



## **Desaguamento de lodo de estação de tratamento de água por meio de bolsas geotêxteis: com e sem restrições laterais**

**Denise de Carvalho Urashima**

Professora Doutora, Centro Federal de Educação Tecnológica, CEFET-MG, Varginha, BR

uashima@cefetmg.br

ORCID 0000-0001-9038-7349

**Mag Geisielly Alves Guimarães**

Professora Doutora, Centro Federal de Educação Tecnológica, CEFET-MG, Varginha, BR

mag@cefetmg.br

ORCID 0000-0002-3420-7427

**Marcus Vinicius Mendes Pereira**

Mestrando em Engenharia Civil, Centro Federal de Educação Tecnológica, CEFET-MG, BR

marcus.pereira@aluno.cefetmg.br

ORCID 0000-0002-5582-167X

Submissão: 27/10/2025

Aceite: 04/12/2025

URASHIMA, Denise de Carvalho; GUIMARÃES, Mag Geisielly Alves; PEREIRA, Marcus Vinicius Mendes.

Desaguamento de lodo de estação de tratamento de água por meio de bolsas geotêxteis: com e sem restrições laterais. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, [S. I.], v. 21, n. 2, 2025.

DOI: [10.17271/1980082721220256110](https://doi.org/10.17271/1980082721220256110). Disponível

em: [https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum\\_ambiental/article/view/6110](https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/6110)

Licença de Atribuição CC BY do Creative Commons <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



**Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**

*Electronic Journal Environmental Forum of Alta Paulista*

ISSN 2966-2931 Suporte Online / Online Support - ISSN 1980-0827 Suporte CD-ROM / CD-ROM Support

Edição em Português e Inglês / Edition in Portuguese and English - v. 21, n. 2, 2025

---

## Desaguamento de lodo de estação de tratamento de água por meio de bolsas geotêxteis: com e sem restrições laterais

### RESUMO

**Objetivo** – Avaliar o desempenho de bolsas geotêxteis no desaguamento de lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA), com e sem restrições físicas laterais, por meio de enchimentos cílicos.

**Metodologia** – A pesquisa foi conduzida por meio de ensaios de campo, com a coleta de lodo proveniente dos decantadores de uma Estação de Tratamento de Água (ETA), seguida da avaliação do condicionamento químico desse resíduo por meio de ensaios de cone. Posteriormente, realizou-se o desaguamento do lodo em bolsas geotêxteis, sob duas condições experimentais: com restrições laterais (CR) e sem restrições laterais (SR), ambos executados em réplicas. Os ensaios contemplaram três ciclos sucessivos de enchimento, com monitoramento de turbidez (NTU), massa de filtrado (kg), massa retida nas bolsas (kg), altura de enchimento e teores de sólidos totais no lodo e no filtrado (mg/L). Adicionalmente, foram determinados parâmetros de eficiência, incluindo a eficiência de filtração (EF), eficiência de desaguamento (ED), sólidos passantes (SP) e piping (PP).

**Originalidade/relevância** – A pesquisa responde aos desafios contemporâneos relacionados ao tratamento e à disposição adequada dos resíduos gerados em Estações de Tratamento de Água (ETAs). Ao investigar o desaguamento de lodos em condições com restrições laterais (CR) e sem restrições laterais (SR), o estudo discute a viabilidade técnica do uso de sistemas geotêxteis tanto em ambientes confinados e submetidos a esforços laterais, quanto em situações emergenciais, de forma a ampliar as perspectivas de aplicação dessa tecnologia conforme evidenciado na literatura especializada.

**Resultados** – Destaca-se a relevância do condicionamento químico para tornar viável o desaguamento de resíduos sólidos com elevado teor líquido e alta resistência à filtração. Nesse contexto, utilizou-se o polímero aniônico A110, na concentração de 0,2% e dosagem de 30 mL/L. Os ensaios realizados com restrições laterais (CR) apresentaram melhores desempenhos de eficiência, com eficiência de filtração (EF) de 99,5%, sólidos passantes (SP) de 0,5% e perda de partículas (*piping* – PP) de 0,8 g/m<sup>2</sup>. Adicionalmente, registraram-se menores valores de turbidez nos filtrados obtidos nas condições de desaguamento com restrições laterais.

**Contribuições teóricas/metodológicas** – A pesquisa contribui para o avanço do conhecimento sobre os processos de desaguamento de lodos de ETA em sistemas geotêxteis, de forma a oferecer subsídios técnicos para tomadas de decisão relacionadas ao condicionamento químico do lodo, à avaliação das condições de contorno e ao comportamento dos desaguamentos com restrições laterais (CR), com base em parâmetros de eficiência. Dessa forma, o estudo fornece elementos que podem orientar a adoção e o sucesso dessa tecnologia em ETA's, especialmente em cenários com limitações de área disponível para tratamento.

**Contribuições sociais e ambientais** – A pesquisa destaca a situação emergencial de tratamento e disposição adequada de lodos de ETA e a busca pela sustentabilidade social e ambiental. A tecnologia de desaguamento por sistemas geotêxteis viabiliza a gestão e manejo adequado destes resíduos industriais e seu alinhamento direto aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, com destaque a ODS 6, 9, 11, 12, 14 e 15.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sustentabilidade social e ambiental. Desaguamento em bolsas geotêxteis. Lodos de Estações de Tratamento de Água.

## Water treatment plant sludge dewatering using geotextile bags: with and without lateral constraints

### ABSTRACT

**Objective** – To evaluate the performance of geotextile (GTX) bags in terms of dewatering sludge derived from a Water Treatment Plant (WTP)—with and without lateral constraints (LCs)—through cyclic fillings.

**Methodology** – The research was conducted through field tests. Sludge was collected from the decanters of a WTP, and this was followed by an evaluation of the chemical conditioning of this waste with cone tests. The sludge was subsequently dewatered in GTX bags under two experimental conditions, namely, with LCs and without LCs, both of which were performed in replicates. The tests included three successive filling cycles, with monitoring of the turbidity

(NTU), filtrate mass (kg), mass retained in the bags (kg), filling height and total solid (TS) content in the sludge and filtrate (mg/L). Additionally, efficiency parameters, including the filtration efficiency (FE), the dewatering efficiency (DE), passing solid (SP) rate and piping (PP), were determined.

**Originality/relevance** – The study addresses contemporary challenges related to the treatment and proper disposal of waste generated by WTPs. In the context of the dewatering of sludge under conditions with LCs and without LCs, the technical feasibility of the use of GTx systems in confined environments, GTx systems that are subjected to lateral forces, and the use of GTx systems in emergency situations is discussed. The aim is to broaden the application perspectives of this technology, as evidenced in the specialized literature.

**Results** – Chemical conditioning is relevant to making the dewatering of solid wastes with high liquid contents and high levels of resistances to filtration viable. In this context, the anionic polymer A110 was used at a concentration of 0.2% and dosage of 30 mL/L. The tests performed with LCs showed better efficiency, with a FE of 99.5%, a SP rate of 0.5% and a particles loss (PP) of 0.8 g/m<sup>2</sup>. Additionally, lower turbidity values were recorded in the filtrates obtained under dewatering conditions with LCs.

**Theoretical/methodological contributions** – The study contributes to the advancement of knowledge concerning WTP sludge dewatering processes implemented in GTx systems to provide technical support for decision-making tasks related to the chemical conditioning of sludge, evaluations of boundary conditions and the behavior of dewatering with LCs, which is based on efficiency parameters. Thus, the study provides elements that can guide the adoption and success of this technology in WTPs, especially in scenarios with limited areas available for treatment.

**Social and environmental contributions** – This study highlights the emergency situation concerning the treatment and proper disposal of WTP sludge and the search for social and environmental sustainability. Dewatering technology involving GTx systems enables the proper management of these industrial wastes and their direct alignment with sustainable development goals (SDGs), especially SDGs 6, 9, 11, 12, 14 and 15.

**KEYWORDS:** Social and environmental sustainability. Dewatering in geotextile bags. Sludge from Water Treatment Plants.

## Deshidratación de lodos de plantas de tratamiento de aguas mediante bolsas geotextiles: con y sin restricciones laterales

### RESUMEN

**Objetivo** – Evaluar el rendimiento de las bolsas geotextiles en la deshidratación de lodos de una Planta de Tratamiento de Aguas (PTAR), con y sin restricciones físicas laterales, mediante llenado cíclico.

**Metodología** – La investigación se llevó a cabo mediante pruebas de campo, con la recolección de lodos de los decantadores de una Planta de Tratamiento de Aguas (PTAR), seguida de la evaluación del acondicionamiento químico de este residuo mediante ensayos de cono. Posteriormente, los lodos se deshidrataron en bolsas geotextiles bajo dos condiciones experimentales: con restricciones laterales (CR) y sin restricciones laterales (SR), ambas realizadas por réplica. Las pruebas incluyeron tres ciclos de llenado sucesivos, con monitoreo de turbidez (NTU), masa de filtrado (kg), masa retenida en las bolsas (kg), altura de llenado y contenido total de sólidos en lodos y filtrado (mg/L). Además, se determinaron parámetros de eficiencia, incluyendo eficiencia de filtración (EF), eficiencia de deshidratación (ED), sólidos que pasan (PS) y tuberías (PP).

