

# Lodo de Estação de Tratamento de Água: destinação e reciclagem<sup>1</sup>

## *Sludge from Water Treatment Stations: destination and recycling*

Viviane Feijó Machado<sup>2</sup>  
Daniela Lupinacci Villanova<sup>3</sup>

### Resumo

O levantamento bibliográfico do uso do lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) para diversos destinos, desde matéria-prima para processos produtivos, impedindo a disponibilização no meio ambiente, até a disposição adequada, para evitar contaminação de solos e corpos hídricos, foi compilado neste artigo. As bases de dados *Scopus* e *Web of Science* foram utilizadas, buscando artigos, para realizar bibliometria com *RStudio* e *Bibliometrix* e, com o *Science Mapping*, definição daqueles de maior relevância. Autores que publicaram trabalhos no Brasil e no exterior são apresentados, estudando proporções adequadas para cada uso e associação a outros resíduos, para correções de propriedades que se mostraram inadequadas. Estudos são abordados, para a construção civil e indústria de cerâmica, entre outros. Ao final, apresentou-se uma discussão sobre o uso do lodo de ETA, conforme estudos citados, e considerações sobre o tema foram apresentadas.

**Palavras-chave:** lodo; reuso; destinação.

### Abstract

*The bibliographic survey on the use of sludge from the Water Treatment Plant (WTP) for various destinations, from raw material for production processes, preventing its availability in the environment, to the adequate disposal to avoid contamination of soils and water bodies, was compiled in this article. The Scopus and Web of Science databases were used, searching for articles, to perform bibliometry with RStudio and Bibliometrix, and, with Science Mapping, to define those of greatest relevance. Authors who have published works in Brazil and abroad are presented, studying adequate proportions for each use and association with other residues for corrections of properties that proved to be inadequate. Studies are addressed, for the civil construction and ceramic industry, among others. At the end, a discussion on the use of WTP sludge was presented, according to the studies cited, and considerations on the subject were pointed out.*

**Keywords:** inclusive education, pedagogical support center, pedagogical consulting.

1 Resumo da dissertação de Viviane Feijó Machado no Mestrado Profissional em Tecnologia e Engenharia de Materiais (MPTEM) no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), Farroupilha, RS, Brasil, com defesa em 07.2022, sob orientação da Prof. Dra. Daniela Lupinacci Villanova.

2 Mestranda Tecnologia e Engenharia de Materiais pelo IFRS, especialista em Qualidade e Meio Ambiente pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), Porto Alegre, RS, engenheira de Bioprocessos e Biotecnologia pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), Porto Alegre, RS e bióloga pela PUCRS. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0538-0826>. E-mail: [vivi.fm@tche.com](mailto:vivi.fm@tche.com)

3 Doutora e mestre em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), engenheira mecânica pela UFRGS e professora no IFRS. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3145-1456>. E-mail: [daniela.villanoa@farroupilha.ifrs.edu.br](mailto:daniela.villanoa@farroupilha.ifrs.edu.br)  
Artigo recebido em 09.03.2022 e aceito em 29.06.2022.

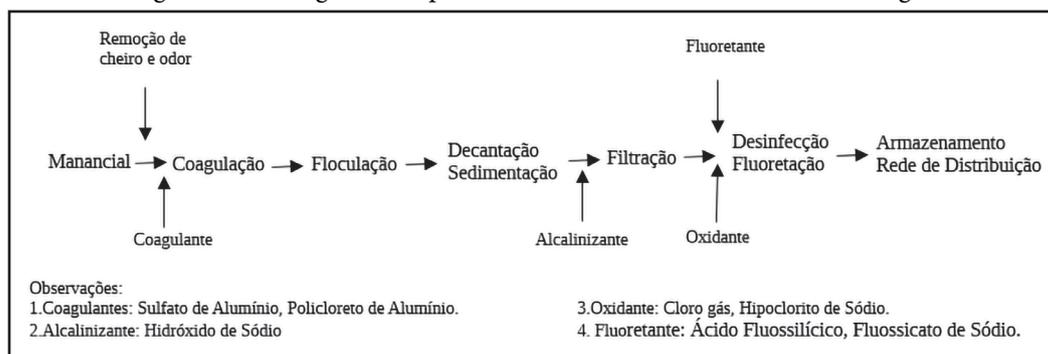


### 1 Introdução

O processo de tratamento de água convencional pode ser dividido em etapas básicas relacionadas à matéria-prima (água bruta) e ao produto final (à água potável), conforme figura 1. Essas etapas são: coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção

e fluoretação, utilizando produtos químicos como agentes coagulantes, adsorventes de substâncias orgânicas, alcalinizantes, oxidantes e compostos de flúor (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2017). O Brasil produz 17,1 bilhões de m<sup>3</sup>/ano de água potável, distribuídos pelas regiões, conforme tabela 1.

Figura 1 – Fluxograma do processo convencional de tratamento de água



Fonte: As autoras (2022).

Tabela 1 – Volume de água potável produzido no Brasil por ano

Região	Volume de água potável produzido
Norte	1,0 bilhão m <sup>3</sup> /ano
Nordeste	3,6 bilhões m <sup>3</sup> /ano
Centro-Oeste	1,3 bilhão m <sup>3</sup> /ano
Sudeste	8,8 bilhões m <sup>3</sup> /ano
Sul	2,4 bilhões m <sup>3</sup> /ano
<b>TOTAL</b>	<b>17,1 bilhões m<sup>3</sup>/ano</b>

Fonte: Adaptado de BRASIL (2021a).

