

I-1252 - CARACTERIZAÇÃO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA SECO TERMICAMENTE

Mirella Bianca Gama de Almeida⁽¹⁾

Técnica em Meio Ambiente pela Escola Estadual Paulista (ETEC) Jacareí e graduanda em Engenharia Ambiental – Instituto de Ciência e Tecnologia – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP).

Amanda Maria Dantas de Jesus⁽²⁾

Licenciatura e Mestrado em Química pela Universidade Federal de Sergipe (UFS). Doutora em Química Analítica pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e Pós doutoranda pela Universidade Estadual Paulista Departamento de Engenharia Ambiental (ICT/UNESP).

Fabiana Alves Fiore⁽³⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Doutora em Saneamento e Meio Ambiente pela Universidade de Campinas (FEC/UNICAMP). Professora do Departamento de Engenharia Ambiental – Instituto de Ciência e Tecnologia – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP).

Endereço⁽¹⁾: Rua Inconfidência, 44, apt. 122 – São Dimas – São José dos Campos – São Paulo - CEP: 12245-370 - Brasil - Tel: +55 (11) 9 5215-3775 - e-mail: mirella.bianca@unesp.br

RESUMO

Os lodos de ETA (LETAs), material resultante do processo de tratamento de águas, possuem composições diversas, diretamente associadas com as fontes da água bruta e com os elementos utilizados no processo de potabilização. Há diversos estudos relacionados ao uso benéfico desse material, principalmente em substituições de matéria prima natural para fabricação de produtos destinados à construção civil, incorporações em solos para obras geotécnicas e aplicações agrícolas; e cada um desses usos determinam condições específicas de uso do material. Com o objetivo de avaliar as características físico-químicas e geotécnicas de LETAs secos termicamente, foram realizadas análises de amostras obtidas em duas ETAs (ETA A e ETA B) que utilizam, respectivamente, os coagulantes de alumínio e ferro em seus processos de tratamentos. As análises de metais, realizada em ICP OES, matéria orgânica, pH, condutividade, massa específica, umidade, granulometria e limites de consistência foram realizadas em amostras de LETAs secas termicamente, em equipamento que opera em faixa de temperatura de 150 a 180°C, com o uso das Normas Brasileiras Regulamentadoras. As potenciais aplicações de LETAs tratados termicamente também foram apresentadas, a partir de revisão bibliográfica nas bases de dados da *Web of Science* e *Scopus*. Os resultados evidenciam que o LETA B possui menor massa específica e umidade, mas alto teor de sólidos. Os dois LETAs avaliados possuem potencial tóxico, em função da presença de Bário (Ba), Chumbo (Pb) e Cromo (Cr) em sua massa bruta. Os valores de pH indicam que o LETA A tem menor potencial para mobilidade de metais. As análises geotécnicas indicam curvas de granulometria símeis para as ETAs, assim como a inexistência de plasticidade das amostras. Na revisão da literatura, identificou-se lacunas relacionadas à descrição dos processos de secagem prévia dos LETAs. As pesquisas reportam diferentes temperaturas de secagem, que são livremente associadas às metodologias dos estudos ou não especificam o tratamento prévio do material. Concluiu-se pela importância da caracterização dos lodos gerados nas diferentes ETAs, de modo a ampliar a aplicabilidade do material e reduzir os impactos da disposição de LETAs além da necessidade de realização de ensaios de toxicidade para a correta classificação desses resíduos.

PALAVRAS-CHAVE: Caracterização, Lodo de ETA, Tratamento Térmico.

INTRODUÇÃO

O processo de tratamento de água gera resíduos sólidos em diferentes processos, sendo estes denominados lodos de ETA (LETAs). Esses lodos são oriundos, principalmente, de decantadores e filtros do tratamento convencional (Wagner, Wiechetech, Széliga, 2019), como subproduto das etapas de coagulação e floculação (Nair, Ahammed, 2015).