**Originalidad/Relevancia** – Esta investigación aborda los desafíos contemporáneos relacionados con el tratamiento y la correcta disposición de los residuos generados en las Plantas de Tratamiento de Agua (PTA). Mediante la investigación de la deshidratación de lodos en condiciones de restricción lateral (CR) y sin restricción (SR), el estudio analiza la viabilidad técnica del uso de sistemas geotextiles tanto en entornos confinados como con tensión lateral, así como en situaciones de emergencia, ampliando así las perspectivas de aplicación de esta tecnología, como se evidencia en la literatura especializada.

**Resultados** – Se destaca la relevancia del acondicionamiento químico para la deshidratación de residuos sólidos con alto contenido de líquido y alta resistencia a la filtración. En este contexto, se utilizó el polímero aniónico A110 en una concentración del 0,2 % y una dosis de 30 mL/L. Las pruebas realizadas con restricción lateral (CR) mostraron una mejor eficiencia de filtración (EF) del 99,5 %, un paso de sólidos (SP) del 0,5 % y una pérdida de partículas (tuberías – PP) de 0,8 g/m<sup>2</sup>. Además, se registraron valores de turbidez más bajos en los filtrados obtenidos en condiciones de deshidratación con restricciones laterales.

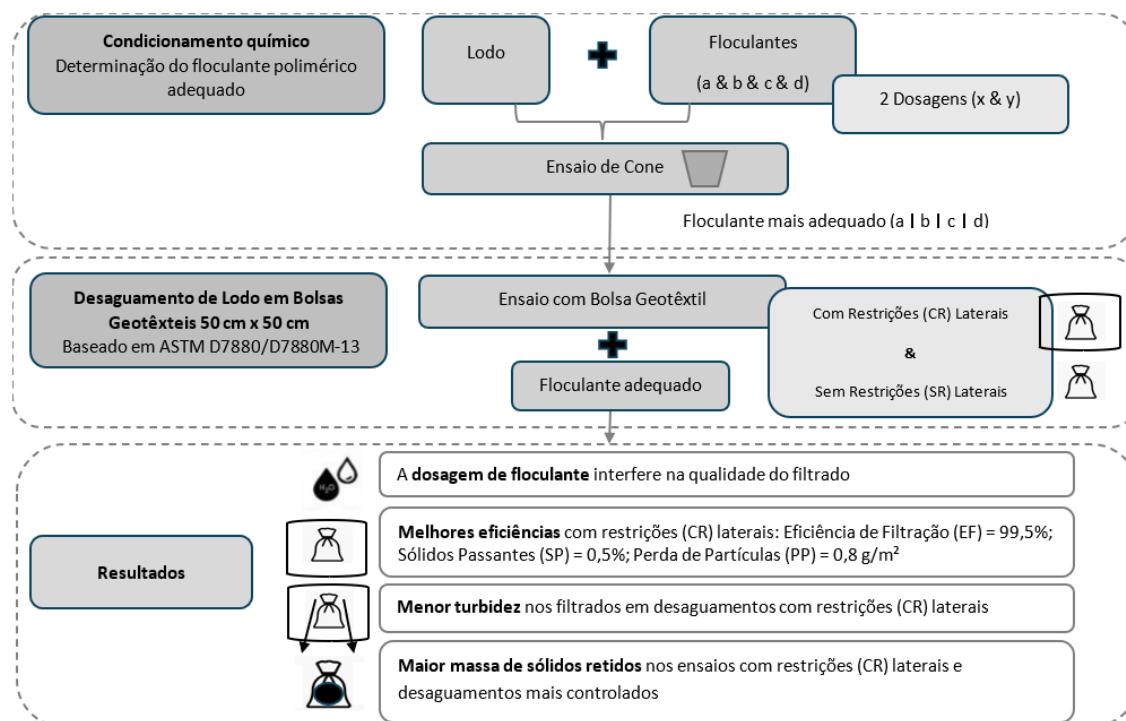
**Contribuciones Teóricas/Metodológicas** – Esta investigación contribuye al avance del conocimiento sobre los procesos de deshidratación de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en sistemas geotextiles,

brindando soporte técnico para la toma de decisiones relacionadas con el acondicionamiento químico de los lodos, la evaluación de las condiciones de borde y el comportamiento de la deshidratación con restricciones laterales (CR), con base en parámetros de eficiencia. Por lo tanto, el estudio proporciona elementos que pueden guiar la adopción y el éxito de esta tecnología en plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), especialmente en escenarios con área disponible limitada para el tratamiento.

**Contribuciones Sociales y Ambientales** – La investigación destaca la urgente necesidad de un tratamiento y disposición adecuados de los lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y la búsqueda de la sostenibilidad social y ambiental. La tecnología de deshidratación con geotextiles permite la gestión y el manejo adecuados de estos residuos industriales y su alineación directa con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular los ODS 6, 9, 11, 12, 14 y 15.

**PALABRAS CLAVE:** Sustentabilidad social e ambiental. Desaguamento em bolsas geotêxteis. Lodos de Estações de Tratamento de Água.

#### RESUMO GRÁFICO



Fonte: Autores (2025).

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial e a consequente elevação na demanda por água doce, recurso essencial e limitado, têm acentuado a preocupação internacional quanto aos impactos ambientais decorrentes das ações antrópicas (Gomes Néto *et al.*, 2020). Tal cenário é agravado por padrões de consumo cada vez mais elevados e que sustentam um modelo produtivo altamente dependente da exploração de recursos naturais, bem como a escassez hídrica, especialmente pela contaminação de corpos d'água por resíduos domésticos e industriais (Cadore; Tochetto, 2021; Karadoğan *et al.*, 2022).

Frente a tais desafios, diversas iniciativas globais buscam promover a conscientização ambiental e fomentar mudanças estruturais nos modelos de produção e desenvolvimento. Destacam-se a Conferência de Estocolmo (1972), a Rio-92 e a Rio+10 (2002), marcos que antecederam a formulação da Agenda 2030 pela Organização das Nações Unidas (ONU), a qual propõe 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) globais e 169 metas indissociáveis (Nações Unidas Brasil, 2015).

No Brasil, essa preocupação começou a se consolidar como política pública em 1971, com a criação do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), que impulsionou a expansão das redes de abastecimento e a construção de Estações de Tratamento de Água (ETAs) em diversas regiões do país. Muitas das estações foram implantadas no Brasil há mais de cinco décadas e, portanto, em um cenário anterior ao surgimento de legislações ambientais voltadas ao desenvolvimento sustentável, o que resultou na ausência de Unidades de Tratamento de Resíduos (UTR) integradas aos sistemas de potabilização em sua concepção original (Borma *et al.*, 2021; Müller *et al.*, 2023).

Com o aumento populacional e a consequente elevação da demanda por água tratada, as ETAs passaram a operar em áreas que, ao longo do tempo, foram densamente urbanizadas. Mesmo com o avanço significativo das normas/legislações ambientais, muitas dessas unidades não dispõem de espaço físico suficiente para a implantação de estruturas adequadas ao tratamento e disposição dos resíduos gerados nos processos de clarificação, sedimentação e filtração (Bellaver; Santos, 2019; Oliveira; Barcelo; Colares, 2013; Pereira; Tsugawa; Boscov, 2018; Silva; Achon; Isaac, 2022).

Os resíduos das ETAs são denominados de lodos de decantadores e água de lavagem dos filtros (Richter, 2021; Richter; Netto Azevedo, 2021). Classificados como resíduos sólidos de Classe II A, ou seja, não perigosos e com potenciais de contaminação, se dispostos incorretamente (ABNT NBR 10004-1:2024; ABNT NBR 10004-2:2024), o Lodo de Estação de Tratamento de Água (LETA) é um fluido tixotrópico com comportamento não-newtoniano, apresenta elevado teor de líquidos em relação ao teor de sólidos, bem como resistência à filtração e à sedimentação e baixa biodegradabilidade (Boscov; Tsugawa; Montalvan, 2021; Richter, 2021).

Embora haja variabilidade nas características do LETA, em geral, tem-se a presença de fósforo, potássio, flúor, cloro e cal, microrganismos potencialmente patogênicos, materiais sólidos em suspensão, metais como alumínio, ferro, cobre, zinco e possíveis metais pesados, além de areia, argila e silte (Andreoli *et al.*, 2001; Pereira; Tsugawa; Boscov, 2018; Reali *et al.*,

1999). Apresentam massa específica em torno de 1,002 e 1,500 kg/m<sup>3</sup> e teor de sólidos de 0,1% até 2,0% (Reali *et al.*, 1999; Richter, 2021). A cor marrom do lodo, em geral, está associada ao emprego de sulfato de alumínio (Al<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ou sais de ferro como coagulantes (Di Bernardo; Dantas; Voltan, 2011; Reali *et al.*, 1999).

O referido resíduo não pode ser descartado em corpos d'água ou redes de esgoto sem tratamento prévio (ABNT NBR 10004-1:2024; ABNT NBR 10004-2:2024; Brasil, 2011). A Lei nº 9.605 (Brasil, 1998) estabelece que a disposição do LETA em desacordo com as exigências preconizadas constitui-se em crime ambiental, em função dos impactos à vida nestes ambientes. Silva, Achon e Isaac (2022) afirmam que 56% do lodo de ETA foi descartado em corpos d'água em 2017 nos municípios brasileiros, ao passo que 23% foram destinados a aterro sanitário, 13% em terreno, lixão ou aterro controlado, 7% destinados a processos de reaproveitamento e 1% para demais destinações. Portanto, as relações entre gestão integrada destes resíduos, meio ambiente e saúde pública são emergenciais e de suma importâncias (Garcia; Ferreira, 2017).

