

I-514 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM INCORPORAÇÃO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Tiago Gabriel Santana e Silva⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Pós-graduando em Orçamento, Planejamento e Controle na Construção Civil pela União Brasileira de Faculdades (UniBF).

Igor Souza Ogata⁽²⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Doutor em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Cézar Victor Alves de Lima⁽³⁾

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

Mônica de Amorim Coura⁽⁴⁾

Licenciada em Química pela Fundação Universidade Regional do Nordeste (FURNE). Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Doutora em Recursos Naturais pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

Endereço⁽¹⁾: Travessa Santa Ana, 78 - Centro - Belém - PB - CEP: 58255-000 - Brasil - Tel: (83) 999968098 - e-mail: tiagogabriel@hotmail.com.br

RESUMO

O lodo gerado pelo processo de tratamento de água para consumo humano, na maioria das vezes, não tem uma disposição final ambientalmente adequada pelas companhias de saneamento no Brasil, sendo descartado indiscriminadamente na natureza. Nesse sentido, o presente trabalho buscou aplicar esse resíduo na produção de argamassa padrão, substituindo parcialmente o aglomerante pelo lodo calcinado e verificando sua eficiência através do teste de resistência à compressão. O lodo utilizado foi da estação de tratamento de água da cidade de Píripituba-PB, o qual passou por um processo de calcinação em forno mufla a 700 °C, possibilitando a caracterização do lodo *in natura* e calcinado, além da caracterização do agregado miúdo e do aglomerante. Posteriormente, foram produzidos corpos de prova de argamassa sem a adição de lodo e com a substituição parcial do aglomerante por lodo calcinado, nos teores de 10% e 20% da massa. Em seguida, após a cura submersa por 28 dias, esses corpos de prova passaram pelo processo de ruptura para verificar a resistência a compressão, obtendo valores de 27,341 MPa, 25,649 MPa e 21,931 MPa, respectivamente. O estudo demonstrou que o lodo é um material essencialmente fino, tanto antes como após a calcinação. Apesar disso, a substituição do aglomerante pelo lodo calcinado diminuiu a resistência à compressão, de modo que apenas a incorporação de 10% de lodo resultou numa resistência compatível com o padrão mínimo para argamassas. Sendo assim, esse lodo calcinado pode ser aplicado como matéria-prima na produção de argamassa, desde que, se mantenha com o percentual observado.

PALAVRAS-CHAVE: Construção civil, Destinação final de lodo, Resíduos sólidos.

INTRODUÇÃO

A demanda de água, em quantidade e qualidade suficiente para atender as necessidades humanas, é um dos maiores desafios em um cenário mundial de aumento populacional (Ayele; Workneh; Meshesha, 2023; Li et al., 2024). E, obviamente, o Brasil não foge dessa regra, uma vez que apenas o abastecimento humano cresceu 32% em menos de uma década, alcançando a marca de 59,8 milhões de economias residências ativas em 2017 (IBGE, 2020).

Para manter essas economias abastecidas são necessárias estações de tratamento de água (ETA) que, no processo industrial de tornar a água potável gera uma série de rejeitos (Urban; Nakada; Isaac, 2023). Dentre esses rejeitos o lodo gerado em decantadores e filtros se destaca, pois é um resíduo sólido rico em metais



pesados, sólidos e matéria orgânica (Urban; Nakada; Isaac, 2023; Ruviano et al., 2021) que pode ser tóxico para os organismos aquáticos e comprometer a qualidade das águas e dos sedimentos (Rankovic et al., 2023).

Além do aspecto qualitativo do lodo, é importante ressaltar que este é o rejeito mais significativo também em relação a quantidade, uma vez que representa de 60% a 95% de todo o rejeito produzido numa ETA, compreendendo algo em torno de 0,2% a 5% do volume de água tratada (Rodrigues; Holanda, 2013; Ruviano et al., 2023). Logo, o descarte desse resíduo é um passivo significativo ao prestador do serviço de abastecimento de água.