Os LETAs, mesmo sendo considerados como resíduos sólidos, são compostos por 95% de água (Marguti, Filho, Pivelli, 2018) e são preliminarmente classificados como Classe II-A não perigosos e não inertes (IBAMA, 2012; ABNT, 2004). Em sua constituição estão presentes materiais orgânicos e inorgânicos, resultantes tanto das fontes de obtenção da água bruta, quanto de elementos utilizados no processo de tratamento (Wolowiec e Badja, 2019; Ahmad *et al.*, 2016), destacando-se os coagulantes habitualmente aplicados no processo de tratamento de águas (óxidos de ferro ou de alumínio) e os polímeros utilizados na etapa de desaguamento (Fiore *et al.*, 2020).

Há estudos para aplicação do material em construção civil, como para a fabricação de argila expandida (Oliveira e Saron, 2020), substituição de material natural para a produção de concreto (Kaidh *et al.*, 2021; Tafarel *et al.*, 2016; Lima e Zulanas 2016; Buselatto *et al.*, 2019; Meert *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2020) processos de recuperação dos coagulantes (Barakwan *et al.*, 2019), para remoção de material orgânico em águas superficiais, na adsorção de disruptores endócrinos (Martins, 2022) e metais pesados (Moreselli *et al.*, 2022), no pós-tratamento de efluentes para remoção de fósforo e nitrogênio e como substrato de *wetlands* (Faria e Bueno, 2020), uso como coagulante para pós tratamento de efluentes (Nair e Ahammed, 2015; Bosvoc *et al.*, 2021), utilização para melhoramento de solos (Güner, 2022; Bağrıaçık e Güner, 2020; Oliveira *et al.*, 2015), incremento para barreiras impermeabilizantes (Gonçalves *et al.*, 2017; Morselli *et al.*, 2022) e perspectivas de aplicação agrícola (Botero *et al.*, 2009; Morselli *et al.*, 2022).

Mesmo que seja foco de diversos estudos, não há especificação dos tratamentos prévios empregados em LETAs. Concomitantemente, não há normas específicas para caracterização dos LETAs no Brasil, acarretando em análises não comparáveis desses materiais. Em alguns estudos os LETAs são caracterizados de acordo com ensaios para solos (Tsugawa *et al.*, 2018) e, em outros se faz uso das normas e procedimentos aplicáveis aos resíduos sólidos (Fiore *et al.*, 2022). Quanto à caracterização físico-química, a legislação foca no processo de potabilização da água, sem normas específicas para os LETAs produzidos (Fiore *et al.*, 2020).

OBJETIVO GERAL

Avaliar as características físico-químicas e geotécnicas de lodo de estação de tratamento de água (LETA) tratado termicamente.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar LETAs oriundos de estações de potabilização de águas que utilizam coagulantes de alumínio e ferro;
- Identificar os tratamentos térmicos aplicados para LETAs, para fins de uso benéfico.

METODOLOGIA UTILIZADA

O estudo de caso foi realizado utilizando-se dados quanti-qualitativos, com lodos de estação de tratamento de água (LETAs) obtidos em duas unidades no Estado de São Paulo, sendo estas denominadas ETA A e ETA B. A primeira estação utilizou coagulantes de alumínio e a segunda estação utilizou cloreto férrico. Ambas operam em ciclo completo, com as etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, fluoretação e correção de pH (Figura 1), para potabilização de águas superficiais. Na ETA A a captação de água bruta ocorre em reservatório e na ETA B a fio d'água.

Essas ETAs possuem sistemas de desaguamento de LETAs e destinam seus resíduos em conformidade com a determinação do órgão ambiental do estado de São Paulo. Especificamente para viabilizar a realização da

pesquisa, os LETAs da ETA B foram transportados, pós desaguamento, para a ETA A, para fins de secagem no equipamento .