Dados do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares) indicam que, em 2018, o Brasil tratou aproximadamente 13,11 bilhões de m<sup>3</sup> de água, e gerou, em 2017, mais de 778 milhões de toneladas de lodo, com a região Sudeste responsável por 43% desse volume. Ainda assim, esse valor não reflete integralmente a quantidade efetivamente produzida pelas ETAs no país (Brasil, 2022). Essa realidade evidencia a necessidade de soluções técnicas sustentáveis que permitam o tratamento e a disposição adequada do LETA de forma a priorizar a gestão ambiental e evitar o seu descarte sem tratamento prévio (Hussein *et al.*, 2021).

Nesse cenário, o emprego dos geossintéticos (GSY), em particular de geotêxteis, nos processos de tratamento de lodo de ETA, desponta como importante técnica, pois são materiais com funções versáteis e capazes de desempenhar relevante papel nas soluções de engenharia para o desenvolvimento sustentável (Touze, 2021). Os geotêxteis (GTX) são materiais permeáveis e de estrutura plana, os quais podem desempenhar inúmeras funções, tais como filtração de partículas sólidas em suspensão (ABNT NBR ISO 10318-1, 2021).

Para fins de desaguamento, os geotêxteis podem ser estruturados em forma de bolsas, tubos ou confinados em containers, cuja terminologia depende as dimensões deste sistema (IGS-BRASIL, 2016). Esse processo ocorre por meio de ciclos sucessivos de bombeamento, cujas características (volume bombeado, estabilidade e integridade do sistema) dependem das condições de contorno específicas. São previstos intervalos adequados entre os ciclos, com o objetivo de otimizar o desempenho do desaguamento e promover a consolidação da fração sólida no interior da estrutura geotêxtil (Guimarães; Urashima; Vidal, 2014; Lawson, 2008).

Comumente adiciona-se floculantes ou condicionadores químicos aos resíduos de lodo, com fins de reter as partículas sólidas coaguladas, transportadas para um local apropriado de disposição, e desaguar a fração líquida, que pode ser direcionada para tratamento ou reciclagem (Mattos *et al.*, 2019).

O desaguamento de lodo em geotêxteis apresenta elevada adaptabilidade às limitações físicas e operacionais de muitas ETAs no Brasil, conforme destacado anteriormente e, portanto, representam uma importante solução de engenharia para a destinação segura de resíduos com alto teor de líquidos em relação ao teor de sólidos. Guimarães e Urashima (2023) destacam que o uso de geotêxteis apresenta forte alinhamento com pelo menos seis Objetivos

de Desenvolvimento Sustentável, notadamente os ODS 6, 9, 11, 12, 14 e 15, todos relacionados às práticas de manejo adequado de resíduos sólidos e líquidos, evidenciando o potencial desses materiais na promoção da sustentabilidade ambiental (Nações Unidas Brasil, 2015).

A literatura apresenta resultados promissores do emprego de geotêxteis aplicados ao desaguamento de lodos e sedimentos (Ardila *et al.*, 2020; Dąbrowska *et al.*, 2023; Pawar *et al.*, 2017; Silveira; Abe; Mendes, 2013; Silveira; Koga; Kuroda, 2013). Por exemplo, Guanaes e Sampaio (2012) demonstraram que o desaguamento de LETA no município de Piquete, São Paulo, resultou em uma redução de 10% no volume de líquidos e permitiu o tratamento de 320 m<sup>3</sup>/hora de água. Urashima *et al.* (2019) observaram um aumento de 59% no teor de sólidos do LETA, em comparação com a técnica convencional de disposição do lodo em leitos de drenagem, que apresentou apenas 25% no aumento de teor de sólidos.

A pesquisa concentrou-se na análise de bolsas geotêxteis utilizadas no desaguamento de lodo de Estação de Tratamento de Água (LETA), com dois cenários distintos de enchimento e desaguamento: (i) estruturas sem restrições laterais e (ii) estruturas com confinamento lateral, conforme estudos anteriores de Müller *et al.* (2023) e Müller (2023). Para tanto, foram conduzidas campanhas experimentais em campo e em laboratório com lodo de uma ETA localizada no sul do estado de Minas Gerais, Brasil.

As restrições laterais justificam-se pela possibilidade de instalação de tubos geotêxteis em containers, os quais trabalham em condições confinadas e sujeitas a esforços laterais, os quais apresentam vantagens como funcionamento “roll-on/roll-off”, ou seja, a caçamba móvel possibilita o transporte via caminhões, fácil instalação em menores áreas, fácil substituição dos tubos geotêxteis para disposição dos resíduos na fase sólida, bem como a possibilidade de sua aplicação em cenários emergenciais (Müller, 2023).

## 2. OBJETIVOS

O objetivo geral foi analisar a eficiência de bolsas geotêxteis em dois cenários, com e sem restrições físicas laterais, submetidas a ciclos de enchimento e desaguamento de lodo de Estação de Tratamento de Água. Os objetivos específicos foram (i) avaliar a influência de condicionantes químicos na determinação da dosagem ótima; (ii) determinar o teor de sólidos (TS) inicial e final, a turbidez, bem como TS do material retido nas bolsas geotêxteis; (iii) ponderar o desempenho das bolsas geotêxteis submetidas a solicitações cíclicas de enchimento e desaguamento em dois cenários: com e sem restrições físicas laterais.

## 3 MÉTODOS DE ANÁLISE

### 3.1 Coleta do lodo para ensaios

O lodo foi coletado em volume total de 500 L, diretamente dos decantadores e armazenados em reservatório único para amostragens única e homogênea destinada a cada ensaio. A ETA opera com uma vazão média de 70 a 75 L/s e emprega o ciclo completo de tratamento. A limpeza dos decantadores é realizada a cada 5 dias e, em períodos de estiagem, a

cada 30 dias. O teor de sólidos do lodo, obtido por meio de ensaios em estufa, foi de 8,38%, ou seja, total de sólidos no lodo de 74,5 g/L.

### 3.2 Condicionamento químico

Como etapa preliminar aos desaguamentos, foram realizados ensaios de condicionamento químico por ensaio de cone (Figura 1), que consiste no uso de um cone estruturado com o material geotêxtil de desaguamento e fixado em um tripé, no qual é vertido um volume estabelecido de lodo com adição preliminar de uma solução polimérica, em concentração e dosagem desejadas para análise. O condicionamento químico possibilita a coagulação de partículas ultrafinas ( $< 10 \mu\text{m}$ ) e reduz o volume de sólidos suspensos (França; Massarani, 2010; Urashima *et al.*, 2019). Também, a superdosagem de floculante pode comprometer a eficiência do sistema (Crittenden *et al.* 2012).

Os ensaios de cone foram executados com 4 polímeros (Tabela 1), 2 catiônicos e 2 aniônicos, na concentração de 0,2% e dosagens de 30 e 40 mL/L, medidos em seringas graduadas. Estabeleceu-se o volume de lodo de 1 litro e as medições de volume filtrado e turbidez foram após 5 minutos. Após isto, avaliam-se os parâmetros de turbidez (NTU) e volume de fluido desaguado (Lawson, 2008).

Figura 1 – Ensaio de cone.



Fonte: Autores (2025).

Tabela 1 – Polímeros empregados nos ensaios preliminares de cone.

Polímero	Classificação	Concentração	Dosagens
C492	Catiônico		
C498	Catiônico		
A100	Aniônico	0,2%	30 e 40 mL/L
A110	Aniônico		

Fonte: Autores (2025).

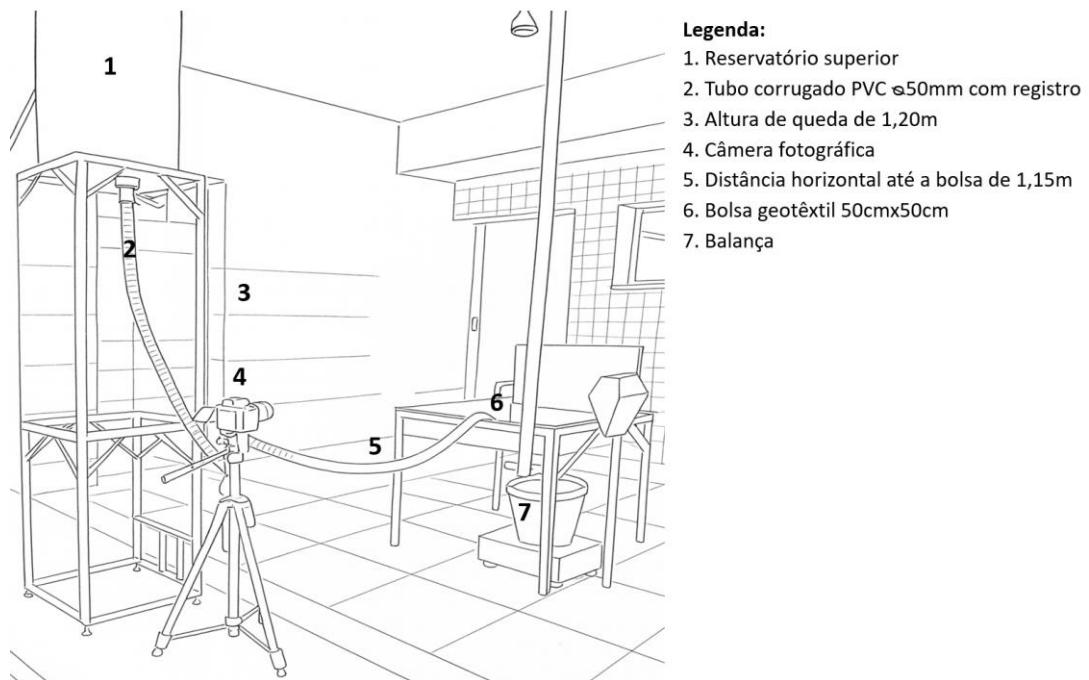
### 3.3 Desaguamento em bolsas geotêxteis

