



LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA: DESAGUAMENTO E PROCESSAMENTO COMO AGLOMERANTE ÁLCALI-ATIVADO (AAA)

¹Lília dos Anjos de Freitas, ¹Gustavo Yuidi Hidami, ¹Robson Leocadio Pereira, ^{1,2}Matheus Müller, ¹Márcia Regina de Freitas, ¹Gladis Camarini

¹Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá FEG - UNESP, email: lilia.freitas@unesp.br, gustavo.hidami@unesp.br, robson.leocadio@unesp.br, marcia.freitas@unesp.br, gcamarini@gmail.com; ²SALUS Engenharia em Deságue, e-mail: mmuller@salusengenharia.com

*Grupo 1: Ambiente e Clima
Economia circular e clima*

Resumo

O crescimento econômico e o aumento do consumo intensificaram a geração de resíduos, em contraposição à crescente preocupação com a sustentabilidade no setor da Construção Civil. Nota-se o aumento na geração de resíduos associados ao uso da água, em especial os lodos gerados em Estações de Tratamento de Água (ETA). Também há apreensão quanto aos males ambientais gerados por materiais poluentes utilizados em construções, como o cimento Portland. Quanto ao tema do tratamento de água e geração de lodo, técnicas eficientes de desaguamento são essenciais para a separação das fases sólida e líquida, possibilitando o reuso da água e o tratamento do lodo. Quanto à problemática relacionada ao cimento Portland, novos materiais, menos agressivos ao ambiente, têm sido testados. Este estudo apresenta uma técnica de desaguamento de lodo, baseada em um sistema de desaguamento misto que utiliza uma caçamba *roll-on* modificada com liner geossintético filtrante. Ensaios experimentais com o lodo desaguado indicaram que substituições parciais do precursor aluminossilicático por este material, em níveis moderados (15%), resultaram em uma resistência à compressão média de 12,77 MPa. Demonstra-se a viabilidade técnica do desaguamento eficiente aliado à valorização do lodo como alternativa sustentável para a construção civil, contribuindo para a economia circular e a redução de impactos ambientais.

Palavras-chave: Desaguamento de lodo; Geotêxtil; Aglomerante álcali-ativado; Argamassa sem cimento; Lodo de estação de tratamento de água.

Introdução

Com o rápido crescimento econômico e o aumento do consumismo intensificou-se também a geração global de resíduos nas atividades necessárias à humanidade. Em relação à água, elemento fundamental à vida humana, o seu tratamento e uso produzem grandes volumes de efluentes úmidos, em forma de lodos, os quais são um problema de difícil manejo em todo mundo, gerando problemas ambientais quanto a sua disposição final.

Sendo a água um recurso finito, o tratamento e a disposição inadequados dos efluentes



podem causar danos ambientais irreversíveis e representar riscos significativos à saúde de seres humanos, impactos que podem ser ainda mais agravados por mudanças climáticas e geográficas associadas ao Antropoceno, temas atualmente debatidos globalmente.

No processo de tratamento da água, as ETAs normalmente operam por meio de uma sequência que inclui captação da água bruta, coagulação e floculação, decantação, filtração, desinfecção, armazenamento e distribuição de água potável para consumo (Müller *et al*, 2023). Ao longo desse processo de potabilização, as ETAs geram resíduos úmidos nas etapas de decantação e filtração, que devem ser tratados e dispostos de forma adequada. Atualmente, são adotados processos de desaguamento mecânicos, naturais ou mistos, seguidos da disposição em aterros ou da valorização do lodo desaguado (Müller *et al*, 2023; Davidovits, 2013).

Existe a percepção de que o tratamento de efluentes é essencial, sendo as técnicas de desaguamento fundamentais nas etapas iniciais, já que permitem o reúso da água e o manejo adequado do lodo, ao promoverem a separação das fases sólida e líquida. A fase sólida, do lodo, após tratamento pode servir para a produção de produtos alternativos e ser incorporado a novas cadeias de valor (Müller *et al*, 2023; Davidovits, 2013).