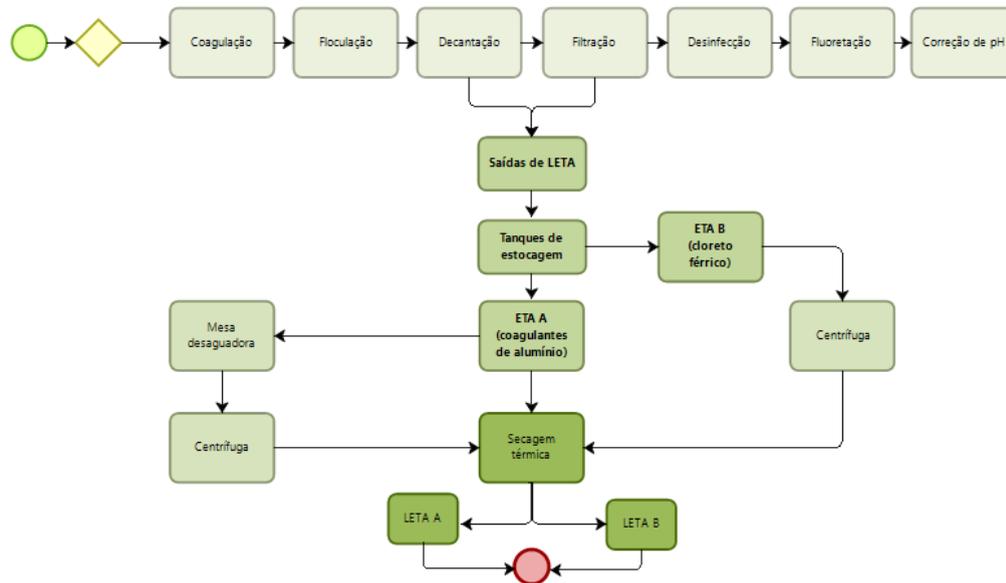


Figura 1: Etapas operacionais das ETAs.

As amostras de LETAs obtidas foram tratadas termicamente no equipamento descrito por Silva *et al.* (2021), em um secador que opera na faixa de temperatura de 150 a 180 °C, com um tempo de permanência do material de 2 horas. Foram realizadas análises de composição físico-química e geotécnicas, para determinação dos parâmetros, conforme mostrado na Figura 2.

Composição	Parâmetro	Norma	Composição	Parâmetro	Norma
Geotécnica	Limite de plasticidade	NBR 7180	Físico-Química	Porcentagem de sólidos	SMWW (2017), método 2540 G
	Limite de Liquidez	NBR 6459		Matéria Orgânica	
	Massa específica	NBR 6508		Ferro	
	Análise granulométrica	NBR 7181		Alumínio	Determinação: EPA 6010 D-1 (2018)
				Cádmio	Preparo: EPA 3051 A (2007)
				Bário	
			Chumbo		
			Cromo		
			pH	NBR 9252	
	Umidade	NBR 6457	Condutividade	NBR 13292	

Figura 2: Parâmetros para análise de LETA.

As análises dos parâmetros: matéria orgânica, porcentagem de sólidos e metais pesados foram realizadas em laboratório acreditado, na massa bruta dos LETAs. Para a determinação dos metais foi utilizado o ICP-OES. As análises de pH e condutividade foram realizadas em amostras solubilizadas, conforme determina a NBR 10.006 (2004) e as análises geotécnicas foram realizadas com as condições naturais das amostras obtidas. Essas análises foram realizadas em laboratório institucional do ICT/UNESP, sob responsabilidade do pesquisador.

Os dados obtidos foram equiparados aos limites estabelecidos pela legislação brasileira NBR 10.004 (ABNT, 2004), para discussão dos potenciais impactos à saúde humana e ao meio ambiente. Para identificar as

potenciais aplicações para LETAs tratados termicamente foi realizada revisão da literatura nas bases *Scopus* e *Web of Science*, com ênfase para a incorporação do material em concretos e solos.