Os ensaios de desaguamento em bolsas geotêxteis foram realizados a partir da metodologia adaptada da norma ASTM D7880/D7880M-13 (2022), o qual consistiu na introdução de lodo condicionado quimicamente em um reservatório superior de 80 litros. Após isto, o mesmo é conduzido por gravidade até a bolsa geotêxteis, por meio de um tubo corrugado, para mistura de lodo-polímero, após a abertura do registro posicionado abaixo do reservatório. O tubo corrugado foi posicionado em círculos na estrutura suporte do reservatório superior, com fins de prover um sistema de polimerização adequado do lodo.

Foram feitas pesagens de volumes filtrados e leituras de turbidez em intervalos de 5, 10, 15 e 20 minutos, bem como registros fotográficos para avaliação das alturas atingidas pelas bolsas após os desaguamentos. A Figura 2 ilustra a configuração dos ensaios.

As bolsas para desaguamentos foram confeccionadas em geotêxtil tecido (GTX-W), com propriedades apresentadas pelo fabricante na Tabela 2, nas dimensões de 50cm x 50cm e com bocal lateral, para a fixação do tubo corrugado com abraçadeira galvanizada.

Figura 2 – Ensaios de desaguamento.



(a) Esquema com indicações dos principais componentes



(b) Montagem do ensaio



(c) Determinação do filtrado, em massa



(d) Bolsa geotêxtil no processo de desaguamento



(e) Registros das alturas encherimentos

Fonte: Autores (2025).

Tabela 2 – Propriedades do geotêxtil GTX-W.

Propriedades	Normas	Valores nominais
Massa por unidade área	ISO 9864:2005	$\geq 440 \text{ (g/cm}^2)$
Abertura de filtração	ISO 12956:2019	$\leq 0,40 \text{ (mm)}$
Permeabilidade	ISO 11058:2019	$\geq 55 \times 10^{-3} \text{ (m/s)}$
Resistência nominal à tração*	ISO 10319:2015	$\geq 105 \text{ (kN/m)}$

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados do fabricante (2025).

Os ensaios foram realizados em bolsas sem e com restrições laterais, os quais foram feitos por confinamentos laterais em 5 centímetros a partir de uma estrutura metálica (Figura 3). Todos os ensaios foram realizados em réplicas, denominados da seguinte forma: sem restrições laterais (SR1; SR2) e com restrições laterais (CR1; CR2).

Figura 3 – Configurações nos ensaios de bolsas geotêxteis.



(a) Sem restrições laterais (SR)

(b) Com restrições laterais (CR)

Fonte: Autores (2025).

Os bombeamentos de lodo nas bolsas foram realizados por meio de três enchimentos de lodo previamente condicionado, com intervalos entre os enchimentos de 30 minutos. O primeiro enchedimento foi feito com 25 litros de lodo; o segundo com 15 litros; o terceiro enchedimento com 15 litros. Destaca-se que tais ciclos foram adotados, pois é uma realidade de campo a realização de sucessivos bombeamentos de lodos em sistemas geotêxteis para desaguamento até se atingir a capacidade máxima de armazenamento, sob pressões e volumes controlados (Lawson, 2008). O volume total de 55 litros de lodo para cada bolsa foi adotado em detrimento da capacidade de armazenamento e confinamento durante o bombeamento na condição com restrição (CR). Ao se considerar a densidade do lodo de 1.100 kg/L, cada bolsa geotêxtil recebeu 60,5 kg de lodo.

Além disso, a pesquisa contemplou a determinação de massas desaguadas nas bolsas após os três enchedimentos, em intervalos de 1 até 55 dias, com fins de avaliar os processos de consolidação interna do LETA após desaguamentos. Para tanto, as bolsas permaneceram em repouso sobre estrados de madeiras e ao abrigo da luz.

### 3.4 Parâmetros de eficiência

A avaliação da eficiência de bolsas geotêxteis para desaguamentos de LETA nas configurações sem e com restrições laterais, foram empregadas formulações da literatura. A Eficiência de Filtração (EF), Equação 1, trata da relação entre o valor de sólidos totais no lodo antes do desaguamento e sólidos totais no filtrado após a filtração (Moo-Young; Tucker, 2002). A Eficiência de Desaguamento (ED), Equação 2, aborda os parâmetros em termos de percentuais de sólidos inicial e final após os desaguamentos (Moo-Young; Gaffney; Mo, 2002).

$$EF = \frac{TS_{inicial} - TSS_{final}}{TS_{inicial}} \times 100\% \quad (1)$$

Dado que,

$TS_{inicial}$ : total de sólidos no lodo antes do desaguamento (mg/L);

$TSS_{final}$ : total de sólidos no filtrado (mg/L).

$$ED = \frac{PS_{final} - PS_{inicial}}{PS_{inicial}} \times 100\% \quad (2)$$

Dado que,

$PS_{final}$ : percentual de sólidos final (%);

$PS_{inicial}$ : percentual de sólidos inicial (%).

Os Sólidos Passantes (SP) tratam da relação percentual entre o total de sólidos suspensos no filtrado e o total de sólidos iniciais no LETA antes do desaguamento, conforme Equação 3 (Satyamurthy, 2008; Satyamurthy; Bhatia, 2009). A perda de sólidos (PP), também denominado de *piping* (Equação 4), avalia a capacidade de retenção de partículas sólidas suspensas pelo material geotêxtil (Satyamurthy; Bhatia, 2009).

$$SP = \frac{TSS_{final}}{TS_{inicial}} \times 100\% \quad (3)$$

Dado que,

$TSS_{final}$ : total de sólidos final no filtrado (mg/L);

$TS_{inicial}$ : total de sólidos inicial no lodo (mg/L).

$$PP = \frac{TSS_{final}}{A} (g/m^2) \quad (4)$$

Dado que,

$TSS_{final}$ : total de sólidos no filtrado (mg/L);

$A$ : área efetiva do geotêxtil durante o desaguamento ( $m^2$ ).

Nesta pesquisa, o parâmetro de total de sólidos suspensos ( $TSS_{final}$ ) foi substituído por total de sólidos final no filtrado ( $TS_{final}$ ), pela coleta de filtrado após o 3º enchimento.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Condicionamento químico

A Tabela 3 sumariza os resultados obtidos no ensaio de cone. Na Figura 3, tem-se os resultados médios obtidos. Embora os polímeros catiônicos (C492 e C498) tenham apresentado menores resultados de turbidez (NTU), foram obtidos menores volumes desaguados após a coagulação e passagem pelo sistema filtrante formado pelo cone geotêxtil. Deste modo, o uso dos polímeros catiônicos analisados foram descartados para o lodo em análise.

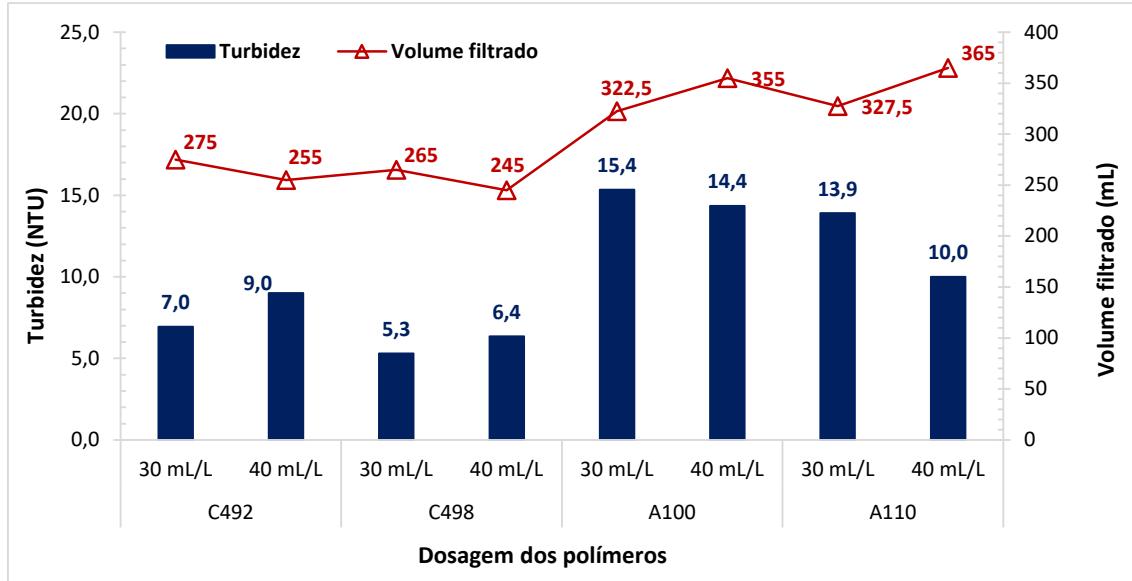
Dentre os polímeros aniónicos (A100 e A110), foram obtidos menores turbidez e maiores volumes de filtrados para A110. A dosagem de 40 mL/L apresentou melhores resultados do que 30 mL/L, com diferença média de turbidez de 3,9 NTU e volume de filtrado de 37,5 mL (Figura 3). Contudo, ao se considerar os consumos de polímeros para realidade de campo, ou seja, o condicionamento químico em relação aos volumes de lodo para tratamento, é necessário se ponderar sobre os custos envolvidos nesta etapa, sem que haja a perda de eficiência. Portanto, para as condições analisadas, definiu-se o emprego do polímero A110 na concentração de 0,2% e dosagem de 30 mL/L.

