XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.6/57

Análise do potencial de aplicação de resíduos de ETA a partir de estudos de suas características geotécnicas, mineralógicas e físico-químicas

Ramon Felipe dos Santos
Pesquisador, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, Brasil, ramon.felipe@usp.br

Rayanne Karlla Santos da Silva
Doutoranda, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil, rayanne.karlla@ufpe.br

Jefferson Lins da Silva
Docente, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, Brasil, jefferson@sc.usp.br

RESUMO: A potabilização da água gera volumes expressivos de lodo de ETA, um resíduo cuja gestão inadequada representa um severo passivo ambiental. Este subproduto é composto majoritariamente por sólidos suspensos da água bruta e hidróxidos metálicos derivados de coagulantes (alumínio ou ferro). O objetivo deste trabalho é analisar as propriedades físico-químicas e mineralógicas do resíduo, avaliando sua viabilidade técnica em obras de infraestrutura e materiais de construção. A metodologia consistiu em uma revisão sistemática e análise técnica de estudos, focando em ensaios de caracterização e aspectos ligados a compactação e resistência de misturas solo-lodo, além de análises físico-químicas e mineralógicas. Os resultados indicam que o lodo possui alta plasticidade e predominância de fases amorfas, quartzo e caulinita. As conclusões apontam que, embora o lodo de ETA altere a compressibilidade dos solos, sua incorporação em obras de infraestrutura e componentes estruturais é tecnicamente viável. Assim, a transformação do lodo de resíduo em insumo promove a economia circular, mitigando impactos em corpos hídricos e preservando jazidas naturais, desde que respeitados os limites de desempenho mecânico e segurança ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduo de ETA, valorização de resíduos, caracterização geotécnica, materiais de construção sustentáveis.

ABSTRACT: The potabilization of water generates significant volumes of WTP sludge, a waste product whose inadequate management represents a severe environmental liability. This byproduct is primarily composed of suspended solids from raw water and metallic hydroxides derived from coagulants (aluminum or iron). The objective of this work is to analyze the physicochemical and mineralogical properties of the waste, evaluating its technical feasibility in infrastructure projects and construction materials. The methodology consisted of a systematic review and technical analysis of studies, focusing on characterization tests and aspects related to the compaction and strength of soil-sludge mixtures, in addition to physicochemical and mineralogical analyses. The results indicate that the sludge possesses high plasticity and a predominance of amorphous phases, quartz, and kaolinite. The conclusions point out that, although WTP sludge alters soil compressibility, its incorporation into infrastructure works and structural components is technically viable. Thus, the transformation of sludge from waste into a raw material promotes the circular economy, mitigating impacts on water bodies and preserving natural deposits, provided that mechanical performance limits and environmental safety are respected.

KEYWORDS: Water Treatment Plant Sludge, waste valorization, geotechnical characterization, sustainable construction materials.

1 INTRODUÇÃO

Historicamente, os resíduos provenientes de estações de tratamento de água (ETAs) têm sido tratados como subprodutos de baixo valor agregado, frequentemente classificados como materiais sem aplicabilidade técnica definida. Essa percepção decorre, em grande medida, da limitada disponibilidade de alternativas

consolidadas para sua destinação ambientalmente adequada e tecnicamente viável. Em diversos contextos, observa-se a inexistência ou insuficiência de rotas estruturadas de reaproveitamento, o que resulta em práticas de descarte que nem sempre priorizam a valorização do material (Roque et al. 2021; Montalvan et al. 2019). A carência de diretrizes normativas específicas, aliada à escassez de estudos sistemáticos sobre caracterização físico-química, comportamento geotécnico e desempenho ambiental desses resíduos, contribui para sua subutilização. Como consequência, esses materiais deixam de ser explorados em aplicações potenciais, como em obras de infraestrutura, camadas de cobertura, materiais de preenchimento ou componentes de sistemas de engenharia ambiental. Contudo, à medida que avançam as pesquisas voltadas à economia circular e à gestão sustentável de resíduos, cresce o reconhecimento do potencial técnico desses subprodutos, desde que devidamente caracterizados e submetidos a critérios rigorosos de desempenho e segurança ambiental (Ferreira et al., 2019; Silva e Hemsi, 2018).