Esse descarte configura-se como uma operação complexa, mas, muitas vezes simplificada pelo lançamento em rios e mares, como acontece em 68% das ETA do Brasil (Ruviano et al., 2021). Contudo, existem alternativas de destinação final menos danosas, como a aplicação em solos, depósito em aterros sanitários, incineração e aproveitamento na indústria da construção civil (Bitencourt, 2016; Buselatto et al., 2019).

Dentre as alternativas expostas, o aproveitamento na construção civil é uma das mais promissoras, pois além de dar utilidade ao resíduo ainda pode gerar receita para o prestador de serviço e, diante da composição do lodo de ETA – que possui elementos semelhantes ao cimento Portland – há indícios de viabilidade dessa opção (Detho; Kadir; Ahmad, 2024; Sutcu et al., 2022).

Sendo assim, tendo em vista a necessidade de destinação final para os lodos de ETA, adequação dos prestadores do serviço à legislação ambiental e busca por gestão sustentável nas companhias de saneamento, este trabalho se propôs a verificar a aplicabilidade da incorporação do lodo de ETA em argamassa padrão.

OBJETIVOS

Como objetivo geral a pesquisa buscou analisar a resistência a compressão de argamassa padrão com substituição parcial do aglomerante por lodo calcinado de ETA e, de forma específica, almejou:

- Realizar a caracterização física do lodo antes e após a calcinação;
- Realizar a caracterização física do agregado miúdo e do aglomerante utilizados na produção da argamassa;
- Verificar a resistência a compressão axial na argamassa padrão em que foi incorporado o lodo de ETA calcinado.

METODOLOGIA UTILIZADA

O processo metodológico foi organizado em três etapas, nas quais foram realizadas o tratamento e caracterização física do lodo de ETA incorporado à argamassa, a caracterização física dos materiais que compõem a argamassa e o teste de resistência da argamassa produzida com o lodo de ETA. O fluxograma da Figura 1 foi elaborado para melhor representar esse processo metodológico.

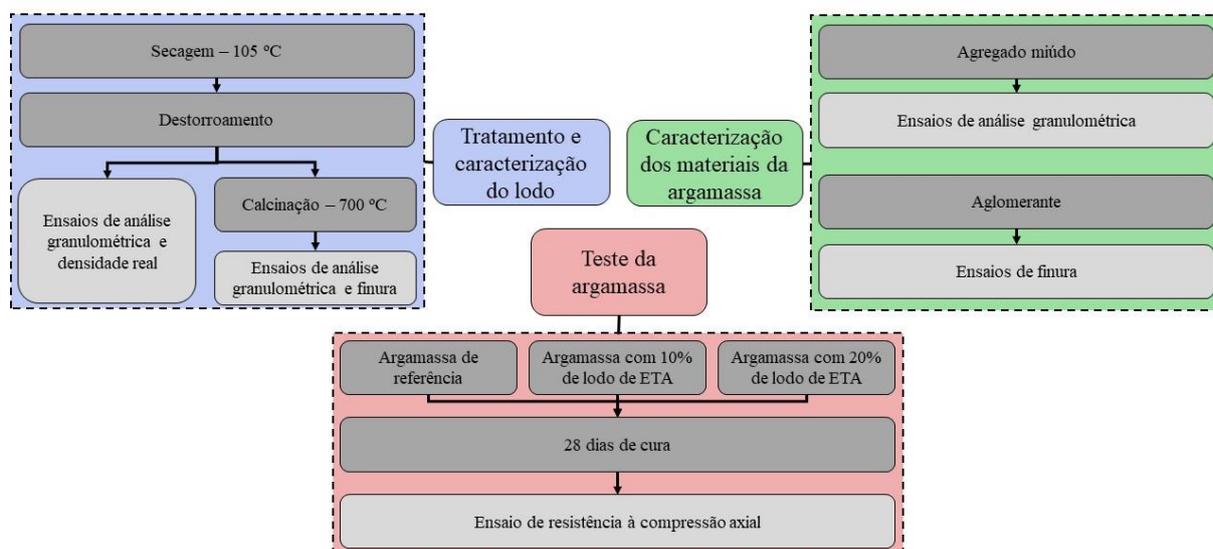


Figura 1: Fluxograma metodológico.

