendo minhas dúvidas, auxiliando nas análises e compartilhando de suas experiências comigo, propiciando uma valiosa troca acadêmica. Sucesso no Pós-Doutorado de vocês!

À minha mãe, Edvirges Wittkowski, por me ensinar tantas coisas, sobretudo que lugar de mulher é exatamente onde ela quiser. Sua determinação e coragem moldaram minha visão de mundo e me capacitaram a buscar meus sonhos.

À minha fiel companheira de quatro patas, Dalila, por reclamar pouco de ficar em casa enquanto eu me dedicava aos estudos.

Um agradecimento especial ao Sergio, por ser colo e ombro nas horas turbulentas, ser ouvido e razão na hora dos desabafos acadêmicos e por ser uma fonte constante de risadas, tornando sempre tudo muito leve e divertido. Obrigada pelo incentivo e inspiração, ao longo dos últimos 10 anos. Sua presença foi fundamental em mais este capítulo.

E por fim, a todos que direta ou indiretamente estiveram acompanhando o trilhar desta caminhada, muito obrigada!

RESUMO

O processo de potabilização da água em Estações de Tratamento de Água (ETA's) no Brasil gera resíduos úmidos, conhecidos como lodo de ETA. Esse lodo, sem tratamento adequado, enfrenta problemas de transporte e disposição final devido à sua consistência semissólida e alto teor de umidade. Diversas tecnologias foram desenvolvidas para mitigar o volume de água no lodo, incluindo adensadores, filtros-prensa, centrífugas, secagem térmica e bags de geotêxtil. No estudo focado na ETA Central de Jaraguá do Sul/SC, o lodo foi armazenado em cinco tipos de bags de geotêxtil sem adição de polímeros por 7 dias. Análises mostraram que todos os bags apresentaram resultados satisfatórios, mas a manta NT 0.7 foi a mais eficiente na redução de cor, turbidez e retenção de sólidos, diminuindo a umidade em mais de 90%. Comparada a outras mantas, a NT 0.7 apresentou melhores resultados em termos de redução de cor (cerca de 95%), turbidez, DBO, DQO, e retenção de sólidos. Os geotêxteis não-tecidos (NT 0.7 e NT 1.0) alteraram o pH do lodo em cerca de 11%, tornando-o mais neutro, o que é vantajoso para o descarte ambiental. As mantas de NT também mostraram ser mais eficientes na redução da umidade do lodo, facilitando o manuseio, transporte e disposição final, reduzindo custos logísticos. No entanto, a NT 0.7 possui baixa resistência à tração e rasgo, uma desvantagem significativa que precisa ser abordada para aplicações industriais. A tecnologia de mantas geotêxteis é cada vez mais adotada devido às suas vantagens operacionais, simplicidade e custo-benefício, especialmente em comparação com métodos como centrífugas e filtros-prensa. Elas melhoram a qualidade do efluente liberado, removendo sólidos grosseiros, partículas finas e contaminantes. A evolução contínua dos materiais e técnicas de fabricação promete aumentar a eficiência, durabilidade e versatilidade das mantas geotêxteis, possibilitando a formação de sistemas híbridos que combinam vantagens operacionais, financeiras e sustentáveis.

Palavras-chave: Lodo de Tratamento de Água. Manta Geotêxtil. Resíduos sólidos.

ABSTRACT

The water treatment process in Water Treatment Plants (WTPs) in Brazil generates wet residues known as WTP sludge. This sludge, without proper treatment, faces transportation and final disposal issues due to its semi-solid consistency and high moisture content. Various technologies have been developed to mitigate the water volume in the sludge, including thickeners, filter presses, centrifuges, thermal drying, and geotextile bags. In the study focused on the Central WTP in Jaraguá do Sul/SC, the sludge was stored in five types of geotextile bags without the addition of polymers for 7 days. Analyses showed that all the bags yielded satisfactory results, but the NT 0.7 non-woven fabric was the most efficient in reducing color, turbidity, and retaining solids, decreasing moisture by more than 90%. Compared to other fabrics, NT 0.7 achieved better results in terms of color reduction (about 95%), turbidity, BOD, COD, and solid retention. The non-woven geotextiles (NT 0.7 and NT 1.0) altered the sludge pH by about 11%, making it more neutral, which is advantageous for environmental disposal. The NT fabrics also proved to be more efficient in reducing the moisture content of the sludge, facilitating handling, transportation, and final disposal, thereby reducing logistical costs. However, NT 0.7 has low tensile and tear resistance, a significant disadvantage that needs to be addressed for industrial applications. The technology of geotextile fabrics is increasingly adopted due to its operational advantages, simplicity, and cost-effectiveness, especially compared to methods such as centrifuges and filter presses. They improve the quality of the released effluent by removing coarse solids, fine particles, and contaminants. The continuous evolution of materials and manufacturing techniques promises to enhance the efficiency, durability, and versatility of geotextile fabrics, enabling the formation of hybrid systems that combine operational, financial, and sustainable advantages.

Keywords: Water Treatment Sludge. Geotextile Fabric. Solid Waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modalidades de documentos publicados	19
Figura 2 – Número de publicações entre 1985 e 2024.....	20
Figura 3 – Publicações de acordo com suas nacionalidades	21
Figura 4 – Quantidade de Estudos por Área do Conhecimento	22
Figura 5 – a) Estrutura da Água e (b) Polaridade.....	24
Figura 6 – Esquema simplificado do tratamento e distribuição da água tratada	26
Figura 7 – Esquema simplificado das etapas de coagulação e floculação.....	27
Figura 8 – Esquema simplificado da etapa de decantação	28
Figura 9 – Esquema simplificado de um filtro de uma ETA.....	29
Figura 10 – Fluxograma de uma ETA Convencional.....	30
Figura 11– Representação gráfica de uma ETA convencional e os pontos onde os resíduos são produzidos	33
Figura 12– Bags aplicados no tratamento de lodo industrial	41
Figura 13– ETA Central e sua localização	45
Figura 14– Amostras de lodo dos decantadores e dos filtros.....	46
Figura 15– Bancada experimental montada.....	48
Figura 16– Fluxograma da metodologia e análises deste trabalho	49
Figura 17– Origem do lodo utilizado no estudo	50
Figura 18– Modelo de geotêxtil adaptado pela autora para uso em bancada	54
Figura 19– Aparato experimental	58
Figura 20– Gráfico de turbidez e sólidos totais	60
Figura 21– Gráfico de Umidade das Amostras Iniciais de Lodo.....	61
Figura 22– Espectro de FTIR para o lodo bruto	61
Figura 23– Geotêxtil NT 0.7 antes (a) e depois do deságue do lodo (b).....	64
Figura 24– Geotêxtil NT 1.0 antes (a) e depois do deságue do lodo (b).....	65
Figura 25– Geotêxtil T 7.2 antes (a. e depois do deságue do lodo (b).....	66
Figura 26– FTIR para a manta NT 0.7	67
Figura 27– FTIR para a manta NT 1.0	68
Figura 28– FTIR para a manta T 4.1	69
Figura 29– FTIR para a manta T 5.8	69
Figura 30– FTIR para a manta T 7.2	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Revisão histórica sobre a utilização mundial de geotêxteis.....	40
Quadro 2 – Diferentes aplicações de geotêxteis.....	41
Quadro 3 – Mantas utilizadas no estudo.....	47
Quadro 4 – Parâmetros analisados e seus respectivos métodos.....	50
Quadro 5 – Descrições e Resumo das Normas Aplicadas aos Testes.....	56
Quadro 6 – Valores típicos de espectroscopia de infravermelho e os grupos correspondentes.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação das características do geotêxtil utilizado em alguns estudos	23
Tabela 2 – Classificação da água bruta para abastecimento público.....	31
Tabela 3 – Características das águas naturais em função da tecnologia de tratamento recomendada	32
Tabela 4 – Valores dos parâmetros de qualificação da água (média +/- desvio padrão)	35
Tabela 5 – Características dos resíduos de diferentes ETA's no Brasil	38
Tabela 6 – Resultados obtidos a partir das análises laboratoriais do lodo bruto.....	59
Tabela 7 – Comparativo das propriedades mecânicas, hidráulicas e físicas das amostras antes do processo de desaguamento	71
Tabela 8 – Valores de pH, cor, turbidez, DQO, DBO, sólidos e umidade obtidos para o lodo no t=0 (início do processo) para cada amostra de geotêxtil	72
Tabela 9 – Valores de sólidos e umidade para o lodo no t=7 (final do processo)	73
Tabela 10 – Valores de pH, cor, turbidez, DQO, DBO, sólidos e umidade obtidos para o líquido drenado no t=7 (final do processo) para cada amostra de geotêxtil	74
Tabela 11 – Comparativo final de pH, cor, turbidez, DQO, DBO, sólidos e umidade para as cinco mantas geotêxteis e as variações	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ETA	Estação de Tratamento de Água
PAC	Policloreto de Alumínio
DBO	Demanda Biológica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
NTU	Unidade Nefelométrica de Turbidez
NBR	Norma Brasileira Registrada
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AWWA	American Water Works Association
LD	Leito Drenante
LS	Leito de Secagem
SCR	Sistema de Confinamento de Resíduos
PP	Polipropileno
PE	Poliéster
TAS	Taxa de Aplicação de Lodo
SANEP	Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas
SAMAE	Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
NMP	Número Mais Provável
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ALAF	Água de Lavagem dos Filtros
LETA	Lodo de Estação de Tratamento de Água
SWMM	<i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i>
SV	Sólidos Voláteis
SF	Sólidos Fixos
ST	Sólidos Totais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVO GERAL.....	16
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2	ESTADO DA ARTE	18
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	24
3.1	PROPRIEDADES DA ÁGUA.....	24
3.2	TRATAMENTO DE ÁGUA.....	25
3.2.1	Coagulação e floculação	26
3.2.2	Decantação	28
3.2.3	Filtração	28
3.2.4	Desinfecção, fluoretação e neutralização do pH	29
3.3	TECNOLOGIAS PARA TRATAMENTO DE ÁGUA	30
3.3.1	ETA Convencional	33
3.4	GERAÇÃO DE LODO NAS ETAS	33
3.5	TECNOLOGIAS PARA DESAGUAMENTO DE LODO DE ETA.....	39
3.5.1	Geomembranas, Mantas Geotêxteis ou Bags	39
3.6	LEGISLAÇÃO APLICADA AO LODO	43
4	MATERIAIS E MÉTODOS	45
4.1	DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	45
4.2	MATERIAIS	46
4.2.1	Lodo	46
4.2.2	Mantas geotêxteis (bags)	47
4.2.3	Equipamentos e Vidrarias	47
4.3	MÉTODOS	48
4.3.1	Coleta e preparo das amostras de lodo	49
4.3.2	Caracterização do lodo	50
4.3.2.1	<i>Análise de pH</i>	50
4.3.2.2	<i>Análise de Cor</i>	51
4.3.2.3	<i>Análise de Turbidez</i>	51
4.3.2.4	<i>Análise de DBO</i>	52
4.3.2.5	<i>Análise de DQO</i>	52
4.3.2.6	<i>Análise de Sólidos</i>	53
4.3.2.7	<i>Análise de teor de umidade</i>	53

4.3.2.8	<i>Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier</i>	53
4.3.3	Formatação das mantas	54
4.3.4	Caracterização das mantas	55
4.3.4.1	<i>Microscopia Eletrônica de Varredura</i>	55
4.3.4.2	<i>Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier</i>	55
4.3.4.3	<i>Análise das propriedades mecânicas, hidráulicas e físicas das mantas</i> 55	
4.3.5	Deságue do lodo com o emprego das mantas geotêxteis	57
5	RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO	59
5.1	COLETA, PREPARO DAS AMOSTRAS E CARACTERIZAÇÃO DO LODO BRUTO.....	59
5.2	CARACTERIZAÇÃO DAS MANTAS GEOTÊXTEIS.....	63
5.2.1	Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV	63
5.2.2	Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier - FTIR 67	
5.2.3	Análise das propriedades mecânicas, hidráulicas e físicas das mantas 70	
5.3	DESÁGUE DO LODO NAS MANTAS	72
6	CONCLUSÕES	76
6.1	SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS	77

1 INTRODUÇÃO

A água constitui-se como item indispensável para a sobrevivência de todo e qualquer ser vivo, além de fazer parte de diversas etapas de processos industriais (CARDOSO et al., 2020). A Estação de Tratamento de Água (ETA) é responsável pelo processo de transformação da matéria-prima (a água bruta) em água tratada e própria para uso/consumo (SANTOS; CARNEIRO, 2021).

A adequação da qualidade da água é realizada por meio do processo de coagulação e floculação, seguido de sedimentação e filtração. Normalmente são utilizados coagulantes inorgânicos como sais de ferro e alumínio que geram lodos que precisam de descarte adequado (SKORONSKI *et al.*, 2020).

A NBR 10.004 (ABNT, 2004), que trata da classificação dos resíduos sólidos quanto ao risco à saúde pública e ao meio ambiente, classificou o lodo como classe II-A, não inerte, que tem como característica a combustibilidade, solubilidade em água ou biodegradabilidade, sendo que essa última característica não se aplica ao lodo de ETA. Por se tratar de subproduto, sua destinação final precisa ser adequada, seguindo procedimentos que visem reaproveitamento em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, buscando reduzir o volume de sólidos gerados e mitigar os impactos ambientais, como mencionado na Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12.305 (BRASIL, 2010). O lodo gerado em estações de tratamento de água (ETAs) é um resíduo com alto teor de umidade e, portanto, de difícil manuseio, transporte, disposição final e valoração (AVANCINI *et al.*, 2021).

O lodo quando descartado de forma inadequada pode causar desequilíbrios ambientais e problemas de saúde pública devido à lixiviação de metais pesados nos corpos hídricos (OLIVEIRA *et al.*, 2023). MOTTA *et al.* (2019) evidenciaram que a disponibilização do lodo sem prévio tratamento impacta diretamente no solo e, conseqüentemente, na atividade agrícola, devido à elevada toxicidade causada pelo alumínio. No ambiente aquático, há aumento dos níveis de íons de alumínio, que segundo BONDY (2016), compromete a saúde do ser humano.

As regulamentações legais relacionadas à saúde pública e sustentabilidade incentivam os gestores a buscar alternativas (URBAN; ISAAC, 2018). A destinação adequada pode envolver várias abordagens, dentre elas formas de desidratação, onde o lodo é submetido a processos para reduzir seu volume e teor de umidade, para facilitar o manuseio e o transporte (CARNEIRO *et al.*, 2013). Usualmente, o tratamento

do lodo, após a sua geração, inclui uma ou mais das seguintes etapas (Cassini, 2003): Adensamento: redução de umidade (redução de volume), Estabilização: redução de matéria orgânica (redução de sólidos voláteis), Condicionamento: preparação para a desidratação (principalmente mecânica), Desidratação: redução adicional de umidade (redução de volume) e Disposição final: destinação final dos subprodutos. Nas últimas décadas, tubos geotêxteis vêm sendo utilizados com sucesso para o desaguamento deste resíduo, reduzindo seu volume, facilitando seu manuseio e possível reúso (AVANCINI *et al.*, 2021).

Destaca-se a utilização de manta geotêxtil como uma alternativa, tendo em vista o baixo requisito de área e custos de implantação e manutenção (RIBEIRO, 2007).

Este trabalho avaliou o deságue do lodo gerado na ETA Central do município de Jaraguá do Sul/SC com emprego de mantas geotêxteis de cinco formações, dentre elas duas confeccionadas a partir de não-tecido (NT 0.7 e NT 1.0) poliéster e três tecidos (T 4.1, T 5.8 e T 7.2) de polipropileno. O lodo, coletado diretamente dos fundos dos decantadores, foi homogeneizado com um volume de água da retrolavagem dos filtros, na proporção 80/20. Posteriormente, as amostras de lodo foram despejadas sobre pequenas amostras de bags de geotêxtil, suportadas por um funil e dispostas desta forma ao longo de uma semana. Durante esse período, foram realizadas análises de caracterização antes, durante e após o armazenamento no geotêxtil, bem como do líquido drenado e do sólido obtido após deságue, para fins de gerar um comparativo de eficiência do geotêxtil empregado. Após o enchimento completo dos bags, as amostras de lodo foram também submetidas a análises de determinação do teor de umidade (%). Ao final, foi possível, com os valores obtidos, identificar a manta mais eficiente no deságue do lodo estudado.

1.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo geral identificar uma manta geotêxtil adequada para o deságue do lodo da ETA Central da cidade de Jaraguá do Sul/SC, por meio de ensaios físico-químicos em escala laboratorial e a avaliação de sólidos retidos em cada uma das amostras geotêxteis.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Identificar a manta com melhor eficiência, após submeter cinco tipos de amostras geotêxteis a deságue do lodo para avaliação da retenção sólida e volume de líquido drenado;
- Avaliar a eficiência das mantas por meio da determinação do teor de umidade (%), DQO e turbidez das amostras (antes e depois de 7 dias), bem como comparar os resultados obtidos;
- Caracterizar os materiais geotêxteis através de MEV, antes e após o uso, objetivando compreender possíveis interações entre o lodo e a manta após o deságue;
- Caracterizar os materiais geotêxteis através de FTIR, antes do uso, objetivando compreender quais os grupos funcionais estão presentes nos materiais;
- Caracterizar (parâmetros analisados: pH, DBO, DQO, turbidez, sólidos) o lodo e o líquido drenado, durante e após o armazenamento no geotêxtil;

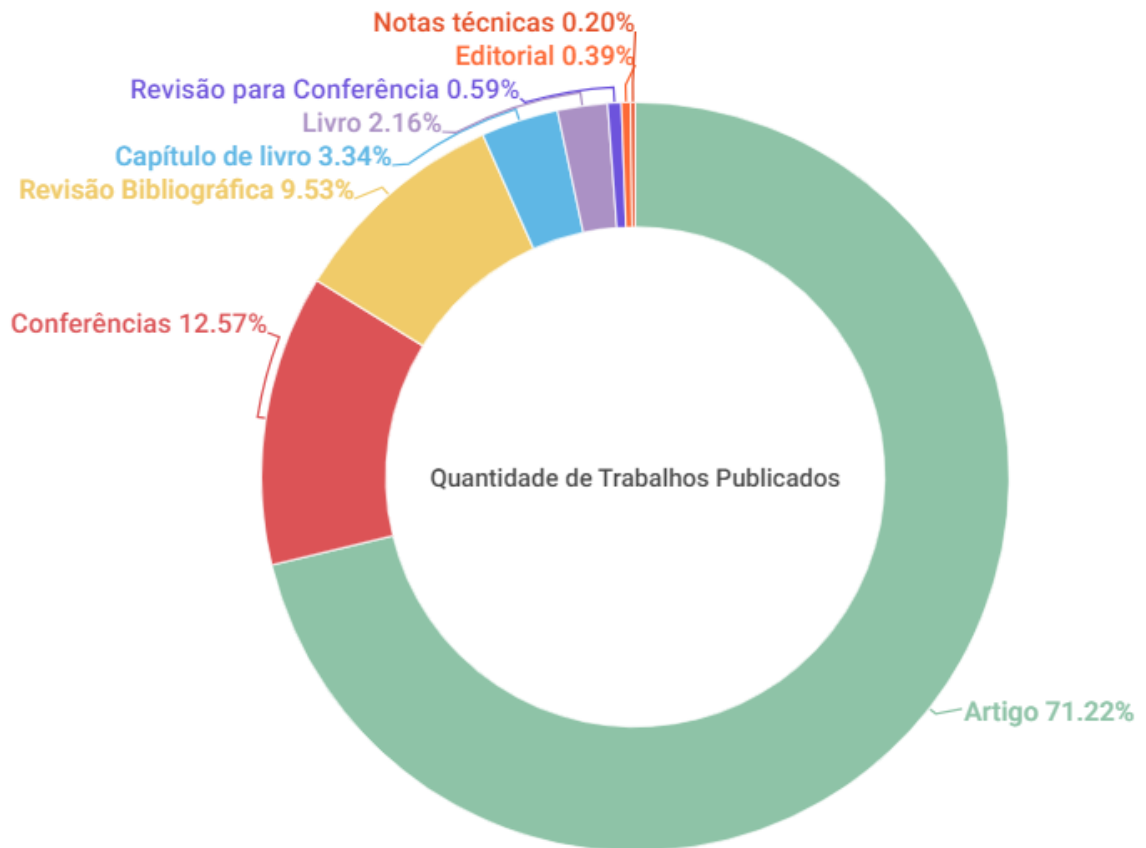
2 ESTADO DA ARTE

No contexto internacional, a partir de 1946, através da AWWA (American Water Works Association), começaram a surgir as primeiras publicações que refletiam a maior conscientização e preocupação quanto ao problema da poluição e possibilidade de escassez de água. Entretanto, alguns autores reportam que o problema dos resíduos de ETA tem sido objeto de preocupações desde a década de 30, nos EUA, mas os resultados obtidos nestes trabalhos não foram formalmente publicados (BARROSO, 2007).

Para examinar o panorama geral em relação a estudos acerca de tratamento de lodo com uso de geotêxteis, este trabalho buscou estudos publicados por meio da base de dados *Scopus*. Foram utilizadas as seguintes palavras-chave: "*sludge*" e "*geotextile*" e aplicaram-se os seguintes filtros: período (todo), idioma (todos) e tipo de publicação (todos – artigo, conferência, livros e revisões) para a realização da busca.

O resultado obtido foi de 1.018 publicações. Destes, 71,2% são artigos científicos, 12,6% trabalhos publicados/apresentados em conferências e/ou congressos, 9,5% abordam revisões bibliográficas, 3,3% são capítulos de livro e os demais 3,4% misturam-se entre livros, revisões bibliográficas para conferências/congressos, editoriais e notas, conforme ilustra a Figura 1.

Figura 1 – Modalidades de documentos publicados

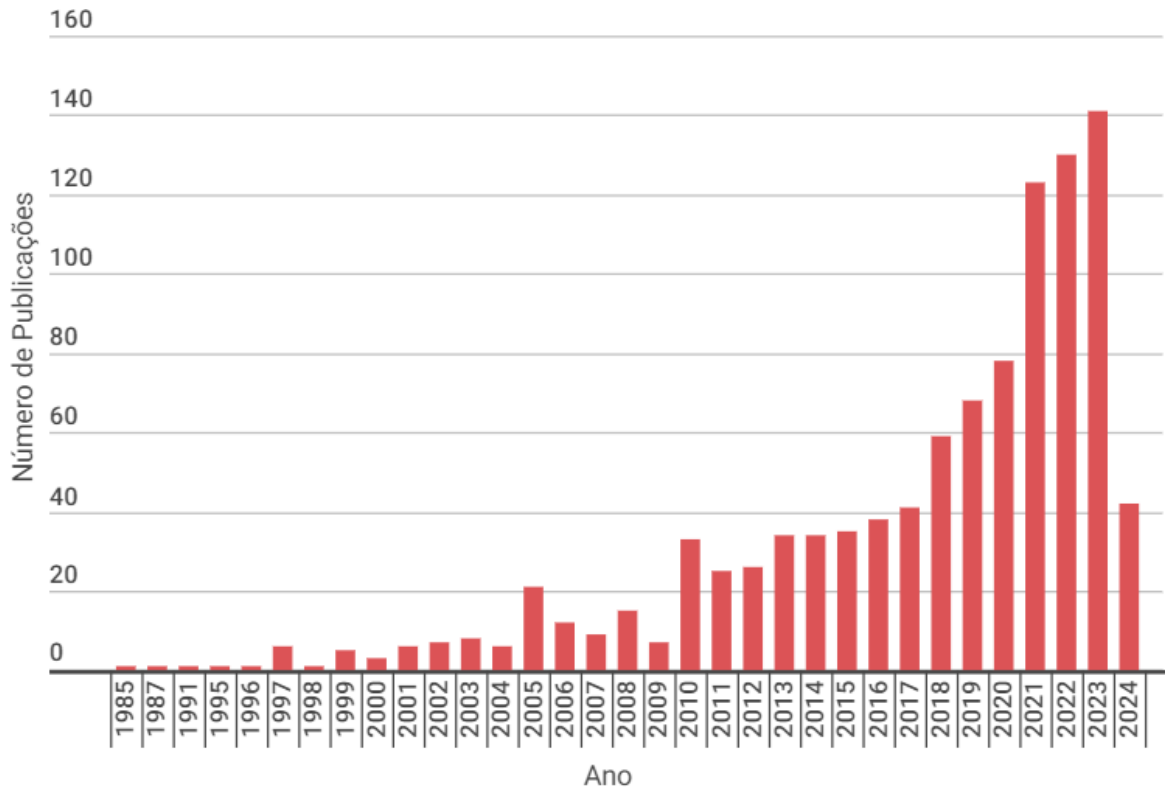


Fonte: A autora (2024)

A Figura 2 demonstra a quantidade de publicações para cada ano considerado, enquanto a Figura 3 aborda as publicações com base na nacionalidade de seus autores.