Apesar da quantidade considerável de lodo produzida em instalações de tratamento de água, sua aplicação prática permanece significativamente restrita, com o descarte em aterros sanitários emergindo como a principal saída. Conforme relatado por Richter (2001), a geração de lodo pode constituir até 5% do volume de água tratada, ressaltando assim as possíveis ramificações ecológicas associadas ao seu manejo inadequado. Embora a reutilização de lodo em aplicações geotécnicas ainda não seja uma prática bem estabelecida, investigações recentes corroboraram a viabilidade técnica dessa alternativa. Pesquisa conduzida por Roque et al. (2021) revela que a integração do lodo ETA em solos lateríticos gera modificações controladas nos atributos físicos e mecânicos, preservando parâmetros que são congruentes com o uso em camadas de aterros sanitários e terraplenagem. Na mesma linha, Montalvan (2016) e Ferreira et al. (2019) relataram alterações na resistência ao cisalhamento e compressibilidade, sem tornar sua aplicação inviável sob requisitos de projeto particulares.

No exterior, O'Kelly (2016) estudou o comportamento geotécnico do lodo e resíduos municipais para descarte regulamentado, enfatizando a necessidade de uma caracterização específica adaptada a cada aplicação. Embora o potencial de reutilização esteja alinhado aos princípios da economia circular defendidos pela *Ellen MacArthur Foundation (2013)* – (voltada na percepção sobre a finitude dos recursos naturais em aspectos para reposicionar a economia circular no centro das decisões empresariais, políticas e acadêmicas), os persistentes impedimentos técnicos, regulatórios e culturais continuam impedindo sua ampla investigação e implementação.

Este artigo analisa de forma integrada as características geotécnicas, mineralógicas e físico-químicas de resíduos de estações de tratamento de água, avaliando seu potencial de aplicação em obras de infraestrutura. A partir de parâmetros geotécnicos e de aspectos físico-químicos discutidos na literatura, discute-se a viabilidade desses resíduos como materiais alternativos em estruturas geotécnicas, contribuindo para soluções mais sustentáveis na engenharia.

2 INTERPRETAÇÃO GEOTÉCNICA

Uma vez gerados nas diferentes etapas do processo de tratamento (exemplo a unidade de tratamento do Guaraú administrado pela SABESP - Fig. 1a), os resíduos de ETAs (exemplo Fig. 1b) tendem a se acumular no fundo das unidades operacionais, como decantadores, flotadores e canais de drenagem, em decorrência dos mecanismos de sedimentação, coagulação e floculação empregados na remoção de partículas e impurezas da água bruta. Esse material sólido é formado principalmente pelo escoamento conduzido às estruturas de contenção e pela deposição gravitacional dos flocos produzidos durante o tratamento, concentrando-se no fundo dos tanques como lodo. Posteriormente, esse lodo é removido por sistemas de descarga hidráulica ou raspagem mecânica, sendo encaminhado para etapas de adensamento, desaguamento e destinação final.



a) b)

Figura 1. a) Estação de Tratamento de Guaraú; adaptado de SABESP (2026); b) Lodo de ETA; adaptado de Roque et al. (2021).

O'Kelly (2006) destaca que o comportamento geotécnico de materiais finos é fortemente influenciado pela mineralogia, microestrutura e histórico de tensões, ressaltando a necessidade de caracterização integrada para prever compressibilidade e resistência. Esses aspectos são particularmente relevantes para lodos de ETA, cujo desempenho pode variar significativamente conforme a estrutura inicial e as condições de carregamento e umidade.

Montalvan e Boscov (2016) avaliaram misturas solo–lodo de ETA, observando que a adição de cerca de 6% de lodo (massa seca) a um solo laterítico arenoso argiloso não alterou significativamente os limites de consistência nem a classificação geotécnica, embora tenha aumentado a compressibilidade. Apesar disso, o comportamento da mistura foi considerado tecnicamente aceitável para aplicações em obras geotécnicas, desde que controladas as condições de umidade e compactação.

Em virtude da diversidade de aplicações em obras de engenharia de infraestrutura, a compreensão detalhada do comportamento do material torna-se fundamental para garantir o adequado desempenho técnico da estrutura ao longo de sua vida útil. A caracterização geotécnica permite avaliar se o material atende às exigências específicas de projeto, seja quanto à sua capacidade de suporte e resistência mecânica, ao controle de deformações, à redução da permeabilidade para impedir ou controlar o escoamento de fluidos, ou ainda à sua atuação como material complementar em misturas com solos naturais ou outros insumos da construção. Assim, o entendimento de suas propriedades físicas, hidráulicas e mecânicas é condição indispensável para assegurar estabilidade, durabilidade e segurança nas diferentes soluções de engenharia.