Na etapa de tratamento e caracterização do lodo de ETA foi executado a coleta do lodo na ETA Pirpirituba, localizada no município brasileiro de Pirpirituba, estado da Paraíba, que realiza um processo convencional de tratamento de água, com lodo gerado em leitos de secagem que recebem água de lavagem dos filtros e decantadores. Todo o lodo coletado passou por um tratamento através de secagem em estufa, a 105 °C por 24 horas, e destorroamento para homogeneização da granulometria, com parte dele calcinado em mufla a 700 °C, por uma hora. Por sua vez, a caracterização física ocorreu através de análise granulométrica complementada pela densidade real para o lodo *in natura* e ensaio de finura para o lodo calcinado.

Em relação a etapa de caracterização física dos materiais que compõem a argamassa foi realizado o ensaio de granulometria para o agregado miúdo e para o aglomerante ou ensaio de finura, assim como recomendado pelas normas DNER-ME 083/98 e NBR 11579/2012.

Quanto a etapa de teste de resistência da argamassa produzida com o lodo de ETA, inicialmente a argamassa foi produzida com uma parte de aglomerante para três de agregado miúdo e relação água/cimento de 0,48, seguindo as recomendações da NBR 7.215/2019. Para o ensaio foram realizados três traços, um sem a inserção de lodo de ETA e outros dois com 10% e 20% de incorporação de lodo calcinado, em substituição da massa de aglomerante, resultando nos valores da Tabela 1.

Tabela 1: Massa dos materiais utilizados na produção da argamassa.

TRAÇOS	RELAÇÃO MÁSSICA CIMENTO:AREIA:ÁGUA	MASSA (g)			
		Cimento	Lodo	Areia	Água
Referência	1:3:0,48	312	0	936	150
10% Lodo	1:3:0,48	280,8	31,2	936	150
20% Lodo	1:3:0,48	249,6	62,4	936	150

Após isso, a argamassa foi misturada e compactada manualmente e os corpos de prova confeccionados em triplicata com diâmetros de 50 mm e altura de 100 mm, passando por um processo de cura de 28 dias em água saturada com cal, para após isso serem submetidos ao ensaio de resistência à compressão axial, segundo NBR 7.215/2019.

RESULTADOS OBTIDOS OU ESPERADOS

TRATAMENTO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO LODO

O ensaio granulométrico do lodo *in natura* e calcinado são apresentados na Figura 2. Comparando esses resultados observa-se que não houve mudança significativa na curva de distribuição granulométrica. Foi possível também observar que as curvas não possuem aspecto uniforme, visto que as partículas se concentram nas peneiras de abertura de 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm e 0,15 mm. Além disso, a densidade do lodo *in natura* foi de 1,81 e o índice de finura do lodo calcinado foi de 41,1%.

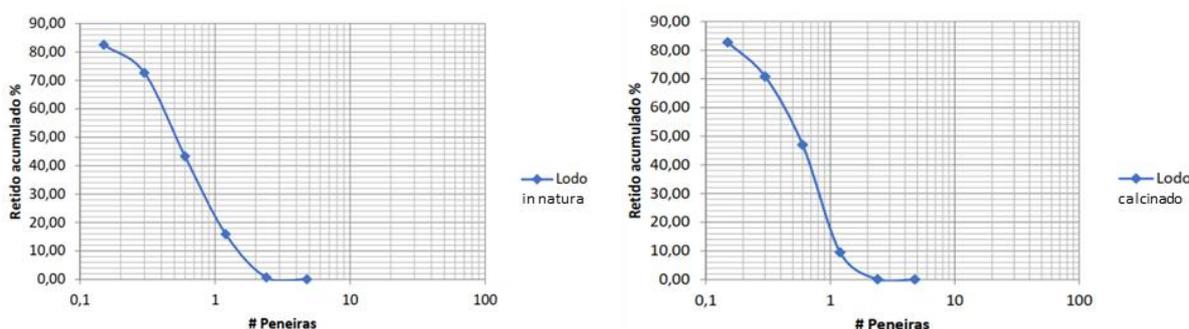


Figura 2: Curvas granulométricas dos lodos *in natura* e calcinado.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS MATERIAIS DA ARGAMASSA