Nota-se que houve uma crescente de estudos publicados ao longo dos anos e que após o início da década de 2010, os estudos progrediram ano após ano para os dados mais recentes.

Figura 2 – Número de publicações entre 1985 e 2024

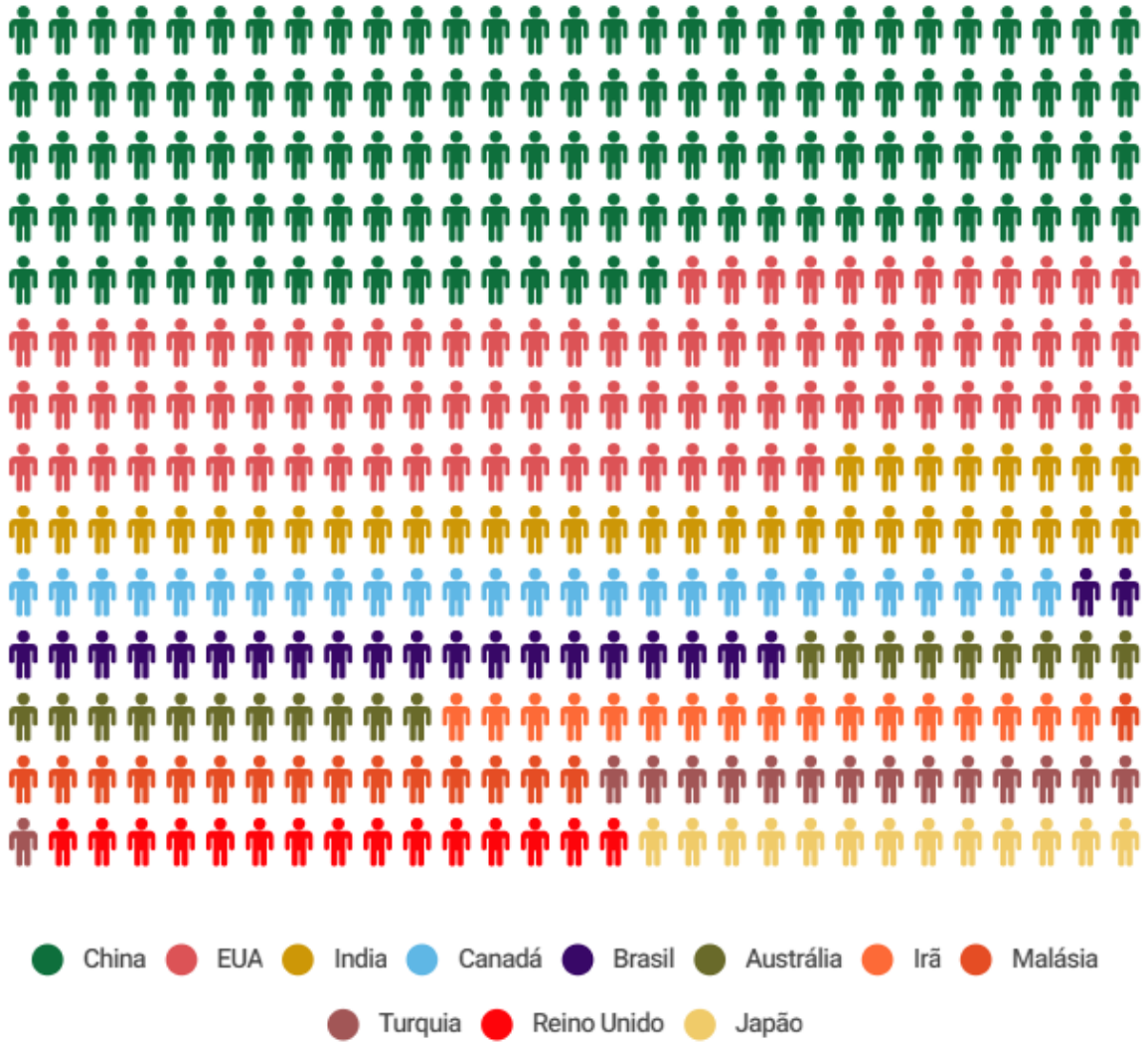


Fonte: A autora (2024)

Destaca-se também que em 1980, a AWWA fomentou a discussão sobre o problema da produção de lodo pelas ETA's, em parceria com países europeus, estimulando e promovendo trabalhos para a caracterização do lodo de ETA quanto as suas macros e micropropriedades, e os possíveis impactos desse resíduo na natureza. A partir de 1990, outros países asiáticos, alguns países da América Latina e África se uniram a AWWA e começaram a investigar e avaliar sobre o potencial tóxico desse resíduo aos cursos de água, sobre as possibilidades de tratamento, sobre a disposição final adequada para o lodo e as possíveis interferências do lançamento destes nos corpos hídricos (BARROSO, 2007), corroborando com a tendência vista na Figura 2.

Quando se analisam os países de origem destes estudos (ou a nacionalidade de seus autores), traça-se a Figura 3, onde foram representados os 11 países mais significativos da pesquisa.

Figura 3 – Publicações de acordo com suas nacionalidades



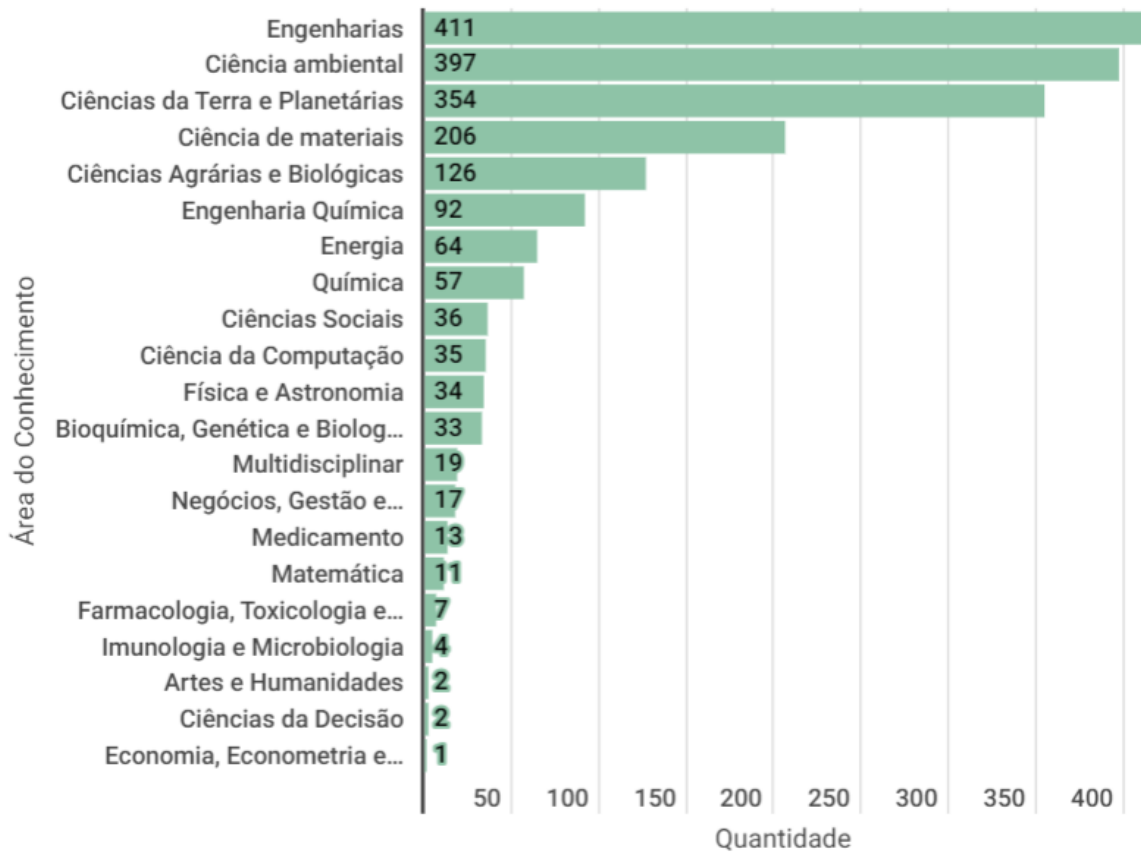
Fonte: A autora (2024)

É importante destacar que a China lidera a lista, com 302 trabalhos publicados, seguido de: EUA (com 207), Índia (84) e Canadá (60). Representando a América Latina, o Brasil ocupa a quinta posição no ranking mundial deste recorte, com 49 estudos publicados. Este fato reflete a crescente busca por soluções sustentáveis, a necessidade de cumprir regulamentações ambientais mais rigorosas e a busca por métodos mais eficientes e seguros para gerenciamento do resíduo na esfera nacional.

De acordo com a Figura 4, quando se analisam os documentos por área do conhecimento, tem-se outro panorama. Como líder, a área das Engenharias (com 21,4% dos estudos), seguidos por Ciências Ambientais (20,7%), Ciências Planetárias e da Terra (18,4%), Ciências dos Materiais (10,7%), Ciências Biológicas e Agricultura

(6,6%), Engenharia Química (4,8%), Energia (3,3%), Química (3,0%), dentre outros campos de estudo.

Figura 4 – Quantidade de Estudos por Área do Conhecimento



Fonte: A autora (2024)

Em suma, restou evidente que a Engenharia (seja ela genérica ou específica - no caso da Engenharia Química/Têxtil, por exemplo) desempenha um papel crucial neste tema de estudo, sobretudo nas buscas de soluções sustentáveis, inovação em materiais e processos, desenvolvimento de novas tecnologias para descarte adequado de resíduos e mitigação dos impactos ambientais.

Das publicações filtradas, foram elencadas 11 (onze) para desenvolver a Tabela 1 e para fundamentar os primeiros comparativos deste trabalho. Esta tabela apresenta a formatação (bag e/ou leito drenante) e o tipo de geotêxtil (polipropileno e/ou poliéster) empregado nos estudos.

Tabela 1 – Comparação das características do geotêxtil utilizado em alguns estudos

Estudo	Bag e/ou LD	Tipo de Tecido
KURODA <i>et al.</i> (2014)	LD	N.A.
SANTOS <i>et al.</i> (2014)	LD	PE
SILVEIRA <i>et al.</i> (2015)	LD	N.A.
BURGOS <i>et al.</i> (2015)	LD	PE
LUSTOSA <i>et al.</i> (2017)	LD	N.A.
MONTEIRO <i>et al.</i> (2018)	Bag	N.A.
MÜLLER e VIDAL (2019)	Bag e LD	N.A.
ARDILA <i>et al.</i> (2020)	Bag	PE e PP
SILVA <i>et al.</i> (2020)	LD	PP
URASHIMA <i>et al.</i> (2020)	LD	PP
SANTOS <i>et al.</i> (2021)	LD	N.A.

LD = Leito drenante; PP = Polipropileno; PE = Poliéster; N.A. = Não apresentado.

Fonte: Adaptado de OLIVEIRA *et al.*, 2021.

Com o estado da arte apresentado, percebe-se que a parcela de estudos relacionados ao uso de mantas geotêxteis (bags) para tratamento de lodo (especialmente, para lodo de ETA) ainda é limitada e há uma demanda emergente.

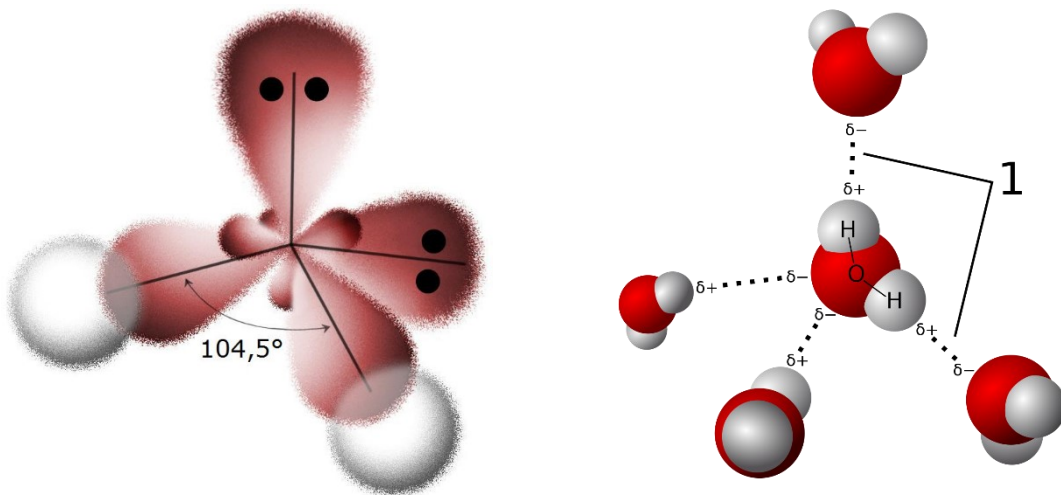
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre algumas propriedades intrínsecas à molécula de água, seu tratamento para uso doméstico, posterior geração de lodo e utilização de mantas geotêxteis para tratamento do resíduo obtido.

3.1 PROPRIEDADES DA ÁGUA

A molécula de água (H_2O) é constituída por dois átomos de hidrogênio unidos a um de oxigênio, formando um ângulo de aproximadamente 105° , correspondente à retratação da Figura 5a (abaixo).

Figura 5 – a) Estrutura da Água e (b) Polaridade



Fonte: LEHNINGER, 2008 e adaptado de ARIZONA, 2000.

Devido à forma assimétrica, a molécula resultante é positivamente carregada do lado dos átomos de hidrogênio e negativamente do lado do oxigênio. A separação de cargas ou dipolo resultante induz à formação de forças atrativas entre as moléculas de água, a que se chama de enlaces (ou pontes) de hidrogênio (RICHTER, 2009).

Várias propriedades peculiares da água são devidas às pontes de hidrogênio, demonstradas na Figura 5b. São conseqüências destas, o elevado calor de vaporização, uma forte tensão superficial, um alto calor específico e propriedades solventes quase universais.

Quimicamente sabe-se que, mesmo sem impurezas, a água é uma mistura de substâncias distintas (RICHTER e NETTO, 1991). São inúmeras as impurezas que se

apresentam nas águas naturais, várias delas inócuas, poucas desejáveis e algumas extremamente perigosas. Entre as impurezas nocivas encontram-se vírus, bactérias, parasitos, substâncias tóxicas e, até mesmo, elementos radioativos (RICHTER e NETTO, 1991).

A água pode ser encontrada na natureza em três estados físicos distintos: líquido, sólido e gasoso. No estado líquido, é essencial para a vida e amplamente utilizada em atividades cotidianas. Quando congelada, transforma-se em gelo, e no estado gasoso, conhecido como vapor, é invisível aos nossos olhos, mas está presente na atmosfera. Essa capacidade de existir em diferentes estados é fundamental para os processos naturais e para a sustentação da vida no planeta (WHITE, 2005).

3.2 TRATAMENTO DE ÁGUA

Este subcapítulo abordará, em síntese, a origem (e necessidade) do tratamento da água, algumas formas mais comuns, suas etapas, os produtos químicos utilizados e apresentará fotos e esquemas explicativos.

Em suma, a origem de uma Estação de Tratamento de Água se deu com a história da purificação da água, incluindo: esforços egípcios, gregos e romanos na purificação da água; a idade das trevas e os tempos do Renascimento; a primeira patente de filtro de água inventada em 1745 pelo francês Joseph Amy; a primeira fábrica de filtro de água moderna inventada em 1804 por John Gibb na Escócia; invenção do filtro de areia lento na década de 1820 em Londres por James Simpson; os primeiros esforços americanos de filtragem nos anos pós-Guerra Civil; a instalação de filtros lentos de areia e depois filtros rápidos de areia nos Estados Unidos; o advento da era da água segura com o uso de cloro; e demandas do consumidor e do governo do século XX (SYMONS, 2006).

No Brasil, a filtração rápida foi iniciada na instalação pioneira do mundo, construída na cidade de Campo, Rio de Janeiro, em 1880. Em 1900, existiam nos Estados Unidos apenas 10 estações purificadoras, com filtros lentos. Existem no Brasil milhares de ETA's, algumas delas entre as maiores do mundo (RICHTER e NETTO, 1991).

O objetivo fundamental das estações de tratamento de água para abastecimento público tem sido produzir água biologicamente e quimicamente segura

para o consumo humano, bem como esteticamente agradável. Para isso, são utilizados vários processos e operações que, mediante a introdução de produtos químicos, transformam a água bruta, normalmente inadequada para o consumo humano, em água de acordo com os padrões de potabilidade exigidos. Todo este processo (Fig. 6) gera, como subprodutos, uma elevada quantidade de resíduos (JANUÁRIO e FILHO, 2007).

As operações unitárias (etapas) usualmente aplicadas ao tratamento são: adução (1), coagulação (2), floculação (3), decantação (4), filtração (5), desinfecção (cloração) (6), aplicação de flúor (fluoretação) (6) e, se necessário, ajuste do pH (neutralização, com cal) (6). Após estas etapas, a água tratada é direcionada a reservatórios (e ocorre a etapa de reservação (7 e 8, na imagem) e logo após é distribuída (SANEP, 2023).

Figura 6 – Esquema simplificado do tratamento e distribuição da água tratada



Fonte: Adaptado de SABESP, 2023.

A seguir, com base em textos disponíveis em SANEP (2023), abordar-se-á alguns conceitos intrínsecos ao tratamento e aprofundar-se-á o esquema simplificado demonstrado na Figura 6.

3.2.1 Coagulação e floculação

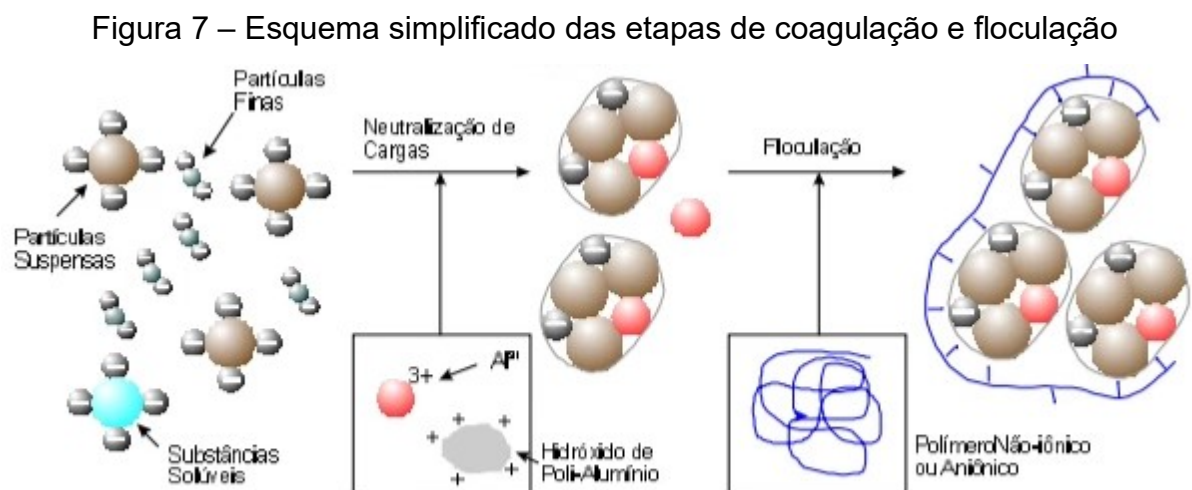
Nesta primeira etapa, o produto coagulante é adicionado com o objetivo de promover a coagulação das partículas suspensas na água, facilitando assim a formação de flocos.

Di Bernardo e Dantas (2005) descrevem que, na coagulação, o objetivo

principal é aglomerar as partículas suspensas presentes na água em flocos maiores. Isso é alcançado pela comumente adição de sulfato de alumínio ou cloreto férrico. Quando o coagulante é adicionado à água, ele neutraliza as cargas elétricas das partículas suspensas, fazendo com que elas se atraiam e se aglomerem em partículas maiores chamadas flocos. Esses flocos são mais fáceis de serem removidos da água durante os processos subsequentes de sedimentação e filtração, ajudando assim na clarificação da água.

Para que se processe uma boa coagulação, necessita-se de uma mistura intensa, conseguida através de uma agitação adequada que tem função de produzir turbulência. Esta ação assegura uma distribuição uniforme do coagulante na água. A floculação consiste na obtenção de um agrupamento e compactação das partículas em suspensão e no estado coloidal, em grandes conjuntos denominados flocos, o que se consegue através de uma agitação lenta para evitar o rompimento dos flocos adensados já formados (SCHORR, 2022).

Após a mistura, a floculação influi na preparação da decantação e indiretamente em uma boa filtração. Os flocos formados, quanto mais densos, pesados, melhor a decantação (RICHTER, 2009). Esta etapa tem como objetivo a clarificação da água, com a retirada das partículas em suspensão e dissolvidas na água, através da absorção pelos flocos, conforme retrata a Figura 7.



Fonte: KURITA, [s.d.]

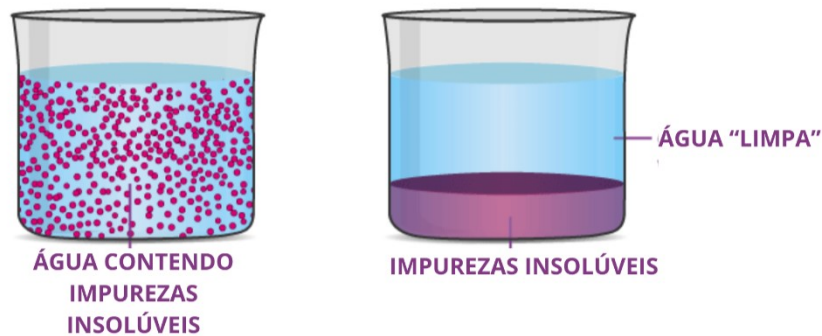
O estudo das condições operacionais da coagulação e floculação, como o tipo e a dosagem de coagulante, a intensidade da velocidade de mistura e o valor do pH de coagulação, é necessário para melhorar a eficiência do processo (REN *et al.*,

2017). Além disso, as características dos flocos, tais como tamanho, estrutura e resistência, mudam durante a floculação, com tendência de estabilização, e exercem papel importante na escolha da próxima etapa do tratamento de água (NASSER, 2014; VANDAMME *et al.*, 2014; REN *et al.*, 2017; MORUZZI *et al.*, 2017; MORUZZI *et al.*, 2019). Para o estudo das características dos flocos, determinantes no processo de separação, podem ser utilizadas técnicas de análise de imagens não intrusivas, que permitem o acompanhamento da evolução da distribuição de tamanho das partículas (DTP) e da estrutura morfológica dos flocos durante o processo de floculação (MORUZZI; REALI, 2007; BUSHELL *et al.*, 2002).

3.2.2 Decantação

É o processo de sedimentação dos flocos já formados, acumulando-se no fundo dos tanques (BITTENCOURT e PAULA, 2021), conforme representa a Figura 8. Os tanques recebem o nome de decantadores, que em geral têm a forma retangular, permitindo a saída da água límpida pela parte superior para os filtros.