O coagulante usado reage com a alcalinidade, natural ou adicionada, do meio, formando substância gelatinosa com carga superficial positiva que atrai as cargas negativas dos colóides em suspensão e formando partículas de maior tamanho, chamadas flocos, que têm maior velocidade de sedimentação. Na decantação, a água com flocos entra na zona de turbilhamento, ainda com agitação das partículas, passa por uma parede difusora para a zona de decantação e desce lentamente, acumulando o lodo na zona de repouso, sem influência de corrente da água, e, na zona de ascensão, a água clarificada decanta com poucas partículas suspensas. Os sólidos removidos formam o lodo, e sua característica depende da qualidade da água bruta, dureza, tipo de captação, processo de tratamento, coagulante usado, qualidade final desejada,

entre outros fatores (COSTA, 2015).

O lodo gerado tem grande variabilidade, contendo diversas partículas que podem causar cor e turbidez à água. Essa cor pode ser causada pela presença de compostos húmicos e também de minerais precipitados da água bruta e compostos, como hidróxidos de alumínio e ferro, oriundos dos produtos químicos, utilizados para a coagulação (KATAYAMA, 2012). A forma de remoção do lodo pode ser contínua, periódica com descargas por ciclos ou intermitente, bem como os tipos de remoção podem ser manuais, mecânico ou hidráulico. A descarga deve ser dimensionada para esgotá-lo em duas horas, embora a norma recomende até seis horas (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2017).

As operações unitárias, utilizadas no processo de tratamento de água, devem garantir a potabilidade da água, conforme os parâmetros definidos pela Portaria GM/MS número 888, que dispõe “sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade” (BRASIL, 2021b) e pela Portaria Estadual número 10, que “define teores de concentração do íon fluoreto nas águas para consumo humano, fornecidas por Sistemas Públicos de Abastecimento”. (RIO GRANDE DO SUL, 1999).

O grande volume de lodo produzido torna a destinação dele essencial, pois quanto mais próximo da universalização da distribuição de água potável, maior é o volume do rejeito. Esta revisão tem por finalidade

compilar pesquisas sobre o reaproveitamento do lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA), para avaliar os meios de utilizar esse resíduo em outra atividade ou processo produtivo. A temática é fundamental, devido ao destino dado a esse resíduo, pois geralmente ele é disponibilizado *in natura* nos cursos d'água, causando grande impacto negativo.

O objetivo deste trabalho é revisar a literatura, para apontar diferentes meios de destinação e reutilização do lodo de decantador de Estação de Tratamento de Água, bem como revisar as alternativas de aplicação do lodo de decantador de ETA na construção civil, na produção de cerâmica, no aterro de valas, na recuperação de áreas degradadas, como substrato para produção agrícola, no tratamento de águas residuárias e em outras aplicações.

## 2 Metodologia

Adotou-se o método de revisão sistemática, para o levantamento dos artigos relacionados à destinação e reciclagem do lodo de ETA.

Utilizou-se as bases de dados *Scopus* e *Web of Science*, para buscar os 300 artigos de maior relevância, 150 de cada, com os termos *sludge* e *water treatment*, pelo Portal de Periódicos da Capes, através do Acesso CAFe. Foi utilizado o programa RStudio e o pacote Bibliometrix, para a pesquisa bibliométrica nos arquivos gerados em cada base de dados.

A lista de artigos compilada foi inserida na planilha *Science Mapping*, para identificar os trabalhos de maior relevância, através da busca dos termos *sludge*, *water treatment*, *recycling*, *reuse*, *clay*, *construction*, *ceramics*, *bricks*, *degraded areas*, *substrate*, *wastewater*, *landfill* e *destination*. Foram selecionados os artigos que continham o primeiro termo e, pelo menos, outras quatro dessas palavras-chaves. Então, foram excluídos aqueles com mais de 10 anos de publicação. Os artigos remanescentes foram avaliados pelo seu índice H do *Google* e pela classificação *Qualis* da revista publicada.

Cada artigo sofreu um filtro, primeiro pelo seu título e depois pelo resumo, para identificar aqueles de relevância para o trabalho. Os artigos finalmente selecionados foram utilizados para esta revisão bibliográfica. Também, outras referências, como dissertações e legislações, foram buscadas para completar o raciocínio apresentado.

## 3 Revisão da literatura

Estima-se que o Brasil produza quatro milhões de toneladas por ano de lodo de ETA (SILVA, 2011).

A geração de lodo de tratamento de água é crescente, visto que a meta do país é atingir 100% de água potável distribuída em 2033, conforme o novo Marco Legal do Saneamento (BRASIL, 2020). Delgado (2016) apontou que a disposição final, ambientalmente adequada do lodo de ETA, tem sido o maior problema das operadoras de saneamento. A disposição do lodo no próprio manancial, onde há a captação de água, é uma realidade no País e, quando ocorre outra destinação final, o predominante no Brasil é o aterro sanitário, porém o reúso e a reciclagem são possíveis, principalmente através da incorporação do lodo.