Ainda no âmbito ambiental, há também a apreensão quanto aos materiais utilizados intensivamente pela humanidade que são, porém, altamente poluentes, como o caso do cimento Portland (CP) na Construção Civil. Segundo Robbie (2019), na produção de concreto gera-se 5 a 8% da emissão de CO₂ mundial, sendo o cimento Portland responsável por 95% deste total. No Brasil, no ano de 2016, a produção de cimento chegou a 57 milhões de toneladas, segundo o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC, 2019). Embora seja versátil e de uso comum, a produção em larga escala do CP implica em consideráveis impactos ambientais.

O foco desta pesquisa é apresentar uma técnica inovadora e patenteada de desaguamento de lodo, bem como a posterior valorização do material desaguado com a produção de materiais alternativos ao cimento Portland. O estudo aborda a geração de lodo em uma estação de tratamento de água (ETA), o processo de desaguamento aplicado ao lodo gerado e a valorização da fase sólida resultante, promovendo a proteção ambiental e estabelecendo uma rota tecnológica alinhada aos princípios ESG, sigla em inglês para práticas empresariais que priorizam a sustentabilidade, a responsabilidade social e a transparência em termos ambientais (Environmental), sociais (Social) e governança (Governance).

A técnica de desaguamento abordada consiste em uma tecnologia de desaguamento



mista, na qual uma caçamba *roll-on* modificada atua como berço de drenagem e evaporação, abrigando em seu interior um liner filtrante de geossintético. Essa configuração não requer intervenções significativas de infraestrutura e possibilita uma operação imediata, simples e flexível (Müller *et al.*, 2023).

Como abordagem de valorização do lodo, considera-se a geopolimerização, na qual o lodo é utilizado como fonte de silício (proveniente das argilas da água bruta) e alumínio (proveniente do coagulante). Quando misturados em meio alcalino (NaOH e água), esses constituintes são ativados e sofrem uma reação cimentícia exotérmica, resultando em estruturas poliméricas tridimensionais baseadas em ligações Si–O–Al, formando um aglomerante álcali-ativado (AAA) adequado para aplicações na construção civil (Liu *et al.* 2022; Müller *et al.*, 2019). Os AAA têm sido aplicados como alternativa ao cimento Portland convencional em algumas aplicações de argamassas e concretos (Freitas *et al.*, 2025).

Metodologia

Este estudo foi desenvolvido por meio de uma fase inicial de campo conduzida em uma ETA localizada no município de Pinhalzinho - SP, envolvendo condicionamento químico para floculação, desaguamento do lodo com a técnica de desaguamento em caçamba *roll-on* modificada (Equipamento de desaguamento SALUS®) e coleta do material final desaguado, o lodo úmido. A fase posterior se desenvolveu em laboratório com experimentos realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil da UNESP–FEG, localizado em Guaratinguetá - SP, com a caracterização do material e a produção de AAA a partir do lodo desaguado. O material passou por processo de secagem, moagem e separação granulométrica para aplicação em pastas de AAA.