O resultado da análise granulométrica do agregado miúdo está apresentado na Figura 3. Esta areia ainda apresentou dimensão máxima de 2,4 mm e módulo de finura de 2,5, de modo a ser classificada como areia média. Por sua vez, o índice de finura do cimento foi de 1,8%.

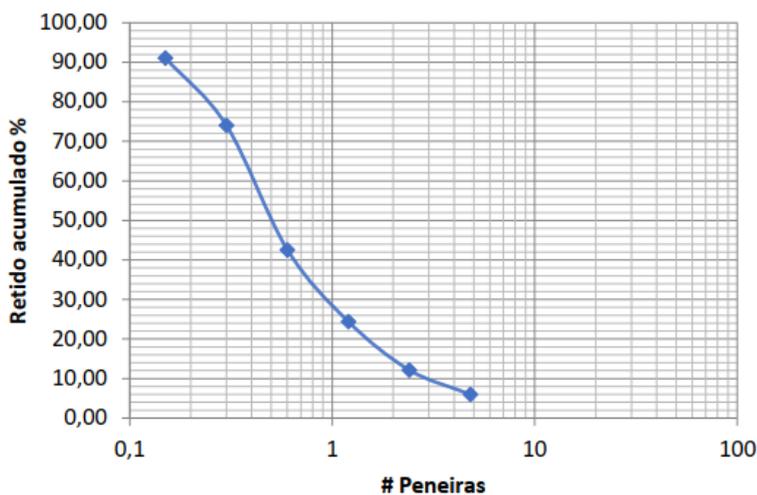


Figura 3: Curva granulométrica do agregado miúdo.

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL DA ARGAMASSA

Os resultados do ensaio de compressão axial aos 28 dias, as médias e os desvios padrão das argamassas de referência e com incorporação de 10% e 20% de lodo calcinado, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Resistência à compressão axial das argamassas aos 28 dias.

ARGAMASSA	REFERÊNCIA 0% DE LODO CALCINADO (MPa)	COM 10% DE LODO CALCINADO (MPa)	COM 20% DE LODO CALCINADO (MPa)
1	27,478	27,161	24,283
2	25,438	24,043	22,211
3	29,108	25,742	19,300
Média	27,341	25,649	21,931
Desvio Padrão	1,501	1,275	2,044

Conforme a Tabela 2, ao verificar a influência da presença do lodo calcinado, foi verificado que houve um decréscimo na resistência à compressão axial à medida que a quantidade de lodo calcinado presente na mistura aumenta. Sendo assim, a resistência média da argamassa com 20% do lodo teve uma redução maior do que a argamassa com 10%.

Com base nas informações de resistência a compressão axial foi possível verificar que há uma tendência de redução da resistência à medida que se aumenta os teores de substituição do lodo calcinado na argamassa, havendo uma redução de 6,19% para a incorporação de 10% de lodo e de 19,79% para a incorporação de 20% de lodo.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Em comparação a outros resíduos, como por exemplo o caulim, o resultado da incorporação do lodo de ETA na argamassa padrão foi pior, mas isso pode ser por causa do grau de finura do caulim como observado por Oliveira e Barbosa (2006). Nesse contexto e levando em conta que o lodo utilizado foi o passante na peneira ABNT 100 (0,15mm) e o índice de finura do lodo calcinado obtido foi de 41,1%, bastante elevado para um aglomerante e muito maior do que o índice de finura do cimento utilizado de 1,8%, então, o lodo poderia passar por um processo de moagem, a fim de obter maiores concentrações de partículas finas.