Os problemas ambientais da disposição do lodo em corpos ambientais são: risco à vida aquática residente, aumento da quantidade de sólidos, assoreamento, mudança de cor e turbidez, aumento das concentrações de alumínio e ferro, além de gradativamente poder causar risco à saúde pública, uma vez que os lodos concentram as impurezas presentes na água bruta (SILVA, 2011). Os aterros têm custo elevado e necessidade de grandes áreas próximas aos centros urbanos, onde ocorre a geração do lodo, porém é o descarte mais utilizado, apesar da Política Nacional de Resíduos Sólidos indicar a redução de resíduos sólidos urbanos úmidos para essas unidades. Os aterros não deveriam ser usados para a disposição final do lodo digerido desidratado ou o lodo bruto desidratado (HENDGES *et al.*, 2017).

Santos, Manzato e Melo Filho (2016) apontaram que a argila caulinitica está presente na composição mineralógica do lodo de ETA, e Freitas (2018) disse que, em tratamento térmico para calcinação da caulinita, pode-se gerar material próximo ao metacaulim para fabricação de geopolímero. Paiva, Moreira e Soares (2016) buscaram identificar alternativas para disposição final ou reúso do lodo como insumo para processos industriais e constataram que ele é mais utilizado na construção civil, dependendo da sua caracterização para a escolha do produto.

### 3.1 Aplicação do lodo na construção civil

A construção civil tem um consumo elevado de recursos naturais, sendo a área com mais aplicações de lodo de ETA estudadas em diversas proporções. Costa (2011) obteve bom desempenho com cerca de 10% como agregado na produção de calçadas, enquanto Huang e Wang (2013) estudaram a aplicação do lodo de ETA, em Taiwan, na produção de agregado leve e obtiveram a densidade aparente reduzida em 17,5%, em relação ao estabelecido pela norma ASTM C330. Estudo sobre a utilização do lodo, como

material fino incorporado ao agregado miúdo e ao ligante asfáltico, em via úmida e em via seca, mostraram-se viáveis tecnicamente, com melhoria nas propriedades mecânicas e de adesividade no CBUQ (concreto betuminoso usinado a quente), quando o lodo é calcinado a 500 °C (MARTINEZ, 2014).

A incorporação do lodo de ETA em matriz de concreto foi estudada, tendo Costa (2011) concluído que, com certa redução da tração, até 10% de incorporação é viável, bem como Nascimento, Silva e Silva (2019) observou com a mesma proporção que as características mecânicas foram otimizadas. Estudo realizado na Jordânia investigou a substituição ao cimento pozolânico na fabricação de lajotas para uso externo e, até a proporção de 40% de lodo, atenderam a resistência mínima requerida, sendo identificada uma possível correlação linear entre o percentual de lodo e a resistência à ruptura (ALQAM; JAMRAH; DAGHLAS, 2011).

Concentrações baixas de sílica, ferro e alumínio, relacionadas às propriedades do cimento, fazem com que o lodo de ETA seja uma opção viável a ser incorporado para a produção de argamassa, pois os principais componentes do cimento, CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, também são encontrados nos lodos de ETAs. A incorporação de lodo à argamassa para substituição do metacaulim na produção de geopolímero foi estudada por Freitas (2018) que detectou viabilidade com adição ou substituição parcial e por Geraldo, Fernandes e Camarini (2017) que apontaram ser possível o uso do lodo com cinza de casca de arroz. A utilização do lodo calcinado, substituindo o cimento pozolânico, foi abordada por Tantawy (2015) que apontam a preservação das características necessárias até 800 °C, sem a perda de resistência. Gastaldini, Hengen e Gastaldini (2015) obtiveram a melhor eficiência a 600 °C, com uma (1) hora de permanência, e Godoy (2018) obteve índice mínimo de resistência à compressão para 80% das amostras até adição de 50% de lodo para atendimento do índice mínimo de resistência.

Na produção de solo-cimento, a mistura homogênea de solo, cimento e água, em proporções adequadas é necessária, bem como o teor de umidade e a massa específica seca máxima. A quantidade de argila no solo determina o teor de cimento empregado, recomendando-se até 10%, devido ao custo (DELGADO, 2016). Rodrigues e Holanda (2013) mostraram que até 1,25% de solo, substituído por lodo de ETA, interfere na hidratação do cimento, ficando limitado o reuso do lodo para tijolo solo-cimento. O índice de vazios

na substituição do lodo de ETA no solo-cimento pode comprometer a durabilidade pelo aumento do índice de retração volumétrica, bem como a presença de silte no lodo pode ocasionar menor resistência ao cisalhamento.

Diferentes resíduos vêm sendo pesquisados para uso em pavimentação de estradas e ruas, e a incorporação do lodo de ETA apresenta-se como alternativa para aterro do pavimento, como evidenciou Lucena (2012). A proporção de lodo, em substituição à areia para pavimentos, foi estudada, sendo que Castro (2014) avaliou o desempenho mecânico pela resistência à compressão e concluiu ser viável na proporção de 15%. Coelho *et al.* (2015) estudaram o uso na pavimentação rodoviária, utilizando solo arenoso e argiloso, respectivamente, na proporção de 1:0,25 e 1:1 e obtiveram resultado positivo para uso em subleito pela pouca rugosidade e baixa porosidade, não tendo bom entrosamento com os solos. Delgado (2016) obteve comportamento satisfatório na incorporação de 5% ao pó de pedra, sem adição de agente estabilizador, e de 15%, quando melhorado com cimento. Lucena (2012) estudou o comportamento da mistura de solo arenoso com diferentes porcentagens de lodo de ETA, adicionando agentes estabilizadores como cal, cimento e emulsão asfáltica, sendo viável o emprego de 20% de lodo e 1% de emulsão asfáltica.