A Tabela 1 apresenta uma compilação de diferentes estudos realizados em distintas épocas e localidades, reunindo propriedades geotécnicas de resíduos provenientes de estações de tratamento de água. A organização comparativa desses dados permite observar a variabilidade dos parâmetros físicos e mecânicos em função da origem do material, das condições operacionais das ETAs, contribuindo para uma análise mais abrangente sobre o comportamento geotécnico desses resíduos e seu potencial de aplicação em obras de infraestrutura (em que GS-massa especifica dos sólidos; LL – limite de liquidez; LP – limite de plasticidade; IP – índice de plasticidade).

Tabela 1 - Dados de plasticidade de lodo de ETA reportados na literatura

Referência	GS	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Silva e Hemsi (2018)	2,8	228–156	85–75	154–71
Zekkos et al. (2017)	2,7	38	32	6
Gonçalves et al. (2017)	2,7	–	NR	NR
Basim (1999)	2,7–1,7	690–53	228–NR	670–NR
Dąbska (2019)	2,8–2,7	63–58	41–34	31–17
Shah et al. (2020)	2,5-2,8	40-55	NR - 30	NR - 34
Scapin et al. (2021)	2,4-2,7	40-43	20-36	NR- 20
Silva (2021)	2,4	536	236	300
O'Kelly e Quille (2009)	2,0–1,8	550–430	325–240	290–105
O'Kelly (2008)	1,9	490	240	250
Arulrajah et al. (2013)	1,8	110	80	30
Aydilek et al. (1999)	1,8	–	NR	NR
Bağrıaçık e Güner (2020)	–	98	45	53
Machado e Müller (2019)	–	–	NR	NR

Fonte: adaptada de Marchiori et al. (2023).

Os dados da tabela 1, demonstram uma variabilidade significativa nas características físicas do lodo, o que reflete discrepâncias ligadas à proveniência da água bruta. A massa específica de sólidos (Gs) apresenta uma faixa de aproximadamente 1,8 a 2,8, frequentemente caindo abaixo dos solos argilosos naturais, o que pode ser atribuído à presença de hidróxidos de alumínio e ferro, componentes amorfos e, em certos casos, matéria orgânica. Os limites de liquidez são amplamente dispersos, abrangendo proporções moderadas a extremamente altas, ultrapassando 500%, o que coloca assim uma afinidade pela água e uma arquitetura predominantemente floculada e coloidal. O limite de plasticidade e, consequentemente, o índice de plasticidade também manifestam uma variabilidade considerável, incorporando comportamentos não plásticos e índices altos, o que significa que o material pode apresentar características que variam do comportamento granular ao altamente plástico. No contexto geotécnico, limites e índices elevados de plasticidade estão correlacionados com maior compressibilidade e maior sensibilidade às variações no teor de umidade, enquanto valores reduzidos sugerem um comportamento mais granular, particularmente após processos de dessecação. Coletivamente, os resultados das características do lodo ETA, representa uma substância heterogênea, cuja aplicação exige uma caracterização criteriosa e específica para cada fonte, particularmente quando se destina ao uso em camadas impermeabilizantes ou sistemas de barreira.

Contudo, cabe destacar que as propriedades dos resíduos de estações de tratamento de água apresentam variações significativas conforme a localidade de geração, sobretudo em função dos diferentes processos de tratamento empregados, tais como tipo e dosagem de coagulantes (à base de alumínio ou ferro por exemplo), condições de floculação, sistemas de desaguamento e métodos de disposição. Essas variáveis influenciam diretamente a composição mineralógica, a estrutura microfloculada e o teor de matéria orgânica do lodo, refletindo em comportamentos geotécnicos distintos. Em especial, parâmetros relacionados à resistência mecânica, como coesão não drenada e ângulo de atrito interno, à resistência ao cisalhamento e ao desempenho sob esforços de compressão, bem como às características de compactação (umidade ótima e massa específica seca máxima), têm sido reportados com ampla dispersão em diferentes estudos (Montalvan, 2020; Boscov et al., 2021; Tsugawa e Boscov, 2023; Fendrich et al., 2024), reforçando a necessidade de caracterização específica para cada fonte de resíduo. Tal variabilidade reforça a necessidade de caracterização específica para cada fonte de resíduo, evitando generalizações e assegurando maior confiabilidade técnica na sua aplicação em obras de infraestrutura.