Tabela 3 – Resultados do condicionamento químico com concentração única de 0,2%.

Polímero	Réplica	Dosagem	Turbidez (NTU)	Volume de filtrado (mL)
C492	R1	30 mL/L	6,8	280,0
	R2		7,1	270,0
	R1	40 mL/L	9,4	250,0
	R2		8,6	260,0
C498	R1	30 mL/L	4,9	270,0
	R2		5,7	260,0
	R1	40 mL/L	6,8	250,0
	R2		5,9	240,0
A100	R1	30 mL/L	15,1	320,0
	R2		15,6	325,0
	R1	40 mL/L	14,4	360,0
	R2		14,3	350,0
A110	R1	30 mL/L	13,6	330,0
	R2		14,2	325,0
	R1	40 mL/L	9,7	370,0
	R2		10,3	360,0

Fonte: Autores (2025).

Figura 3 – Valores médios do ensaio de cone.

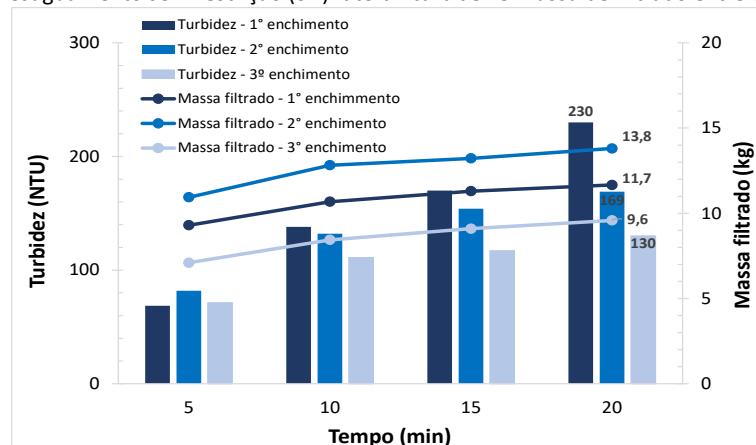


Fonte: Autores (2025).

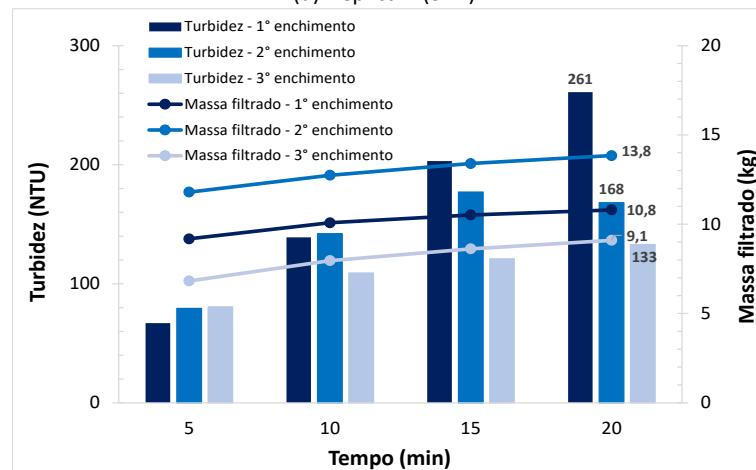
#### 4.2 Parâmetros de desaguamento

A Figura 4 apresenta os valores de turbidez (NTU) de massa de filtrado (kg) registrados entre os 1º e 3º enchimentos de lodo nas bolsas sem restrição (SR1; SR2) lateral, durante 5, 10, 15 e 20 minutos. Na Figura 5, tem-se os parâmetros registrados nas bolsas com restrição (CR1; CR2) lateral. Para melhor entendimento, foram indicados os valores acumulados dos parâmetros analisados para o tempo de 20 minutos.

Figura 4 – Desaguamento sem restrição (SR) lateral: turbidez e massa de filtrado entre enchimentos.



(a) Réplica 1 (SR1).



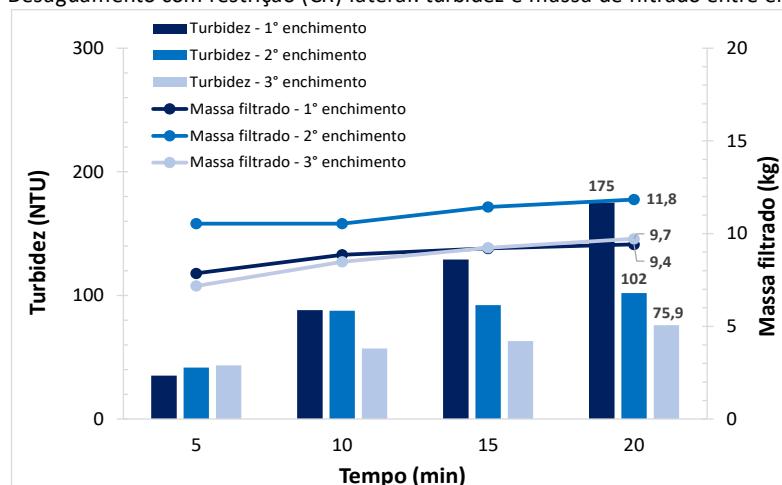
(b) Réplica 2 (SR2).

Fonte: Autores (2025).

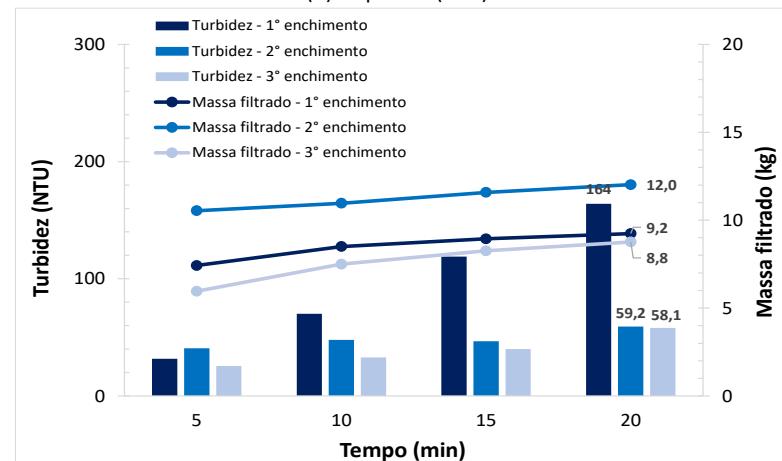
Entre os intervalos de tempo, houve um aumento aparente na turbidez dos filtrados, para ambos os ensaios de desaguamento sem (SR1; SR2) e com restrição lateral (CR1; CR2), devido ao possível acúmulo de partículas remanescentes do enchimento anterior. Ressalta-se que ocorreram alterações na cor dos filtrados entre os instantes de coleta e a leitura no turbidímetro, cujos filtrados passaram a apresentar uma coloração amarela, o qual influenciou nas leituras de turbidez (Figura 6).

Ainda quanto aos valores de turbidez (NTU), observaram-se reduções nestes valores entre os 1º e 3º enchimentos, pela formação de um filtro interno com o lodo desaguado, o qual é conhecido na literatura como *filter cake* (Moo-Young; Tucker, 2002). Para os desaguamentos sem restrição (SR) lateral, foram registrados, aos 20 minutos, redução de turbidez de 230 NTU (1º enchimento) para 130 NTU (3º enchimento) para réplica 1 (SR1). Para réplica 2 (SR2), os valores foram 261 NTU (1º enchimento) para 133 NTU (3º enchimento). Ou seja, as reduções percentuais na turbidez foram de 43,5% (Figura 4a) e 49,0% (Figura 4b), respectivamente.

Figura 5 – Desaguamento com restrição (CR) lateral: turbidez e massa de filtrado entre enchimentos.



(a) Réplica 1 (CR1).



(b) Réplica 2 (CR2).

Fonte: Autores (2025).

Figura 6 – Alteração na coloração dos filtrados após desaguamentos.



(a) Filtrado nos instantes iniciais de desaguamento.



(b) Filtrado armazenado em recipiente hermético.

Fonte: Autores (2025).