### 3.2 Aplicação do lodo na produção de cerâmica

O uso do lodo dependerá do custo para a indústria de cerâmica e do custo do produto ao consumidor final. Quando incorporado na massa cerâmica, o mesmo pode auxiliar na redução da temperatura de queima pela fração orgânica e reduzir a energia total do processo. A combinação das propriedades de diferentes resíduos pode resultar em produtos seguros e com desempenho superior aos tradicionais, além do desempenho ambiental e econômico (MYMRIN *et al.*, 2017), sendo para Wolff, Schwabe e Conceição (2015), uma prática ambientalmente amigável.

A temperatura de queima e a proporção do lodo determinam a qualidade da peça, bem como o aumento do teor de lodo resulta em redução da resistência à compressão, diminuição da densidade e aumento da absorção de água (ANYAKORA, 2013). A substituição do solo natural por lodo de ETA para a fabricação de tijolos de solo-cimento foi estudada, obtendo-se a proporção de substituição de até 1,25% do solo natural (RODRIGUES; HOLANDA, 2013) e 2% para resultados em conformidade com as normas vigentes. No entanto, Chalhoub *et al.* (2019) concluiu

que a incorporação máxima, para atender aos requisitos básicos do produto e do método de fabricação é de 9% de lodo, sendo evitada a retração e o declínio da resistência.

Tartari *et al.* (2011) utilizaram o lodo de ETA na produção de artigos de cerâmica vermelha e verificaram que o lodo pode ser aditivo em massas argilosas de elevada plasticidade, para equilibrar a organização das partículas e otimizar o processo de secagem, bem como concluíram que, em processo de extrusão, com quantidades fracionadas, é uma alternativa viável na fabricação de cerâmica vermelha. Anyakora (2013) estudou a fabricação de blocos cerâmicos na Nigéria com diferentes frações de lodo de ETA, submetidos ao processo de queima a diferentes temperaturas, e obteve 10% de lodo como limite, para que os requisitos necessários fossem mantidos, tendo sido atingidos na temperatura de queima de 900 °C. Em consonância a esses estudos, a avaliação da viabilidade técnica da incorporação do lodo de ETA para a fabricação de tijolos cerâmicos indicou o uso de até 10% (CASTÃO *et al.*, 2017), tendo Couto (2011) indicado a mesma proporção, para não comprometer as propriedades físicas e mecânicas do material. Outras proporções foram encontradas para a substituição da massa de argila pelo lodo de ETA para produção de blocos cerâmicos, sendo concluído por Benlalla, Elmoussaquiti e Dahhou (2015) ser compatível a incorporação de até 20%.

Pesquisadores também apontaram a inviabilidade do uso de lodo de ETA na fabricação de cerâmicos. Kizinievič *et al.* (2013) utilizaram o lodo de ETA na Lituânia, com aproximadamente 70% de óxido de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e diâmetro das partículas médio de 138 µm, na incorporação em produtos cerâmicos, tendo sido incorporados 40%, em relação à massa de argila e queimado entre 1000 e 1050 °C, resultando na redução da resistência à compressão, baixa densidade, aumento da porosidade e da pigmentação natural.

Mymrin *et al.* (2017) investigaram a combinação das propriedades complementares de resíduos industriais ao lodo de ETA, com atendimento aos requisitos para blocos cerâmicos e imobilização de contaminantes, combinando o lodo com resíduos ricos em sílica da indústria do vidro, sais com metais pesados de neutralização ácida da reciclagem de baterias e mistura de argila com areia. Concluíram que, a 900 °C, a resistência foi muito semelhante àquela produzida com argila e areia, bem como os testes de solubilização e lixiviação apontaram a imobilização dos metais pesados. Ainda, a 950 °C, a resistência foi muito superior aos compostos integralmente de

matéria-prima virgem.

A incorporação de lodo de ETA e cinza de casca de arroz foi investigada por Hegazy, Fouad e Hassanain (2012) e demonstraram que, a 1200 °C e 75% de lodo, os tijolos apresentaram propriedades mecânicas superiores aos controles. Silva (2011) investigou a incorporação de lodo de ETA e cinzas de carvão na fabricação de tijolos ecológicos, indicando que podem ser usados, atendendo à norma brasileira quanto à resistência a compressão e absorção de água.

### 3.3 Aplicação do lodo para aterro de valas

Os serviços de manutenção das redes envolvem a retirada do solo contaminado, que deve ser reaproveitado ou corretamente destinado, conforme a Resolução nº 307 (BRASIL, 2002), representando custo na destinação e na compra do saibro para a vala. Uma alternativa é o uso do lodo de ETA inerte com cal hidratada para o aterro de valas. O Hidróxido de Cálcio (Ca(OH)<sub>2</sub>) é excelente para trabalhos de cimentação e estabilização de solos, não necessita ser triturado, e a temperatura de hidratação não é elevada como a cal virgem (CaO), que precisa de maior hidratação (DELGADO, 2016). O resíduo do lodo de ETA, classificado como não perigoso e não inerte pela NBR 10004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), tendo cal hidratada adicionada, passa a ser inerte.

