

I-963 - AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO LODO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NO INTERIOR DO ESTADO DE SÃO PAULO.

Lucas Rodrigues Bellotti⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental e Sanitarista pelo Centro Universitário de Lins - Unilins. Mestrando em Engenharia Civil (Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais) na Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP – Câmpus de Ilha Solteira).

Endereço⁽¹⁾: Avenida Brasil, 56 - Centro - Ilha Solteira - SP – CEP: 15385-000 - Brasil - Telefone: (18) 3743-1000 - e-mail: l.bellotti@unesp.br

Rosane Freire Boina⁽²⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP – Câmpus de Presidente Prudente). Mestre e Doutora em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (UEM).

Endereço⁽²⁾: Rua Roberto Simonsen, 305 -Vila Santa Helena - Presidente Prudente - SP – CEP: 19060900 - Brasil - Telefone: (18) 32295759 - e-mail: rosane.freire@unesp.br

RESUMO

Com a grande geração de resíduos oriundos do sistema de tratamento de água para fins de potabilização tem-se a preocupação em relação a disposição e reaproveitamento desse material, o lodo de ETA, uma vez que disposto de forma incorreta causa diretamente impactos ao meio ambiente. No Brasil dispor o resíduo de lodo de forma inadequada é considerado crime ambiental, tornando a prática de reaproveitamento do resíduo cada vez mais presente. O objetivo desse trabalho foi caracterizar física e quimicamente o lodo de uma estação de tratamento de água que separa o resíduo por flotação a fim de avaliar a influência da sazonalidade nas amostras coletadas. Foram determinados valores de pH, condutividade elétrica, e sólidos sedimentáveis no lodo *in natura*. Após desaguamento, foi determinado o teor de sólidos (%) e teor de umidade (%), resíduo fixo e resíduo volátil pelo método gravimétrico. Já com o lodo destorroado foram encontradas as composições elementares, frações granulométricas, estrutura cristalina, e comportamento térmico. Os resultados mostram que as características físicas e química do lodo da estação de tratamento de águas estudada não apresentou variação importante em relação ao efeito sazonal das amostras.

PALAVRAS-CHAVE: ETA, Leta, Caracterização, Economia Circular.

INTRODUÇÃO

Um dos serviços essenciais para população é a potabilização de águas naturais para fins de consumo, esta ocorre em uma estação de tratamento de água (ETA). No processo é gerado grande quantidade de resíduos provenientes da sujidade da água capitada para tratamento. Esse resíduo é conhecido como lodo de estação de tratamento de água (LETA). O LETA é classificado, de acordo com a NBR 10.004/04, como resíduo sólido classe II - não perigoso, devendo ser destinado e disposto segundo normas exigidas (BRASIL, 2010). Nesse caso, o seu gerenciamento deve prezar pela não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e, por fim, a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos formados.

De acordo com pesquisas, a produção anual de lodo em uma ETA convencional pode atingir cerca de 100.000 toneladas (BABATUNDE & ZHAO, 2007; AHMAD et al., 2016), enquanto em escala mundial, a produção diária de LETA pode exceder 10.000 toneladas. No Estados Unidos, as estações de tratamento de água geram mais de dois milhões de toneladas de resíduo sólido anualmente (LIU et al., 2020). A quantidade de LETA anual produzido na Austrália pode chegar a 43.500 toneladas e o custo médio chega a US\$ 200 por tonelada (LIU et al., 2021). A estimativa da produção anual da Itália é cerca de 750.000 toneladas, enquanto o Reino Unido produz cerca de 131.000 toneladas em 2014 (GOMES et al., 2019). Segundo Smiderle (2016), o custo estimado para o gerenciamento de lodo em uma única ETA no Brasil é de R\$ 3,9 milhões anual. Uma ação ainda praticada é o encaminhamento do LETA para o corpo hídrico, porém no Brasil, desde 1998, essa prática

é considerada Crime Ambiental (BRASIL, 1998). A prática legal mais comum de disposição final do lodo, após adensamento e desaguamento, é em aterros sanitários.

Com a problemática da geração, destino e disposição de lodo foram necessárias iniciativas para desenvolvimento de alternativas para o LETA, resultando no surgimento de novos estudos, como: propostas para o deságue (MONTEIRO et al., 2018); perspectiva de redução da carga metálica (MARASCHIN et al., 2020); aplicação na agricultura (DUBE et al., 2018); incorporação de matrizes cerâmicas (CREMADES et al., 2018) e cimentícia (HAGEMANN et al., 2019); e, o desenvolvimento de adsorvedores para retenção de poluentes (JING et al., 2020).