RESULTADOS

Os resultados das análises físico-químicas e geotécnicas são demonstrados nos Figuras 3 e 4, referentes à ETA A e à ETA B, respectivamente. Destaca-se que dentre os metais avaliados, os elementos: cádmio, chumbo, bário e cromo constam no anexo C da NBR 10.004 (ABNT, 2004) e, por isso, sua presença em massa bruta pode ser entendida como elementos que potencialmente podem conferir o risco de toxicidade a esses resíduos. Cabe salientar que a referida normatização não estabelece limite para concentração desses elementos em massa bruta de resíduos, apenas para seus extratos lixiviados e solubilizados que, em geral, dependem das interações desses elementos com os demais presentes na composição do material. Cabe destacar também que apenas em extratos lixiviados dos resíduos os elementos ferro e alumínio possuem concentração de referência para determinação de seu potencial de toxicidade.

Parâmetros Físico Químicos			
Parâmetro	Unidade	Resultado	
Porcentagem de sólidos	% p/p	79,00	
Ferro	mg/kg	38900,00	
Alumínio	mg/kg	107000,00	
Cádmio	mg/kg	<0,10	
Bário	mg/kg	86,50	
Chumbo	mg/kg	4,00	
Cromo	mg/kg	21,70	
Matéria Orgânica	%	22,10	
pH	-	6,43	
Condutividade	uS/cma	692,60	
Parâmetros Geotécnicos			
Massa específica	g/cm ³	3,11	
Umidade	%	18,80	

Figura 3: Análises físico-químicas LETA A.

Parâmetros Físico Químicos			
Parâmetro	Unidade	Resultado	
Porcentagem de sólidos	% p/p	77,50	
Ferro	mg/kg	298000,00	
Alumínio	mg/kg	18500,00	
Cádmio	mg/kg	<0,10	
Bário	mg/kg	80,50	
Chumbo	mg/kg	16,10	
Cromo	mg/kg	66,70	
Matéria Orgânica	%	10,30	
pH	-	7,37	
Condutividade	uS/cma	654,90	
Parâmetros Geotécnicos			
Massa específica	g/cm ³	1,97	
Umidade	%	18,41	

Figura 4: Análises físico-químicas LETA B.

Por meio dos resultados observa-se que o tratamento térmico não é capaz de destruir por completo a matéria orgânica presente no resíduo e que ainda há umidade residual no material. Os elevados valores de condutividade verificados nos LETAs avaliados são equiparáveis a valores de condutividade em efluentes e a

massa específica aqui apresentada é variável de grande relevância para o dimensionamento das etapas de manejo desse tipo de resíduo.

A caracterização de variáveis geotécnicas mostrou que a distribuição granulométrica de ambos os LETAs são símeis. No caso do LETA A (Figura 5), os materiais mais retidos apresentaram diâmetros entre 0,075 mm e 0,425 mm. Para o LETA B (Figura 6), as porções mais retidas possuíam dimensões entre 0,075 mm e 150 mm.

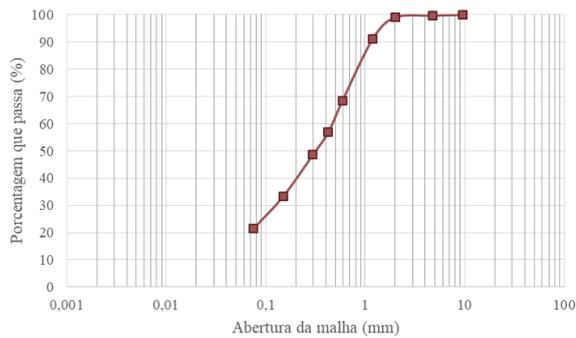


Figura 5: Curva granulométrica LETA A

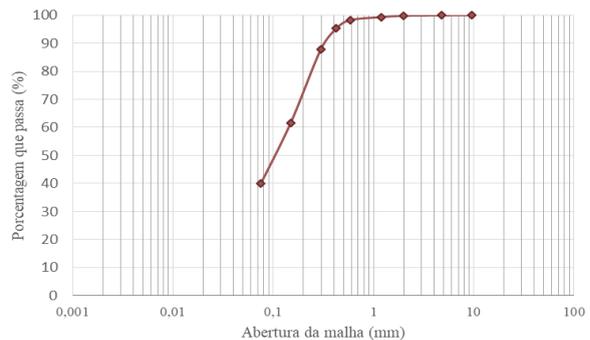


Figura 6: Curva granulométrica LETA B

Nas análises geotécnicas, as análises de limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP) indicaram que ambas as amostras não são plásticas, como observado nas Figuras 7 e 8.