Figura 8 – Esquema simplificado da etapa de decantação



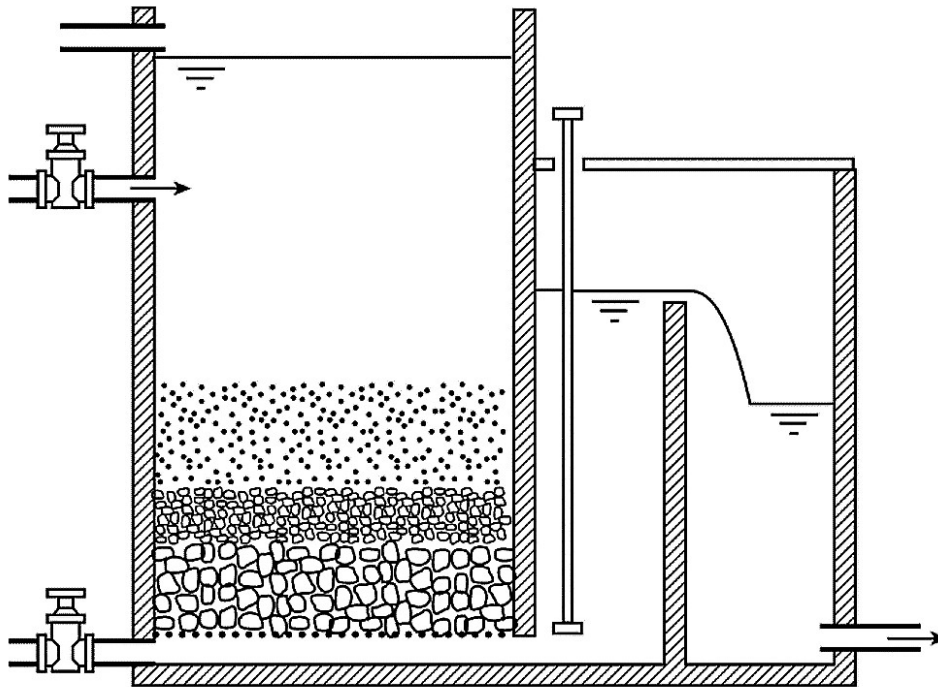
Fonte: Adaptado de BYJUS, 2023.

3.2.3 Filtração

O leito filtrante consiste em diversas camadas de areia, seixos e cascalhos (RICHTER, 2009), conforme demonstra a Figura 9. Tem como finalidade a retirada dos flocos que passam dos decantadores para os filtros e também a retenção dos microrganismos, os quais ficam retidos na malha de areia. Os filtros são limpos

diariamente para a retirada da camada gelatinosa. Esta lavagem é realizada com água tratada em fluxo inverso, através de um processo chamado de reversão.

Figura 9 – Esquema simplificado de um filtro de uma ETA



Fonte: Adaptado de SSWM, 2023

3.2.4 Desinfecção, fluoretação e neutralização do pH

A desinfecção é o processo de purificação, cuja finalidade é destruir bactérias patogênicas. Dentre as doenças veiculadas pela água não-tratada estão: cólera, febre tifoide, hepatite, amebíase, febre paratifoide, salmoneloses. Os produtos mais usados são: gás cloro e hipoclorito de cálcio (RICHTER, 2009).

A cloração é utilizada para a desinfecção, mas também para a oxidação de ferro.

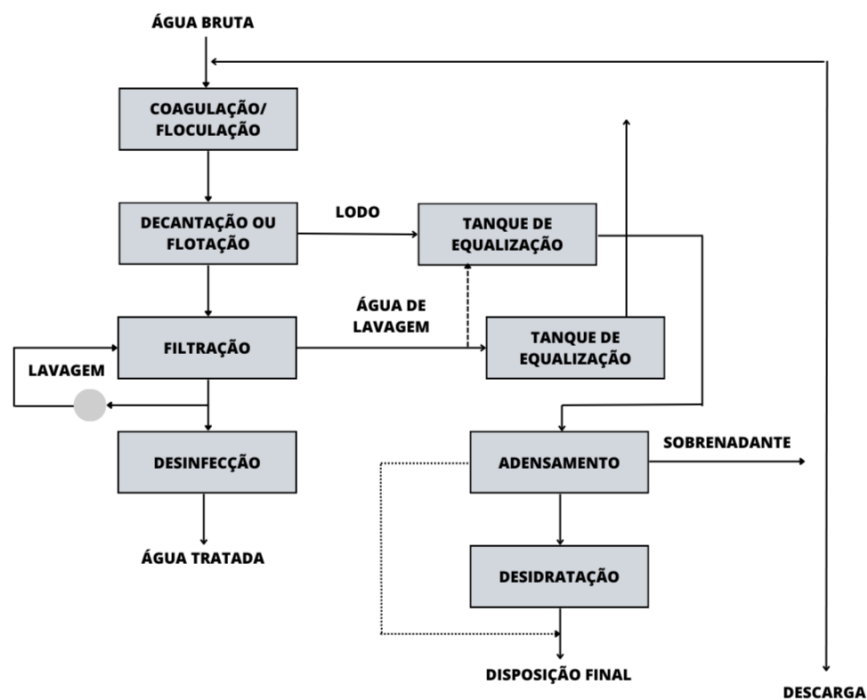
Já a fluoretação é usada para prevenir cárie dentária, promovida através de produtos químicos como: fluossilicato de sódio (Na_2SiF_6), fluorita (CaF_2), ácido fluossilícico (H_2SiF_6), dentre outros.

A neutralização do pH se processa com a dosagem de água de cal, que tem como objetivo neutralizar o pH ácido gerado pela adição do sulfato de alumínio, na etapa inicial do tratamento. O ideal é um pH entre 6,9 e 7,5. Estas dosagens são

realizadas nos reservatórios de cada estação de tratamento de água. A partir deste, tem-se uma água pronta para o consumo.

Descritas todas as etapas, consegue-se então definir o conceito de ETA Convencional (Fig. 10), que é a mais comum, completa (abrange todas as operações unitárias descritas) e é empregada em muitas áreas. É adequada para fontes de água com baixa turbidez e requer um espaço considerável para instalação.

Figura 10 – Fluxograma de uma ETA Convencional



Fonte: Adaptado de RICHTER, 2001.

3.3 TECNOLOGIAS PARA TRATAMENTO DE ÁGUA

Com base em estudos realizados por Tommasi e Sens (2022), existe uma diversidade de tecnologias disponíveis para tratamento de água (convencional, dupla filtração, filtração direta, floto-filtração, etc.) e a sua escolha depende de uma análise criteriosa, considerando diversos fatores, tais como área disponível, distância do manancial e a própria qualidade da água bruta. É importante também considerar a possibilidade de combinação de diferentes tecnologias em um sistema de tratamento integrado para obter melhores resultados em termos de qualidade da água tratada.

Segundo Edzwald (2011), esta seleção deve considerar a qualidade da água bruta de captação, os requisitos legais de remoção de contaminantes, a confiabilidade

e flexibilidade do processo de tratamento, os custos de construção, operação e manutenção do sistema, os impactos ambientais associados, as capacidades das companhias de abastecimento, a área disponível, e os requisitos de tratamento de resíduos.

É inquestionável que a qualidade da água bruta, dentre os requisitos de seleção, é o que possui maior relevância, tendo em vista a intrínseca relação da qualidade da água com a saúde pública. Assim sendo, o Ministério da Saúde (BRASIL, 2006) propõe uma hierarquização das características da água bruta, em função da dificuldade de remoção ou sua relevância na potabilização, sendo as algas o primeiro parâmetro que interfere na qualidade da água e, conseqüentemente, na decisão da metodologia de tratamento, seguido pelas *E. coli*, cor verdadeira, turbidez, ferro e manganês, alcalinidade e pH, temperatura, condutividade elétrica e compostos orgânicos, conforme expõe a Tabela 2.

Tabela 2 – Classificação da água bruta para abastecimento público

Parâmetros	TIPOS DE ÁGUA BRUTA			
	A	B	C	D
DBO 5 dias (mg/L)				
Média	Até 1,5	1,5 – 2,5	2,5 – 4,0	> 4,0
Máxima, em qualquer amostra	1,0 – 3,0	3,0 – 4,0	4,0 – 6,0	> 6,0
Coliformes (NMP/100 mL)				
Média mensal em qualquer mês	50 - 100	100 - 5000	5000 - 20000	> 20000
Máximo	> 100 cm	> 5000 cm	> 20000 cm	-
	Menos de 5% das amostras	Menos de 20% das amostras	Menos de 5% das amostras	

Fonte: BRASIL, 2006.

Considerando a variabilidade nas características da água bruta, inexistente um consenso entre os autores em relação aos limites de aplicação de cada tipo de tecnologia de tratamento. Kawamura (2000) *apud* Libânio (2010) utiliza os parâmetros turbidez, cor aparente, *E. coli* e algas para auxiliar na definição da tecnologia de tratamento (Tabela 3).

Tabela 3 – Características das águas naturais em função da tecnologia de tratamento recomendada

Parâmetro/ Tecnologia	Convencional	Dupla Filtração	Filtração Direta	Filtração Lenta	Filtração Direta em Linha
Turbidez (uT)	<3000	<50	<20	<10	<5
Cor aparente (uH)	<1000	<50	<20	<20	<15
E. coli (NMP/ 100 mL)	<10 ⁶	<10 ³	<10 ³	<10 ³	<100
Algas (UPA/mL)	<10 ⁵	<5000	<10 ³	<250	<100

Fonte: Kawamura (2000) apud Libânio (2010).

A NBR 12.216 (ABNT, 1992) classifica as águas superficiais e subterrâneas adotando nomenclaturas de “tipos de água”, classificando-as de A a D, sendo a água tipo A, de melhor qualidade, requerendo apenas desinfecção e correção de pH, por exemplo. Já as águas tipo D precisam de tratamentos especiais para atender aos padrões de potabilidade. Ainda, indicam parâmetros de DBO, coliformes, pH, cloretos e fluoretos para cada tipo de água.

A legislação sobre a água potável está disponível e é regulamentada pela Portaria GM/MS Nº 888, de 04 de maio de 2021 que altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 de setembro de 2017 no que diz respeito ao padrão de potabilidade da água e ao controle e vigilância da qualidade da água para o consumo humano. Isso significa que a partir da publicação dessa portaria, o Anexo XX da anterior passa a ter seu texto substituído por ela.

O documento estabelece regras e padrões de qualidade da água a ser utilizada para o consumo humano, além de diretrizes relacionadas ao saneamento básico e à saúde pública, como um todo. Alguns critérios estabelecidos são: pH (6,0 a 9,5), cor aparente (15 uH) e turbidez variando conforme o tipo de tratamento e o local (saída ou rede de distribuição, por exemplo). Deve também atender a certos requisitos na ordem organoléptica (não possuir odor e sabor objetáveis), física (ser de aspecto agradável; não ter cor e turbidez acima do padrão de potabilidade), química (não conter substâncias nocivas ou tóxicas acima dos limites de tolerância) e biológica (não conter germes patogênicos) (BRASIL, 2021).

Discorrido sobre os parâmetros que definirão qual o tipo de tratamento necessário e/ou recomendado, são apresentadas algumas das principais tecnologias para tratamento de água:

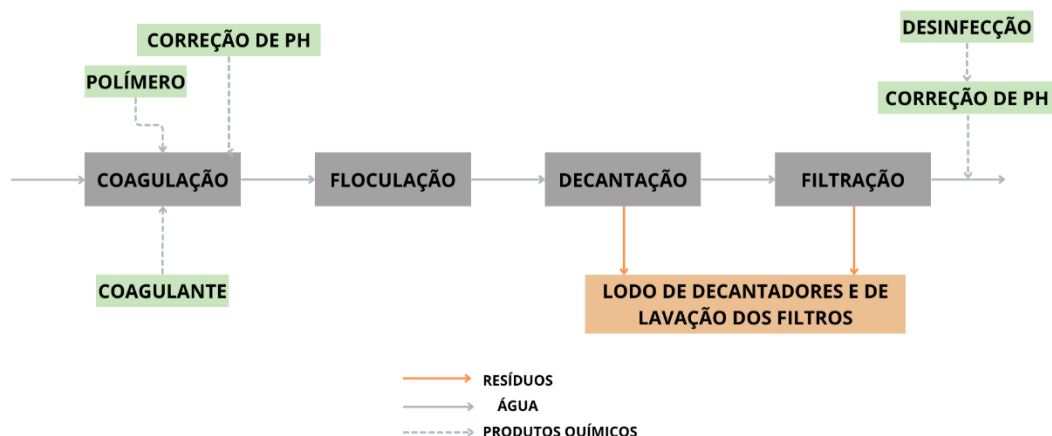
3.3.1 ETA Convencional

Diferentes técnicas de tratamento são utilizadas para adequar as características das águas brutas de cursos d'água superficiais aos padrões de potabilidade vigentes. Na estação de tratamento de água (ETA) convencional de ciclo completo, tipo mais comum de tratamento de água superficial no Brasil (ACHON *et al.*, 2013), é comum a utilização de produtos químicos, que, conjuntamente com partículas da própria água bruta, compõem os resíduos (ou lodo) deste processo.

3.4 GERAÇÃO DE LODO NAS ETAS

De acordo com Di Bernardo e Dantas (2005), dentre as etapas de tratamento de água, o lodo é o resíduo gerado nos decantadores e na lavagem dos filtros, sendo que a maior massa provém dos decantadores, conforme representa a Figura 11.

Figura 11– Representação gráfica de uma ETA convencional e os pontos onde os resíduos são produzidos



Fonte: Adaptado de Di Bernardo e Dantas, 2005.

Os principais resíduos gerados no tratamento de água são a água de lavagem dos filtros e o lodo. Estudos mostram que algumas ETA's do Brasil têm lançado esses

efluentes diretamente em corpos d'água, ocasionando assoreamento e deterioração da qualidade da água dos rios e lagos, em casos que por exemplo, não cumprem as condições para lançamento previstas na Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005 (DE OLIVEIRA; RONDON, 2016; SANTOS *et al.*, 2014).

O lodo é um material de difícil tratabilidade devido a sua umidade. Neste sentido, técnicas de desaguamento que promovam a saída da água, a retenção do particulado sólido e conseqüentemente o aumento do teor de sólidos, são interessantes (MÜLLER e VIDAL, 2019).

As características quali e quantitativas desse resíduo gerado podem variar de acordo com o processo de tratamento, dependendo desde as características físico-químicas da água de captação, dos tipos e quantidades de coagulantes adicionados, até a frequência de limpeza dos decantadores e dos filtros (RITCHER, 2001).

Os resíduos gerados no tratamento de água são provenientes das impurezas retiradas da água bruta captada, que poderiam gerar malefícios à saúde humana se consumidas. Essas impurezas, retidas e acumuladas durante o tratamento, são chamadas de lodo de ETA, o qual, segundo Silva e Isaac (2002), pode se apresentar em estado líquido ao ser agitado e em estado gel quando em descanso, sendo caracterizado como um fluido não-newtoniano, de grande volume, ou seja, apresentando alterações em sua viscosidade.

Alguns autores mencionam que o lodo de ETA é constituído por diversos tipos de compostos orgânicos e inorgânicos, como: metais, areias, argilas, silte, bactérias, vírus, entre outras partículas que já estavam presentes na água bruta (GRANDIN *et al.*, 1993). Esses resíduos acumulados, segundo Barroso e Cordeiro (2002), correspondem a uma faixa de 1 a 5% do volume total tratado nas ETA's.

Ressalta-se também que para implantação de quaisquer dos modelos propostos na literatura devem ser considerados variáveis como espaço territorial, disponibilidade financeira, clima e outras variáveis dependentes das características e exigências do lodo, as quais devem ser avaliadas em escala laboratorial antes da implantação (ACHON; BARROSO; CORDEIRO, 2008).

No Brasil, a maioria das estações de tratamento de água é convencional de ciclo completo, gerando resíduos complexos e de difícil manejo e disposição (ACHON *et al.*, 2013).

Segundo Babatunde e Zhao (2007), o lodo de ETA apresenta parâmetros com valores próximos aos descritos na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores dos parâmetros de qualificação da água (média +/- desvio padrão)

Parâmetro	Unidade	Lodo formado em	
		Lodo formado em ETA que utiliza coagulante à base de alumínio	ETA que utiliza coagulante à base de ferro
Alumínio	%*	29,7 ± 13,3	10,0 ± 4,8
Ferro	%*	10,2 ± 12,0	26,0 ± 15,5
pH	-	7,0 ± 1,4	8,0 ± 1,6
DBO	mg.L ⁻¹	45 (2 – 104)	A.D.
Chumbo	mg.kg ⁻¹	44,1 ± 38,2	19,3 ± 25,3
Cádmio	mg.kg ⁻¹	0,5	0,48 ± 0,26
Cromo	mg.kg ⁻¹	25,0 ± 20,1	25,7 ± 21,6
Sólidos Totais	mg.L ⁻¹	(2500 – 52345)	(2132 – 5074)

* Porcentagem do componente na amostra de lodo seca.

A.D. = ausência de dados

Fonte: Adaptado de Babatunde e Zhao (2007).

A constituição do lodo é variável de acordo com as características próprias da água, com o sistema utilizado para o tratamento e com as diferentes etapas e procedimentos de tratamento, a partir dos quais o resíduo é formado e essas diferenças conferem variações no lodo (SANTOS *et al.*, 2014).

Em termos volumétricos, a maior quantidade é produzida na lavagem dos filtros. Di Bernardo e Dantas (2005), no entanto, relatam que dado que uma grande quantidade de água é empregada na sua descarga, os efluentes apresentam baixa concentração de sólidos. Em termos de massa, a maior quantidade de lodo é gerada nos decantadores. Conforme observado em Barroso e Cordeiro (2002), a quantidade de sólidos presentes no lodo dos decantadores supera em até 500 vezes a de sólidos da ALAF (água de lavagem de filtros). Segundo Di Bernardo e Dantas (2005) a diferença na concentração de sólidos entre esses lodos é justificada por questões operacionais das ETA's, pois a lavagem dos filtros é realizada em intervalos de 12 a 48 horas, com duração de 4 a 15 minutos e possuem um teor de sólidos entre 0,01% a 0,05%. Já a limpeza dos decantadores convencionais sem equipamento de extração de lodo geralmente acontece em intervalos de 1 a 4 meses, já que seus resíduos são bem mais concentrados, com teor de sólidos geralmente na faixa de 4 a 13%. Centurione Filho (2002) relata que o teor de sólidos de lodos provenientes de

decantadores de alta taxa ou convencionais com equipamentos de remoção de lodo que realizam descargas diárias fica em torno de 0,1 a 1%.

No Brasil, a produção de resíduos pelas Estações de Tratamento de Água representa cerca de 1 a 4% do volume de água tratada. Ainda são poucas as Estações de Tratamento de Água (ETA) que têm sistemas de tratamento ou de desaguamento de lodo no Brasil (aproximadamente 0,5 % das ETA's) (SANTOS *et al.*, 2014).

Do ponto de vista do abastecimento de água, o uso de tecnologias mais específicas e com maior eficiência no tratamento, como a coagulação, geralmente está associado ao maior consumo de produtos químicos, gerando um maior volume de resíduos, constituídos por sólidos e precipitados químicos, que compõem uma massa de partículas orgânicas e inorgânicas, densa e viscosa, denominada lodo de estação de tratamento de água (ETA) (SILVA *et al.*, 2012). Esse resíduo é classificado, de acordo com a Norma Brasileira (NBR) 10.004 (ABNT, 2004), como um resíduo sólido não perigoso e não inerte. Na Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, estão estabelecidas as diretrizes nacionais para o manejo adequado desse lodo, com vistas à proteção da saúde pública e do meio ambiente (BRASIL, 2007). Nesse contexto, destacam-se a produção, o tratamento e a disposição adequada dos lodos gerados nas ETA's, problemática que afeta todo o Brasil e, principalmente, as regiões norte e nordeste. Segundo Achon, Barroso e Cordeiro (2013), a disposição inadequada desses resíduos contraria a legislação vigente, pois provoca impactos ambientais negativos.

Segundo Molina (2010), no Brasil, a prática comum da maioria das ETA's em operação é o lançamento de seus resíduos sem nenhum tipo de tratamento prévio, nos corpos hídricos ou terrenos próximos às estações. Essa conduta é responsável por impactos tais como: aumento da concentração de metais, principalmente alumínio (Al) e ferro (Fe) e da concentração de sólidos em suspensão; alteração no ciclo de nutrientes, principalmente fósforo (P); desenvolvimento de condições anaeróbias em águas estacionárias ou de baixa velocidade; aumento da turbidez e cor, mudança na composição química; assoreamento dos corpos receptores, pelo aumento de sólidos sedimentáveis; possibilidade de contaminação do lençol freático, dentre outros.

Achon, Barroso e Cordeiro (2013) citam que a sedimentação do lodo de ETA sobre a camada bentônica pode inibir o crescimento de várias espécies de peixes e outros organismos aquáticos. Nessa mesma linha, Mert *et al.* (2014) explicam que os

peixes absorvem metais durante a ingestão de alimentos, os quais ficam retidos em suas vísceras e tecido muscular, passando para o homem pela cadeia alimentar.

O lodo gerado deve ser corretamente tratado e destinado, representando risco de assoreamento e impactos na fauna e flora, caso incorretamente destinados a corpos hídricos (MÜLLER *et al.*, 2021).

Quando o lodo é disposto diretamente no solo, a principal preocupação é quanto à toxicidade do Al disponível, pois afeta diretamente a produtividade das culturas agrícolas. Segundo Batista *et al.* (2013), as raízes das plantas são mais sensíveis à toxicidade do Al disponível, devido não apenas à acumulação preferencial nas raízes, mas também pelo fato de as raízes apresentarem elevada área superficial e baixa densidade e ficarem em contato direto com o solo contaminado, estando assim mais sujeitas aos efeitos do Al.

Em ambientes hídricos, o lodo pode tornar disponíveis íons de Al, que podem vir a comprometer a saúde humana. Pesquisas apontam que portadores da doença de Alzheimer apresentam elevada quantidade de Al no cérebro, corroborando a ideia de que níveis elevados de Al podem estar associados a doenças neurológicas, por interferir em diversos processos degenerativos neurofisiológicos (BONDY, 2016).

O primeiro desafio, na operação de descarte do lodo, está no seu grande volume, decorrente do elevado teor de água presente. Por essa razão, torna-se necessário que, antes de se definir qualquer forma de disposição, o lodo passe por um tratamento de desidratação ou deságue. Após o devido deságue dos lodos, torna-se necessário definir a melhor alternativa de destino final, cuja forma de disposição tradicional legal é feita em aterros sanitários. Porém, várias pesquisas vêm mostrando o uso benéfico desses resíduos. Para Moreira *et al.* (2011), esse material pode ser utilizado para a recuperação de áreas degradadas. Já Takada *et al.* (2013) indicam a sua incorporação em materiais de construção civil; e Padilha *et al.* (2007) sugere a aplicação para correção de solos agriculturáveis.

De acordo com Moreira *et al.* (2009), o lodo formado nos decantadores das ETA's tem a mesma composição química dos sedimentos carregados pelas águas dos mananciais de captação, acrescido dos cátions utilizados no processo de floculação. As características do lodo, que variam em função da vazão e da turbidez da água bruta, representam a matéria em suspensão e coloidal dessa água. A concentração total de Al no lodo de ETA varia em função da dosagem do coagulante que, por sua vez, segue a proporcionalidade das vazões e turbidez da água bruta.

A quantificação do lodo gerado na ETA é fundamental para o planejamento da sua destinação final. Essa quantificação pode ser efetuada através de ensaios, como teste de jarro, fornecendo informações como quantidades de coagulantes e de lodos gerados, assim como tempos de coagulação, floculação e decantação para o dimensionamento da ETA. No que diz respeito às ETA's existentes, além de fórmulas empíricas, pode-se também usar o balanço de massa. Esse método é o mais adequado, pois relaciona a vazão e a concentração de sólidos, na entrada e saída das ETA's existentes (CORNWELL, 2006).

De acordo com ACHON *et al.* (2008), na Tabela 5, encontram-se as características dos resíduos de decantadores e de água de lavagem de filtros (ALAF) de diferentes ETA's brasileiras.

Tabela 5 – Características dos resíduos de diferentes ETA's no Brasil

Parâmetros	Unidade	Lodo de decantadores			Água de lavagem dos filtros	
		ETA 1	ETA 2	ETA 3	ETA 1	ETA 3
pH	-	7,2	7,4	8,93	6,9	8,4-9,2
Sólidos	mL/L	-	-	-	3,4	-
Sedimentáveis						
Sólidos suspensos	mg/L	26520	15330	775	59	200-440
Alumínio	mg/L	11100	30	2,16	0,3	-
Cádmio	mg/L	0,02	0,27	ND	ND	ND
Chumbo	mg/L	1,6	1,06	ND	ND	0-1,5
Cobre dissolvido	mg/L	2,06*	0,91*	1,7*	0,06*	-
Cromo III	mg/L	1,58*	0,86*	0,19	ND	0-0,56*
Ferro solúvel	mg/L	5000	4200	214	6,9	8,7-31,9
Níquel total	mg/L	1,8	1,16	ND	ND	0 - 0,01
Zinco total	mg/L	4,25	18,53	0,1	0,064	0 - 0,01

N.D. = ausência de dados

Fonte: Adaptado de ACHON *et al.* (2008).