Para os desaguamentos com restrição (CR) lateral, os comportamentos foram similares nas reduções de turbidez no desaguamento, porém com menores registros de turbidez entre os 1º e 3º enchimentos em comparação aos ensaios sem restrição (SR). Ou seja, para a réplica 1 (CR1), obteve-se redução de 175 NUT (1º enchimento) para 75,9 NTU (3º enchimento). Na réplica

2 (CR2), os resultados foram de 164 NTU (1º enchimento) para 58,1 NTU (3º enchimento). Tais resultados indicaram reduções de turbidez de 56,6% (Figura 4c) e 64,6% (Figura 4d), respectivamente. Embora os percentuais de redução tenham sido menores nos ensaios CR, salienta-se que as turbidezes iniciais e finais foram menores do que os registrados nos ensaios SR, ou seja, os desaguamentos em condições confinadas condizem a maiores retenções de partículas sólidas no filtrado e, portanto, maiores eficiências no processo.

Quanto ao parâmetro massa de filtrado (kg) registrados, foram observados o mesmo comportamento de aumento de massa entre o 1º e 2º enchimentos e, posteriormente, a redução de massa desaguada entre o 2º e 3º enchimentos, estes inferiores aos 1º enchimentos (SR1; SR2) e com restrição (CR1; CR2). Isto se deve, também, a formação do filtro interno entre o 1º e 2º enchimentos, que favoreceu a maior retenção dos sólidos e, em consequência, o desaguamento da parcela líquida do lodo, bem como a maior pressão interna causada pelo bombeamento inicial de 25 litros e, no 2º enchimento, o bombeamento de 15 litros. Nos desaguamentos sem restrição lateral, as massas de filtrado foram de 13,8kg para 9,6 kg (SR1) e de 13,8kg para 9,1kg (SR2) aos 20 minutos. Para os ensaios com restrição lateral, os valores foram de 11,8 kg para 9,4 kg (CR1) e de 12,0 para 8,8kg, aos 20 minutos. Ou seja, os ensaios CR registraram menores massas desaguadas aos 20 minutos, entre os 1º e 3º enchimentos, em comparação às bolsas SR. Isto se deve, diretamente, aos efeitos de confinamentos laterais, que restringem às movimentações laterais e, portanto, e processos relativamente mais lentos de desaguamento. Contudo, há maiores retenções de partículas sólidas, cujo parâmetro é de suma relevância para a eficiência dos sistemas de desaguamento confinados.

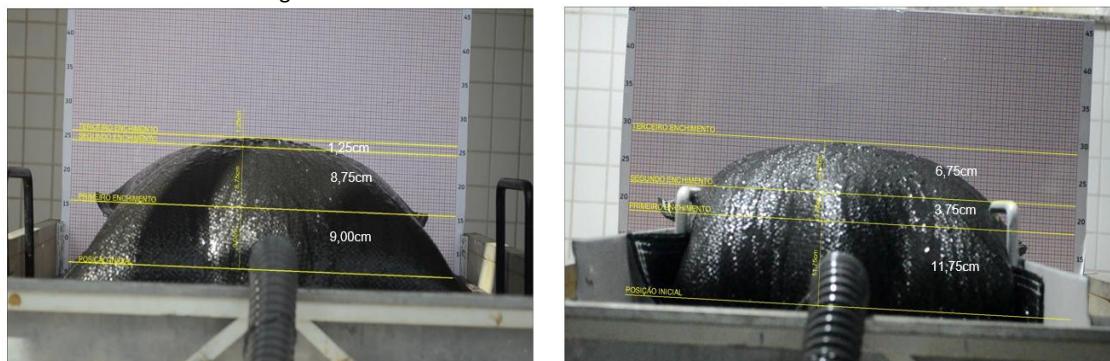
Na Tabela 4, apresentam-se as alturas atingidas pelas bolsas nos desaguamentos e, na Figura 7, os respectivos registros fotográficos. Ressalta-se que as medidas de alturas entre os enchimentos foram obtidas por posições iniciais indicadas nos registros fotográficos.

Tabela 4 – Alturas das bolsas por efeitos de desaguamentos.

Ciclo de desaguamento	Sem restrição (SR) lateral	Com restrição (CR) lateral
1º enchimento	9 cm	11,75 cm
2º enchimento	8,75 cm	3,75 cm
3º enchimento	1,25 cm	6,75 cm
<b>Altura total*</b>	<b>19,00 cm</b>	<b>22,25 cm</b>

Fonte: Autores (2025).

Figura 7 – Altura das bolsas entre os ciclos de enchimentos.



(a) Sem restrição (SR) lateral.

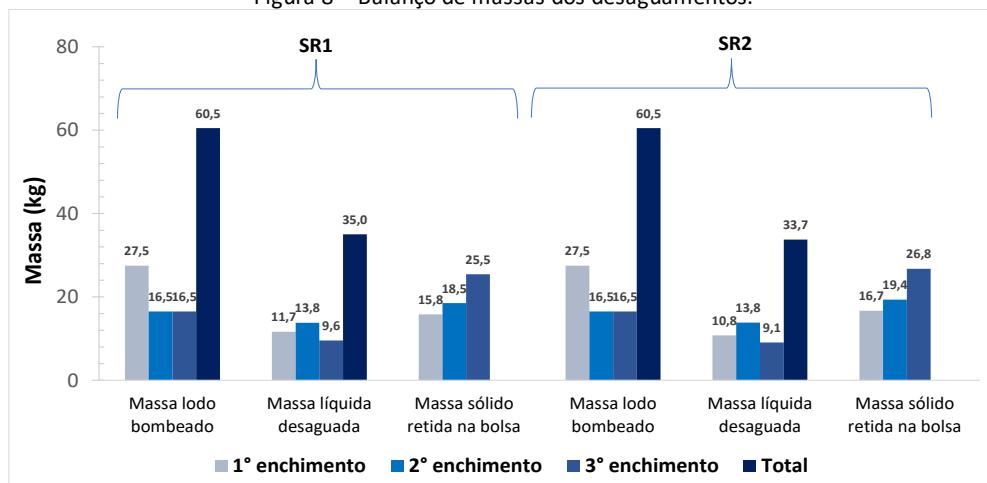
(b) Com restrição (CR) lateral.

Fonte: Autores (2025).

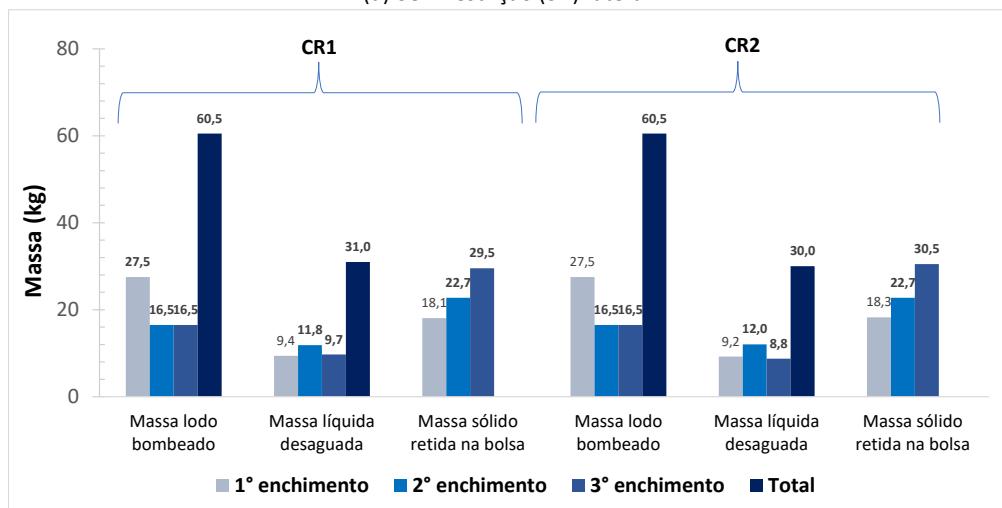
Os valores máximos obtidos foram de 19,00 cm nos ensaios sem restrição (SR) e de 22,25 cm com restrição (CR) lateral. Deste modo, há diferença percentual de 17% devido à condição de restrição lateral, o que promoveu aumento nas tensões internas nos processos de desaguamentos. Portanto, a restrição lateral (Figura 7b) faz com o que o sistema confinado atinja maiores tensões internas e controladas e com um desaguamento mais lento ao longo do tempo. Isto favoreceu uma melhor consolidação do filtro interno gerado pelo lodo desaguado e contribuiu com maiores reduções de turbidez (NTU).

A Figura 8 apresenta as relações de massas, entre o lodo bombeado e as parcelas líquidas desaguadas e retidas nas bolsas, registradas após cada ciclo de enchimentos. Observam-se maiores massas sólidas retidas nas bolsas CR1 (29,5 kg) e CR2 (30,5kg), em comparação aos desaguamentos SR1 (25,5kg) e SR2 (26,8kg). Tais valores convergem com as análises obtidas de menores massas filtradas nos desaguamentos CR em relação aos testes SR. Para as respectivas comparações, os volumes de lodo bombeados foram convertidos em massa, a partir da densidade de 1.100 kg/m<sup>3</sup>. Com isto, os percentuais retidos nos ensaios com restrição foram de 48,8% (CR1) e 50,4% (CR2). Os valores obtidos sem restrição foram de 42,1% (SR1) e 44,2% (SR). Ou seja, as massas retidas na condição com restrição (CR) foram 6,4% maiores do que sem restrição (SR), após o 3º enchimento.