Figura 7: Análises LL e LP para LETA A.



Figura 8 Análises LL e LP para LETA B.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Em conformidade com os resultados obtidos é possível observar alto teor de sólidos, nos lodos de alumínio e ferro, com concentrações de sólidos entre 77 e 79%, que estão associados ao processo de secagem térmica. Esses resultados convergem com aqueles reportados por Fiore *et al.* (2022). Verificou-se que o lodo proveniente da ETA A possui maior concentração de alumínio e o lodo gerado na ETA B apresenta maior concentração de ferro, o que é convergente com os insumos químicos utilizados na etapa de coagulação dessas ETAs. Observa-se que em ambas as amostras, o teor de matéria orgânica foi superior a 10%. Para a ETA A o valor se encontra na faixa de 15% e 25%, como identificado para LETAs não tratados termicamente mas que foram gerados em estações que utilizam coagulantes de alumínio (Richter, 2001).

Nas amostras avaliadas, os valores de cádmio se mostraram inferiores ao limite de detecção do equipamento. As concentrações de chumbo e cromo se mostraram mais elevadas para o lodo da ETA B, sendo, respectivamente, cerca de 4 e 3 vezes maiores que o lodo da ETA A. Isso pode estar associado ao tipo de captação que é realizada nessas ETAs, estando o manancial da ETA B mais susceptível às poluições decorrentes dos usos e ocupações ocorrentes na bacia hidrográfica. Uma vez que há presença dos elementos bário (Ba), Chumbo (Pb) e Cromo (Cr), em ambos os lodos avaliados, os mesmos apresentam potencial de toxicidade (ABNT, 2004). Segundo a normativa, a concentração desses elementos e a nocividade desses deve ser considerada para os ensaios de toxicidade que devem ser realizados para a correta classificação desses resíduos (Rodgher *et al.*, 2023).

Percebe-se que o valor de pH verificado para o LETA B possui valor semelhante ao reportado por Hsieh e Raghu (2008) que identificou valores entre 6,25 a 7,15. Para o LETA A, o valor é condizente com o estudo de Montalvan e Boscov (2021). A avaliação desse parâmetro é essencial para identificar a possível mobilidade de metais, visto que esta se intensifica em soluções ácidas e é reduzida em soluções básicas (Alloway, 1990). Destaca-se que nos estudos utilizados para equiparação dos valores de pH, o pré-tratamento dos lodos não foi especificado. Os resultados de condutividade foram próximos, de 692,60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 654,90 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente.

Os resultados referentes à massa específica e a umidade indicam que o procedimento de secagem, ao reduzir o volume e a umidade dos LETAs, propicia a redução de custos e potencializa o seu transporte para aplicações benéficas (Silva *et al.*, 2021). Destaca-se que a massa específica do LETA B é cerca de 1,60 vezes menor em massa por volume do que a do LETA A, otimizando ainda mais os fatores mencionados. De acordo com as curvas granulométricas, ambos os lodos possuem predominância de argila e silte em sua composição, diferenciando-se pelo LETA A possuir uma porcentagem maior de areia em sua composição.

Quanto às possíveis aplicações de LETAs tratados termicamente, observou-se que não existe um padrão para tal tratamento. Identificaram-se metodologias de secagem, para os LETAs de alumínio, à 100°C (Ahmed *et al.*, 2022; Morselli *et al.*, 2022), 105°C (Kaish *et al.*, 2021), 110°C (Sales e Souza, 2016; Buselatto *et al.*, 2019; Santos, Melo e Mazato, 2018), 300°C (Kaish *et al.*, 2021), 600°C (Buselatto *et al.*, 2019; Godoy *et al.*, 2019), 750°C (Kaish *et al.*, 2018; Santos, Melo e Mazato, 2018) e 800°C (Godoy *et al.*, 2019).