Os resultados do teste de resistência a compressão axial são semelhantes ao encontrado em Ruviano et al. (2020), os quais avaliaram a influência da incorporação de lodo calcinado em substituição ao aglomerante, com percentuais de 10% e 25% em pastas e argamassas, verificando que houve uma redução na resistência à compressão das argamassas de 13,2% e 15,5%, respectivamente. Essa tendência também foi verificada no estudo de Batalha (2012), ao utilizar o lodo calcinado como componente da mistura substituindo parcialmente o cimento em 5%, 10% e 15% em massa nas argamassas.

Portanto, acredita-se que a substituição parcial do cimento por lodo calcinado, resulta em perda de resistência à compressão. Contudo, essa perda não compromete o desempenho mecânico das argamassas, pois com 10% de adição de lodo a resistência à compressão ainda esteve de acordo com o mínimo de 25 MPa exigido para um traço 1:3 (Ribeiro, 2013). Logo, o lodo de ETA poderia ser incorporado na produção de argamassa, pois apesar da redução da resistência, ainda é um resíduo que pode diminuir os custos na substituição parcial do aglomerante.

Outra opção de uso do lodo na inserção de argamassa seria a substituição no percentual do agregado miúdo, como realizado na pesquisa de Ramirez (2015), que avaliou a influência da substituição de areia natural por diferentes teores de substituição de lodo úmido e lodo calcinado, constatando que a adição de até 20% de lodo calcinado propiciou aumento nas propriedades mecânicas do concreto. Semelhantemente, Santos (2018) utilizou o lodo seco e calcinado como substituto do agregado miúdo na produção de argamassas com teores de 0%, 3%, 5% e 10%, verificando aumento nas propriedades mecânicas na substituição por lodo calcinado, sendo o teor de 3% o que obteve os melhores resultados.

Diante do exposto, o emprego do lodo calcinado traz benefícios na questão ambiental referente ao descarte do resíduo do tratamento da água e numa alternativa para disposição final desse resíduo para as companhias de saneamento do país. Além disso, pode reduzir os impactos ambientais decorrentes da produção do cimento e o desenvolvimento da construção civil de maneira mais sustentável.



CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Com base nos experimentos realizados, foi observado que o lodo calcinado da ETA Pirpirituba pode ser aplicado na indústria da construção civil como matéria prima na produção de argamassa, desde que sejam observadas as normas técnicas à sua utilização.

O estudo demonstrou que o lodo da ETA de Pirpirituba se mostrou um material essencialmente fino tanto antes como após a calcinação, onde as partículas se concentram nas peneiras de abertura de 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm e 0,15 mm. Em relação aos materiais empregados na argamassa, a areia utilizada no estudo foi classificada como média e o cimento foi verificado com estando de acordo com as normas vigentes.

Na verificação da resistência a compressão axial para as argamassas de referência, com a incorporação de 10% do lodo e com 20% do lodo, foi obtido os valores de 27,341 MPa, 25,649 MPa e 21,931 MPa, respectivamente. Esse resultado indica uma perda de resistência à compressão, mas essa perda não compromete o desempenho mecânico das argamassas, pois até 10% de adição de lodo a resistência à compressão se manteve dentro do padrão mínimo.