3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

No que se refere à análise em escala composicional e aos aspectos físicos, químicos, biológicos e mineralógicos do lodo de ETA, ressalta-se que sua constituição exerce influência determinante sobre o comportamento geoquímico do material e, por conseguinte, sobre seu potencial de impacto ambiental. A natureza das fases minerais predominantes, frequentemente associadas a hidróxidos de ferro e alumínio formados a partir do uso de coagulantes, bem como a presença de argilominerais, matéria orgânica e frações finas, condiciona propriedades como reatividade superficial, capacidade de adsorção, troca iônica e estabilidade química. Esses fatores controlam diretamente a retenção ou a mobilização de espécies químicas potencialmente agressivas e tóxicas, especialmente em cenários de exposição a variações de pH, potencial redox e percolação de fluidos. A depender da composição mineralógica e das condições ambientais, pode ocorrer a liberação de metais e outros constituintes adsorvidos ou coprecipitados, elevando o risco de contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas. Dessa forma, a caracterização mineralógica detalhada do lodo de ETA constitui etapa essencial na avaliação de sua viabilidade de disposição ou reaproveitamento, fornecendo subsídios técnicos para a análise de estabilidade e segurança ambiental a curto, médio e longo prazo.

Se tratando da composição química, a composição do lodo de ETA está intrinsecamente ligada ao tipo de coagulante que utilizado durante o processo de tratamento: i. Influência do Coagulante: Lodos provenientes de estações que utilizam sulfato de alumínio apresentam altas concentrações de alumínio, enquanto o uso de cloreto férrico resulta em lodos ricos em ferro (Boscov et al. 2021). ii. Constituintes Orgânicos e Inorgânicos: O resíduo contém matéria orgânica proveniente da água bruta e subprodutos químicos do tratamento (Roque e Carvalho, 2006). iii. Mineralogia: A fase mineral é frequentemente composta por minerais argilosos, quartzo e hidróxidos metálicos amorfos ou cristalinos resultantes da coagulação. No caso de lodos de indústrias de

celulose, pode haver a presença de "dregs" (resíduos de calcinação) quando misturados para a produção cerâmica (Wolff et al. 2007).

A presença de matéria orgânica, que em alguns casos atinge teores de 15,5%, atua como um agente estruturante que retém grandes volumes de água, resultando em altos limites de Atterberg e um comportamento compressível sob carga (Tsugawa e Boscov, 2023). Do ponto de vista químico, a composição é dominada por óxidos metálicos, especialmente alumínio e ferro, dependendo do coagulante empregado (sulfato de alumínio ou cloreto férrico). Além disso, estudos recentes destacam a presença de micropoluentes, como resíduos farmacêuticos em lodos de esgoto, o que exige cautela em sua aplicação direta no solo sem tratamento prévio de estabilização (Bisognin et al. 2021; Müller et al. 2023; Studart et al. 2023). A mineralogia desses resíduos revela uma predominância de fases amorfas, embora minerais como quartzo e caulinita sejam frequentemente identificados, refletindo a geologia da bacia hidrográfica de origem. O uso de aditivos, como cal ou cimento, tem sido explorado para melhorar a estabilidade mecânica e reduzir a lixiviação de metais, tornando o lodo apto para uso em coberturas de aterros sanitários ou como material para cerâmica estrutural.

A Tabela 2 apresenta a compilação dos principais constituintes identificados em estudos selecionados da literatura, permitindo uma análise comparativa entre diferentes materiais, metodologias e contextos experimentais. Esse compilado contribui para a compreensão das variações composicionais observadas, bem como para a identificação de tendências e lacunas de conhecimento relevantes ao tema investigado.