Alternativa esta bastante satisfatória e eficiente em curto prazo devido a crescente exigência dos órgãos ambientais acerca da disposição dos resíduos das ETA, o excesso de água decorrente do processo é drenado através dos poros da manta geotêxtil, resultando numa desidratação efetiva e uma redução do volume de água, redução está que permite que cada unidade do tratamento do lodo possa ser

preenchida por enchimentos sucessivos, até que o volume disponível seja quase inteiramente ocupado pela fração sólida existente no rejeito (FRANCO *et al.*, 2010).

3.5 TECNOLOGIAS PARA DESAGUAMENTO DE LODO DE ETA

Uma solução de disposição do lodo adequada seria os aterros. No entanto, o volume e o peso são elevados devido à grande quantidade de água presente nos interstícios das partículas de lodo, e logo, os custos de disposição e transporte também (ACHON; BARROSO; CORDEIRO, 2008). Assim, a redução de seu volume, através da drenagem da água livre e secagem, apresenta-se como uma alternativa para viabilizar este descarte (PEREIRA e SILVA; SILVA; QUEIROZ, 2018).

Segundo Burgos *et al.* (2015), o desaguamento pode ocorrer através de sistemas naturais ou mecanizados, sendo os primeiros mais vantajosos em termos de custo, por não requerer equipamentos sofisticados e consumo de energia elétrica. Além disso, as condições climáticas e disponibilidade de área em algumas regiões do Brasil favorecem esse tipo de solução. O tratamento do LETA (Lodo de ETA) é uma das ações da gestão do resíduo que visam, prioritariamente, a remoção de água e consequente redução do volume do resíduo. Existem diversas tecnologias como centrífugas, filtros prensa de esteira, de placas, de parafuso, leitos de drenagem e de secagem, geotecido, entre outros (DI BENARDO, DI BERNARDO, FILHO, 2002).

Diversos estudos têm mostrado a aplicação de tecido geossintético de alta resistência, que funciona como meio filtrante no processo de desaguamento do lodo, seja em leitos drenantes ou em sistemas fechados de confinamento de resíduos (SCR), também denominados *bags* ou *geobags* (KIYOMI *et al.*, 2014; SANTOS *et al.*, 2014; SILVEIRA *et al.*, 2015).

3.5.1 Geomembranas, Mantas Geotêxteis ou Bags

Geomembrana é um material flexível e manufaturado, fabricado a partir de produtos sintéticos ou betuminosos, cuja função é possibilitar uma camada impermeável para controlar a percolação e o fluxo de líquidos e, em alguns casos, também de gases (VAN SANTVOORT, 1994).

Segundo Miki *et al.* (2006), o uso de geotêxtil na desidratação de lodo teve origem nos materiais utilizados na construção de diques de contenção na Holanda.

Uma breve revisão histórica sobre a utilização mundial dos materiais abordados pode ser conferida no Quadro 1.

Quadro 1 – Revisão histórica sobre a utilização mundial de geotêxteis

Década	Acontecimento
50	Aplicações de Geotêxteis como elementos de filtro para proteção antierosiva em obras hidráulicas em alguns países
60	Aplicação de geotêxteis como elemento separador e de reforço entre materiais com características mecânicas e físicas diferentes, principalmente em obras viárias. Fato importante nesta década foi o início da utilização dos geotêxteis não-tecidos na Europa
70	Aplicações em reforço de grandes aterros e barragens, utilização em camadas múltiplas em taludes e muros de contenção, introdução como elemento prolongador da vida útil de recapeamentos asfálticos e superestruturas ferroviárias; 1971 - Iniciou-se a Era dos Geossintéticos no Brasil com a fabricação do primeiro geotêxtil não tecido; 1977 - foi realizada, na França, a International Conference on the Use of Fabrics in Geotechnics, quando o prof. Jean Pierre Giroud criou e propôs a utilização dos termos “geotêxtil” e “geomembrana”
80	Utilização dos Geossintéticos na recuperação de áreas poluídas e na construção de obras de contenção e proteção ambiental; 1982 – Ocorreu a II Internacional Conference on Geotextiles nos EUA; 1983 – Criação da IGS, então denominada International Society on Geotextiles; 1986 – Ocorre a III International Conference on Geotextiles, na Áustria;
90	O impulso gerado pelos estudos teóricos apresentados, de casos históricos e novas aplicações, desencadearia o surgimento de uma multiplicidade de produtos e usos que, ao se combinarem, têm gerado inúmeras novas utilizações importantes; 1995 – Ocorre o 2º Simpósio Brasileiro sobre Aplicações de Geossintéticos, em São Paulo; 1999 – Ocorre o 3º Simpósio Brasileiro sobre Geossintéticos / 1º Simpósio Sul-americano de Geossintéticos, realizado no Rio de Janeiro.

Fonte: Adaptado de CTGABINT, 2023.

Os tubos geotêxteis são elementos tubulares feitos de material geotêxtil (tecido de alto módulo que são preenchidos com uma mistura de areia e água). Estes tubos são usados para aplicações de controle de erosão em margens e áreas costeiras e também como elementos para a construção de diques e desidratação de lodos (BIDIM WAVIN, 2021). Além de tubos, também podem ser projetados em formato de bolsas (bags), conforme demonstra a Figura 12.

Figura 12 – Bags aplicados no tratamento de lodo industrial



Fonte: Adaptado de SNATURAL, 2023.

Com base no Quadro 2, de maneira geral e conforme a NBR 12.553 (ABNT, 2010) este material pode ser utilizado em diferentes práticas em obras civis e ambientais, como:

Quadro 2 – Diferentes aplicações de geotêxteis

Etapa	Objetivo
Filtração	Retenção de partículas, permitindo a passagem de fluidos
Drenagem	condução de fluido através do geotêxtil
Reforço	Utilização de propriedades mecânicas para aperfeiçoamento do comportamento mecânico do solo
Separação	Impedimento da mistura de dois materiais ou solo de natureza distinta

Fonte: Adaptado de NBR, 2003.

Há variações quanto ao material (polipropileno e poliéster) e processo de produção dos geotêxteis, como tecidos e não tecidos. Para o desenvolvimento do trabalho de SANTOS *et al.* (2014), foram avaliados geotêxteis do tipo não tecido

agulhado, por exemplo. Segundo a NBR 12.553 (ABNT, 2010), este tipo de geotêxtil é um material composto por fibras mecanicamente entrelaçadas e distribuídas aleatoriamente.

Nos Bags de geotêxtil, é necessária a utilização de polímeros, que vão ajudar na desidratação do lodo (DI BERNARDO et al., 2011). De acordo com as vantagens mencionadas por MIKI et al. (2000) no uso de polímeros, ocorrem reduções significativas na umidade do lodo, tornando-o mais compacto e simplificando o processo de desidratação. Isso facilita tanto o manuseio quanto a disposição final do lodo.

Nas últimas décadas, os tubos geotêxteis vêm sendo utilizados no desaguamento de diversos tipos de materiais com alto teor de umidade, como resíduo de mineração, resíduo de estação de tratamento de esgotos, sedimento contaminado de indústrias e efluentes de aterro sanitário (SILVA et al., 2020).

No Brasil, muitas das ETA's ainda não dispõem de mecanismos que garantam o destino correto dos resíduos gerados em seu processo de tratamento. Contudo, há poucos trabalhos científicos que abordem o tratamento do resíduo gerado em estações de tratamento de água utilizando a filtração em geotêxtil (SILVA et al., 2020).

Nos métodos de desaguamento naturais, ou não mecânicos, não são utilizados equipamentos ou acessórios mecânicos, mas apenas agentes naturais como a gravidade e a evaporação. Os dispositivos mais comuns são as lagoas de lodo, os leitos de secagem, os leitos de drenagem e o emprego de geotêxtil para filtração. Os métodos naturais possuem como limitante, para o uso em estações maiores, a grande área requerida para sua instalação (FROTA; GEHLING, 2019).

Vários estudos têm mostrado a eficiência das técnicas naturais de desaguamento do lodo das estações de tratamento de água no Brasil, objetivando a avaliação de sistema de desaguamento por leito de drenagem/secagem, com manta geotêxtil dos lodos de decantadores, por exemplo. No estudo de Silveira et al. (2015), duas diferentes estações de tratamento de água foram analisadas, em ensaios de laboratório e escala reduzida. Na fase de secagem, foi possível obter teores de sólidos totais entre 15,9 e 20,3%, cujos valores são da mesma ordem de grandeza que aqueles obtidos por desaguamentos mecânicos, mesmo em condições críticas de secagem.

De acordo com (SILVA *et al.*, 2020), atualmente, existem muitas incertezas sobre os parâmetros de projeto que devem ser adotados e sobre qual a combinação de geotêxtil e condicionante químico que otimiza o desaguamento destes resíduos.

Segundo Cordeiro (2001), a substituição da camada filtrante nos Leitões de Secagem por membranas geotêxteis apresenta muitas vantagens como possibilidade de maior controle sobre a colmatação dos poros e maiores vazões de drenado, o que consequentemente contribui com redução do tempo de drenagem.

Silveira *et al.* (2015) diz que esses Bags podem ser lavados e reutilizados 20 a 30 vezes, eles podem ser horizontais, usados em locais de maior área e verticais, para menores áreas.

3.6 LEGISLAÇÃO APLICADA AO LODO

Somente nos últimos anos, o tratamento e a disposição dos resíduos da indústria da água têm recebido a devida atenção. Notadamente, com a criação da Lei nº 9.433 (BRASIL, 1997) (Política Nacional de Recursos Hídricos), Lei nº 11.445 (BRASIL, 2007) (Lei do Saneamento Básico), Resolução CONAMA nº 430 (CONAMA, 2011), Resolução CONAMA nº 357 (CONAMA, 2005), Resolução ANA nº 1439 (ANA, 2013) e determinadas legislações estaduais e municipais que exigem dos gestores dos sistemas de abastecimento de água medidas que garantam a redução do volume de resíduos gerados e a disposição correta destes no ambiente, condenando a disposição do lodo sem tratamento nos cursos de água, e a partir de 2014, até mesmo nos aterros sanitários (SANTOS *et al.*, 2014).

Na maioria dos municípios brasileiros, estes lodos ainda são despejados sem nenhuma forma de tratamento, contribuindo com a degradação da qualidade dos mananciais. O lodo é constituído de materiais inorgânicos como siltes e sílicas, matéria orgânica degradável, com presença de microrganismos patogênicos e metais, oriundos do próprio manancial de captação ou do coagulante utilizado durante o processo de coagulação (MORAES *et al.*, 2019).

Ainda que, a legislação vigente exija o adequado tratamento desse lodo antes da sua disposição final, essa não é a realidade observada em grande parte dos sistemas de tratamento de água implantados antes das legislações, que em sua maioria encaminha seus resíduos diretamente para o curso d'água mais próximo (FROTA *et al.*, 2021).

No Brasil, há previsão de licenciamento ambiental de atividades potencialmente poluidoras (a exemplo das ETA's) através das legislações nº 9.433 (BRASIL, 1997), 9.605 (BRASIL, 1998) e a Resolução do CONAMA nº 237 (BRASIL, 1997).

Com a maior preocupação e conscientização quanto ao volume e disposição final do lodo começaram a surgir trabalhos que propõem medidas para tratamento do lodo de ETA.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo está dividido em três partes. A primeira consiste na descrição do local onde foram coletadas as amostras e realizadas as análises, a segunda descreve os materiais e a terceira descreve a metodologia empregada no estudo.

4.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

O sistema de abastecimento de água da cidade de Jaraguá do Sul/SC conta atualmente com duas estações de tratamento e é administrado por uma autarquia municipal: o Samae. A planta principal (denominada ETA Central, vista na Figura 13) está situada no bairro Água Verde (georreferenciamento: 26° 28' 23.57" S 49° 6' 4.46" W) e atende 80% da população jaraguaense. Com as duas balsas de captação operando simultaneamente, a capacidade de tratamento chega a 1.200 L/s (SAMAE, 2023).

Figura 13 – ETA Central e sua localização



Fonte: Google Maps, 2023.

O manancial utilizado para realizar a captação da água é o Rio Itapocu, um corpo hídrico de 109 km de extensão e que possui suas nascentes na serra do mar e drena suas águas para o Oceano Atlântico (SIRHESC, 2023).

O manancial, conforme descrito no Artigo 42 da Resolução 357 (CONAMA, 2005), é considerado Classe 2 e a ETA Central (cuja tecnologia é convencional) tem uma produção de lodo de aproximadamente 100 ton/ano.

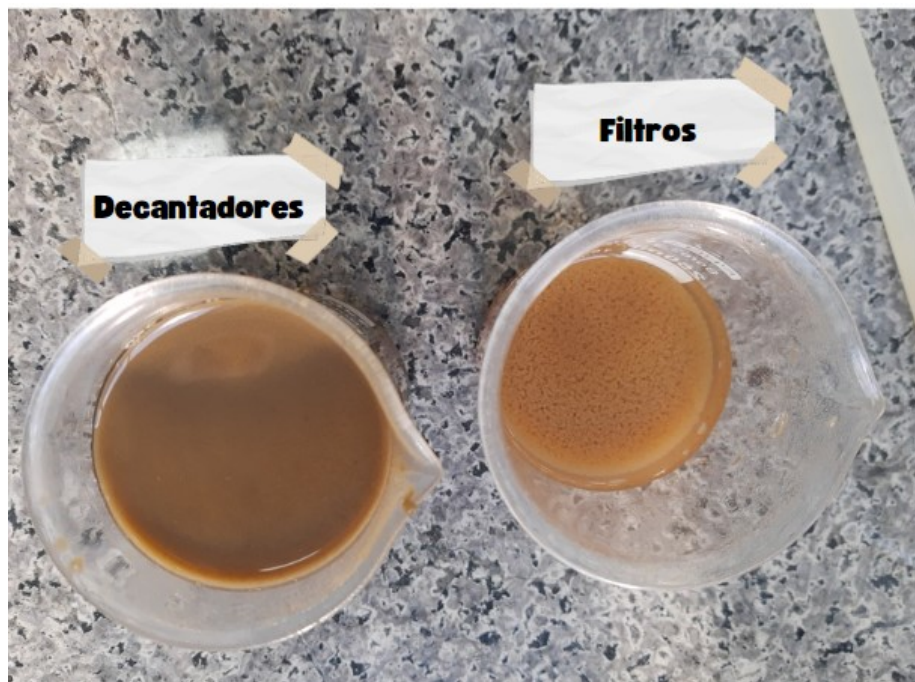
4.2 MATERIAIS

Para a realização dos experimentos deste estudo, foram utilizados: LETA (Lodo de Estação de Tratamento de Água), mantas geotêxteis (bags) e acessórios e equipamentos, tais como suportes universais, funis, pinças, béqueres e erlenmeyers para montagem da bancada experimental.

4.2.1 Lodo

O lodo estudado encontrava-se na forma líquida (conforme ilustra a Figura 14) e era proveniente das etapas de filtração e decantação da ETA.

Figura 14 – Amostras de lodo dos decantadores e dos filtros



Fonte: A autora, 2023.

Escolheram-se, então, duas etapas do processo para coleta: os decantadores e os filtros, pois são estas as operações unitárias que retêm mais sólidos.

Tendo em vista que os dois lodos possuem características bastante distintas (decantador: muito sólido e menos água e filtro: bastante água e pouco sólido), optou-se por criar uma mistura na proporção: 80% de lodo do decantador e 20% de lodo dos filtros para o deságue.

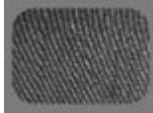
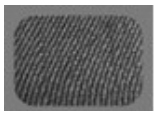

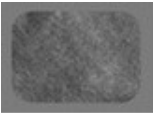
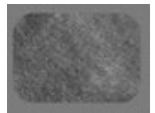
4.2.2 Mantas geotêxteis (bags)

Foram utilizados cinco tipos/amostras de mantas e suas identificações seguiram o padrão da fábrica: T 4.1, T 5.8, T 7.2, NT 0.7 e NT 1.0. A letra “T” no início indica que são tecidos e “NT”, não-tecidos.

As amostras T 4.1, T 5.8 e T 7.2 são compostas de polipropileno, estruturadas em uma rede estável de modo que os poros mantenham sua posição relativa, além de serem inertes à degradação biológica e resistentes a produtos químicos. Já as amostras NT 0.7 e NT 1.0 são geotêxteis do tipo não-tecido produzidos com fibras cortadas de poliéster combinadas com polipropileno, agulhadas e consolidado termicamente por calandragem.

As características gerais das mantas geotêxteis utilizadas no trabalho são apresentadas no Quadro 3. Conforme fichas técnicas (SNATURAL, 2023), as mantas são fabricadas com geotêxteis de alta tenacidade, inertes às degradações biológicas e resistentes aos ataques de produtos químicos como álcalis e ácidos.

Quadro 3 – Mantas utilizadas no estudo

	T 4.1	T 5.8	T 7.2	NT 0.7	NT 1.0
NOME / FOTO ILUSTRATIVA					
Matéria-prima	PP	PP	PP	PS/PP	PS/PP
Material	Tecido	Tecido	Tecido	Não-tecido	Não-tecido
Cor	Preto	Preto	Preto	Preto / Cinza	Preto / Cinza

Legenda: PP: polipropileno / PS: poliéster.

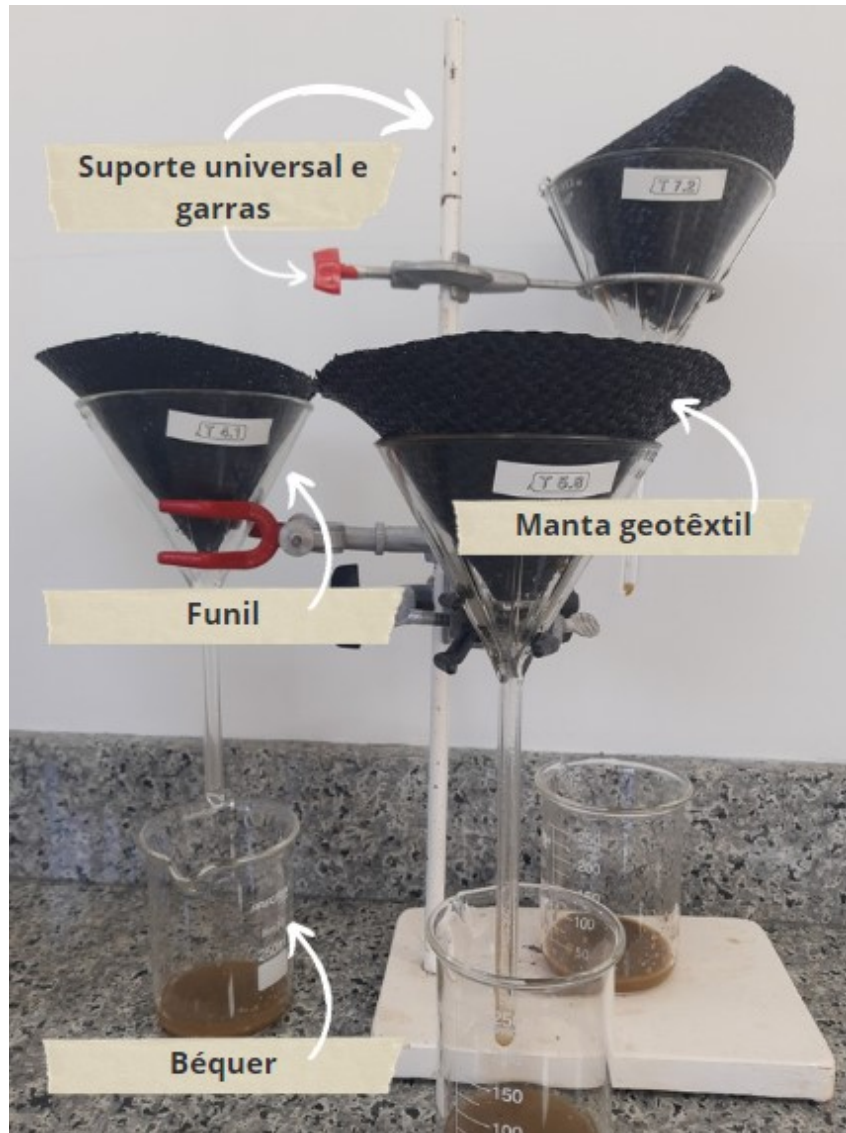
Fonte: Adaptado de SNatural, 2023.

As amostras foram doadas por um fabricante nacional de remediação ambiental com técnicas e equipamentos de baixo impacto ambiental e sobretudo de geomembranas/geotêxteis (chamado SNatural Ambiente, de São Paulo/SP).

4.2.3 Equipamentos e Vidrarias

Para dar sustentação à manta, foram utilizados: suporte universal, funil de vidro e pinças, conforme retratado na Figura 15.

Figura 15 – Bancada experimental montada



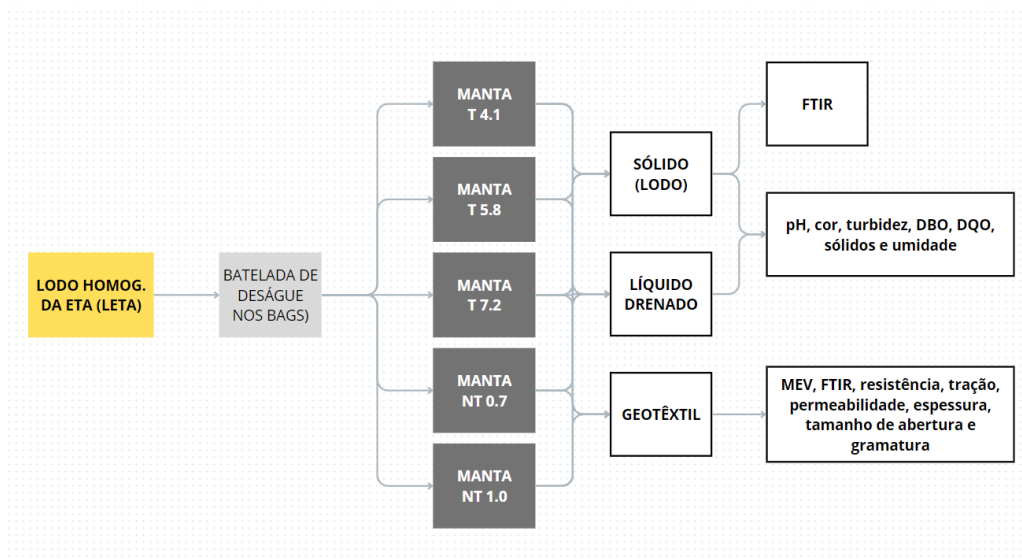
Fonte: A autora, 2023.

4.3 MÉTODOS

A técnica de desaguamento abordada neste estudo é com bolsa geotêxtil, também conhecida como sistema de confinamento de resíduos (SCR) (IGSBR, 2014).

A Figura 16 exemplifica a metodologia abordada neste trabalho:

Figura 16– Fluxograma da metodologia e análises deste trabalho



Fonte: A autora (2023)

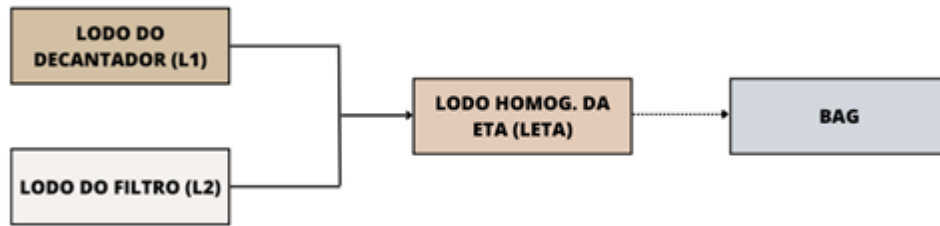
4.3.1 Coleta e preparo das amostras de lodo

A coleta do lodo do decantador foi realizada quando houve “descarte de fundo”, procedimento operacional em que acontece a lavagem da parte mais baixa do tanque (decantador). O procedimento dura em torno de 2 minutos e esta limpeza acontece, em situações convencionais, em um intervalo de 24 horas entre uma operação e outra. A cada quinzena, acontece o esgotamento total do decantador (seca-se a água nele contida e chama-se de descarga total) e além do descarte do fundo, lavam-se as paredes, válvulas e demais equipamentos inerentes ao processo. Com um balde, durante o descarte do fundo, foram coletados aproximadamente 10 litros de material.