Levando em consideração a quantidade de resíduo proveniente das ETA e do excedente despejado no meio ambiente, é importante dar continuidade a novos estudos sobre a utilidade do lodo na construção civil. Uma alternativa seria utilizar o lodo mais fino realizando um processo de moagem e/ou utilizando apenas o passante de peneira com abertura menor. Como também, substituir o agregado miúdo por lodo na confecção de argamassa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. *ABNT NBR 11579*. Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 μm (nº 200). Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
2. ABNT. *ABNT NBR 7215*. Cimento Portland — Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
3. AYELE, S.; WORKNEH, Z. G.; MESHESHA, B. T. Water challenges of Dire Dawa city of Ethiopia: An assessment of urban growth and groundwater supply. *Environmental Challenges*, Miami, v. 12, p. 1-14, 2023.
4. BATALHA, C. T. *Avaliação das propriedades da argamassa com substituição parcial de cimento por cinza do lodo da estação de tratamento de água da cidade de Manaus*. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2012.
5. BITENCOURT, G. A. *Caracterização ecotoxológica de lodo gerado em estação de tratamento de água*. 2016. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2016.
6. BUSELATTO, D. M.; WENZEL, M. C.; ROCHA, G. H.; WEBBER, J.; SILVA, S. R.; ANDRADE, J. J. O. Incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) como agregado miúdo em concretos: avaliação das propriedades físico-mecânicas. *Revista Matéria*, Rio de Janeiro, v. 24, n. 1, e-12270, 2019.
7. DETHO, A.; KADIR, A. A.; AHMAD, S. Utilization of wastewater treatment sludge in the production of fired clay bricks: An approach towards sustainable development. *Results in Engineering*, Lefkosia, v. 21, p. 1-13, 2024.
8. DNER. *DNER-ME 083/98*. Agregados – análise granulométrica. Rio de Janeiro: DNER, 1998.
9. IBGE. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2017*. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.
10. LI, Z.; WANG, G.; LIN, D.; MASHHADI, A. Hybrid approach for accurate water demand prediction using socio-economic and climatic factors with ELM optimization. *Heliyon*, Cambridge, v. 10, p. 1-14, 2024.
11. OLIVEIRA, M. P.; BARBOSA, N. P. Potencialidades de um caulim calcinado como material de substituição parcial do cimento portland em argamassas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.2, p.490–496, 2006.
12. RAMIREZ, K. G. *Viabilidade do aproveitamento de Resíduo de Estação de Tratamento de Água (ETA) na Confecção de Concretos*. 2015. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2015.



13. RANKOVIC, B.; GAJIC, V.; MASIC, S.; PAVICEVIC, V.; VUJCIC, I. Possibility of using ionizing radiation treated sludge from drinking water treatment plant as fertilizer in agriculture: Effects of aging. *Applied Radiation and Isotopes*, Gaithersburg, v. 192, p. 1-6, 2023.
14. RIBEIRO, C. C. *Materiais de construção civil*. 4. ed. Belo Horizonte, Editora: UFMG, 2013.
15. 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*, São Paulo, v. 59, n. 352, pp. 551-556, 2013.
16. RUVIARO, A. S.; SILVESTRO, L.; SCOLARO, T. P.; PELISSER, F.; GLEIZE, P. J. P. Incorporação de lodo calcinado de estação de tratamento de água como material cimentício suplementar. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 20, n. 4, p. 243-260, 2020.
17. RUVIARO, A. S.; SILVESTRO, L.; SCOLARO, T. P.; MATOS, P. R.; PELISSER, F. Use of calcined water treatment plant sludge for sustainable cementitious composites production. *Journal of Cleaner Production*, São Paulo, v. 327, p. 1-13, 2021.
18. RUVIARO, A. S.; SILVESTRO, L.; ANDRADE NETO, J. S.; GLEIZE, P. J. P.; PELISSER, F. Eco-efficient cement production: Investigating water treatment plant sludge and eggshell filler use in LC3 systems. *Construction and Building Materials*, Valencia, v. 394, p. 1-18, 2023.
19. SANTOS, F. P. *Caracterização e estudo da incorporação do lodo de ETA em argamassa*. 2018. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pampa. Alegrete, 2018.
20. SUTCU, M.; GENCEL, O.; ERDOGMUS, E.; KIZINIEVIC, O.; KIZINIEVIC, V.; KARIMIPOUR, A.; VELASCO, P. M. Low cost and eco-friendly building materials derived from wastes: Combined effects of bottom ash and water treatment sludge. *Construction and Building Materials*, Valencia, v. 324, p. 1-15, 2022.
21. URBAN, R. C.; NAKADA, L. Y. K.; ISAAC, R. L. A system dynamics approach for large-scale water treatment plant sludge management: A case study in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, São Paulo, v. 419, p. 1-20, 2023.