### 3.4 Aplicação do lodo em recuperação de áreas degradadas

O uso do lodo de ETA para recuperação de áreas degradadas é uma alternativa, porém, devido a sua composição, deve ter controle na aplicação para não alterar as propriedades estruturais do solo. Bittencourt *et al.* (2012) avaliaram o efeito da aplicação de lodo de ETA em solo degradado, com e sem lodo de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), e obtiveram resultado favorável, quando ambos são combinados. A aplicação do lodo de ETA com resíduos orgânicos de animais é viável na recuperação de áreas degradadas.

### 3.5 Aplicação de lodo como substrato para produção agrícola

O resíduo gerado nos decantadores de ETA pode ser usado como adubo agrícola, mas é necessária a caracterização dele para monitorar a presença de metais pesados, como ferro e alumínio, que afetam o sistema solo-planta. O lodo tem índice baixo de nutrientes (N:P:K) e baixa concentração de matéria orgânica, precisa de pré-tratamento para remoção de metais

potencialmente tóxicos e enriquecimento com macro e micronutrientes para desenvolvimento de plantas. O lodo pode ser utilizado na compostagem, em sistemas de leiras, para incremento da umidade, fornecimento de traços minerais e ajuste de pH, devendo a umidade ser adequada, a dosagem ser correta para cada cultura e os sólidos não cobrirem folhas e prejudicar a fotossíntese (BITTENCOURT *et al.*, 2012).

### 3.6 Aplicação do lodo para tratamento de águas residuárias

O lodo pode ser utilizado no tratamento de águas residuárias. Ahmad, Ahmad e Alam (2016) estudaram o uso do lodo, como reagente no processo de tratamento de águas residuárias e demonstraram ser uma alternativa ambientalmente viável, sustentável e econômica. Além disso, foi registrada boa eficiência do lodo com maiores concentrações de alumínio na remoção de fósforo de águas residuárias, tendo sido estudado de 253 a 144.000 mg/kg, apresentando também viabilidade econômica (KRISHNA; ARYAL; JANSEN, 2016). Nair e Ahammed (2015) compararam em bancada o uso do lodo com o cloreto de polialumínio (PAC) e apenas o coagulante, aplicado em efluente de reator anaeróbico de fluxo ascendente, com manto de lodo, obtiveram resultados análogos.

### 3.7 Outras aplicações

O lodo pode ser destinado a aterros sanitários de resíduos não perigosos, pois ele é classificado como resíduo sólido classe II, não perigoso e não inerte pela NBR 10004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004). Essa disposição é viável tecnicamente e possui regulamentação pelas legislações ambientais vigentes. A disposição do lodo de ETA em ETE é uma alternativa, sendo possível controlar o Sulfeto de Hidrogênio (H<sub>2</sub>S), contribuir para a sedimentação, aumentar a eficiência dos decantadores primários e a remoção de fósforo. Pereira (2011) apontou que o adensamento de lodo, em sacos de geotecido, atende aos padrões de lançamento exigidos pelas leis vigentes e que o lodo adensado pode ser encaminhado à ETE, sendo limitante as condições de projeto de carga de sólidos e o volume afluente. O uso do lodo para a remoção de metais pesados é uma alternativa, sendo que Abo-El-Enein, Shebl e Abo-El-Dahab (2017) estudaram o uso do lodo de ETA calcinado na remoção de Cobre (Cu) e Chumbo (Pb) e esse se apresentou como eficiente adsorvente, atingindo até 99,99% de remoção.

## 4 Discussão

A correta disposição do lodo de ETA é necessária para resolver o problema ambiental e cumprir a legislação, pois o lançamento *in natura* nos corpos hídricos eleva a concentração de sólidos totais na água e possibilita a contaminação com resíduos dos produtos químicos utilizados. O diagnóstico, para analisar o gerenciamento e volume de lodo de ETA, é fundamental para compreender a situação, melhorar e padronizar parâmetros e discutir sobre a cultura de gestão do lodo de ETA ou a falta dela (OLIVEIRA; RONDON, 2016).

Bittencourt *et al.* (2012) destacaram os desafios, para o uso do lodo como matéria-prima, devido à instabilidade de suas características, aceitação no mercado dos resíduos sólidos, demanda sazonal ou inexistente por parte de empreendimentos, capazes de incorporá-lo em seu processo produtivo, desconfiança da ausência de patógenos para uso agrícola e custo de armazenamento e transporte. Em relação à política de incentivo, para o uso desse resíduo, faltam recursos financeiros e conhecimento técnico, há dificuldade para licenciamento, fiscalização e apoio da população, ausência de padrão de cadastro e informações, bem como deficiência da legislação, onde apenas a Resolução nº 375 (BRASIL, 2006) define critérios para o uso agrícola de lodo de ETE, sem abordar o uso de lodo de ETA.

Grande variedade de estudos publicados abordam o uso de lodo de ETA na composição ou substituição de matéria-prima para a construção civil, sendo o resíduo incorporado como agregado à massa para produção de materiais cimentícios e cerâmicos, oferecendo soluções de destinação segura e reduzindo a demanda pelo recurso natural, diminuindo o custo de produção. O lodo incorporado não compromete ou melhora as características do produto, mas promove benefícios em termos de custo e na evidente destinação do lodo (ALQAM; JAMRAH; DAGHLAS, 2011). Pesquisa de combinação do lodo com resíduos industriais (MYMRIN *et al.*, 2017), pó de pedra e cimento (DELGADO, 2016), cal e emulsão asfáltica (LUCENA, 2012) e casca de arroz (GERALDO, FERNANDES; CAMARINI, 2017; HEGAZY; FOUAD; HASSANAIN, 2012), para suprir propriedades não atendidas individualmente, mostraram que o desempenho da resistência é superado, em relação à matéria-prima virgem.