Resultados e Discussão

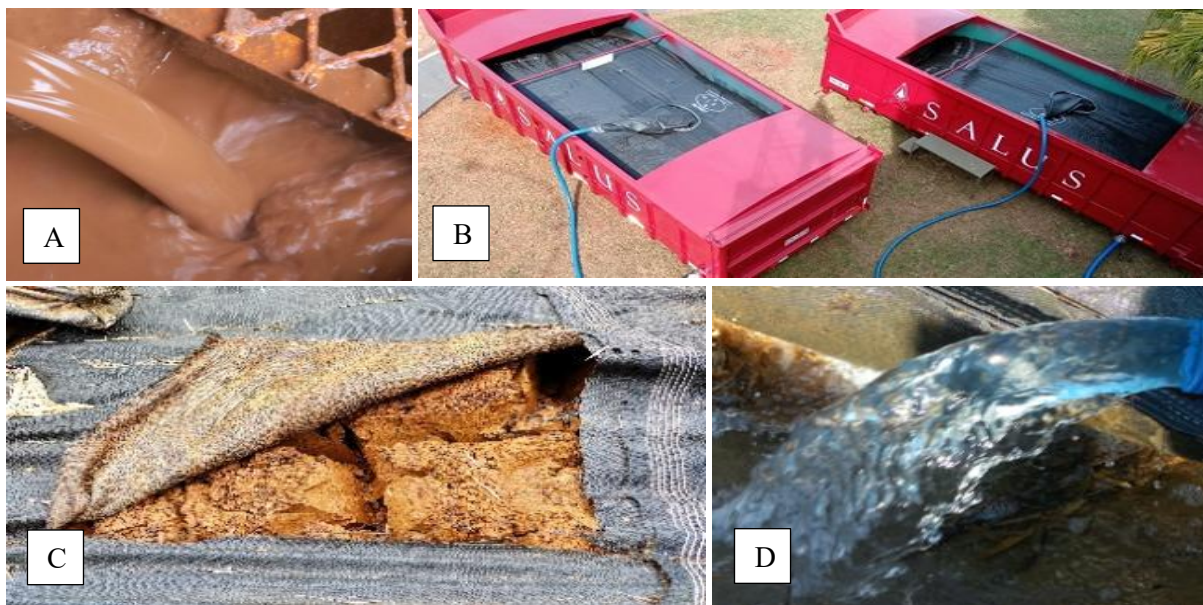
Para a primeira etapa deste trabalho, aplicou-se a tecnologia de desaguamento SALUS® na ETA, envolvendo descargas diárias de limpeza do material sedimentado, gerando aproximadamente 14 m³/dia, ou 420 m³/mês, de lodo com cerca de 1% de sólidos em massa. Esse lodo foi desaguado, alcançando eficiências de filtração superiores a 95%, com um volume final de aproximadamente 12 m³ de material desaguado, com teores de sólidos variando de cerca de 35% nas bordas a 25% no centro da massa, em função do efeito de *filter cake*. Salienta-se, ainda que a água drenada no desaguamento foi recuperada e reprocessada para potabilização dentro da própria ETA, demonstrando o ganho ambiental do processo. A



Figura 1 apresenta o processo de desaguamento.

Figura 1: Etapas do desaguamento com o equipamento SALUS®

A- Lodo de ETA; B- Equipamento de desaguamento; C- Lodo desaguado; D- Água filtrada resultante do desaguamento.



Fonte: Autores (2025).

A aplicação da técnica de desaguamento SALUS® resultou em expressiva redução das emissões de CO₂ associadas ao transporte do lodo gerado na ETA. A diminuição do volume mensal representou uma redução da ordem de 35 vezes no volume transportado à destinação final. Considerando uma distância média de transporte de 100 km, essa redução volumétrica implicou uma diminuição estimada superior a 96% nas emissões de CO₂ relacionadas ao transporte rodoviário (redução de viagens), evidenciando o impacto direto do desaguamento eficiente na mitigação de gases de efeito estufa. Esse resultado destaca o papel do desaguamento como etapa estratégica, do ponto de vista operacional e também climático, contribuindo para a descarbonização da gestão de resíduos de saneamento.

Em termos ambientais, a adoção do desaguamento promove benefícios que extrapolam a redução de emissões com a recuperação da fase líquida, remoção de carga coloidal superior a 95%, permitindo o reprocessamento da água na própria ETA. Consequentemente, reduz-se a demanda por captação de água bruta e a sobrecarga das etapas de tratamento. Adicionalmente, a concentração da fase sólida viabiliza sua valorização como matéria-prima em materiais álcali-ativados, transformando um passivo ambiental em um recurso de valor agregado. Esses aspectos reforçam a contribuição da tecnologia para a economia circular.



O lodo resultante foi analisado por fluorescência de raios X (FRX), obtendo-se o resultado como porcentagem em massa dos compostos (Tabela 1).