Tabela 2 - Resumo das pesquisas sobre aspectos físico-químicos e mineralógicos

Categoria	Constituintes e Propriedades Principais	Autores de Referência
Químicos (Óxidos e Metais)	Predominância de SiO_2, Al_2O_3 e Fe_2O_3. Presença de CaO, MgO e traços de metais pesados (Bário, Mercúrio).	Boscov, Tsugawa e Montalvan (2021); Roque e Carvalho (2006); Fiore et al (2020).
Mineralógicos	Elevado teor de matéria amorfa; presença de Quartzo, Caulinita, Gibbsita e Goethita.	Roque, Montalvan e Boscov (2021); Studart et al. (2023)
Físicos e Geotécnicos	Alta umidade natural, baixa massa específica seca, alta plasticidade e compressibilidade. Alteração da curva de compactação em solos.	Montalvan (2020); Fendrich et al. (2024); Tsugawa e Boscov (2023).
Orgânicos e Contaminantes	Matéria orgânica (até 15,5%); presença de micropoluentes como fármacos (Sulfonamidas, Fluoroquinolonas) e microrganismos.	Bisognin et al. (2021); Roque et al. (2021); Andreoli et al. (2008)
Aplicações e Reuso	Cerâmica vermelha (tijolos e telhas), coberturas de aterros, base de pavimentos e adensamento em bags geotéxteis.	Wolff et al. (2007); Tsugawa e Boscov (2023); Müller et al. (2023).
Parâmetros Químicos de Solo	Solo ácido (pH ≈ 6,4) e Capacidade de Troca Catiônica (CTC) elevada (73,3 mmolc/kg).	Roque, Montalvan e Boscov (2021).
Aditivos e Misturas	Uso de cal, cimento, cinzas de biomassa vegetal (VBA) e resíduos industriais ("dregs").	Studart et al. (2023); Wolff et al. (2007); Tsugawa e Boscov (2023).

Fonte: Autores (2026).

4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstram que o potencial de aplicação do lodo de ETA está diretamente associado aos seus constituintes físico-químicos e mineralógicos apresentados na Tabela 2. Observou-se predominância de fases amorfas, quartzo, caulinita, óxidos de alumínio e ferro, além de elevada plasticidade, alta umidade e variabilidade composicional, características que condicionam seu desempenho geotécnico e ambiental. Esses aspectos evidenciam que o comportamento do resíduo não pode ser interpretado de forma isolada, sendo necessária uma avaliação conjunta entre composição, estrutura e resposta mecânica para definição de aplicações tecnicamente seguras.

A análise integrada permitiu verificar que não existe uma aplicação universal para o resíduo, sendo sua viabilidade dependente da compatibilidade entre composição, processamento e requisitos de desempenho da aplicação final. Os estudos revisados indicam potencial para uso em coberturas de aterros, misturas solos–resíduo, materiais cerâmicos e aplicações geotécnicas de baixa solicitação. Entretanto, o aproveitamento do material requer caracterização prévia e controle das propriedades relacionadas à resistência, compressibilidade, estabilidade química e interação com o meio, de forma a minimizar riscos ambientais e garantir desempenho adequado em longo prazo.

Além disso, observou-se que diferenças associadas à origem da água bruta, aos processos de tratamento empregados e ao tipo de coagulante utilizado influenciam diretamente as propriedades finais do lodo, reforçando a necessidade de avaliações específicas para cada cenário de aplicação. Nesse contexto, a adoção de abordagens integradas de caracterização torna-se essencial para ampliar a confiabilidade técnica e reduzir incertezas relacionadas ao reaproveitamento do material.

Dessa forma, este trabalho contribui ao consolidar evidências de que a caracterização integrada dos constituintes do lodo constitui etapa essencial para transformar um passivo ambiental em recurso técnico, fortalecendo princípios de economia circular e reduzindo a demanda por materiais naturais. Ao reunir resultados geotécnicos, mineralógicos e físico-químicos reportados na literatura, o estudo fornece subsídios para futuras aplicações em engenharia e para o desenvolvimento de critérios mais consistentes de aproveitamento sustentável de resíduos de ETA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andreoli, C. V.; Garbossa, L. H. P.; Lupatini, G.; Pegorini, E. S. (2008) Wastewater sludge management: A Brazilian approach. In: Global atlas of excreta, wastewater sludge, and biosolids management: moving forward the sustainable and welcome uses of a global resource. United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT), p. 117–130.

Arulrajah, A.; Disfani, M. M.; Suthagaran, V.; Bo, M. W. (2013) Laboratory evaluation of the geotechnical characteristics of wastewater biosolids in road embankments. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25 (11), p. 1682–1691. DOI: https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000739.

Aydilek, A. H.; Edil, T. B.; Fox, P. J. (1999) Consolidation Characteristics of Wastewater Sludge. In: Edil, T. B.; Fox, P. J. (eds.) *Geotechnics of High Water Content Materials*. ASTM STP 1374. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.