Figura 8 – Balanço de massas dos desaguamentos.



(a) Sem restrição (SR) lateral.

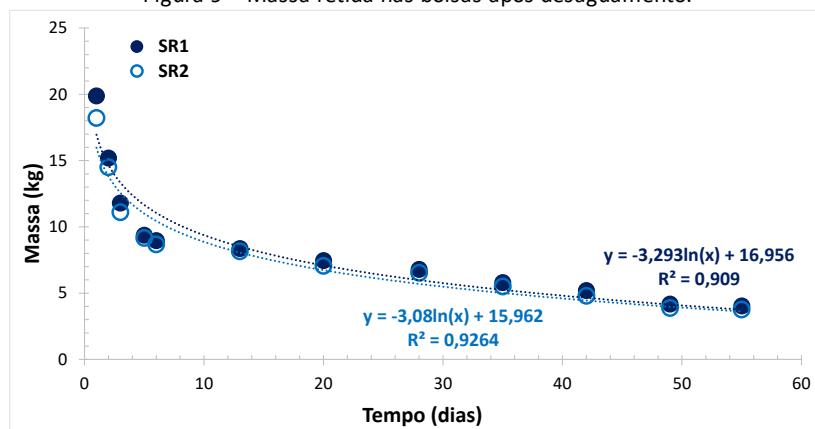


(b) Com restrição (CR) lateral.

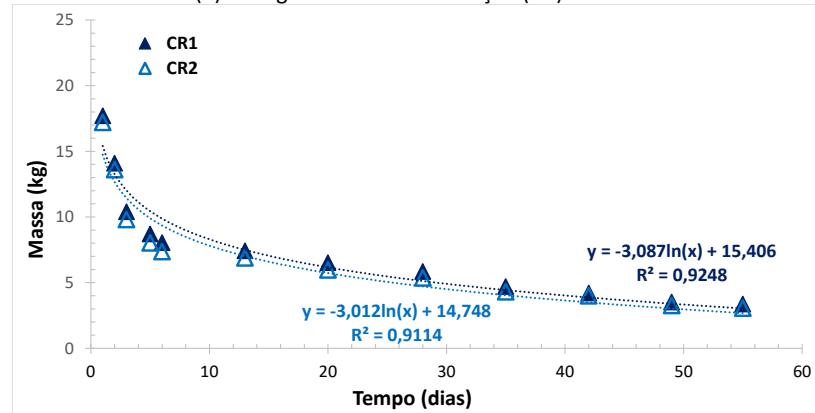
Fonte: Autores (2025).

Quanto ao comportamento de massas retidas ao longo do tempo, a Figura 9 indica comportamentos de reduções mais acentuados nos primeiros dias e com reduções menos significativas até a último registro (55 dias). Com isto, as bolsas apresentam relação tempo por massa com funções logarítmicas.

Figura 9 – Massa retida nas bolsas após desaguamento.



(a) Desaguamento sem restrição (SR) lateral.



(b) Desaguamento com restrição (CR) lateral.

Fonte: Autores (2025).

Durante a fase de evaporação, as bolsas desaguadas do tipo CR foram mantidas na evaporação na condição sem restrição e, deste modo, justificam-se as similaridades de comportamentos para as bolsas sem restrição (SR1; SR2) e com restrição (CR1; CR2). Contudo, salienta-se que as bolsas que receberam enchimentos nas condições confinadas (CR1; CR2) apresentaram massas retidas médias de 3,2kg, ligeiramente inferiores à média de 3,9kg obtida nas bolsas sem restrições (SR1; SR2). Ou seja, entre o 3º enchimento e 55 dias, as massas retidas foram reduzidas de 49,6kg para 3,2kg (CR) e de 43,2 kg para 3,9kg (SR).

#### 4.3 Parâmetros de desaguamento

A Tabela 5 apresenta os resultados médios para parâmetros de eficiência. Observa-se maior resultado de EF para o desaguamento CR, ao passo que os menores resultados de SP e PP nos desaguamentos CR corroboram em um sistema mais eficiente na retenção das partículas sólidas do lodo e desaguamento da parcela líquida, conjuntamente aos menores teores de turbidez (NTU) registrados nas bolsas com restrições (CR1; CR2).

Quanto à eficiência de desaguamento (ED), como este parâmetro foi obtido após 24 horas do término dos ensaios, as bolsas (CR1; CR2) permaneceram em repouso e sem às condições de restrições laterais. Isto explica a diferença de apenas 1,2% entre as bolsas SR e CR. Além disso, os baixos valores médios de ED de 32,7% (SR) e de 33,9% (CR) justificam-se devido ao teor de sólidos inicial no lodo (igual a 8,38%) ser considerado elevado.

Tabela 5 – Parâmetros de eficiências médias do sistema.

Parâmetros	Sem restrição (SR) lateral	Com restrição (CR) lateral
Total de sólidos no lodo (mg/L)	74500	74500
Total de sólidos no filtrado (mg/L)	800	400
Área efetiva do geotêxtil (m <sup>2</sup> )*	0,5	0,5
<b>Eficiência de Filtração - EF (%)</b>	<b>98,9</b>	<b>99,5</b>
<b>Eficiência de Desaguamento – ED (%)**</b>	<b>32,7</b>	<b>33,9</b>
<b>Sólidos Passantes - SP (%)</b>	<b>1,1</b>	<b>0,5</b>
<b>Perda de Partículas - PP (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>1,6</b>	<b>0,8</b>

Observações: \*Area das superfícies superior e inferior; \*\*Obtido após 24 horas do 3º ciclo de enchimento.

Fonte: Autores (2025).

## 4 CONCLUSÕES

O desaguamento de lodos em sistemas geotêxteis desponta-se como uma técnica eficiente para a redução dos elevados volumes gerados diariamente, os quais requerem uma gestão integrada de manejo e disposição final adequadas. Em paralelo, grande parte das ETA's não apresentam áreas disponíveis para a implantação de tecnologias tradicionais de tratamentos, tais como leitos de secagem e lagoas de sedimentação, bem como as elevadas demandas por águas potáveis que, consequentemente, elevam os volumes de resíduos gerados.

Os resultados da pesquisa apresentam as inúmeras vantagens do tratamento de lodos de ETA's por meio de desaguamento em geotêxteis, com destaque para as condições de restrições (CR) laterais, com reduções de volumes para a disposição final adequada, eficiências nas retenções de massa sólida e desaguamento da parcela líquida com baixos teores de turbidez. Isto é possível desde que haja compatibilização entre o condicionamento químico preliminar do resíduo, pressões de bombeamento, quantidades e volumes de enchimentos, capacidade volumétrica do sistema geotêxtil e de suas propriedades hidráulicas e mecânicas.

A implantação de sistemas de desaguamento confinados alinha às inúmeras vantagens de tratamento de resíduos sólidos, com altos teores de líquidos, bem como demandam pequenas áreas para o seu manejo. Portanto, os resultados desta pesquisa vêm de encontro às discussões quanto a aderência das técnicas de desaguamento de lodos de ETA's em geotêxteis aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, com fins de promover a emergente sustentabilidade ambiental a atual e futuras gerações.

## REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D7880/D7880M-13**: Standard Test Method for Determining Flow Rate of Water and Suspended Solids Retention from a Closed Geosynthetic Bag (Withdrawn 2022). West Conshohocken, PA: ASTM, 2022.

ANDREOLI, C.V *et al.* (coordenador). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001. 282 p.: il. Projeto PROSAB. 2001.

ARDILA, M.A.A.; SOUZA, S.T.; SILVA, J.L.; DANTAS, A. Geotextile Tube Dewatering Performance Assessment: An Experimental Study of Sludge Dewatering Generated at a Water Treatment Plant. **Sustainability**, v. 12, n. 19, 8129, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOSSINTÉTICOS. **Recomendação IGSBrasil 004**: Aplicação de geossintéticos em áreas de disposição de resíduos. São Paulo: IGS-BRASIL, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004-1**: Resíduos sólidos - Classificação: Parte 1: Requisitos e Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004-2**: Resíduos sólidos - Classificação: Parte 2: Sistema Geral de Classificação de Resíduos (SGCR). Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 10318-1**: Geossintéticos: Parte 1: Termos e Definições. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

BELLAVER, E.H.; SANTOS, Z.M.Q. Impacto do crescimento populacional sobre recursos finitos. **Revista Extensão em Foco**, v. 6, n. 1, p. 37-58, 2019.

BOSCOV, M.E.G.; TSUGAWA, J.K.; MONTALVAN, E.L.T. Beneficial Use of Water Treatment Sludge in Geotechnical Applications as a Sustainable Alternative to Preserve Natural Soils. **Sustainability**, v. 13, n. 17, 9848, 2021.

BORMA, V.S.; MARTINS, F.B.; LOCH, R.; MARTINELLI, I.A. Contexto histórico brasileiro do saneamento básico-PLANASA, PLANSAB, PNSB e Lei nº 14.026/2020. In: XIX SIMPÓSIO NACIONAL DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS, 2021, on-line. **Anais** [...]. On-line: XIX SINAOP, 2021.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 13 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília 1998.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, completa e altera a Resolução nº 357, de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília. DF. 2011.

BRASIL. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2022. 187 p.