Algumas desvantagens são apresentadas no uso do lodo de ETA como matéria-prima. Na fabricação dos tijolos cerâmicos, o problema é relacionado ao limite de plasticidade, sendo recomendado como constituinte da massa argilosa em quantidade adequada, como Anyakora (2013) identificou: a concentração maior

de alumina e óxido de ferro e o reduzido teor de sílica facilitaram o declínio das resistências pela diminuição das formações vítreas, podendo ser corrigido com incorporação de outros resíduos com alto teor de sílica. A incorporação do lodo em matriz de concreto é alternativa econômica, tecnicamente viável e vantajosa, mas há problema relacionado à variação das propriedades que o concreto pode sofrer, conforme as concentrações utilizadas, sendo necessários ensaios de garantia de estabilidade do resíduo.

Há oportunidade para novos estudos, a partir da combinação de lodos de saneamento com outros resíduos industriais, oferecendo maior eficiência no aproveitamento dos fluxos de materiais, redução da demanda por recursos naturais, menores custos de produção e solução para resíduos com metais pesados em produtos para construção civil seguros e de qualidade

superior (CASTILHO JÚNIOR; PRIM; PIMENTEL, 2011). A incorporação do lodo reduz o consumo de matéria-prima natural, como areia, brita e insumos para a fabricação de cimento, pois o aglomerante usado também é reduzido, minimizando o impacto ambiental pela diminuição na extração e redução dos poluentes atmosféricos da produção de cimento, bem como contribui para a adoção de alternativas sustentáveis de destinação final desse resíduo da ETA. A mudança de abordagem da problemática dos resíduos sólidos produzidos nas ETAs é necessária para desenvolver o potencial de reaproveitamento e para uma postura coerente com princípios de desenvolvimento sustentável, bem como a ampliação dos estudos se faz fundamental para a compreensão das alternativas e sua viabilidade. As principais fontes utilizadas, nesta revisão, estão relacionadas no quadro 1.

Quadro 1 – Referências bibliográficas de destaque no uso do lodo de ETA

<b>FONTE – LOCAL – RESUMO</b>
Anyakora (2013) – Abuja, Nigéria – Aplicação do lodo de ETA em diferentes proporções e temperaturas de queima para fabricação de tijolos, obteve resultado favorável e os testes de lixiviação apresentaram-se dentro dos limites aceitáveis.
Benlalla, Elmoussaquiti e Dahhou (2015) – Rabat, Marrocos – Avaliação da incorporação de lodo de ETA na fabricação de cerâmica em diferentes proporções e temperaturas de queima, para determinar as propriedades tecnológicas, obtendo alta resistência mecânica.
Coelho <i>et al.</i> (2015) – Londrina, Brasil – Uso do lodo de ETA em mistura de solo como base, sub-base e subleito de pavimento de estradas, obteve resultado que pode ser usado em camadas de pavimentos, mas aponta necessidade de mais estudos.
Gastaldini, Hengen e Gastaldini (2015) – Santa Maria, Brasil – Investigação do uso do lodo de ETA como adição mineral para concreto, sendo que, com a cinza do lodo, foi possível obter a mesma resistência no concreto com mistura apenas de cimento Portland.
Geraldo, Fernandes e Camarini (2017) – Campinas, Brasil – Produção de geopolímero com lodo de ETA não calcinado em parcial substituição de metacaulim, com diminuição da resistência à compressão e ao aumento da porosidade e à permeabilidade.
Huang e Wang (2013) – Taichung, Taiwan – Lodo de ETA para produção de agregado leve e avaliação das propriedades de engenharia, resultando em atendimento à ASTM C330, tendo sido cumprido os requisitos de concreto leve estrutural.
Kizinievič <i>et al.</i> (2013) – Vilnius, Lituânia – Influência do lodo nas propriedades físicas e mecânicas, parâmetros estruturais e composição mineralógica, obtendo redução da resistência à compressão, baixa densidade e aumento da porosidade da cerâmica.
Krishna, Aryal e Jansen (2016) – Penrith, Austrália – Uso do lodo de ETA, como adsorvente para remoção de fósforo (P) de águas residuais, tendo resultado de boa correlação entre o alumínio e a massa de ferro, demonstrando eficácia e baixo custo.
Mymrin <i>et al.</i> (2017) – Curitiba, Brasil – Uso do lodo de ETA, como principal componente para produção de cerâmica em combinações com sais de neutralização ácida e resíduos de vidro, obteve resultado satisfatório.
Nair e Ahammed (2015) – Surat, Índia – Avaliação do uso de lodo de ETA e PAC, como coagulante, para o pós-tratamento de águas residuais em UASB, sendo substancialmente maior a remoção, quando aplicado o lodo de ETA, junto ao PAC.

Fonte: As autoras (2020).