Sobre o lodo dos filtros, operacionalizou-se a coleta da seguinte forma: quando o operador da estação iniciou a retrolavagem, escolheu-se um filtro (a cada módulo, são 05 filtros) e verificou-se que os primeiros instantes (cerca de 1,5 minutos) continham pouca carga de sólidos e não foram coletadas amostras neste período. Quando se visualizou a saída pelas canaletas de água com bastante carga de sólidos, coletaram-se as amostras (aproximadamente 10 L). Após 8 minutos, o descarte começa a ficar com baixa carga novamente.

Os materiais coletados passaram por uma homogeneização (misturou-se, visto que o lodo do decantador é mais concentrado em sólidos que o dos filtros) e estabilização para posterior deságue nos bags. A Figura 17 esquematiza a situação.

Figura 17 – Origem do lodo utilizado no estudo



Fonte: A autora (2023)

4.3.2 Caracterização do lodo

As análises foram realizadas de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005) e os procedimentos utilizados encontram-se resumidos no Quadro 4 (abaixo).

Quadro 4 – Parâmetros analisados e seus respectivos métodos

PARÂMETRO	EQUIPAMENTO	MÉTODO
Potencial Hidrogeniônico - pH	pHmetro/potenciômetro	SMWW, 23ª Edição, Método 4500-H+B
Cor aparente (Hazen)	Colorímetro (método da comparação visual)	SMWW, 23ª Edição, Método 2120B
Turbidez (NTU)	Turbidímetro	SMWW, 23ª Edição, Método 2130B
DBO (mg/L)	-	SMWW, 23ª Edição, Método 5210 D / SMWW, 23ª Edição, Método 2540 B
DQO (mg O ₂ /L)	-	SMWW, 23ª Edição, Método 5220 D
ST	-	SMWW, 23ª Edição, Método 2540
SV e SF	-	SMWW, 23ª Edição, Método 2540
Teor de Umidade	Determinador de umidade	SMWW, 23ª Edição, Método 2540 G

Fonte: Adaptado de APHA, 2003.

4.3.2.1 Análise de pH

As análises de pH aconteceram no LA (Laboratório de Águas) do Samae de Jaraguá do Sul/SC e os materiais necessários para a análise foram potenciômetro, cubetas, frasco lavador; papel absorvente e soluções tampão de pH conhecido. Os procedimentos adotados para a análise do pH foram ligar o aparelho e esperar a sua estabilização; lavar os eletrodos com água destilada e enxugá-los com papel absorvente; calibrar o aparelho com as soluções padrão (pH 4 - 7 ou 9); lavar novamente os eletrodos com água destilada e enxugá-los; introduzir os eletrodos na amostra a ser examinada e fazer a leitura; lavar novamente e deixá-los imersos em água destilada e por fim, desligar o aparelho.

4.3.2.2 *Análise de Cor*

Neste trabalho, utilizou-se a técnica de determinação através de comparação visual e as leituras aconteceram no LA do Samae de Jaraguá do Sul/SC.

Os materiais necessários foram tubos de Nessler de 50 ml, suporte de madeira e solução-padrão de Cloroplatinato de Potássio (500 Unidades de Cor). Os procedimentos adotados, resumidamente, foram: preparo de Padrões de Cor na faixa de 5 a 50 unidades de cor, medindo 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 6,0 e 7,0 ml da solução padrão (500 Unidades de Cor) e disposição destes em tubos de Nessler de 50 ml. Após, diluiu-se com água destilada até a marca de 50 mL e mediu-se 50 mL da amostra em outro tubo de Nessler e compararam-se com os padrões. O resultado foi expresso em unidade Hazen (uH).

Notas: (a) a comparação foi feita olhando os tubos verticalmente contra um fundo branco; (b) os padrões são protegidos contra evaporação e poeira; (c) quando a cor da amostra for maior do que 70 unidades, fez-se diluição até que se obtivesse resultado dentro da faixa coberta pelos padrões. Neste caso, o resultado obtido foi multiplicado pelo fator de diluição.

4.3.2.3 *Análise de Turbidez*

Neste trabalho, fez-se uso da técnica de determinação da turbidez utilizando a metodologia nefelométrica. As leituras aconteceram no LABETA (Laboratório da ETA). Os materiais utilizados foram turbidímetro com nefelômetro, células de

amostras de vidro incolor (quartzo), balão volumétrico de 100 ml, pipeta volumétrica de 5 ml, conjunto de filtração e filtros de membrana de 0,2 μm . O reagente utilizado foi água isenta de turbidez (água destilada filtrada em membranas de 0,02 μm de porosidade, aproximadamente).

Procedimentos adotados: calibrou-se o turbidímetro de acordo com as instruções do fabricante; (a) *para medida de turbidez menor que 40 NTU*: agitou-se a amostra suavemente e esperou-se até que as bolhas de ar desaparecessem e despejou-se na célula de amostra do turbidímetro (cubeta); fez-se a leitura da turbidez diretamente na escala do instrumento e (b) *para medida de turbidez acima de 99 NTU*: diluiu-se a amostra com um ou mais volumes de água isenta de turbidez até que a turbidez da amostra diluída fosse lida pelo equipamento. Por fim, em caso de diluição, a leitura foi multiplicada pelo resultado pelo fator de diluição.

4.3.2.4 *Análise de DBO*

As análises foram realizadas no LE (Laboratório de Efluentes) do Samae de Jaraguá do Sul/SC. Em suma, os procedimentos utilizados para estas análises foram: inicialmente, coletou-se uma amostra em uma garrafa de DBO, garantindo que esteja livre de bolhas de ar. Logo após, adicionou-se uma solução para fornecer nutrientes essenciais para a atividade microbiana. As garrafas foram incubadas no escuro a uma temperatura especificada (20°C) por cinco dias. Por fim, mediu-se as concentrações iniciais e finais de oxigênio dissolvido usando um medidor de oxigênio dissolvido e calculou-se a DBO determinando a depleção (diminuição ou esgotamento) de oxigênio durante o período de incubação.

4.3.2.5 *Análise de DQO*

Este método utilizou um eletrodo de oxigênio para medir a concentração de oxigênio dissolvido em uma amostra de água e foi realizado também no LE (como a análise de DBO) do Samae de Jaraguá do Sul/SC.

Resumo do procedimento adotado: calibração do eletrodo com padrões conhecidos de oxigênio dissolvido. Posterior imersão do eletrodo na amostra de água

para medir a concentração de oxigênio dissolvido. Os resultados foram expressos em miligramas por litro (mg/L).

4.3.2.6 *Análise de Sólidos*

Foram realizadas três análises para sólidos: totais (ST), voláteis (SV) e fixos (SF). Os experimentos foram realizados no LE do Samae de Jaraguá do Sul/SC. Para os Sólidos Totais (ST), foi adotada a seguinte metodologia: pesou-se uma alíquota representativa da amostra, secou-se a amostra em um forno mufla a uma temperatura em torno de 103 a 105°C até se atingir peso constante. O peso final após a secagem representou os sólidos totais. Para os Sólidos Fixos (SF), após a determinação dos sólidos totais, incinerou-se a amostra a uma temperatura ainda mais elevada (550-600°C) até que todos os materiais orgânicos foram oxidados. O resíduo remanescente após a incineração representou os sólidos fixos. Por fim, para os Sólidos Voláteis (SV), subtraiu-se o peso dos sólidos fixos do peso dos sólidos totais. O resultado representou os sólidos voláteis, que são compostos principalmente por materiais orgânicos.

4.3.2.7 *Análise de teor de umidade*

Este método envolveu o uso de um determinador de umidade eletrônico e as leituras foram realizadas no LABETA do Samae de Jaraguá do Sul/SC. Antes de começar a análise, foi preciso calibrar o determinador de umidade de acordo com as instruções do fabricante. O equipamento continha uma balança acoplada e antes de adicionar a amostra no prato, foi preciso tará-la. Certificou-se de não sobrecarregar o recipiente e de que a amostra estava bem distribuída. Desta forma, fechou-se a tampa do determinador de umidade e iniciou-se o programa de análise de acordo com as configurações desejadas. O determinador de umidade aqueceu a amostra e mediu a perda de peso decorrente da evaporação da umidade. Uma vez concluída a análise, o determinador de umidade exibiu os resultados da umidade da amostra.

4.3.2.8 *Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier*

Estas análises envolveram o uso de um espectrômetro FTIR, Bruker, modelo Tensor 27 do Laboratório de Análises Térmicas e Espectroscopia (LTE) da UFSC - Câmpus Blumenau. O objetivo desta análise para o lodo foi o de identificar grupos funcionais presentes no resíduo.

De forma sucinta, as amostras foram preparadas de acordo com os requisitos específicos do equipamento. Antes de iniciar a análise, calibrou-se o espectrômetro de acordo com as instruções do fabricante para garantir a precisão dos resultados. Para aquisição dos espectros, colocou-se a amostra no espectrômetro e ajustou-se os parâmetros, como faixa de comprimento de onda, resolução e número de scans, de acordo com as características da amostra e as informações desejadas. Executaram-se varreduras para aumentar a relação sinal-ruído e obter um espectro mais confiável. Após a aquisição dos espectros, analisaram-se os picos e características presentes nos espectros para identificar os grupos funcionais e outras informações relevantes sobre a amostra. Foi necessário o uso de um software de conversão dos dados para processamento e interpretação dos espectros obtidos, chamado *Spectragryph* versão 1.2.

4.3.3 Formatação das mantas

Para os experimentos, as mantas foram confeccionadas em formato de filtro, conforme modelo representado na Figura 18.

Figura 18– Modelo de geotêxtil adaptado pela autora para uso em bancada



Fonte: A autora, 2023.

4.3.4 Caracterização das mantas

A fim de analisar possíveis interações entre o geotêxtil e o lodo estudado, foram adotados dois métodos de caracterização: a MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura) e a FTIR (Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier), para mantas limpas (sem lodo) e usadas (após processo de deságue).

4.3.4.1 Microscopia Eletrônica de Varredura

Estas análises envolveram o uso de um microscópio de varredura com filamento de tungstênio, modelo JEOL JSM-6390LV Scanning Electron Microscope do Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME) da UFSC - Câmpus Florianópolis.

As amostras foram preparadas de acordo com os requisitos específicos do equipamento, incluindo fixação e metalização. As amostras foram montadas em um suporte adequado de forma a permitir uma visualização clara da região de interesse. Visto que o MEV opera em um ambiente de vácuo, portanto, foi necessário evacuar a câmara de análise para remover o ar e evitar interferências na imagem. Após ajustaram-se os parâmetros, como voltagem, corrente e ampliação, para otimizar a resolução da imagem. Em seguida, capturaram-se imagens das amostras em diferentes ampliações e ângulos para investigar a estrutura e morfologia da amostra.

4.3.4.2 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier

Estas análises também envolveram o uso de um espectrômetro FTIR, Bruker, modelo Tensor 27 do Laboratório de Análises Térmicas e Espectroscopia (LTE) da UFSC - Câmpus Blumenau.

4.3.4.3 Análise das propriedades mecânicas, hidráulicas e físicas das mantas

Foram analisados os geotêxteis antes do processo de deságue. Para estas análises foram utilizadas as normas ASTM D4355, ASTM D4491 (correspondente: ABNT NBR ISO 11058), ASTM D4533, ASTM D4595 (ABNT NBR ISO 10319), ASTM

D4632, ASTM D4751, ASTM D5199 (ABNT NBR ISO 9863-1), ASTM D5261 (ABNT NBR ISO 9864), ASTM D6241 (ABNT NBR ISO 12236) e ASTM D3786. Os ensaios foram realizados na fabricante das mantas, na empresa SNatural, em São Paulo/SP.

Quadro 5 – Descrições e Resumo das Normas Aplicadas aos Testes

Norma	Descrição do Método de Teste	Norma Correspondente	Metodologia Resumida
ASTM D4355	Determinação da resistência ao cisalhamento direto de geotêxteis.	-	As amostras de geotêxteis foram submetidas a um dispositivo de cisalhamento direto para determinar sua resistência ao deslocamento lateral.
ASTM D4491	Determinação da permeabilidade à água de geotêxteis por meio da permissividade.	ABNT NBR ISO 11058	O geotêxtil foi colocado em um dispositivo de permeabilidade e a água foi aplicada sob pressão controlada para medir a taxa de fluxo através do material.
ASTM D4533	Determinação da resistência à rasgadura trapezoidal de geotêxteis.	-	Amostras de geotêxteis foram cortadas em formas trapezoidais padronizadas e submetidas a uma máquina de teste de tração para determinar a resistência ao rasgo.
ASTM D4595	Determinação das propriedades de tração de geotêxteis pelo método de largura ampla de tiras.	ABNT NBR ISO 10319	As amostras de geotêxteis foram cortadas em tiras largas e submetidas a uma máquina de teste de tração para medir a força necessária para alongá-las até a ruptura.
ASTM D4632	Determinação da carga de ruptura e alongação de geotêxteis.	-	Os geotêxteis foram preparados em amostras retangulares e submetidos a uma máquina de teste universal para determinar a carga de ruptura e a alongação sob condições específicas de tensão.
ASTM D4751	Determinação do tamanho de abertura aparente de um geotêxtil.	-	O tamanho de abertura aparente de um geotêxtil foi determinado usando um conjunto de peneiras

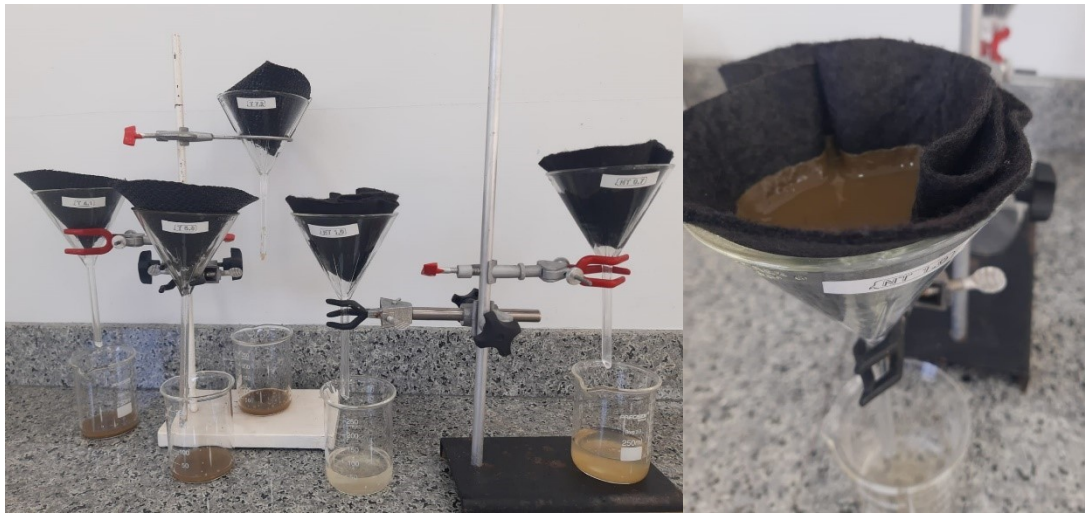
			padrão e um agitador mecânico para separar as partículas.
ASTM D5199	Determinação da resistência à tração de geotêxteis.	ABNT NBR ISO 9863-1	As amostras de geotêxteis foram submetidas a uma máquina de teste de tração para medir a força necessária para alongá-las até a ruptura em uma taxa de carga constante.
ASTM D5261	Determinação da espessura de geotêxteis.	ABNT NBR ISO 9864	Um micrômetro foi usado para medir a espessura do geotêxtil em várias áreas representativas da amostra.
ASTM D6241	Determinação da resistência à perfuração estática de geotêxteis e produtos relacionados usando uma sonda de 50 mm.	ABNT NBR ISO 12236	Uma sonda de 50 mm foi utilizada para perfurar a amostra de geotêxtil em várias áreas e a força necessária para perfurar foi registrada.
ASTM D3786	Determinação da força de ruptura dos geotêxteis.	-	O tecido foi preso entre as mandíbulas de uma máquina de teste de tração e uma força foi aplicada até que o tecido se rompa.

Fonte: Adaptado de ASTM e ABNT.

4.3.5 Deságue do lodo com o emprego das mantas geotêxteis

Objetivando promover o deságue dos lodos ensaiados, estruturou-se a bancada da forma apresentada na Figura 19. Cada aparato (funil de vidro, suporte, garras e béquero) recebeu um tipo de manta e aproximadamente 400 mL de lodo bruto (80% composto por lodo coletado nos decantadores e 20% dos filtros) foram despejados sobre o geotêxtil para o deságue.

Figura 19 – Aparato experimental



Fonte: Autora, 2023.

Os bocais de entrada moldados sobre os funis de vidro, no formato de “filtro de café” facilitaram o preenchimento, permitindo o escoamento do líquido enquanto retivessem os materiais sólidos. A retenção dos sólidos, bem como a redução do teor de umidade e a produção de água clarificada (coletada nos béqueres) foram alvos de análises. O tempo total de duração foi de 7 dias.

5 RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

Ao longo deste capítulo, serão apresentados os resultados obtidos a partir das experimentações conduzidas, destacando as principais descobertas e tendências observadas; serão discutidas as relações entre os dados obtidos e os conceitos teóricos subjacentes, buscando elucidar os mecanismos que regem os fenômenos observados.

5.1 COLETA, PREPARO DAS AMOSTRAS E CARACTERIZAÇÃO DO LODO BRUTO

Os resultados obtidos nesta etapa foram a obtenção de uma mistura de líquidos, composta de 80% do lodo obtido nos decantadores e 20% do lodo obtido nos filtros. A mistura foi caracterizada (parâmetros analisados: pH, cor, turbidez, DBO, DQO, sólidos - totais, voláteis e fixos, teor de umidade (apresentados na Tabela 6) e foi realizada análise por Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier.

Tabela 6 – Resultados obtidos a partir das análises laboratoriais do lodo bruto

Parâmetro/ Batelada	A	B	C	D	E	Média					
pH	6,38	6,47	6,39	6,41	6,43	6,50	6,37	6,51	6,40	6,39	6,43
Cor aparente (uH)	54400	52000	48000	47500	47600	54200	54400	48100	51000	47600	50480
Turbidez (NTU)	8120	7600	7460	8160	7590	7500	8120	7420	8020	7400	7739
DQO (mg/L)	2326	2370	2374	2350	2260	2300	2360	2324	2212	2374	2325
DBO (mg/L)	34	34	34	32	54	54	34	30	34	54	39,40
ST (mg/L)	9684	9670	9650	9798	9604	9802	9685	9612	9600	9581	9668,60
SV (mg/L)	2258	2259	2294	2372	2298	2351	2383	2404	2250	2294	2317,20
SF (mg/L)	7426	7411	7356	7426	7306	7451	7302	7208	7350	7287	7352,30

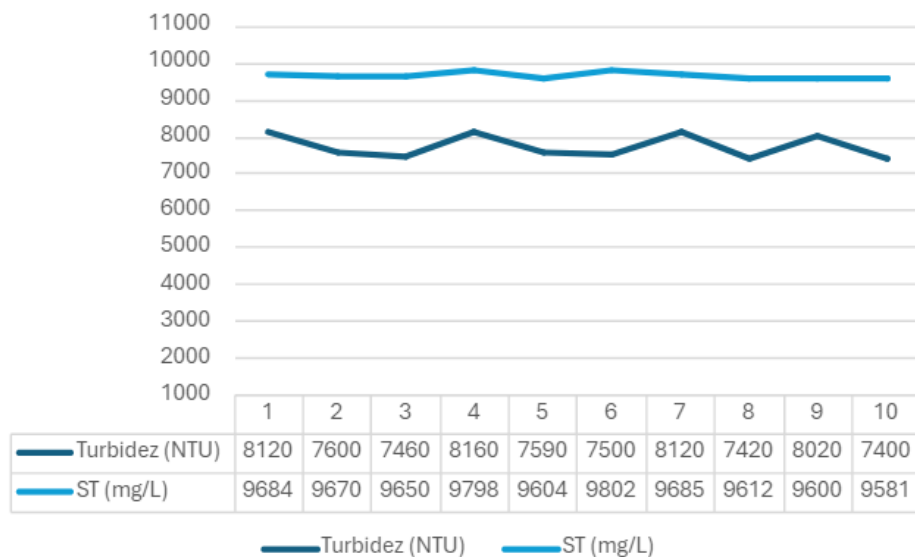
Umidade (%)	98,74	98,12	98,79	97,96	98,48	99,69	99,12	98,72	98,71	98,15	98,65
-------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Legenda: A = lodo a ser utilizado na manta NT 0.7; B = lodo a ser utilizado na manta NT 1.0; C = lodo a ser utilizado na manta T 4.1; D = lodo a ser utilizado na manta T 5,8; E = lodo a ser utilizado na manta T 7.2.

Fonte: A autora (2023).

Na Figura 20, é possível identificar que os níveis de turbidez e sólidos totais neste estudo mostraram-se bastante elevados e são correlatos.

Figura 20 – Gráfico de turbidez e sólidos totais

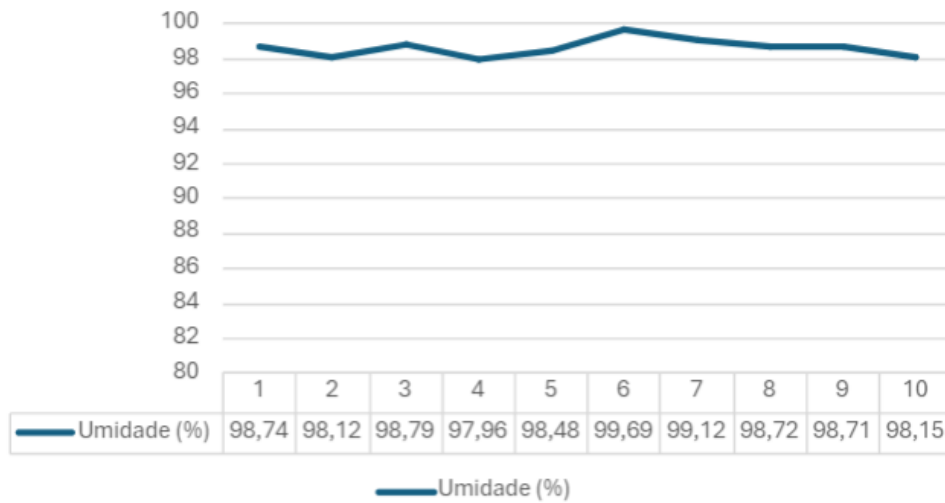


Fonte: A autora (2023)

De acordo com Rodrigues e Holanda (2013) uma estação de tratamento com processo convencional gera resíduos das limpezas dos decantadores e da lavagem dos filtros, sendo a maior produção de lodo originado dos decantadores visto que são inseridos maior quantidade de floculantes a base de sulfatos de alumínio e ferro. O lodo originado nos decantadores após limpeza manual apresentam uma alta densidade sólida e os provenientes de decantares com fluxo contínuo de lodo e das águas de filtragem apresentam um nível menor de concentração de sólidos (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2012).

Ademais, o que se pode perceber com este estudo, foram amostras de lodo bastante úmidas (carga de sólidos considerável, porém muita água presente), conforme representa a Figura 21.

Figura 21 – Gráfico de Umidade das Amostras Iniciais de Lodo



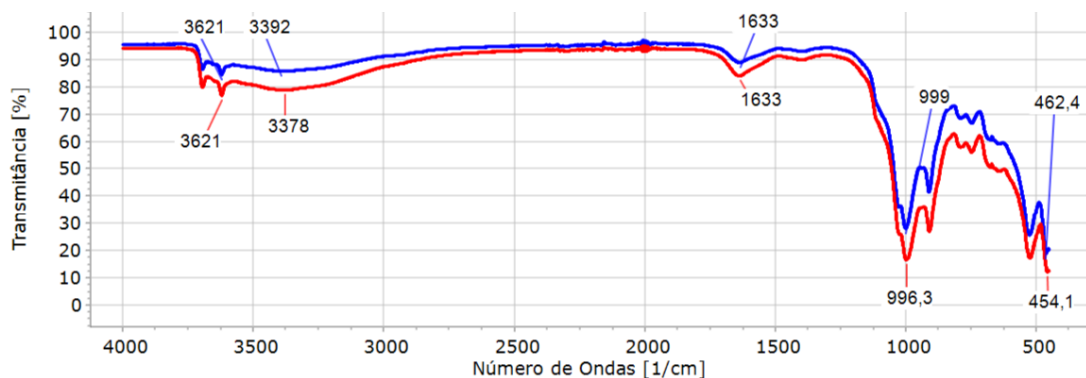
Fonte: A autora (2023)

Os valores são complexos de serem comparados com outras ETA's, por exemplo, haja vista que as características intrínsecas de cada mananciais alteram os valores obtidos. No entanto, algumas comparações foram feitas: dados literários apresentados em Babatunde e Zhao (2007) apresentam dados de pH $7,0 \pm 1,4$, enquanto Ardila *et al.* (2020) estudaram um lodo com pH igual a 6,77 e Angelim *et al.* (2021), 6,90. Angelim *et al.* (2021) também apresentaram dados de DQO iguais a 4517 mg/L e Sólidos Totais (mg/L) iguais a 27.900.