Para os LETAs de ferro, foram identificadas as seguintes temperaturas de tratamento: 100°C (Morselli *et al.*, 2022), 105°C (Bağrıaçık e Güner, 2020) e 800°C (Alzoubi *et al.*, 2021). Além das citadas anteriormente, foram identificadas secagens de LETA ao ar (Gonçalves *et al.*, 2017; Bottero *et al.*, 2009) e não especificação do processo de pré-tratamento do material.

Tendo em vista essas lacunas no processo de secagem, com emprego de diferentes temperaturas, a depender das diferentes aplicações finais desse material, se fazem necessários estudos mais aprofundados e específicos para cada tipo de lodo (alumínio e ferro). Por exemplo, algumas aplicações a secagem em temperaturas mais baixas já se mostraram suficientes para atingir o teor de umidade necessário ao fim desejado. Entretanto, se a aplicação final desse material requer a ausência de Matéria Orgânica (MO), a temperatura aplicada para destruição completa da MO será mais elevada, em torno de 320°C, como observado por Silva e Fungaro (2011).

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Fatores como a qualidade das águas brutas captadas, os insumos utilizados nas etapas de potabilização das águas e no desaguamento dos lodos, entre outros fatores, fazem com que as Estações de Tratamento de Água gerem diferentes tipos de LETAs. Sendo assim, a caracterização dos lodos gerados nas diferentes ETAs do país, se faz necessária para que seja possível avaliar destinações ambientalmente adequadas para esses materiais

Os resultados dessa pesquisa evidenciam que, em relação à composição química, além de ferro e alumínio presente nos coagulantes, os LETAs podem conter elementos potencialmente tóxicos como bário, chumbo e cromo. Por apresentar pH mais ácido, a LETA A favorece a mobilidade desses elementos. Foi possível constatar que os resultados da composição de LETAs reportados pelos estudos não são equiparáveis, uma vez que não há padronização dos métodos de secagem térmica de LETAs, isso também dificultou a equiparação dos resultados desse estudo com outros já realizados.

Recomenda-se que, em trabalhos futuros, ocorra a especificação dos pré-tratamento aplicáveis aos LETAs e também a realização de pesquisas que correlacionem os diferentes métodos de secagem com a composição dos LETAs, visando ao gerenciamento mais eficiente e econômico destes. Também sugere-se a realização de ensaios de toxicidade para esses resíduos, para fins de correta classificação desse material quanto aos riscos à saúde humana e ao meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

Esse projeto possui o financiamento da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (Proc.: 2020/12230-4). O autor principal usufruiu de bolsa de pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (Edital 04/2022 - PIBIC). Agradecemos também à PROGRAD/UNESP (Edital 05/2023) e ao Programa de Pós-Doutorado da UNESP (PROPe 13/2022) pelos auxílios para participação do evento e ao ICT/UNESP pela concessão do transporte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ahmed, F. R.; Muhammad, M.A.; Ibrahim, R.K. *Effect of alum sludge on concrete strength and two way shear capacity of flat slabs. Structures*, Vol. 40, 2022, Pages 991-1001.
2. Alloway, B. J. *Heavy metals in soils*. 1. ed. New York: John Wiley & Sons, 1990. 321 p.
3. Alzoubi, A. E. *et al. The potential of using water purification wastes as fine aggregates in concrete mixes: an initial study. Australian Journal of Civil Engineering*, Vol. 19, n°02, 2021, p. 148-154.
4. Bagriaciik, B.; Güner, E. D. *An Experimental Investigation of Reinforcement Thickness of Improved Clay Soil with Drinking Water Treatment Sludge as an Additive. KSCE Journal of Civil Engineering*, v. 24, n. 12, p. 3619–3627, 2020.
5. Barakwan, R. A.; Trihadiningrum, Y.; Bagastyo, A. Y. *Characterization of alum sludge from surabaya water treatment plant, Indonesia. Journal of Ecological Engineering*, v. 20, n. 5, 2019.
6. Boscov, M. E. G.; Tsugawa, J. K.; Montalvan, E. L. T. *Beneficial use of water treatment sludge in geotechnical applications as a sustainable alternative to preserve natural soils. Sustainability (Switzerland)*, v. 13, n. 17, 2021.
7. Botero, W. G. *et al.* Caracterização de lodo gerado em estações de tratamento de água: perspectivas de aplicação agrícola. *Química Nova*, v. 32, n. Quím. Nova, 2009 32(8), p. 2018–2022, 2009.
8. Bueno, Rodrigo de Freitas *et al. UASB technology and constructed wetland alternative to sewage treatment of small communities. Environmental Engineering and Management Journal*, vol. 19, n. 7, 2020.
9. Buselatto, D. M. *et al. Use of water treatment sludge (WTS) as fine aggregate in concretes: Evaluation of physical-mechanical properties. Revista Matéria*, v. 24, n. 1, 2019.
10. Danúbia Santiago Martins, Bianca Ramos Estevam, Isadora Dias Perez, Juliana Heloisa Pinê Américo-Pinheiro, William Deodato Isique, Rosane Freire Boina. *Sludge from a water treatment*