## 5 Considerações finais

O uso de lodo de ETA para processos produtivos viabiliza o reúso e a reciclagem e evita a destinação final *in natura*, inertizando o material. Esse rejeito, usado como matéria-prima, contribui para a diminuição da extração do recurso natural que está sendo substituído. A redução da geração do próprio resíduo, bem como o tratamento e desaguamento são importantes para todo o ciclo do processo e podem ser abordados em estudos futuros.

Há a necessidade de legislação que norteie o reúso do lodo de ETA, pois a Resolução nº 375 (BRASIL, 2006) é muito restritiva e não há uma norma específica para definir a reutilização e os parâmetros para tal. Além de incentivo e orientação de implantação de programas de gestão de resíduos com uso de indicadores, mapa de risco e outros instrumentos, uma legislação específica sobre o tema contribui para a redução do impacto nos mananciais, mas também é necessário haver fiscalização em relação ao descarte. Ainda, o trabalho realizado, em relação ao reúso do lodo de ETA, deve ser usado para aprimorar a relação socioambiental na localidade, onde o resíduo é gerado.

O recurso hídrico é fundamental para as operadoras de saneamento, visto que sua matéria-prima provém dele, assim, a destinação adequada do resíduo é fundamental para não comprometer a sua própria atividade. A fiscalização efetiva se faz necessária, para que os órgãos não fiquem à mercê de gestores que não estão preocupados com a sustentabilidade econômica, ambiental e social do seu negócio.

## Referências

ABO-EL-ENEIN, S. A.; SHEBL, A.; ABO EL-DAHAB, S. A. Drinking water treatment sludge as an efficient adsorbent for heavy metals removal. **Applied Clay Science**, v. 146, p. 343-349, 2017. DOI: 10.1016/j.clay.2017.06.027.

AHMAD, T.; AHMAD, K.; ALAM, M. Sustainable management of water treatment sludge through 3R concept. **Journal of Cleaner Production**, v. 124, p. 1-13, 2016. DOI:10.1016/j.jclepro.2016.02.073.

ALQAM, M.; JAMRAH, A.; DAGHLAS, H. Utilization of cement incorporated with water treatment sludge. **Jordan Journal of Civil Engineering**, v. 5, n. 2, p. 268-277, 2011.

ANYAKORA, N. V. Characterization and performance evaluation of water works sludge as bricks material.

**International Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 3, n. 3, p. 69-79, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.

BENLALLA, A.; ELMOUSSAQUITI, M.; DAHOU, M. Utilization of water treatment plant sludge in structural ceramics bricks. **Applied Clay Science**, v. 118, p. 171-177, 2015. DOI:10.1016/j.clay.2015.09.012.

BITTENCOURT, S. *et al.* Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 3, p. 315-324, 2012. DOI:10.1590/S1413-41522012000300008.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Diagnóstico temático**: serviços de água e esgoto. Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento, 2021a.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**: seção 1, Brasília, n. 135, p. 1, 16 de jul. 2020.

BRASIL. Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**: seção 1, Brasília, n. 85, p. 127, 07 maio 2021b.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 17 de jul. 2002.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 30 de ago. 2006.

CASTÃO, E. S. *et al.* Reúso de lodo de estação de tratamento de água na fabricação de tijolos cerâmicos. In: CONGRESSO ABES – FENASAN, 29., 2017, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2017. p. 1-10.

CASTILHO JÚNIOR, A. B.; PRIM, E. C. C.;

- PIMENTEL, F. J. G. Utilização de lodo de ETA e ETE como material alternativo de cobertura de aterro sanitário. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, v. 7, n. 2, p. 86-97, 2011. DOI: 10.4013/ete.2011.72.02.
- CASTRO, C. E. **Uso de lodo de estação de tratamento de água (LETA) para fabricação de pavimentos pré-moldados de concreto**. 2014. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2014.
- CHALHOUB, A. S. *et al.* Incorporação do lodo de ETA na fabricação de tijolos. *In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E SUSTENTABILIDADE*, 2., 2019, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: IBEAS, 2019. p. 1-6.
- COELHO, R. *et al.* Uso de lodo de estação de tratamento de água na pavimentação rodoviária. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 10, n. 2, p. 11-22, 2015. DOI:10.5216/reec.v10i2.33134.
- COSTA, A. G. **Sistemas de abastecimento de água**. Fortaleza: Ministério do Meio Ambiente: Agência Nacional de Águas, 2015. 156 p.
- COSTA, A. J. C. **Análise de viabilidade da utilização de lodo de ETA coagulado com cloreto de polialumínio (PAC) composto com areia como agregado miúdo em concreto para recomposição de calçadas**: estudo de caso na ETA do município de Mirassol/SP. 2011. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.
- COUTO, V. M. P. **Desenvolvimento e caracterização de materiais cerâmicos derivados do processamento dos resíduos de estação de tratamento de água**. 2011. 120 f. Dissertação (Mestre em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- DELGADO, J. V. C. **Avaliação da aplicação do lodo da ETA Guandu na pavimentação como disposição final ambientalmente adequada**. 2016. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.
- DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D.; VOLTAN, P. E. N. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 3. ed. São Carlos: Ldibe, 2017. 1.246 p.
- FREITAS, Y. R. **Estudo do comportamento de argamassas cimentícias e geopoliméricas com a incorporação de resíduo de ETA**. 2018. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Infraestrutura) – Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2018.
- GASTALDINI, A. L. G.; HENGGEN, M. F.; GASTALDINI, M. C. C. The use of water treatment plant sludge ash as a mineral addition. **Construction and Building Materials**, v. 94, p. 513-520, 2015. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.07.038.
- GERALDO, R. H.; FERNANDES, L. F. R.; CAMARINI, G. Water treatment sludge and rice husk ash to sustainable geopolymer production. **Journal of Cleaner Production**, v. 149, p. 146-155, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.02.076.
- GODOY, L. G. G. **Otimização das características do lodo de ETA visando a utilização em cimento composto e pozolânico**. 2018. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Fundação Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2018.
- HEGAZY, B. E. E.; FOUAD, H. A.; HASSANAIN, A. M. Brick manufacturing from water treatment sludge and rice husk ash. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 6, n. 3, p. 453-461, 2012.
- HENDGES, L. T. *et al.* Disposição final de lodo de estação de tratamento de água e de esgoto: uma revisão. *In: SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO*, 10., 2017, Santana do Livramento. **Resumos [...]**. Santana do Livramento: Universidade Federal do Pampa, 2017, p. 1-6.
- HUANG, C.; WANG, S. Application of water treatment sludge in the manufacturing of lightweight aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 43, p. 174-183, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.02.016>.
- KATAYAMA, V. T. **Quantificação da produção de lodo de estações de tratamento de água de ciclo completo**: uma análise crítica. 2012. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- KIZINIEVIČ, O. *et al.* Utilization of sludge waste from water treatment for ceramic products. **Construction and Building Materials**, v. 41, p. 464-473, 2013. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2012.12.041.
- KRISHNA, B. K. C.; ARYAL, A.; JANSEN, T. Comparative study of ground water treatment plants sludges to remove phosphorous from wastewater.