No que diz respeito à técnica analítica que utiliza a absorção de radiação infravermelha por moléculas (FTIR), buscou-se tal para identificar e caracterizar compostos químicos do lodo e a presença de grupos funcionais.

A Figura 22 retrata os resultados das duas análises realizadas (mesmo lodo, porém leitura realizada em duplicata):

Figura 22– Espectro de FTIR para o lodo bruto



Fonte: A autora (2024)

A fim de discutir os resultados obtidos na Figura 22, o Quadro 6 foi elaborado, este que mostra valores típicos de espectroscopia de infravermelho e os grupos funcionais correspondentes.

Quadro 6– Valores típicos de espectroscopia de infravermelho e os grupos correspondentes

Grupo Funcional	Fórmula Molecular	Região de Absorção (cm ⁻¹)
Hidrocarbonetos Alifáticos	C _n H _{2n+2}	2800 - 3000
Alcenos e Alquinos	C _n H _{2n}	3300 - 3300 (Alcenos)
	C _n H _{2n}	2100 - 2260 (Alquinos)
Hidrocarbonetos Aromáticos	C _n H _n	3030 - 3100
Álcoois e Fenóis	C _n H _{2n} O	3200 - 3600 (Álcoois)
	C _n H _{2n} O	3600 - 3200 (Fenóis)
Ácidos Carboxílicos	C _n H _{2n} O ₂	2500 - 3500
Ésteres e Lactonas	C _n H _{2n} O ₂	1735 - 1755 (Ésteres)
	C _n H _{2n} O ₂	1740 - 1760 (Lactonas)
Cetonas	C _n H _{2n} O	1680 - 1750
Aldeídos	C _n H _{2n} O	2700 - 2900 (Aldeídos)
Amidas	C _n H _{2n} ON	3200 - 3500 (Amidas)
Nitrilas e Isonitrilas	C _n H _n N	2200 - 2300 (Nitrilas)
	C _n H _n N	2200 - 2300 (Isonitrilas)
Nitro	C _n H _n O ₂	1500 - 1600
Halogênios	C _n H _{2n}	500 - 1400

Fonte: Adaptado de PAVIA *et al.*, 2010.

Desta maneira, foi possível identificar que existem grupos hidroxilas, cetonas e halogênios nas amostras de lodo. Os grupos hidroxilas (OH) são comuns em compostos que contêm alumínio, especialmente em hidróxidos de alumínio formados durante o processo de coagulação. Já as cetonas (C=O), embora não comuns, podem estar presentes em alguns compostos orgânicos presentes na água tratada, a exemplo de solventes industriais. No que diz respeito aos halogênios, supõem-se que se tratam dos íons cloreto (Cl⁻) ou íons fluoreto (F⁻) dos processos de cloração e fluoretação.

No estudo de Wołowiec *et al.* (2019), foram identificadas bandas largas (3417 cm⁻¹) e estas foram atribuídas ao grupo hidroxila e bandas fracas em 1630 cm⁻¹ que foram atribuídas às vibrações de flexão da H₂O.

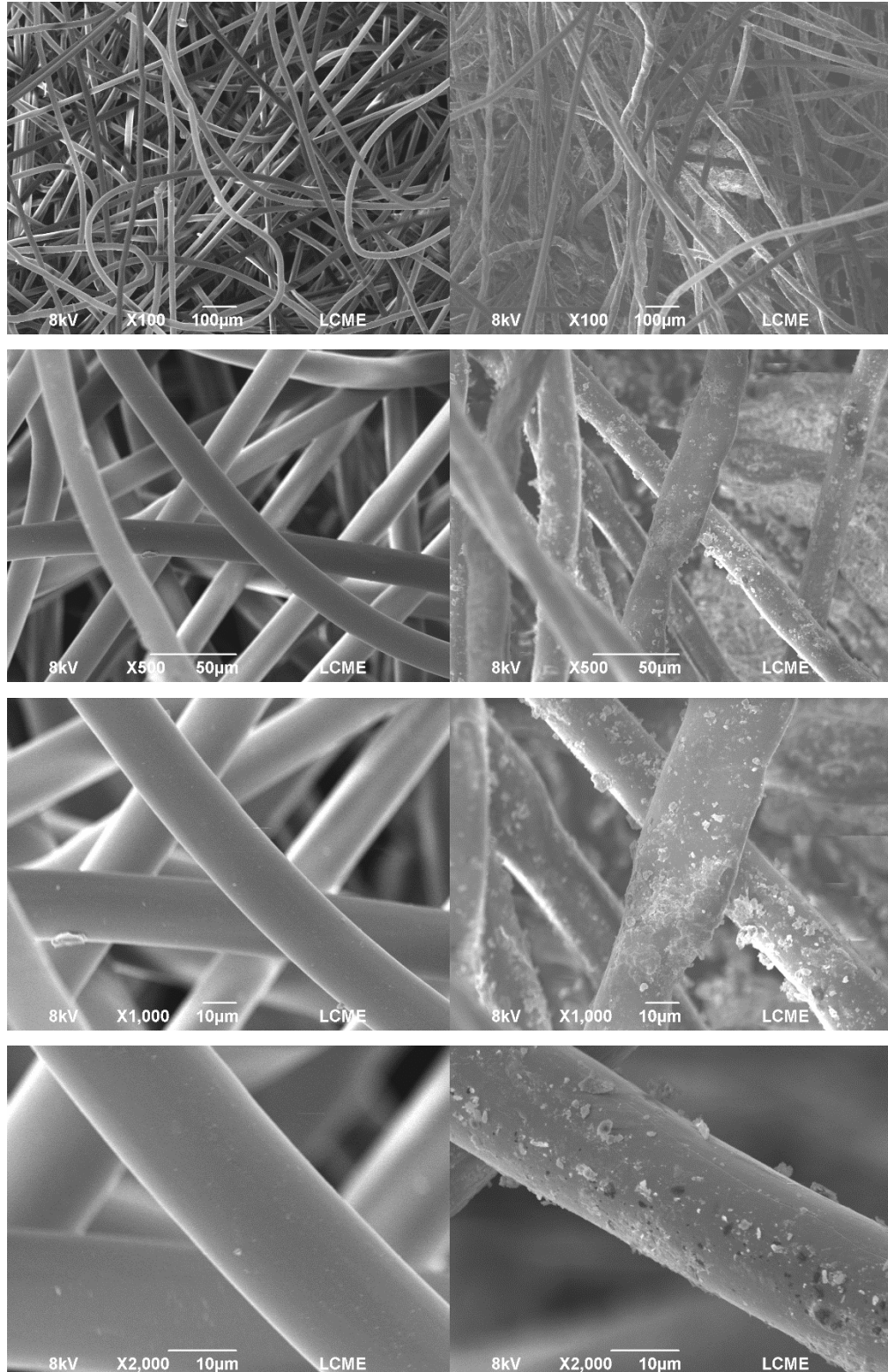
5.2 CARACTERIZAÇÃO DAS MANTAS GEOTÊXTEIS

Os resultados obtidos são apresentados neste subcapítulo. Inicialmente, as imagens da MEV, posteriormente as leituras FTIR e por fim, as análises das propriedades físicas, hidráulicas e mecânicas das mantas.

5.2.1 Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV

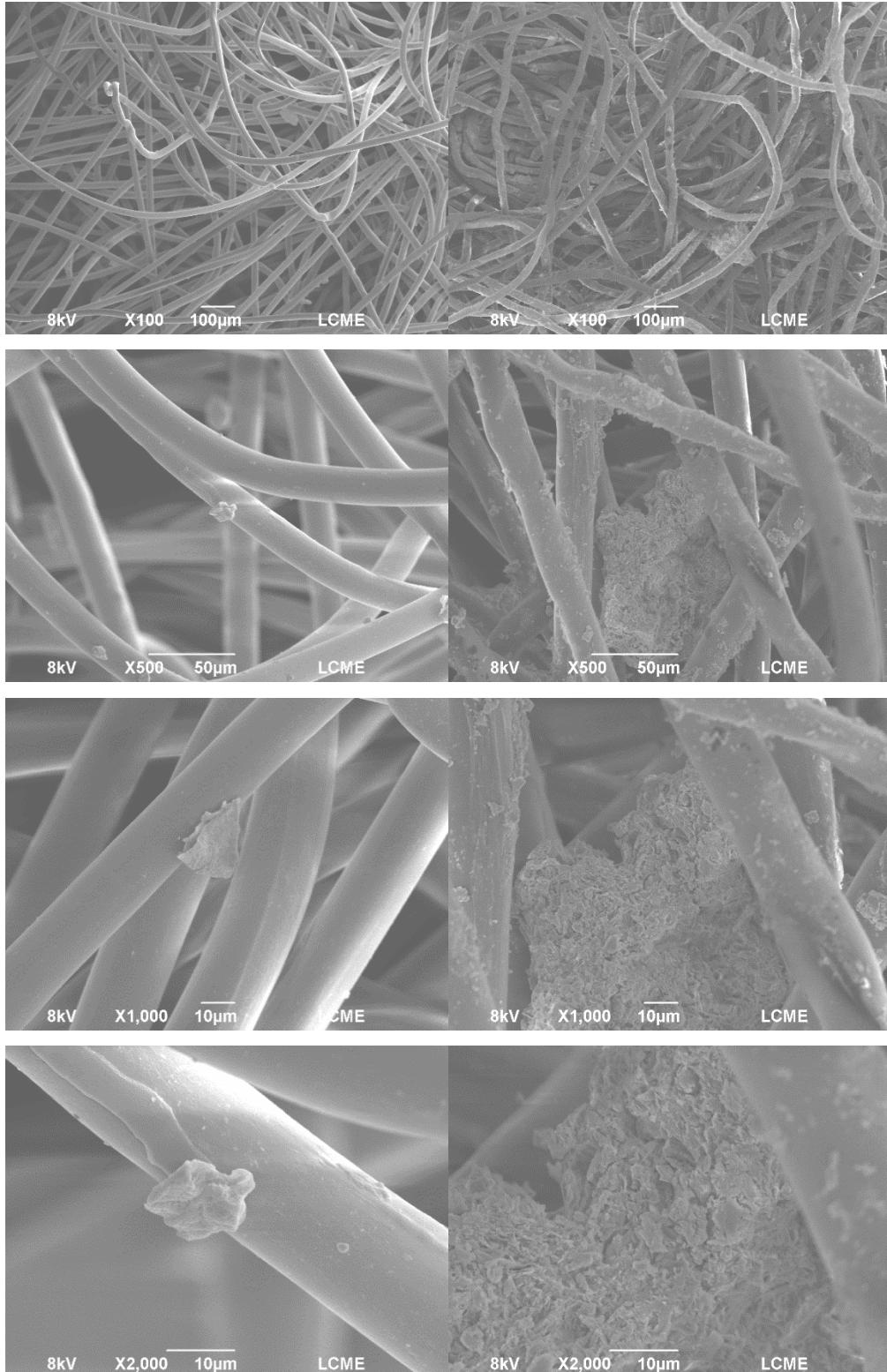
As Figuras 23 a 25 mostram imagens microscópicas das mantas e sobretudo seus filamentos antes e depois do processo de deságue do lodo. É possível identificar (após o deságue) sujidades aderidas às estruturas do material geotêxtil, que são o lodo em si.

Figura 23 – Geotêxtil NT 0.7 antes (a) e depois do deságue do lodo (b)



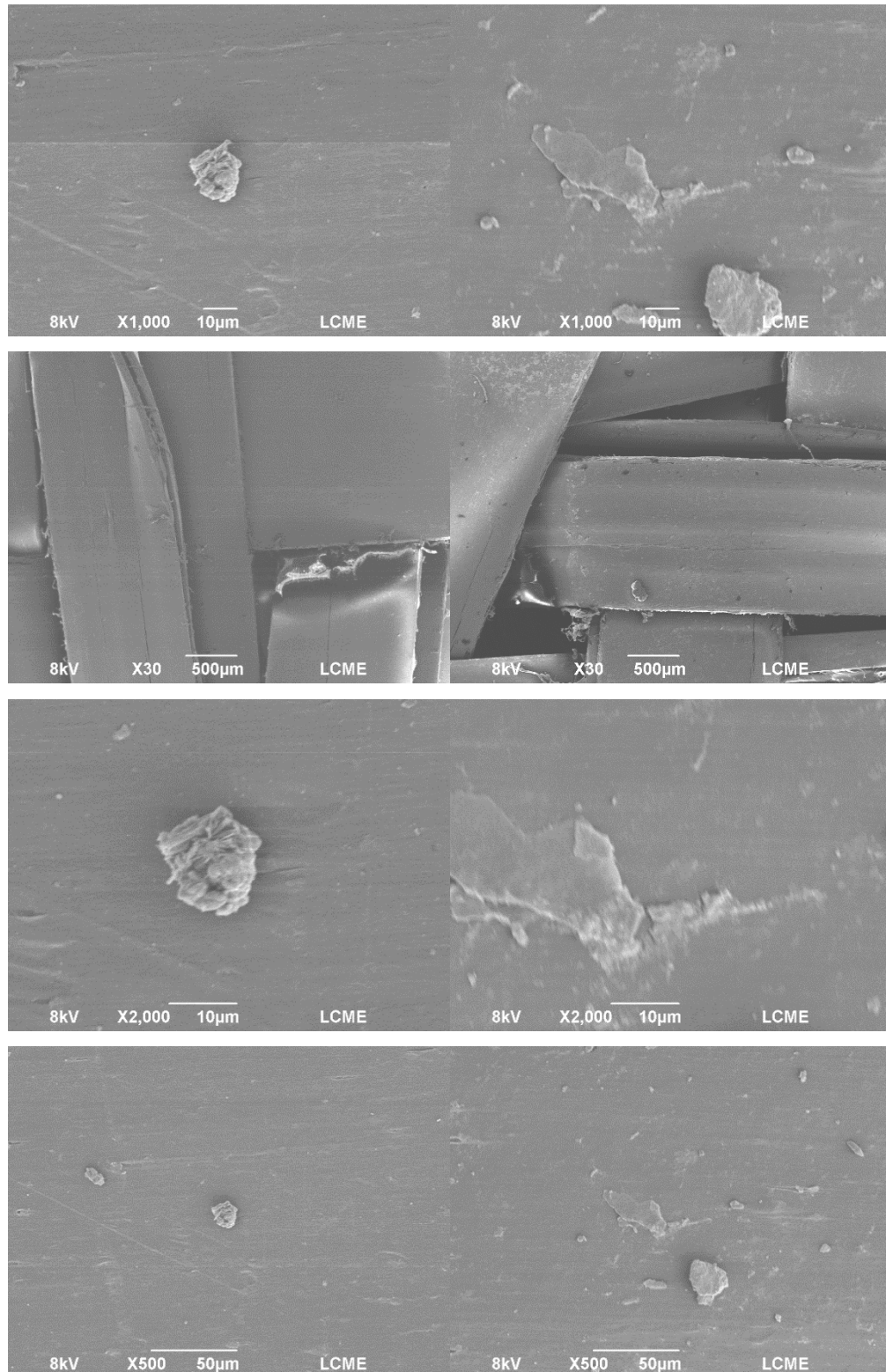
Fonte: LCME (2024)

Figura 24– Geotêxtil NT 1.0 antes (a) e depois do deságue do lodo (b)



Fonte: LCME (2024).

Figura 25– Geotêxtil T 7.2 antes (a. e depois do deságue do lodo (b)



Fonte: LCME (2024).

As Figuras (23 a 25) apresentam as características morfológicas das mantas “limpas” (coluna de imagens à esquerda) e após tratamento do lodo (à direita). As

duas primeiras figuras (23 e 24) trazem informação sobre não-tecidos (0.7 e 1.0). É possível identificar que algumas fibras são cilíndricas e mais finas, enquanto o tecido (7.2), retratado na Figura 25, apresenta estrutura mais plana. A diferença entre elas está na presença (ou não) de poliéster. Enquanto as não-tecido tem mistura de polipropileno e poliéster, a tecido não o tem.

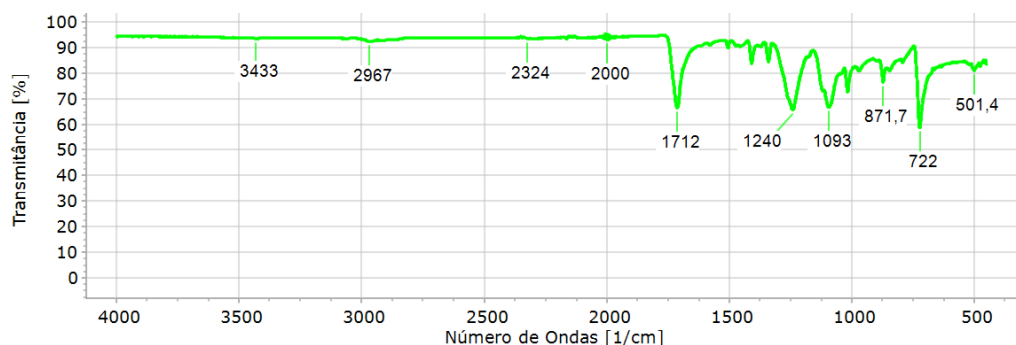
Foram capturadas imagens em diferentes resoluções e em ambos os casos, pode-se conferir o lodo aderido às paredes das mantas (quando depois do seu uso). Em formato de pequenos grãos (na escala de $10\mu\text{m}$), com formatos irregulares, caracterizados por apresentar pequenos aglomerados constituídos por mesoporos. Outros autores também identificaram perfil irregular e presença de poros em lodos de ETA (DE COSTA; DE SOUZA; 2019; DE GODOY *et al.*, 2019; OLIVEIRA; MACHADO; HOLANDA, 2004). A visualização, do lodo aderido às mantas, realizada por MEV também possibilitou identificar a estrutura de placas lamelares, conforme também observado por Hedlund *et al.* (2019).

Também, foi possível identificar tal como Barroso, Achon e Cordeiro (2021), nas análises de MEV realizadas nas amostras de geotêxteis (usada e não usada) mostraram a retenção de partículas muito pequenas, bem menores que a abertura de filtração do geotêxtil.

5.2.2 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier - FTIR

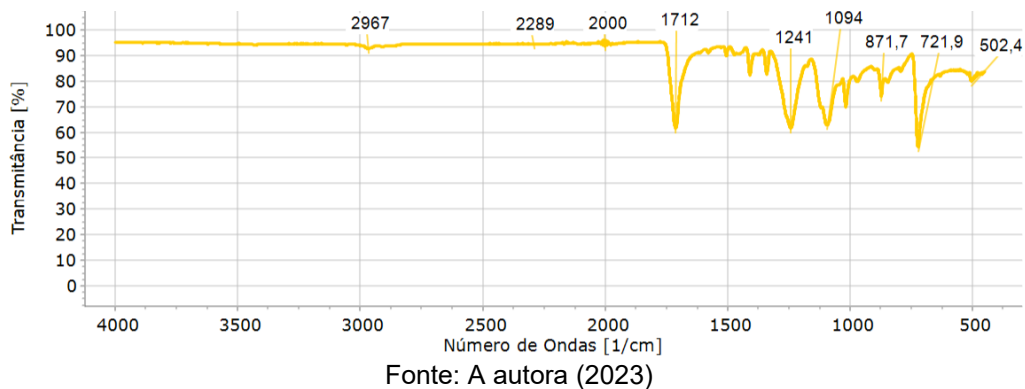
A medição por FTIR para as mantas foi realizada para caracterizar a estrutura química dos geotêxteis. As Figuras 26 e 27 referem-se às leituras realizadas nas mantas de não-tecido 0.7 e 1.0, respectivamente (ambos confeccionados em poliéster e polipropileno).

Figura 26– FTIR para a manta NT 0.7



Fonte: A autora (2023)

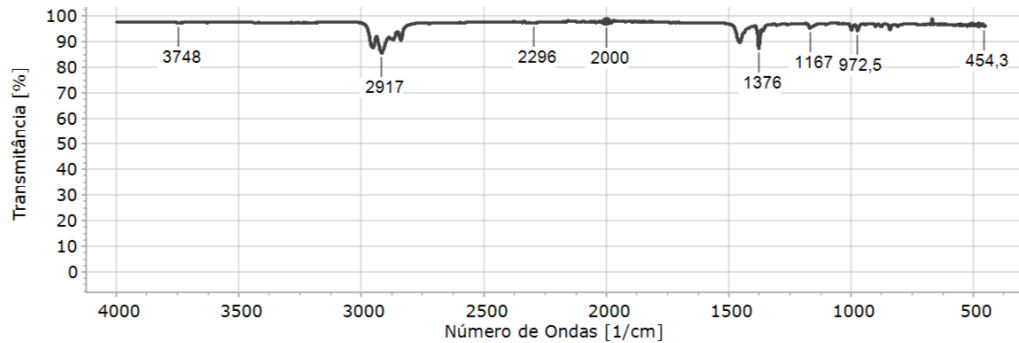
Figura 27– FTIR para a manta NT 1.0



Ambas apresentaram picos e cristas bastante semelhantes e por vezes, alguns idênticos, a exemplo de 2967, 2000, 1712, 1240, 1093, 722 e 501,4 cm^{-1} . Algumas interpretações cabíveis: 2967 cm^{-1} , vibração de estiramento assimétrico (asymmetric stretching) das ligações C-H em grupos alquilas (metil, metileno ou metino) presentes em polipropileno (PP) e poliéster (PE); 2000 cm^{-1} : esta frequência pode estar associada a diferentes modos de vibração em polímeros, como ligações C=C em polipropileno ou poliéster; 1712 cm^{-1} : vibração de estiramento (stretching) da ligação C=O em ésteres ou grupos similares, que pode estar presente em poliéster mas menos proeminente em polipropileno (PP); 1240 cm^{-1} , vibração de flexão (bending) da ligação C-O em grupos de ésteres ou éteres, que pode estar presente em poliéster mas menos evidente em polipropileno (PP); 1093 cm^{-1} : esta frequência pode estar associada a diferentes modos de vibração em polímeros PP e PE, como ligações C-O ou C-H; 871,7 cm^{-1} , associado a diferentes modos de vibração em polímeros PP e PET, porém é uma frequência menos comum em espectros de infravermelho; 722 cm^{-1} : esta frequência também pode estar relacionada a diferentes modos de vibração em polímeros PP e PET, como ligações C-H ou modos de vibração específicos e por fim, 501,4 cm^{-1} : pode estar associado a diferentes modos de vibração em polímeros PP e PET, mas também é uma frequência menos comum em espectros de infravermelho.

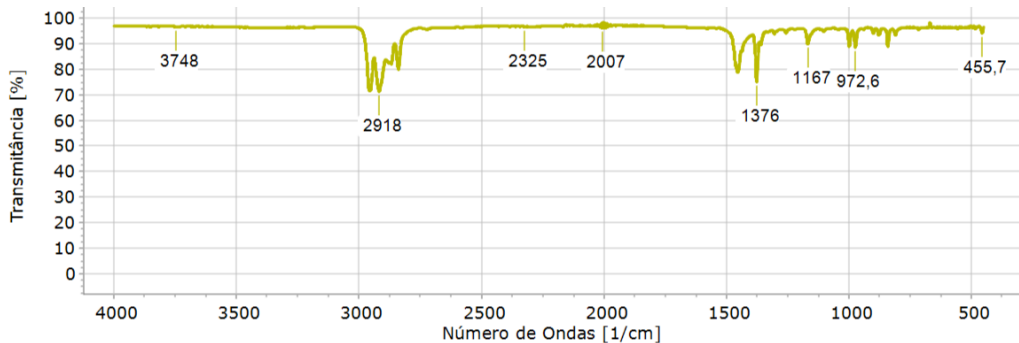
Já para as mantas T 4.1, T 5.8 e T 7.2, todas confeccionadas apenas em polipropileno, temos as Figuras 28 a 30 para ilustrar as imagens obtidas no FTIR.