Bağrıaçık, B.; Güner, E. D. (2020) An Experimental Investigation of Reinforcement Thickness of Improved Clay Soil with Drinking Water Treatment Sludge as an Additive. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 24, p. 3619–3627. DOI: https://doi.org/10.1007/s12205-020-0111-5.

Basim, S. C. (1999) Physical and geotechnical characterization of water treatment plant residuals. Dissertation, New Jersey Institute of Technology. Disponível em: https://digitalcommons.njit.edu/dissertations/977.

Bisognin, R. P.; Wolff, D. B.; Carissimi, E.; Prestes, O. D.; Zanella, R. (2021) Occurrence and fate of pharmaceuticals in effluent and sludge from a wastewater treatment plant in Brazil. *Environmental Technology*, 42 (15), p. 2292–2303. DOI: https://doi.org/10.1080/09593330.2019.1701561.

Boscov, M. E. G.; Tsugawa, J. K.; Montalvan, E. L. T. (2021) Beneficial use of water treatment sludge in geotechnical applications as a sustainable alternative to preserve natural soils. *Sustainability*, 13 (17), art. 9848. DOI: https://doi.org/10.3390/su13179848.

Dąbska, A. (2019) Hydraulic conductivity of compacted lime-softening sludge used as landfill liners. *Water, Air and Soil Pollution*, 230, art. 280. DOI: https://doi.org/10.1007/s11270-019-4281-z.

Ellen MacArthur Foundation (2013) Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition. Isle of Wight: Ellen MacArthur Foundation.

Fendrich, B. W.; Souza, S. G.; Souza, A. A. U.; Aguiar, C. R. (2024) Lodo proveniente de ETA desidratado com emprego de manta geotêxtil: revisão bibliográfica. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 7 (2), e70824. DOI: https://doi.org/10.34188/bjaerv7n2-110.

Ferreira, K. S. M.; Montalvan, E. L. T.; Sawatani, T. F.; Boscov, M. E. G. (2019) Influência da secagem nos parâmetros de resistência à compressão simples de misturas compactadas de solos lateríticos com lodo de ETA. In: Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental, 9. Anais..., p. 353–360.

Fiore, F. A.; Rodgher, S.; Ito, C. Y. K.; Bardini, V. S. S.; Klinsky, L. M. G. (2020) Quality of surface water and generation of sludge at water treatment plants. *Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 15 (5), p. 1–12. DOI: https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2565.

Gonçalves, F.; Souza, C. H. U.; Tahira, F. S.; Fernandes, F.; Teixeira, R. S. (2017) Incremento de lodo de ETA em barreiras impermeabilizantes de aterro sanitário. *Revista DAE*, 65, p. 5–14. DOI: https://doi.org/10.4322/dae.2016.018.

Machado, M. F. B.; Müller, M. C. R. (2019) Avaliação das características geotécnicas do lodo de estação de tratamento de água frente à bentonita. Universidade do Extremo Sul Catarinense.

Marchiori, L.; Albuquerque, A.; Cavaleiro, V. (2023) Water Treatment Sludge as Geotechnical Liner Material: State-of-Art. In: Yukselen-Aksoy, Y.; Reddy, K. R.; Agnihotri, A. K. (eds.) *Sustainable Earth and Beyond*. Lecture Notes in Civil Engineering, v. 370. Springer, Singapore. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-99-4041-7_47.

Montalvan, E. L. T. (2020) Geotechnical properties of mixtures of water treatment sludge and residual lateritic soils from the State of São Paulo. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Geotécnica, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. DOI: https://doi.org/10.11606/T.3.2020.tde-08032021-094316.

Montalvan, E. L. T.; Boscov, M. E. G. (2016) Geotechnical characterization of a soil-water treatment sludge mixture. In: Geo-Chicago 2016, p. 418–427.

Montalvan, E. L. T.; Ferreira, K. S. M.; Godoy, R. V. S.; Boscov, M. E. G. (2019) Influence of water treatment sludge addition on the compressibility and shear strength parameters of two lateritic soils. In: Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 16. Anais..., p. 2422–2430. DOI: https://doi.org/10.3233/STAL190310.

Müller, M.; Vidal, D.; Guanaes, E. A.; Freitas, M. R. de. (2023) Sludge dewatering with geotextile refill in a draining container: case study in a water treatment plant. *DELOS: Desarrollo Local Sostenible*, 16 (45), p. 1732–1747. DOI: https://doi.org/10.55905/rdelosv16.n45-016.