Tabela 1: Resultados expressos como porcentagem em massa de óxidos presentes no lodo

Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	MgO	K ₂ O	TiO ₂	CaO	MnO	Na ₂ O	SO ₃	PF* ¹
23,65	12,00	3,12	0,22	0,11	0,08	0,08	0,07	0,05	0,04	0,03	58,56

¹ Perda ao fogo

Para a produção de pastas de AAA, o lodo de ETA foi usado em misturas como substituto parcial do precursor aluminosilicático, o metacaulim (MK), nas proporções de 0%, 15%, 30% e 60% para testes de resistência mecânica. As quantidades foram determinadas em massa, mantendo-se constante a relação entre a solução ativadora e o material precursor, estabelecendo-se um traço com a composição para as pastas de AAA. A Figura 2 apresenta o lodo já seco, a preparação do AAA com lodo de ETA e o corpo de prova após o enrijecimento.

Após o processo de moldagem e cura à temperatura ambiente, obteve-se como resultado aos 28 dias, resistência à compressão variável com a porcentagem do lodo de ETA na mistura. Substituindo o metacaulim por 15% de lodo de ETA obteve-se o melhor desempenho mecânico, com resistência média de 12,77 MPa na ruptura por compressão. Esse valor de resistência à compressão é adequado, por exemplo, para componentes da construção civil. Já a substituição acima de 30% indicou que o aumento da proporção de lodo não resulta em ganhos adicionais de resistência, resultando em desagregação do corpo de prova com 60%.

Figura 2: Etapas de produção de AAA com lodo de ETA



Fonte: Autores.



Considerações Finais

Observa-se que o desaguamento do lodo de ETA foi satisfatório, reduzindo o volume mensal de lodo de aproximadamente 420 m³ para cerca de 12 m³, o que corresponde a uma redução de 35 vezes, e diminuição estimada de cerca de 96% nas emissões de CO₂ associadas ao transporte para uma distância de 100 km, o que corresponde a uma redução da ordem de 50 toneladas de CO₂ por ano, apenas nessa etapa. Destaca-se ainda os ganhos ambientais com a preservação da qualidade da água drenada, com remoção de carga coloidal (turbidez) superior a 95%, permitindo sua recuperação para potabilização na própria ETA. Quanto ao uso da massa desaguada na geopolimerização, após o tratamento com secagem, moagem e separação granulométrica, o lodo foi aplicado em pastas como substituição parcial à fonte de aluminossilicatos, o metacaulim. Nos ensaios de misturas com esta substituição, o comportamento indicou que substituições em baixos teores (15%) podem contribuir positivamente para a resistência do material, porém, acima de um determinado limite (~30%), o material tende a perder eficiência mecânica, reforçando a viabilidade da substituição em níveis moderados.

Referências

Davidovits, J., Geopolymer Cement a review, published in Geopolymer Science and Technics, Technical Paper #21, Geopolymer Institute Library. 2013. 11 p.
<http://www.geopolymer.org>. Acesso em abril 2026.

Freitas, L.A.; Freitas, M.R.; Pereira, R.L.; et al. Estudo da aplicação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) na composição de aglomerante álcali-ativado. 22º CNMA, 2025, Anais 2025, <https://www.meioambientepocos.com.br/anais-2025/>. Acesso em março 2026.

Liu, J.; Doh, J.H.; Dinh, H.L.; et al. Effect of Si/Al molar ratio on the strength behavior of geopolymer derived from various industrial waste: A current state of the art review. Construction and Building Materials, 2022, V. 329, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061822008157?via%3Dihub>. Acesso em março 2026.

Müller, M.; Albuquerque, T.T.; Allariz, B.B.; et al. Estudo comparativo de sistemas de deságue: abordagem bibliográfica, econômica e estatística. 30º FENASAN, 2019, Anais 2019, https://docs.sigotech.online/encontrotecnico/2019/fenasan2019_182.pdf. Acesso em março 2026.

Müller, M.; Vidal, D.; Guanaes, E.A.; et al. Sludge dewatering with geotextile refill in a draining container: case study in a water treatment plant. DELOS, 2023, V. 16, p. 1732-1747, DOI: 10.55905/rdelosv16.n45-016.