Figura 28– FTIR para a manta T 4.1



Fonte: A autora (2023)

Figura 29– FTIR para a manta T 5.8



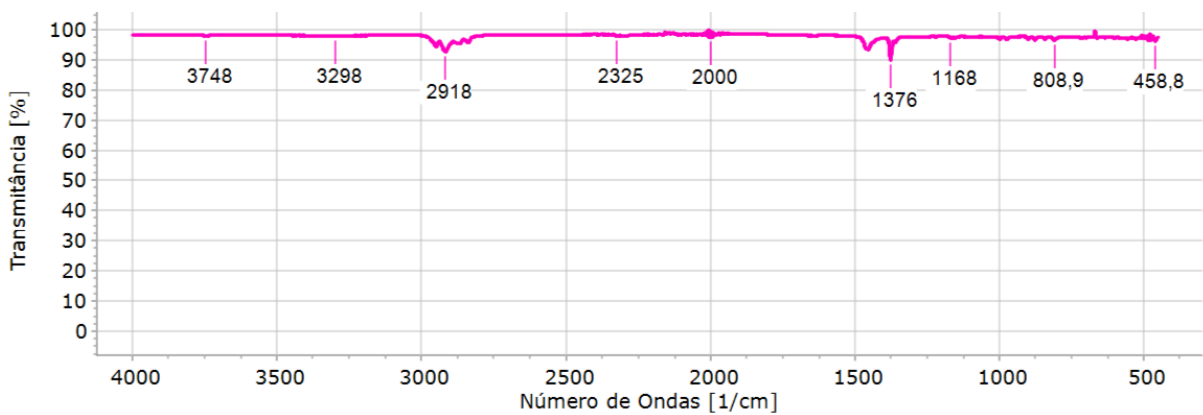
Fonte: A autora (2023)

Tendo em vista que as mantas T 4.1 e T 5.8 apresentaram picos semelhantes, a interpretação das duas será feita em um único parágrafo. Frequência de 3748 cm^{-1} , possivelmente indica a presença de grupos hidroxila (OH) ou água adsorvida. No entanto, frequências tão altas são incomuns em espectros de polipropileno puro, e essa frequência pode ser atribuída a uma amostra úmida ou a algum outro componente presente na manta; 2917 cm^{-1} : vibração de estiramento assimétrico (asymmetric stretching) das ligações C-H em grupos alquilas (metil, metileno ou metino) presentes no polipropileno (PP); 2296 cm^{-1} : esta frequência é muito alta para ser atribuída a grupos funcionais típicos encontrados no polipropileno. Pode ser o resultado de alguma interferência ou contaminação na amostra; 2000 cm^{-1} : pode estar associada a diferentes modos de vibração em polipropileno (PP), mas é menos comum em espectros de infravermelho puro de PP; 1376 cm^{-1} : pode estar relacionada a modos de vibração específicos de ligações C-H em polipropileno (PP); 1167 cm^{-1} : pode estar associada a modos de vibração específicos de ligações C-H; $972,5\text{ cm}^{-1}$: esta frequência é incomum em espectros de infravermelho de polipropileno puro. Pode

também ser o resultado de alguma interferência ou contaminação na amostra; $454,3 \text{ cm}^{-1}$: esta frequência é muito baixa para ser atribuída a grupos funcionais típicos encontrados no polipropileno. Novamente pode ter acontecido uma interferência ou contaminação.

Em relação à manta T 7.2, percebe-se que as frequências são semelhantes às demais, porém em faixas de transmitância diferentes (superiores a 90%). O fato sugere que essas frequências correspondem a regiões do espectro onde o material permite a passagem da radiação infravermelha com alta eficiência. Pode indicar que as vibrações moleculares associadas a essas frequências são características do polipropileno e não estão sendo obscurecidas por outras interações ou impurezas na amostra.

Figura 30– FTIR para a manta T 7.2



Fonte: A autora (2023)

5.2.3 Análise das propriedades mecânicas, hidráulicas e físicas das mantas

As propriedades mecânicas, hidráulicas e físicas das amostras obtidas das mantas virgens, ou seja, antes do processo de deságue de lodo são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7– Comparativo das propriedades mecânicas, hidráulicas e físicas das amostras antes do processo de desaguamento

Mantas	T 4.1	T 5.8	T 7.2	NT 0.7	NT 1.0
Resistência à Tensão (Método Tira Larga Alongamento) (ASTM D4595)	41 kN/m	58 kN/m	72 kN/m	-	-
Resistência à Tração Faixa Larga Sentindo Longitudinal (ASTM D4595)	-	-	-	7 kN/m	10 kN/m
Resistência à Perfuração (Método CBR) (ASTM D6241)	5,5 kN	7,5 kN	8,0 kN	1,1 kN	1,5 kN
Resistência ao Rasgo Trapezoidal (ASTM D4533)	570 N	700 N	770 N	250 N	350 N
Tamanho da Abertura Aparente (ASTM D4751)	0,3 mm	0,3 mm	0,3 mm	0,075 mm	0,075 mm
Permeabilidade (ASTM D4491)	5,3 x 10 ⁻² cm/s	6,0 x 10 ⁻² cm/s	8,1 x 10 ⁻² cm/s	0,26 cm/s	0,20 cm/s
Permissividade (ASTM D4491)	0,55 s ⁻¹	0,55 s ⁻¹	0,62 s ⁻¹	2,00 s ⁻¹	1,50 s ⁻¹
Taxa de fluxo (ASTM D4491)	1506 l/min/m ²	1506 l/min/m ²	1720 l/min/m ²	-	-
Velocidade de fluxo (ASTM D4491)	-	-	-	0,12 m/s	0,09 m/s
Resistência UV (@ 500 horas)	> 70%	> 70%	> 70%	50%	70%
Espessura (ASTM D5199)	1 mm	1,1 mm	1,3 mm	1,1 mm	1,3 mm
Gramatura (ASTM D5261)	320 g/m ²	380 g/m ²	400 g/m ²	130 g/m ²	300 g/m ²

Fonte: Adaptado de SNatural (2023)

Através dos dados listados, observa-se que os tecidos possuem maior resistência à tensão e à perfuração em relação aos não-tecidos. Esta característica é de grande valia para o processo de tratamento por *bags*, tendo em vista que estes

ficam dispostos sob o solo (quando operados horizontalmente). Parâmetros como resistência aos raios ultravioletas também são importantes e neste caso, todas as mantas apresentam resultados altos (>50%) de proteção, no entanto, as de tecido novamente se mostram mais superiores (>70%).

Quando são avaliados os parâmetros de tamanho da abertura aparente, nota-se que todas as mantas de tecido possuem um resultado idêntico e as de não-tecido outro resultado idêntico entre si. Extrai-se a informação de que as mantas de não-tecido possuem tamanho de abertura menor, o que contribui para vetar a passagem de sólidos maiores, característica bastante importante para esta aplicação.

A permeabilidade é uma medida macroscópica que indica a maior ou menor facilidade com que um fluido submetido a um gradiente de pressão percola os vazios em um meio poroso (FREITAS; MANEIRO; COURY, 2003). Ou seja, quanto maior a permissividade, mais fácil é para o fluido passar pelo material. Desta forma, ficou comprovado (com o resultado obtido) que as mantas de não-tecido facilitaram de forma mais eficiente a passagem do líquido drenado, no processo de deságue do lodo.

Por fim, espessuras maiores podem ser necessárias para aplicações que requerem maior resistência mecânica ou capacidade de retenção de água. No entanto, todas as mantas apresentaram valores próximos (de 1,1 a 1,3 mm) e gramaturas altas estão relacionadas à necessidade de filtragem, retenção de partículas e durabilidade do material.

5.3 DESÁGUE DO LODO NAS MANTAS

Foram analisados o início e final do processo de deságue. As Tabelas 8, 9 e 10 retratam as condições do lodo e do líquido drenado antes e depois da passagem pelo *bag*. Nestas tabelas, os dados estão dispostos de forma individual para facilitar a compreensão, juntamente com os valores de desvio padrão de cada um dos resultados obtidos.

Tabela 8– Valores de pH, cor, turbidez, DQO, DBO, sólidos e umidade obtidos para o lodo no t=0 (início do processo) para cada amostra de geotêxtil

LODO A SER TRATADO – t = 0					
	NT 0.7	NT 1.0	T 4.1	T 5.8	T 7.2
pH	6,425±0,0636	6,40±0,0141	6,465±0,0495	6,44±0,099	6,395±0,0071

Cor (uH)	53200±1697.06	47750±353.55	50900±4667.92	51250±4454.93	49300±2404.16
Turbidez (NTU)	7860±367.65	7900±367.65	7545±63.64	7770±494.97	7710±438.43
DQO (mg/L)	2348±31.10	2362±16.97	2280±28.28	2342±25.45	2293±114.55
DBO5 (mg/L)	34±0	33±1.41	54±0	32±2.83	44±14.14
ST (mg/L)	9677±9.90	9724±104.66	9703±140	9648.5±51.62	9590.5±13.43
SV (mg/L)	2258.5±0.71	2333±55.16	2324.5±37.48	2393.5±14.85	2272±31.10
SF (mg/L)	7418.5±10.61	7391±49.50	7378.5±102.54	7255±66.48	7318.5±44.55
Umidade (%)	98,43±0,44	98,375±0,59	99,085±0,86	98,92±0,28	98,43±0,40

Fonte: A autora (2024)

Tabela 9– Valores de sólidos e umidade para o lodo no t=7 (final do processo)

LODO DESAGUADO - APÓS 7 DIAS					
	NT 0.7	NT 1.0	T 4.1	T 5.8	T 7.2
ST (g/kg)	900,47	881,80	887,75	871,15	874,98
SV (g/kg)	197,91	262,74	262,74	256,98	224,76
SF (g/kg)	702,56	617,26	625,01	614,17	650,22
Umidade (%)	43,01	49,00	35,81	32,78	38,02

Fonte: A autora (2024)

Os dados apresentados demonstram que houve redução da umidade em cerca de 50 a 60% da condição inicial, para todas as mantas. Percebe-se também que os sólidos retidos nas mantas, por consequência da redução de umidade, encontraram-se com aspecto mais sólido e por este motivo, a unidade de medida passou a ser g/kg.

Tabela 10– Valores de pH, cor, turbidez, DQO, DBO, sólidos e umidade obtidos para o líquido drenado no t=7 (final do processo) para cada amostra de geotêxtil)

LÍQUIDO DRENADO - APÓS 7 DIAS					
	NT 0.7	NT 1.0	T 4.1	T 5.8	T 7.2
pH	7,215±0,0636	7,07±0,0141	6,81±0,0141	6,86±0,0424	6,855±0,0354
Cor (uH)	1395±21.21	2655±49.50	22700±424.26	10400±141.42	18200±141.42
Turbidez (NTU)	243.5±3.54	471±14.14	4110±0	1795±21.21	3315±35.36
DQO (mg/L)	94±1.41	189.5±9.19	1170±36.78	565±41.00	942±56.57
DBO5 (mg/L)	11±0	22±0	15±0	15±0	17±0
ST (mg/L)	392.5±10.61	685±7.07	4625±452.55	2570±42.43	4197.5±194.48
SV (mg/L)	110±35.36	202.5±10.61	1185±113.14	715±120.25	1105±14.14
SF (mg/L)	282.5±24.75	482.5±3.54	3440±339.41	1855±77.77	3092.5±208.58
Umidade	98,67±0,81	98,905±1,25	99,54±0,62	98,2±1,32	99,32±0,27

Fonte: A autora (2024)

Agrupando as informações e transformando-as em uma única tabela, tem-se a Tabela 11 que considerou a média dos valores obtidos e calculou a variação entre os tempos iniciais e finais. De forma a demonstrar reduções e/ou acréscimos das propriedades ao longo do processo de deságue em bancada.

Tabela 11– Comparativo final de pH, cor, turbidez, DQO, DBO, sólidos e umidade para as cinco mantas geotêxteis e as variações

		pH	Cor (uH)	Turb. (NTU)	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SF (mg/L)	Umid. (%)
t = 0	NT 0.7	6,43	53200	7860	2348	34	9677	2258	7418	98,43
t = 7	NT 0.7	7,22	1395	243,5	94	11	392,5	110	282,5	43,01
	Varição	12,30%	-97,4%	-96,9%	-96,0%	-67,6%	-95,9%	-95,1%	-96,2%	-56,3%
t = 0	NT 1.0	6,40	4775	7810	2362	33	9724	2333	7391	98,38
t = 7	NT 1.0	7,07	2655	471	189,5	22	685	202,5	482,5	49
	Varição	10,47%	-94,4%	-93,9%	-91,9%	-33,3%	-92,9%	-91,3%	-93,5%	-50,2%
t = 0	T 4.1	6,47	50900	7545	2280	54	9703	2324	7378	99,09

t = 7	T 4.1	6,81	22400	4110	1170	15	4625	1185	3440	35,81
Variação		5,34%	-56,0%	-45,5%	-48,7%	-72,2%	-52,3%	-49,0%	-53,4%	-63,9%
t = 0	T 5.8	6,44	51250	7770	2342	32	9648	2393	7255	98,92
t = 7	T 5.8	6,86	10400	1795	565	15	2570	715	1855	32,78
Variação		6,52%	-79,7%	-76,9%	-75,88%	-53,1%	-73,4%	-70,1%	-74,4%	-66,9%
t = 0	T 7.2	6,40	49300	7710	2293	44,00	9590	2276	7318	98,43
t = 7	T 7.2	6,86	18200	3315	942	17	4197,5	1105	3092,5	38,02
Variação		7,19%	-63,1%	-57,0%	-58,9%	-61,4%	-56,2%	-51,5%	-57,7%	-61,4%

Fonte: A autora (2024)

Com estas informações, ficou claro que o processo de deságue do lodo reduz a cor (para os não-tecidos em torno de 95%, enquanto para as amostras de tecido variam de 55 a 79%), reduz a turbidez, DBO, DQO e retém em sua maioria, o sólido na manta (o que é o objetivo). Os não-tecidos mostraram-se mais eficientes nestes quesitos comentados. Os tecidos (T 4.1, T 5.8 e T 7.2) tinham suas tramas mais abertas, quando comparado com os não-tecidos (NT 0.7 e NT 1.0), fato este que permitiu a passagem de muitos sólidos para o líquido drenado.

Nos bags fabricados a partir de não-tecidos (NT 0.7 e NT 1.0), houve alteração de pH, na faixa de 11%, enquanto os fabricados a partir de tecidos, aumentaram o potencial em faixas de 5 a 7%. Isto pode significar que o lodo levemente ácido, como deságue passou para faixas mais neutras, o que também é vantajoso quando se pensa em descarte deste efluente para não agredir o ambiente.

Comparando as variações obtidas, apresentadas na Tabela 11, dentre os dois tipos de NT (não-tecidos), o NT 0.7 mostrou-se mais eficiente no quesito redução de umidade também, fato este bastante positivo para o processo.

6 CONCLUSÕES

O uso de mantas geotêxteis no tratamento de lodo é uma prática cada vez mais adotada devido às diversas vantagens operacionais que oferece, além da adaptação às normas e regulamentações, os bags são ferramentas excelentes para desidratação do lodo, permitindo a remoção de grandes volumes de água e resultando em um lodo de mais fácil manuseio. Com a redução da água, o volume total é reduzido de forma significativa, diminuindo sobretudo custos e logística de transporte e disposição final. As mantas são também eficazes, além dos sólidos grosseiros, na redução de partículas finas, metais pesados e eventuais outros contaminantes, melhorando a qualidade do efluente liberado

Reforça-se a simplicidade operacional, em um processo que dispensa equipamentos complexos ou altamente especializados, simplificando a operação e a manutenção do sistema de tratamento de lodo e fala-se do custo-benefício, que quando comparado a outros métodos como centrífugas e filtros prensa, mostra-se mais econômico tanto em termos de investimento inicial quanto da operação contínua.

Os resultados obtidos neste estudo demonstram um lodo inicialmente com muita presença de água, fato este que reforça a necessidade de um pré-tratamento (a exemplo do adensador). O adensamento reduz o volume de lodo ao remover parte da água presente. Facilitando o manuseio, transporte e disposição final, além de diminuir os custos associados a essas etapas. Ademais, lodos muito líquidos podem causar problemas operacionais em sistemas de bombeamento e tubulações e aumentar o risco de vazamentos e transbordamentos. O adensamento ajuda a prevenir esses problemas, garantindo um fluxo mais controlado e seguro.

Analisando redução de cor, turbidez, DQO e retenção de sólidos, mostrou-se mais eficiente a manta NT 0.7, com reduções na faixa de 97% para os três primeiros. No entanto, a desvantagem principal deste geotêxtil é a baixa resistência à tração e rasgo. Aspectos estes que devem ser avaliados em escala industrial, visto que os *bags* ficam normalmente expostos às intempéries e em locais abertos e que uma possível ruptura da bolsa acarretaria mais problemas (sobretudo ambientais).

Embora a manta mais eficiente (NT 0.7), contenha em sua composição poliéster e este confira ao material um aspecto mais maleável e com possibilidade de moldagem mais fácil e mais apropriada, as fibras de polipropileno tendem a ser mais rígidas e têm maior resistência à deformação. Desta forma, conclui-se que a mistura

das fibras PS/PP é vantajosa, porém pode ser trabalhada de forma a aumentar a sua resistência.

A tecnologia de mantas geotêxteis continua a evoluir, alcançando diversas aplicações, com melhorias nos materiais e na fabricação, de forma que aumentam eficiência, durabilidade e versatilidade. Integrados com outras tecnologias, há formação de sistemas híbridos combinando vantagens no que tange a operação, os requisitos financeiros e os aclamados movimentos sustentáveis.

6.1 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

1. Realizar um pré-tratamento do lodo, a exemplo de adensamento, antes do deságue para a redução de líquido drenado;
2. Testar polímeros naturais para o adensamento do lodo, visto que polímeros convencionais geram resíduos tóxicos e com este processo, o sólido ainda vai para aterro;
3. Variar o tempo de desaguamento do lodo até a saturação do geotêxtil, ou seja, até o momento em que não há mais filtração;
4. Avaliar o tempo de enchimento e velocidade de filtração das mantas.
5. Obter e/ou analisar as propriedades mecânicas, hidráulicas e físicas das amostras de geotêxtil após o deságue do lodo.
6. Avaliar compostos organoclorados, ecotoxicidade, presença de óleos e graxas e surfactantes.
7. Estudar a lixiviação do solo onde o bag ficará suportado.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR ISO 10319. (2015). Geossintéticos - Determinação das propriedades de tração em geotêxteis por meio do método de largura ampla de tiras.

ABNT NBR ISO 12236. (2006). Geossintéticos - Determinação da resistência à perfuração estática de geotêxteis e produtos relacionados usando uma sonda de 50 mm.

ABNT NBR ISO 11058. (2011). Geossintéticos - Determinação da permeabilidade à água de geotêxteis por meio da permissividade.

ABNT NBR ISO 9863-1. (2017). Geossintéticos - Determinação da resistência à tração - Parte 1: Ensaio em tração constante.

ABNT NBR ISO 9864. (2016). Geossintéticos - Determinação da espessura.

ACHON, C. L. ; BARROSO, M. M. ; CORDEIRO, J. S. . Leito de Drenagem: Sistema Natural para Redução de Volume de Lodo de Estação de Tratamento de Água. Bio. Revista de Engenharia Sanitária, v. 13, p. 144/1, 2008.

ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.18, n.2, p.115-122, 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Resolução nº 1439, de 11 de abril de 2013. Estabelece critérios gerais para a elaboração dos enquadramentos dos corpos de água em classes de uso, bem como para a execução de programas de monitoramento de qualidade das águas. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 24 abr. 2013. Disponível em: <http://www.ana.gov.br>. Acesso em: 25 de maio de 2023.

ANDREOLI, C.V. Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001. 282 p. (Projeto PROSAB). ISBN: 85-86552-19-4.

ANDREOLI, C.V.; PORTELLA, K.F.; HOPPEN, C.; SALES, A. BARON, O. Caracterização físico-química do lodo centrifugado da estação de tratamento de água Passaúna – Curitiba – Pr. 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA AMBIENTAL. Joinville, 2003.

Angelim, S. C. M., Scalize, P. S., & Angelim, R. R. (2021). Avaliação da qualidade da água bruta e caracterização do resíduo do decantador gerado na ETA Piracanjuba. Em Anais do 1º Encontro Nacional de Lodo de Estação de Tratamento de Água.

APHA - American Public Health Association; AWWA - American Water Works Association; WEF - Water Environment Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd ed. Washington, DC: APHA, 2005.

ARDILA, M. A. et al. Geotextile Tube Dewatering Performance Assessment: An Experimental Study of Sludge Dewatering Generated at a Water Treatment Plant. Sustainability, v. 12, n. 19, p. 8129, 2 out. 2020.

ARIZONA PROJECT BIOLOGICAL SCIENCE (2000). Efeito Hidrofóbico. Disponível em: <http://www.projeto-biologico.arizona.edu/biochemistry/tutorials/chemistry/page3.html#:~:text=O%20efeito%20hidrof%C3%B3bico%2C%20ou%20seja,na%20forma%C3%A7%C3%A3o%20das%20membranas%20celulares>. Acesso em: 29 jul. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10.004: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12.216: Projeto de Estação de Tratamento de Água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12.553: Têxteis - Métodos de ensaio de resistência ao rasgamento de tecidos. Rio de Janeiro, 2010.

ASTM International. (2020). ASTM D4632-20: Standard Test Method for Grab Breaking Load and Elongation of Geotextiles. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM International. (2021). ASTM D4595-21: Standard Test Method for Tensile Properties of Geotextiles by the Wide-Width Strip Method. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM International. (2018). ASTM D6241-18: Standard Test Method for Static Puncture Strength of Geotextiles and Geotextile-Related Products Using a 50-mm Probe. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM International. (2018). ASTM D4533-18: Standard Test Method for Trapezoid Tearing Strength of Geotextiles. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM International. (2020). ASTM D4751-20: Standard Test Methods for Determining Apparent Opening Size of a Geotextile. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM International. (2019). ASTM D4491-19: Standard Test Methods for Water Permeability of Geotextiles by Permittivity. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM International. (2018). ASTM D5199-18: Standard Test Method for Measuring the Nominal Thickness of Geosynthetics. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM International. (2017). ASTM D4355-17: Standard Test Method for Deterioration of Geotextiles by Exposure to Light, Moisture and Heat in a Xenon Arc Type Apparatus. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM International. (2021). ASTM D3786-21: Standard Test Method for Bursting Strength of Textile Fabrics—Diaphragm Bursting Strength Tester Method. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM International. (2018). ASTM D5261-18: Standard Test Method for Measuring Mass per Unit Area of Geotextiles. West Conshohocken, PA: ASTM International.

AVANCINI, L. L. de S., MÜLLER, M., & VIDAL, D. de M.. (2021). Application of polyelectrolytes for improving the dewatering performance of drinking water treatment sludge using geotextiles. *Revista Ambiente & Água*, 16(5), e2723. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2723>.

BABATUNDE A. O., ZHAO Y. Q. Constructive Approaches Toward Water Treatment Works Sludge Management: An International Review of Beneficial Reuses. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v. 37, n. 2, p. 129-164, 2007.

BARROSO, M. M. Influência das micro e macro propriedades dos lodos de Estações de Tratamento de Águas no desaguamento por LD. 2007. 249f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR), São Carlos, 2007.

BARROSO, M. M., ACHON, C. L., & CORDEIRO, J. S. (2021). Influência das Micro e Macropropriedades no Desaguamento e Reúso dos LETAs. Em: 1º Encontro Nacional de Lodo de ETA (LETA). ISBN 978-65-00-22350-7.

BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Estudo de caso - ETA São Carlos (São Paulo/Brasil) produção de sólidos em ETA's, 2002, Cancún. Anais. Cancún: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002. p. 1-9.

BATISTA, M.F.; MOSCHETA, I.S.; BONATO, C.M.; BATISTA, M.A.; ALMEIDA, O.J.G. de; INOUE, T.T. (2013) Aluminum in corn plants: influence on growth and morphology of root and leaf. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, n. 1, p. 177-187. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000100018>.