- plant as an adsorbent of endocrine disruptors. Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 10, n. 4, 2022.
11. Fernandez, L.P., Mikowski, P.C.B., *et al.* Avaliação da incorporação do lodo de Estação de Tratamento de Água em peças de concreto intertravado, *Revista Matéria* v. 23, n.3, 2018.
 12. Fiore, F. A.; Rodgher, S.; Ito, C. Y. K.; Bardini, V. S. S.; Klinsky, L. M. G. *Quality of surface water and generation of sludge at water treatment plants*. *Rev. Ambient. Água*, vol. 15, n. 5, 2020.
 13. Fiore, Fabiana Alves; Cherbakian, E. ; Chao, I. Características físico-químicas de lodos centrifugados e pós secagem térmica, produzidos em estações de tratamento de águas localizadas no estado de São Paulo (Brasil). In: XX Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2022, Aveiro. Anais do XX Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2022.
 14. Godoy, L.G.G.; Rohden, A.B., *et al.* Valorization of water treatment sludge waste by application as supplementary cementitious material. *Construction and building materials*, v. 223, n. pp. 939-950, 2019.
 15. Gonçalves, F. *et al.* Increment of sludge from water treatment plant in waterproofing barriers of sanitary landfill. *Revista DAE*, n. 205, 2017.
 16. Güner, E. D. *Experimental investigation of the feasibility of using drinking water treatment plant sludge in the improvement of sandy soils. Journal of Material Cycles and Waste Management*, v. 24, n. 5, p. 1923–1933, 2022.
 17. Hsieh, H. N.; Raghu, D. *Characterization of Water Treatment Residuals and Their Beneficial Uses. In: Geocongress: Geotechnics of Waste Management and Remediation, 177., 2008, New Orleans. Proceedings. New Orleans: American Society of Civil Engineers, 2008.*
 18. Kaish, A. B. M. A, Bressum, K. M., Abood, M. M. *Influence of pre-treated alum sludge on properties of high-strength self-compacting concrete. J. Clean. Prod.* 202 (2018) p. 1085–1096.
 19. Kaish, A. B. M. A. *et al.* Properties of concrete incorporating alum sludge in different conditions as partial replacement of fine aggregate. *Construction and Building Materials*, 284 (2021).
 20. Lima, D. A; Zulanis, C. *Use of contaminated sludge in concrete. Procedia Eng.*, 145 (2016), p. 1201-1208.
 21. Liu, Y. *et al.* Utilization of drinking water treatment sludge in concrete paving blocks: Microstructural analysis, durability and leaching properties. *Journal of Environmental Management*, v. 262, 2020.
 22. Meert, R.; Hastenpflug, D.; Andrade, J. J. O. *Contribution to the use of wet sludge water treatment plant fine aggregate in portland cement concretes: Evaluation of consistency, density, porosity, absorption, strength and tensile strength. Revista Matéria*, v. 26, n. 3, 2021.
 23. Moltalvan, Edy. L.; Boscov, Maria E. G. Caracterização do lodo das ETAs Cubatão e Taiapuê e seu comportamento em misturas com solo. In: 1º Encontro Nacional de Lodo de Estação de Tratamento de Água, Anais, 2021.
 24. Morselli, L. B. G. A. *et al.* *Water treatment plant sludge: possibility for soil application. Scientia Plena*, 2022.
 25. 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.
 26. Oliveira, A.P.S. *et al.* Evaluate of attribute of a latosol fertilized with water treatment sludge. *Revista Internacional de Ciências*, v.5, n.2, 2015.
 27. Oliveira, Caroline Cristina Amaral; Saron, Alexandre. Incorporação do lodo de estação de tratamento de água na fabricação de argila expandida para fins de construção civil. In: Avaliação, Diagnóstico e Solução de Problemas Ambientais e Sanitários 2. Organizador Helenton Carlos da Silva. Ponta Grossa, PR: Atena, 2020. p. 59-76.
 28. Portella, F. K. Joukoxi, A. Trindade, E.M. Uso de lodo de estação de tratamento de água centrifugado em matriz de concreto de cimento *Portland* para reduzir o impacto ambiental, *Quim. Nova*, Vol. 29, No. 1, 79-84, 2006.