O'Kelly, B. C.; Quille, M. E. (2009) Compressibility and consolidation of water treatment residues. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Waste and Resource Management*, 162 (2), p. 85–97. DOI: https://doi.org/10.1680/warm.2009.162.2.85.

O'Kelly, B. C. (2008) Geotechnical properties of a municipal water treatment sludge incorporating a coagulant. *Canadian Geotechnical Journal*, 45 (5), p. 715–725. DOI: https://doi.org/10.1139/T07-109.

O'Kelly, B. C. (2006) Geotechnical properties of municipal sewage sludge. *Geotechnical and Geological Engineering*, 24, p. 833–850. DOI: https://doi.org/10.1007/s10706-005-6611-8.

O'Kelly, B. C. (2016) Geotechnics of municipal sludges and residues for landfilling. *Geotechnical Research*, 3 (4), p. 148–179. DOI: https://doi.org/10.1680/jgere.16.00013.

Richter, C. A. (2001) Tratamento de lodos de estações de tratamento de água. 1 ed. São Paulo: Edgard Blücher.

Roque, A. J.; Carvalho, M. (2006) Possibility of using the drinking water sludge as geotechnical material. In: International Congress on Environmental Geotechnics, 5, Cardiff, UK. Anais..., v. II, London: Thomas Telford / ICE Publishing, p. 1535–1542. DOI: https://doi.org/10.1680/ieg.34747.1535.

Roque, A.; Montalvan, E. L. T.; Boscov, M. E. G. (2021) Caracterização mineralógica, química e geotécnica do lodo da estação de tratamento de água Taiaçupeba. *Revista Geotecnia*, 151, p. 33–52. DOI: https://doi.org/10.24849/j.geot.2021.151.03.

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (2026) Visite a Sabesp. Disponível em: https://www.sabesp.com.br/a-sabesp/educacao/visite-sabesp. Acesso em: 25 fev. 2026.

Scapin, J.; Santos, E. F.; Pinheiro, R. J. B. (2021) Análise de misturas de lodo de ETA com solo siltoso da região de Santa Maria – RS. In: Encontro Nacional de Lodo de Estação de Tratamento de Água, 1. Anais..., p. 6–9.

Shah, S. A. R.; Mahmood, Z.; Nisar, A.; Aamir, M.; Farid, A.; Waseem, M. (2020) Compaction performance analysis of alum sludge waste modified soil. *Construction and Building Materials*, 230, art. 116953. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116953.

Silva, A. R. da. (2021) Comportamento geotécnico de misturas de areia argilosa laterítica e lodo da estação de tratamento de água Taiaçupeba, município de Suzano, São Paulo. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Geotécnica, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. DOI: https://doi.org/10.11606/D.3.2021.tde-28092021-153915.

Silva, A. S.; Hemsi, P. S. (2018) Efeito do teor de sólidos na resistência ao cisalhamento de um lodo de ETA visando seu uso em cobertura diária de aterros sanitários. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 19. Anais.

Studart, A.; Marchiori, L.; Albuquerque, A.; Cavaleiro, V.; Boscov, M. E. G.; Rocha, F.; Silva, E. F. (2023) Geotechnical comparison of water treatment sludge and biomass ashes for soft soils' application: a greener approach analysis. In: International Congress on Environmental Geotechnics, 9, Chania, Greece. Anais..., Chania: ISSMGE, p. 196–205. DOI: https://doi.org/10.53243/ICEG2023-268.

Tsugawa, J. K.; Boscov, M. E. G. (2023) Potential reuse of drinking water treatment sludge mixed with additives in landfills covers or other low solicitation applications. In: International Congress on Environmental Geotechnics, 9, Chania, Crete. Anais..., Chania: ISSMGE, v. 4. DOI: https://doi.org/10.53243/ICEG2023-234.

Wolff, E.; Schwabe, W. K.; Landim, A. B.; Vitorino, M. D.; Santos, W. L. (2007) A substituição da argila por lodo de ETA na produção de cerâmica vermelha. In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 51, São Paulo. Anais..., p. 14–29.

Zekkos, D. F. X.; Li, L.; Woods, R.; Sanford, L. (2017) Geo-characterisation of lime water treatment sludge. *Environmental Geotechnics*, 4 (3), p. 209–219. DOI: https://doi.org/10.1680/jenge.15.00028.