CADORE, J.S.; TOCHETTO, M. Recursos Hídricos: panorama geral do setor e perspectivas ao atendimento da Agenda 2030. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 9, n. 3, p. 122-136, 2021.

CRITTENDEN, J.C.; TRUSSELL, R.R.; HAND, D.W.; HOWE, K.J.; TCHOBANOGLOUS, G. **MWH's Water Treatment: principles and design**. 3ª ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2012.

DĄBROWSKA, J.; KIERSNOWSKA, A.; ZIEBA, Z.; TRACH, Y. Sustainability of Geosynthetics-Based Solutions. **Environments**, v. 10, n. 4, 64, 2023.

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

FRANÇA, S.C.A.; MASSARANI, G. **Separação sólido-líquido**. In: Tratamento de minérios, 6.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, Cap. 14, p. 597-647. 2010.

GARCIA, M.S.D; FERREIRA, M.P. Saneamento básico: meio ambiente e dignidade humana. **Dignidade Re-Vista**. PUC-RIO. 2017

GOMES NÉTO, N.C.; SOUZA, L.N.; CASTRO, C.A.F.; COSTA, D.A.; FERREIRA, M.I.P. Soluções Baseadas na Natureza aplicadas à conservação e à gestão integrada das águas—um estudo prospectivo à luz da Agenda 2030 da ONU. **Revista Principia-Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, n. 51, p. 30-43, 2020.

GUANAES, E.A.; SAMPAIO, D.V. Recent applications of geotextile tubes for sludge and slurry dewatering – Brazil. In: PROCEEDINGS OF THE SECOND PAN AMERICAN GEOSYNTHETICS CONFERENCE & EXHIBITION, 2012, Lima. **Anais [...]**. Lima: GEOAMERICAS 2012.

GUIMARÃES, M.G.A.; URASHIMA, D.C. Holistic engineering with geosynthetics in the pursuit of sustainable development: The 2030 Agenda and indicators of sustainable cities and communities. **Electronic Journal Environment Forum of Alta Paulista**, v. 19, n. 4, p. 143-158. 2023.

GUIMARÃES, M.G.A.; URASHIMA, D.C.; VIDAL, D.M. Dewatering of sludge from a water treatment plant in geotextile closed systems. **Geosynthetics International**, v. 21, n. 5, p. 310-320. 2014.

HUSSEIN, A.M.; MAHMOUD, R.K.; SILLANPÄÄ, M.; WAHED, M.S.M.A. Impacts alum DWTPs sludge discharge and changes in flow regime of the Nile River on the quality of surface water and cultivated soils in Fayoum watershed, Egypt. **Science of the Total Environment**, v. 766, p. 144333, 2021.

KARADOGAN, Ü.; ÇEVİKBİLEN, G.; KORKUT, S; TEYMUR, B. Dewatering of Mine Waste Using Geotextile Tubes. **Mining, Metallurgy & Exploration**, v. 39, p. 2477-2490, 2022.

LAWSON, C.R. Geotextile containment for hydraulic and environmental engineering. **Geosynthetics International**, v. 15, p. 384-427, 2008.

MATTOS, C.M.; POLLAN, C.M.; MEDEA, R.V.; GOITIA, V.F.B.; LAVOIE, F.L. Uso de tubos de geotêxtil em barragens de rejeitos. In: XII SIMPÓSIO DE PRÁTICAS DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA DA REGIÃO SUL, 2019, Joinville. **Anais [...]**. Joinville: GEOSUL 2019.

MOO-YOUNG, H.K.; TUCKER, W.R. Evaluation of vacuum filtration testing for geotextile tubes. **Geotextiles and Geomembranes**, v. 20, p. 191-212. 2002.

MOO-YOUNG, H.K.; GAFFNEY, D.A.; MO, X. Testing Procedures to assess the viability of dewatering with geotextiles tubes. **Geotextile and Geomembranes**, v. 20, p. 289-303. 2002.

MÜLLER, M. Sistemas de confinamento de resíduos em geotêxteis com e sem restrição lateral: abordagem experimental do comportamento em desaguamento de lodo de ETA. 106 f. Doutorado (Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2023.

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. **DELOS: Desarrollo Local Sostenible**, v. 16, n. 45, p. 1721-1731, 2023.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Transformando Nossa Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. 15/setembro/2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel>. Acesso em: 01 jul. 2024.

OLIVEIRA, C.A.; BARCELO, W.F.; COLARES, C.J.G. Estudo das características físico-químicas da água de lavagem de filtro em uma estação de tratamento de água para fins de reaproveitamento. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, n. 11, p. 113-130. 2013.

PAWAR, P.D.; KUMAR, A.; AHIRWAR, S.K.; MANDAL, J.N. Geotextile Tube Assessment Using Hanging Bag Test Results of Dairy Sludge. **International Journal od Geosynthetics and Ground Engineering**, v. 3, n. 3, 2017.

PEREIRA, K.F.S.; TSUGAWA, J.K.; BOSCOV, M.E.G. Caracterização geotécnica de misturas de lodo de estação de tratamento de água (ETA) com cal. In: XIX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 2018, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: COBRAMSEG 2018.

REALI, M.A.P. et al. (coordenador). **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. Rio de Janeiro: ABES, 240 p.: il. Projeto PROSAB. 1999.

RICHTER, C.A. **Tratamento de lodos de estações de tratamento de água**. São Paulo: Editora Blucher, 2021.

RICHTER, C.A.; NETTO AZEVEDO, J.M. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Blucher, 2021.

SATYAMURTHY, R. **Experimental Investigations of Geotextile Tube Dewatering**. PhD Dissertation (Civil and Environmental Engineering) – Syracuse University, Syracuse, NY, USA, 2008.

SATYAMURTHY, R.; BHATIA, S.K. Experimental evaluation of geotextile dewatering performance. In: PROCEEDINGS OF GEOSYNTHETICS '09, 2009, Utah. **Anais [...]**. Utah, 2009.

SILVA, L.R.; ACHON, C.L.; ISAAC, R.L. Análise crítica da gestão do lodo gerado em estações de tratamento de água – cenário brasileiro. In: INTERNATIONAL WORKSHOP FOR INNOVATION IN SAFE DRINKING WATER, 2022, Campinas. **Anais [...]**. Campinas, 2022.

SILVEIRA, C.; ABE, L.Y.; MENDES, M.B. Avaliação da drenagem de lodos de decantadores de ETAs em sistemas de desaguamento com manta geotêxtil. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, n. 11, p. 236-250. 2013.

SILVEIRA, C.; KOGA, D.S.; KURODA, E.K. Estudo da viabilidade de disposição final dos lodos de ETAs em aterros sanitários. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, n. 11, p. 251-265. 2013.

TOUZE, N. Healing the world: a geosynthetics solution. **Geosynthetics International**, v. 28, n. 1, p. 1-31. 2021.

URASHIMA, B.M.C.; URASHIMA D.C.; GUIMARÃES, M.A.; PAULINO, G.R.; RIBEIRO, A.G.C. Sistema de Contenção de Resíduos Empregando Geotêxteis Comparados a Leito de Drenagem para Desaguamento de Lodo de Estação de Tratamento de Água. In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOSSINTÉTICOS (GEOSSINTÉTICOS 2019), 2019, São Carlos. **Anais [...]**. São Carlos, 2019.



## DECLARAÇÕES

---

### CONTRIBUIÇÃO DE CADA AUTOR

Ao descrever a participação de cada autor no manuscrito, utilize os seguintes critérios:

- **Concepção e Design do Estudo:** Denise de Carvalho Urashima.
  - **Curadoria de Dados:** Denise de Carvalho Urashima.
  - **Análise Formal:** Marcus Vinícius Mendes Pereira, Denise de Carvalho Urashima e Mag Geisielly Alves Guimarães.
  - **Aquisição de Financiamento:** Denise de Carvalho Urashima.
  - **Investigação:** Marcus Vinícius Mendes Pereira, Denise de Carvalho Urashima e Mag Geisielly Alves Guimarães.
  - **Metodologia:** Denise de Carvalho Urashima.
  - **Redação - Rascunho Inicial:** Marcus Vinícius Mendes Pereira
  - **Redação - Revisão Crítica:** Denise de Carvalho Urashima e Mag Geisielly Alves Guimarães.
  - **Revisão e Edição Final:** Denise de Carvalho Urashima e Mag Geisielly Alves Guimarães.
  - **Supervisão:** Denise de Carvalho Urashima.
- 

### DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSE

Nós, **Denise de Carvalho Urashima, Marcus Vinicius Mendes Pereira e Mag Geisielly Alves Guimarães**, declaramos que o manuscrito intitulado "**Desaguamento de lodo de estação de tratamento de água por meio de bolsas geotêxteis: com e sem restrições laterais**":

1. **Vínculos Financeiros:** Não possui vínculos financeiros que possam influenciar os resultados ou interpretação do trabalho. Nenhuma instituição ou entidade financiadora esteve envolvida no desenvolvimento deste estudo.
  2. **Relações Profissionais:** Não possui relações profissionais que possam impactar na análise, interpretação ou apresentação dos resultados. Nenhuma relação profissional relevante ao conteúdo deste manuscrito foi estabelecida.
  3. **Conflitos Pessoais:** Não possui conflitos de interesse pessoais relacionados ao conteúdo do manuscrito. Nenhum conflito pessoal relacionado ao conteúdo foi identificado.
-