- Journal of Environmental Management**, v. 180, p. 17-23, 2016. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.05.006.
- LUCENA, L. C. **Estudo de aplicação de misturas solo lodo em base e sub-base de pavimentos**. 2012. 263 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pernambuco, Recife, 2012.
- MARTINEZ, J. G. **Avaliação de desempenho de misturas betuminosas com adição de lodos de ETA e de ETE**. 2014. 113 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2014. 97 p.
- MYMRIN, V. *et al.* Water cleaning sludge as principal component of composites to enhance mechanical properties of ecologically clean red ceramics. **Journal of Cleaner Production**, v. 145, p. 367-373, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.12.141.
- NAIR, A. T.; AHAMMED, M. M. The reuse of water treatment sludge as a coagulant for post-treatment of UASB reactor treating urban wastewater. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 272-281, 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.12.037.
- NASCIMENTO, E. S.; SILVA, T. A.; SILVA, L. L. A utilização do lodo de ETA como insumo em argamassa. *In*: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DE ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 76., 2019, Palmas. **Anais [...]**. Palmas: CONTECC, 2019. p. 1-5.
- OLIVEIRA, I. Y. Q.; RONDON, O. C. Diagnóstico da gestão de lodo de estação de tratamento de água em Mato Grosso do Sul. **Revista Interações**, v. 17, n. 4, p. 687-698, 2016. DOI: 10.20435/1984-042X-2016-v.17-n.4(11).
- PAIVA, G. S.; MOREIRA, V. T. G.; SOARES, A. F. S. Lodo de estação de tratamento de água (ETA): resíduo ou insumo. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 8., 2016, Campina Grande. **Anais [...]**. Campina Grande: IBEAS, 2016. p. 1-11.
- PEREIRA, V. E. **Disposição de lodo adensado de ETA em ETE com tratamento primário quimicamente assistido**. 2011. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.
- RIO GRANDE DOS SUL. Secretaria da Saúde. Portaria Estadual nº 10, de 16 de agosto de 1999. Define teores de concentração do íon fluoreto nas águas para consumo humano fornecidas por Sistemas Públicos de Abastecimento. **Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, ano 58, n. 161, p. 22, 16 ago. 1999.
- RODRIGUES, L. P.; HOLANDA, J. N. F. Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solo-cimento. **Revista Cerâmica**, v. 59, p. 551-556, 2013. DOI: 10.1590/S0366-69132013000400010.
- SANTOS, G. Z. B.; MANZATO, L.; MELO FILHO, J. A. Utilização de cinzas de lodo de ETA na síntese de geopolímeros. *In*: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS DO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE NA AMAZÔNIA, 4., 2016, Manaus. **Anais [...]**. Manaus: ANPPAS, 2016. p. 1-11.
- SILVA, M. V. **Desenvolvimento de tijolos com incorporação de cinzas de carvão e lodo provenientes de estação de tratamento de água**. 2011. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. 132 p.
- TANTAWY, M. A. Characterization and pozzolanic properties of calcined alum sludge. **Materials Research Bulletin**, v. 61, p. 415-421, 2015. DOI: 10.1016/j.materresbull.2014.10.042.
- TARTARI, R. *et al.* Lodo gerado na estação de tratamento de água Tamanduá, Foz do Iguaçu, PR, como aditivo em argilas para cerâmica vermelha. **Revista Cerâmica**, v. 57, p. 288-293, 2011. DOI: 10.1590/S0366-69132011000400003.
- WOLFF, E.; SCHWABE, W. K.; CONCEIÇÃO, S. V. Utilization of water treatment plant sludge in structural ceramics. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 282-289, 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.06.018.