29. Ritcher, C. A. Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2001. 112 p.
30. Rodgher, Suzelei; Fiore, Fabiana Alves; Bardini, Vivian Silveira dos Santos; Formiga, Jorge Kennedy Silva; Koga-Ito, Cristiane Yumi; Klinsky, Luis Miguel Gutiérrez. *Acute Toxicity of Leachates from Water Treatment Plants Sludge and Combinations with Soils from a Tropical Region. Water Air Soil Pollut* 234, 78 (2023).
31. Sales, A. Souza, F. R. *Concretes and mortars recycled with water treatment sludge*. Volume 23, Issue 6, p. 2362–2370, Junho 2009.
32. Santos, G. Z. B., Melo, J. A., Manzato, L. Perspectivas de aplicações tecnológicas de lodo gerado no processo de tratamento de água dos rios Negro e Solimões. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 23, n. 3, 2018.
33. Shah, S. A. R. *et al. Compaction performance analysis of alum sludge waste modified soil. Construction and Building Materials*, v. 230, 2020.
34. Silva, Alessandra dos Santos *et al.* Avaliação do potencial tóxico dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande - PB. *Matéria* (Rio de Janeiro). 2015, v. 20, n. 4.
35. Silva, Juscimara Rodrigues; Menezes, Ana Carolina Brants; Fiore, Fabiana Fiore. Análise de eficiência da secagem térmica de lodos de estação de tratamento de águas: estudo de caso realizado na região metropolitana de São Paulo. In: 31º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2021, Curitiba. *Anais do 31o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2021.
36. Silva, M. V., e Fungaro D. A., Caracterização de Lodo de Estação de Tratamento de Água e Cinzas de Carvão Visando sua Utilização na Manufatura de Tijolo. *Cleaner production initiatives and challenges for a sustainable world*, São Paulo, Brasil, 2011.
37. Tafarel, N. F.; Macioski, G., Carvalho, K. Q.; Nagalli, A. F.; Daiane C.; Passig, G, F. H. Avaliação das propriedades do concreto devido à incorporação de lodo de estação de tratamento de água. *Matéria* (Rio de Janeiro), volume 21. n 4, p 974-986, dez, 2016.
38. Tsugawa, Juliana Keiko *et al.* Caracterização das propriedades mecânicas do lodo de estação de tratamento de água visando seu recurso em obras de engenharia. In: 30o Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente, 2018, São Paulo. AESABESP, 2018.
39. Zamora, R. M. R., *et al.* *Valorization of Drinking Water Treatment Sludges as Raw Materials to Produce Concrete and Mortar. American Journal of Environmental Sciences*. Vol 4. p 223-228, 2008.