BIDIM Wavin Geossintéticos (2021). Geotextile Tubes. Disponível em: <https://bidimwavingeossinteticos.com/geotextile-tubes/>. Acesso em: 28 jul. 2023.

BITTENCOURT, Claudia; PAULA, Maria Aparecida Silva de. Tratamento de Água e Efluentes – Fundamentos de saneamento ambiental e gestão de recursos hídricos.

Livro digital. Editora Saraiva Educação S.A., 2021. 61 páginas. ISBN: 9788536510019.

BONDY, S.C. (2016) Low levels of aluminum can lead to behavioral and morphological changes associated with Alzheimer's disease and age-related neurodegeneration. *Neurotoxicology*, v. 52, p. 222-229. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2015.12.002>

BRASIL. DATASUS (2021). Estatísticas de Internações por Doenças de Veiculação Hídrica no Brasil em 2021. Disponível em: <https://datasus.saude.gov.br/>.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União.

BRASIL. Presidência da República Federativa do Brasil. Legislação Federal Brasileira. Brasília. Lei Federal nº 9.605 de 1998. Disponível em: <http://www.presidencia.gov.br/legislacao/>.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano/ Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 212 p.

BRASIL. Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário Oficial da União.

BRASIL, “Lei n. 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a lei n.9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências”, Diário Oficial da União, 2010.

BRASIL. Portaria GM/MS no 888, de 04 de maio de 2021. Diário Oficial da União. Brasília, 2021.

BURGOS, T. N. et al. Caracterização microbiológica e físico-química do lodo de decantadores das estações de tratamento de água após desaguamento em leito de drenagem com manta geotêxtil. *Revista Ciência e Saúde*, v. 17, n. jan-jun, p. 17–24, 2015.

BUSHELL, G.; YAN, Y.D.; WOODFIELD, D.; RAPER, J.; AMAL, R. (2002) On techniques for the measurement of the mass fractal dimension of aggregates. *Advances in Colloid and Interface Science*, v. 95, n. 1, p. 1-50. [https://doi.org/10.1016/S0001-8686\(00\)00078-6](https://doi.org/10.1016/S0001-8686(00)00078-6).

BYJUS. Sedimentation. Disponível em: <https://byjus.com/chemistry/sedimentation/>. Acesso em: 25 set. 2023.

CARDOSO, D.K., FERNANDES, L.V.O., FERNANDES, C.E., et al., “Reutilização de água: uma alternativa para o desperdício e economia da água em residências”, *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 5, pp. 24566–24581, 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n5-056>.

CARNEIRO, C. ; WEBER, P. S. ; GERVASONI, R. ; ROSS, B. Z. L. ; SIMON, P. L. ; MORO, B. G. ; MOTTA, A. C. V. . Caracterização do Lodo de ETA Gerado no Estado do Paraná. In: Charles Carneiro; Cleverson V. Andreoli. (Org.). *Lodo de Estações de Tratamento de Água Gestão e Perspectivas Tecnológicas*. 1ed.Curitiba: Thinks creative, 2013, v. 01, p. 20-652.

CASSINI, S. T. Digestão de resíduos orgânicos e aproveitamento do biogás. Rio de Janeiro: ABES, 2003

COMITÊ TÉCNICO DE GEOSSINTÉTICOS – CTGABINT. Site institucional . Disponível em: <<https://www.geossinteticos.org.br/>>. Acesso em: 05 ago. 2023.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 22 dez. 1997. Disponível em:

<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=26>. Acesso em: 19 de abril de 2023.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa a Resolução CONAMA nº 357/2005. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 maio 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 18 de abril de 2023.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 18 de abril de 2023.

Cordeiro, J.S. (2001). Processamento de lodos de Estações de Tratamento de Água (ETAs). In.: ANDREOLI, C.V. et al. Resíduos sólidos do saneamento: Processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: ABES, Projeto PROSAB.

CORNWELL, D.A. (2006) Water treatment residuals engineering. Denver: AWWA Research Foundation and American Water Works Association.

DAVID, Airton Checoni; TSUTIYA, M. T.. Secagem térmica de lodos de esgoto - determinação da umidade de equilíbrio. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2002 (Boletim Técnico).

DE COSTA, G. C. C.; DE SOUZA, C. D. R. Investigação do potencial catalítico do lodo de estação de tratamento de água. Brazilian Journal of Development, v. 5, n. 10, p. 20020-20029, 2019.

DE GODOY, L. G. G. et al. Valorization of water treatment sludge waste by application as supplementary cementitious material. *Construction and Building Materials*, v. 223, p. 939– 950, 2019.

DE OLIVEIRA, I. Y. Q.; RONDON, O. C. Diagnóstico da gestão de lodo de estação de tratamento de água em Mato Grosso do Sul. *Interações (Campo Grande)*, v. 17, n. 4, p. 687–698, 2016.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. Métodos e técnicas de tratamento de água. RIMA, 2. Ed. v. 1-2, São Carlos, 2005.

DI BERNARDO, L., DI BERNARDO, A., CENTURIONE FILHO, P. L. Ensaio de Tratabilidade de Água e dos Resíduos gerados em Estações de Tratamento de Água. Editora Rima, São Carlos – SP, 2002.

DI BERNARDO, L., DANTAS, A. D. B, VOLTAN, P. E. N. Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água. Editora LDiBe, São Carlos, SP, 2011.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. B.; VOLTAN, P. E. N. Métodos e técnicas de tratamento e disposição dos resíduos gerados em estações de tratamento de água. São Carlos: Ldibe, 540 p. 2012.

EDZWALD, J. K. *Water Quality and Treatment: a handbook on drinking water*. 6. ed. Denver: McGraw Hill, 2011.

FERNANDES, Fernando; SOUZA, Silvia Galvão de. Estabilização de lodo de esgoto. cap.2, p.28-55. In: ANDREOLI, Cleverson Vitório (Coord.). *Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, reciclagem e disposição final*. Rio de Janeiro: RIMA, ABES, 2001. 282 p.

FRANCO, E. S.; SPATINI, F. D. ; PERREITA, R.R . Avaliação da Influência dos Coagulantes Sulfato de Alumínio e Cloreto Férrico na Remoção de Turbidez e Cor nas Estações de Tratamento de Água Funil e Mata do Seminário com Determinação de

Dosagens Ótimas de Aplicação. In: VIII ENEEAmb e ELEMA, 2010, Foz do Iguaçu. Avaliação da Influência dos Coagulantes Sulfato de Alumínio e Cloreto Férrico na Remoção de Turbidez e Cor nas Estações de Tratamento de Água Funil e Mata do Seminário com Determinação de Dosagens Ótimas de Aplicação, 2010.

FREITAS, N. L.; MANEIRO, M. G.; COURY, J. R. Estudo da permeabilidade de filtros cerâmicos de aerossol em altas temperaturas. *Projeções*, v. 21, p. 29-38, 2003.

FROTA, T. B.; GEHLING, G. R.; DA SILVA, S. W.. ANÁLISE TÉCNICO-FINANCEIRA DE ALTERNATIVAS DE PROCESSOS DE DESIDRATAÇÃO DE LODOS DE ETA. In: 1º Encontro Nacional de Lodo de Estação de Tratamento de Água, 2021, Online. 1º Encontro Nacional de Lodo de Estação de Tratamento de Água - Conexões para Inovação Tecnológica, 2021.

FROTA, Thaís B., GEHLING, Gino R. Proposta de metodologia para análise de projetos de tratamento de lodos de ETA. Congresso de Água Ambiente e Energia. 2019. Disponível em: [\[https://www.fing.edu.uy/imfia/congresos/caae/assets/trabajos/new/Trabajos-Poster/86 Proposta de metodologia para an%C3%A1lise de projetos de tratamento de lodos de ETA.pdf\]](https://www.fing.edu.uy/imfia/congresos/caae/assets/trabajos/new/Trabajos-Poster/86%20Proposta%20de%20metodologia%20para%20an%C3%A1lise%20de%20projetos%20de%20tratamento%20de%20lodos%20de%20ETA.pdf).

Google LLC. Google Maps. Imagem de satélite. Disponível em: <https://maps.app.goo.gl/xC77BBmosdneEKf38>. Acesso em: 05 de março de 2023.

GRANDIN, S. R.; Alem Sobrinho, P.; Garcia Jr., A. D.; Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Natal, Brasil, 1993.

HEDLUND, K. F. S.; MARASCHIN, M. ; CARISSIMI, ELVIS . Influência da Ozonização em Lodo de Estação de Tratamento de Água. In: 8º Fórum Internacional Ecoinnovar, 2019, Santa Maria. 8º Fórum Internacional Ecoinnovar, 2019.

IGSBR. Recomendação 004: Aplicação de geossintéticos em áreas de disposição de resíduos. Brasil, 2014.

JANUÁRIO, G. F. FILHO, S. S. F. Planejamento e aspectos ambientais envolvidos na disposição final de lodos das estações de tratamento de água da Região Metropolitana de São Paulo. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522007000200002>.

KAWAMURA, Susumu. Integrated design and operation of water treatment facilities. 2 ed. Nova York: Editora: John Wiley e Sons, Inc, 2000.

KIYOMI, E. et al. Drenagem / secagem de lodo de decantadores de ETAs em manta geotêxtil Drainage / drying of sludge decanters from WTP on geotextile blanket. Revista DAE, n. 194, p. 24–34, 2014.

KURITA (s.d.). Kurita Brasil - Soluções em tratamento de água e efluentes. Recuperado de <https://kurita.com.br/artigos-tecnicos/tratamento-quimico-para-estacao-de-tratamento-de-agua/>.

KURODA, E. K. et al. Drenagem / secagem de lodo de decantadores de ETAs em manta geotêxtil. Revista DAE, v. 62, n. 194, p. 24–35, 2014.

LEHNINGER, Albert Loster / NELSON, David L. and COX, Michael M. Lehninger principles of Biochemistry, fifth edition. W. H. Freeman and Company, New York, 2008.

LIBÂNIO, M. Fundamento de qualidade e tratamento de água. 3. ed. Campinas, São Paulo: Editora Átomo, 494 p., 2010.

LUDUVICE, Maurício; GONÇALVES, Ricardo Franci; LIMA, Márcia Regina Pereira; RAMALDES, Dalton Luis da Cunha; FERREIRA, Andréia Cristina; TELES, Claudia Rodrigues; ANDREOLI, Cleverson Vitorio. Desidratação de lodo de esgotos. cap.3. p. 56-86. In: ANDREOLI, Cleverson Vitorio (Coord.). Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: Rima Artes e Textos, 287 p, 2001.

LUPATINI, Giancarlo; ANDREOLI, Cleverson Vitorio; CASTRO, Rodrigo Azevedo; BORGES, Nayara Batista; CAMPOS, José Roberto; BARBOSA, Ana Julia Soares;

ARAÚJO, André Luis Calado; ANDRADE NETO, Cícero Onofre de; YAMADA, Fabio; COLTRO, Daniel Zonneveld. cap.4. p.76-180. 2009. In: ANDREOLI, Cleverson Vitorio (Coord.). Lodo de fossa e tanque séptico: caracterizacao, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final.

LUSTOSA, J. B. et al. Tratamento e aproveitamento de água de lavagem de filtro em estação de tratamento de água. Revista DAE, v. 65, n. 206, p. 44–61, 1 maio 2017.

MERT, R.; ALAS, A.; BULUT, S.; ÖZCAN, M.M. (2014) Determination of heavy metal contents in some freshwater Fishes. Environmental Monitoring and Assessment, v. 186, n. 11, p. 8017-8022. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3984-2>.

MIKI, Marcelo Kenji; ALEM SOBRINHO, Pedro; VAN HAANDEL, Adrianus Cornélio. Tratamento da fase sólida em estações de tratamento de esgotos – condicionamento, desaguamento, mecanizado e secagem térmica do lodo. In: Biossólidos: Alternativas de Uso de Resíduos do Saneamento. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

MIKI, M. K.; Sampaio, A.O.; Pedro Alem Sobrinho. BENEFÍCIOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS REFERENTES À SUBSTITUIÇÃO, POR POLÍMEROS, DO MÉTODO TRADICIONAL DE CONDICIONAMENTO QUÍMICO PARA DESAGUAMENTO DE LODO DE ETE EM FILTRO PRENSA DE PLACAS. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000, Porto Alegre. Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental - AIDIS, 2000.

MOLINA, T. (2010) Caracterização e tratamento de água de lavagem de filtros de ETA com o uso de polímeros sintéticos e amido de batata. Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 2, n. 3, p. 28-44.

MONTEIRO, N. et al. Avaliação do desague de lodo físico-químico de estação de tratamento de água por Geotêxteis. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica, v. 11, n. 2, p. 266–277, 2018.

MORAES, B. S.; SCHNEIDER, I. A. H.; SCHWANKE, C. M.; YOUNG, J.. ENERGIA SUSTENTÁVEL: Estudo Comparativo entre Lodos de Estações de Tratamento de Água Gerados com Coagulantes Distintos Frente a sua Capacidade na Produção de

Energia. In: Fladimir Fernandes dos Santos; Nirlene Fernandes Cechin; Marco Aurélio Batista de Sousa. (Org.). Estudos Científicos com enfoque no Desenvolvimento Sustentável. 1ed. Bagé: Faith, 2019, v. II, p. 41-59.

MOREIRA, R. C. A.; GUIMARÃES, E. M.; BOAVENTURA, G. R. A.; MOMESSO, A. M.; LIMA, G. L. Estudo geoquímico da disposição de lodo de estação de tratamento de água em área degradada. Química Nova, v. 32, n. 8, p. 2085-2093, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422009000800019>

MOREIRA, R.C.A.; BOAVENTURA, G.R.; NUNES, S.A.; PINHEIRO, L.A.; NASCIMENTO, C.T.C.; SILVA, D.R.; LIRA, C.P. (2011) Geochemical and Geophysical Study in a Degraded Area Used for Disposal of Sludge from a Water Treatment Plant. Applied and Environmental Soil Science, v. 2011, Article ID 489182, <http://dx.doi.org/10.1155/2011/489182>.

MORUZZI, R.B.; OLIVEIRA, A.L.; CONCEIÇÃO, F.T.; GREGORY, J.; CAMPOS, L.C. (2017) Fractal dimension of large aggregates under different flocculation conditions. Science of the Total Environment, v. 609, p. 807-814. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.194>.

MORUZZI, R.B.; SILVA, P.G.; SHARIFI, S.; CAMPOS, L.C.; GREGORY, J. (2019) Strength assessment of alhumic and Al-Kaolin aggregates by intrusive and non-intrusive methods. Separation and Purification Technology, v. 217, p. 265-273. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.02.033>.

MORUZZI, R.B.; REALI, M.A.P. (2007) Método para determinação de distribuição de tamanho de microbolhas (DTMB) em sistemas flotação (FAD) para tratamento de águas utilizando a análise de imagem digital. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 12, n. 3, p. 273-283. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522007000300007>

MOTTA SOBRINHO, M.A., TAVARES, R.G., ARRUDA, V.C.M., et al., “Geração, tratamento e disposição final dos resíduos das estações de tratamento de água do estado de Pernambuco”, Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 24, n. 4, pp. 761–771, 2019. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522019175810>.

MÜLLER, M.; VIDAL, D. M.. Comparison between Open and Closed System for Dewatering with Geotextile: Field and Comparative Study. INTERNATIONAL JOURNAL OF CIVIL & ENVIRONMENTAL ENGINEERING, v. 13, p. 627/00000000919-632, 2019.

MÜLLER, M.; VIDAL, D. M.; GUANAES, E. A.; FREITAS, M. R. Comparativo de Desaguamento em Ensaio Piloto entre Bolsas Geotêxteis com e sem Drenagem Vertical. In: Anais do 1º Encontro Nacional de Lodo de Estação de Tratamento de Água, 2021, São Paulo. p. 144-147.

NASSER, M.S. (2014) Characterization of floc size and effective floc density of industrial paper making suspensions. Separation and Purification Technology, v. 122, p. 495-505. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2013.12.008>

OLIVEIRA, E. M. S.; MACHADO, S. Q.; HOLANDA, J. N. F. Caracterização de resíduo (lodo) proveniente de estação de tratamento de águas visando sua utilização em cerâmica vermelha. Cerâmica, v. 50, n. 316, p. 324–330, 2004.

OLIVEIRA, M. D., TONON, B. S., CALIARI, D. N., & CAMPOS, K. (2021). Uso de Geotêxtil no Deságue de Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água. Em: 1º Encontro Nacional de Lodo de Estação de Tratamento de Água, pp. 185-188. Anais do Evento. ISBN 978-65-00-22350-7.

OLIVEIRA, S. F. M. de., TENÓRIO, T. M., & MARQUES, S. K. J.. (2023). Caracterização do lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) da cidade de Palmeira dos Índios - Alagoas para potencial aplicação em massas cerâmicas. Matéria (Rio de Janeiro), 28(4), e20230088. <https://doi.org/10.1590/1517-7076-RMAT-2023-0088>.

PADILHA, Jean Carlos; LUCCHESI, L. A. C.; SILVA, L. C.. Avaliação de matéria seca da parte aérea de soja e milho expostos a diferentes concentrações de Alumínio no cultivo em dois latossolos que sofreram a aplicação de misturas de lodos de ETE e

ETA. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2007, Gramado/RS. Anais do XXXI Congresso Brasileiro em Ciência do Solo, 2007.

PAVIA, Donald L. et al. Introdução à Espectroscopia. 1. ed. Bellingham, Washington: Cengage CTP, 2010. 716 p. ISBN 8522107084.

PEREIRA E SILVA, L. D.; SILVA, G. G.; QUEIROZ, S. C. B. Variáveis de influência no desaguamento de lodo de ETA por tecido geotêxtil. Jornada de Iniciação Científica e Extensão - JICE. Anais. Palmas: 2018.

REN, P.; NAN, J.; ZHANG, X.; ZHENG, K. (2017) Analysis of floc morphology in a continuous-flow flocculation and sedimentation reactor. Journal of Environmental Sciences, v. 52, p. 268-275. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.04.007>.

RIBEIRO, Frederico Luiz de Matos. Quantificação e caracterização química dos resíduos da ETA de Itabirito. Em: 37ª Assembleia Nacional da ASSEMAE. 2007. (Congresso).

RICHTER, C. A. Tratamento de lodos de estações de tratamento de água. 1 ed. São Paulo: Blücher. 102 p., 2001.

RICHTER, C. A. Água: Métodos e Tecnologia de Tratamento. São Paulo: Blücher, 2009.

RICHTER, C. A.; NETTO, J. M. DE A. Tratamento de água: tecnologia atualizada. São Paulo: Blücher, 1991.

RODRIGUES, L. P.; HOLANDA, J. N. F. . Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solo-cimento. Cerâmica, v. 59, p. 551-556, 2013.

SABESP – COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Site institucional. Disponível em: <www.sabesp.com.br>. Acesso em: 01 jun. 2023.

SANTOS, B.; OLIVEIRA, A. L.; SALLA, M. R.; ALAMY FILHO, J. E.; PEREIRA, C. E.. Avaliação de sistema de leito de drenagem no desaguamento do lodo de Estação de Tratamento de Água com ênfase na influência dos agentes externos na fase de secagem. *Ciencia y Engenharia/ Science and Engineering Journal*, v. 23, n. 1, p. 65–71, 1 jan. 2014.

SANTOS, M. D., & CARNEIRO, A. M. P. (2021). Estudo piloto do uso do lodo de ETAs em argamassas. Em *Anais do 1º Encontro Nacional de Lodo de Estação de Tratamento de Água (LETA)* (p.65-68). ISBN 978-65-00-22350-7.

SCHORR, Adriano de Souza. *Tratamento de Águas e Efluentes*. 1. ed. 2022. 208 p. ISBN 9786556751115.

SERVIÇO AUTÔNOMO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO DE JARAGUÁ DO SUL – SAMAE. Site institucional. Disponível em: <<https://www.samaejs.com.br/>>. Acesso em: 01 ago. 2023.

SERVIÇO AUTÔNOMO DE SANEAMENTO DE PELOTAS – SANEP. Site institucional. Disponível em: <<https://portal.sanep.com.br/>>. Acesso em: 06 ago. 2023.

SILVA, G. G.; DANTAS, A. B.; QUEIROZ; R, M. I.; GUIMARAES, M. A. R.. USO DA METODOLOGIA DE SUPERFICIE DE RESPOSTA PARA AVALIAÇÃO DO DESAGUAMENTO DE RESÍDUOS DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM FILTRAÇÃO GEOTÊXTIL. *REVISTA AIDIS DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AMBIENTALES*, v. 13, p. 939-956, 2020.

SILVA, C.A.; SILVEIRA, C.; SILVA, F.A.; KLEN, M.R.F.; BERGAMASCO, R. (2012) Classificação dos lodos formados durante o processo de coagulação/floculação da água com os coagulantes PAC e Moringa Oleífera. *Engevista*, v. 14, n. 3. p. 302-309. <https://doi.org/10.22409/engevista.v14i3.380>

SILVA JR., A. P. da; ISAAC, R. de L. Adensamento por Gravidade de Lodo de ETA Gerado em Decantador Convencional e Decantador Laminar. In: CONGRESSO

INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, XXVIII, 2002, Cancun – México. Anais[...] Cancun: AIDIS, 2002. 1 CD-ROM.

Silveira, C., Kuroda, E. K., Abe, C. H., Yoshiaki, L., & Hirooka, E. Y.. (2015). Desaguamento do lodo de estações de tratamento de água por leito de drenagem/secagem. *Engenharia Sanitária E Ambiental*, 20(2), 297–306. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020000082264>.

SIRHESC - Sistema Integrado de Recursos Hídricos de Santa Catarina. Disponível em: <https://www.aguas.sc.gov.br/>. Acesso em: 21 de julho de 2023.

SKORONSKI, E., Niero, B., Fernandes, M., Alves, M. V., & Trevisan, V.. (2014). Estudo da aplicação de tanino no tratamento de água para abastecimento captada no rio Tubarão, na cidade de Tubarão, SC. *Revista Ambiente & Água*, 9(4), 679–687. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1303>.

SNATURAL. **Deságue de Lodo com Bag Geotêxtil**. Disponível em: <https://www.snatural.com.br/desague-lodo-bag/>. Acesso em: 09 out. 2023.

SSWM. (2023). "Slow Sand Filtration." Sustainable Sanitation and Water Management. Recuperado de <<https://sswm.info/sswm-university-course/module-6-disaster-situations-planning-and-preparedness/further-resources-0/slow-sandfiltration>>. Acesso em: 05 out. 2023.

SYMONS, G. E. Water treatment through the ages. Centennial, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2006.tb07609.x>.

TAKADA, C.R.S.; SERRA, J.C.V.; MAFRA, W.A.; BORBA, K.C.A. (2013) Aproveitamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água no município de Palmas - TO. *Engenharia Ambiental*, v. 10, n. 2, p. 157-165.

TOMMASI, L.; SENS, M. L. . Evaluation of the Performance of Conventional Water Treatment and Direct filtration Treatment plant in the City of Tijucas/SC, Brazil. *INTERNATIONAL JOURNAL OF RESEARCH IN ENGINEERING AND SCIENCE*, v. 10, p. 188-198, 2022.

URASHIMA, B. M. C. et al. Sistema de confinamento de resíduos empregando geotêxteis comparados a leito de drenagem para desaguamento de lodo de estação de tratamento de água. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 5, p. 25244–25260, 7 maio 2020.

URBAN, R.C., ISAAC, R.d.L. WTP and WWTP sludge management: a case study in the metropolitan area of Campinas, southeastern Brazil. *Environ Monit Assess* 190, 584 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6972-0>.

VAN SANTVOORT, G. (1994) - *Geotextiles and Geomembranes in Civil Engineering*, 1994, p. 517, 518. A.A. Balkema - Rotterdam – Netherlands.

VANDAMME, D.; MUYLAERT, K.; FRAEYE, I.; FOUBERT, I. (2014) Floc characteristics of *Chlorella vulgaris*: Influence of flocculation mode and presence of organic matter. *Bioresource Technology*, v. 151, p. 383-387. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.09.112>.

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

WHITE, David P. *Química a ciência central*. Prentice Hall, 2005.

WOŁOWIEC, M., Pruss, A., Komorowska-Kaufman, M., Lasocka-Gomuła, I., Rzepa, G., & Bajda, T. (2019). The properties of sludge formed as a result of coagulation of backwash water from filters removing iron and manganese from groundwater. *Research Gate*, 1(639), 11 páginas. DOI: 10.1007/s42452-019-0653-7