Todas as possibilidades de destino enfrentam o impasse da replicabilidade dos resultados, já que o lodo de ETA possui características dependentes da bacia hidrográfica/manancial de captação, dos produtos empregados no tratamento e do processo de separação (por flotação ou por sedimentação gravitacional). Assim, há uma lacuna em relação a informações sobre lodo de ETA, que sejam organizadas, espaço e temporalmente, e que visam melhores caminhos para o gerenciamento desse resíduo. A fim de contribuir com a temática, esse trabalho tem a proposta de iniciar um banco de dados sobre o lodo ETA caracterizando o resíduo ao longo de ciclos sazonais.

Com o exposto, o objetivo desse trabalho foi caracterizar física e quimicamente o lodo de uma estação de tratamento de água do noroeste paulista a fim de avaliar a influência da sazonalidade nas amostras coletadas no período de seis meses (junho a novembro de 2021).

MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de lodo foram obtidas de uma ETA, localizada no interior paulista, que emprega o policloreto de alumínio como agente coagulante e o sistema de flotação para remoção dos sólidos formados. A coleta foi realizada de forma mensal, no momento de limpeza do flotor, por seis meses (junho a novembro de 2021). O material foi acondicionado em bombonas de polietileno para transporte. No lodo *in natura* foram determinadas as medidas de potencial Hidrogeniônico (pH) em medidor Hanna (HI 9126), condutividade elétrica (mS/cm), por medidor Lutron (CD-4301), e determinado sólidos sedimentáveis (mL) em cone de Imhoff com capacidade de 1000mL.

Para as demais análises de caracterização, o material utilizado passou por desaguamento em leito de drenagem gravitacional simples, composto por manta geotêxtil (105 g/m²) e mantido à sombra. Do material resultante foram determinados os teores de sólidos, o teor de umidade utilizando estufa Lucadema (100°C) por 24 horas, resíduo fixo e resíduo volátil pelo método gravimétrico, utilizando os procedimentos descritos na NBR 10664/1989 – Método J, Método L e Método M, outros equipamentos como balança Adventurer Ohaus e mufla – EDG 3000 3p-s, foram utilizados no processo. Os métodos citados anteriormente, são representados pelas equações 1 a 3.

O resíduo total (método J) é dado pela expressão:

$$\% \text{ resíduo total} = \frac{m_a 100}{m_0} \quad \text{equação (1)}$$

Em que:

m_a = massa do resíduo total, em g

m_0 = massa da amostra, em g

O resíduo fixo (método L) é dado pela expressão:

$$\% \text{ resíduo fixo} = \frac{m_b 100}{m_a} \quad \text{equação (2)}$$

Em que:

m_b = massa do resíduo fixo, em g

m_a = massa do resíduo total, em g

O resíduo volátil (método M) é dado pela expressão:

$$\% \text{ resíduo volátil} = \frac{(m_a - m_b) \cdot 100}{m_a} \quad \text{equação (3)}$$

Em que:

m_b = massa do resíduo fixo, em g

m_a = massa do resíduo total, em g

Para a caracterização da química e das frações granulométricas, o lodo desaguado teve a umidade residual retirada em estufa Lucadema (100°C) por 24 horas, passando por destorroamento e moagem em moinho de disco e câmara em cerâmica com movimento orbital Marconi– modelo MA360 posteriormente peneiramento (<2 mm). A estrutura cristalina foi determinada em Difratorômetro de Raio X Shimadzu (XRD 6100) e o comportamento térmico em Equipamento de Análise Térmica TA instruments-waters modelo SDT Q600, com rampa de aquecimento de 10°C/min até 1000°C. A composição elementar do lodo foi determinada por Fluorescência de Raio X com Espectrômetro Shimadzu modelo XRF-700. As frações granulométricas (areia, silte e argila) foram obtidas pelo Método da Pipeta - Dispersão Total (EMBRAPA, 1997).

RESULTADOS

Em relação ao pH, o lodo apresentou variação entre pH5,5 e pH6,0, dentro da faixa da neutralidade. Os valores de condutividade elétrica registrados variaram entre 1,03 e 1,89 mS/cm, o que está relacionado a presença de espécies iônicas, conforme demonstra a Figura 1 e Figura 2.

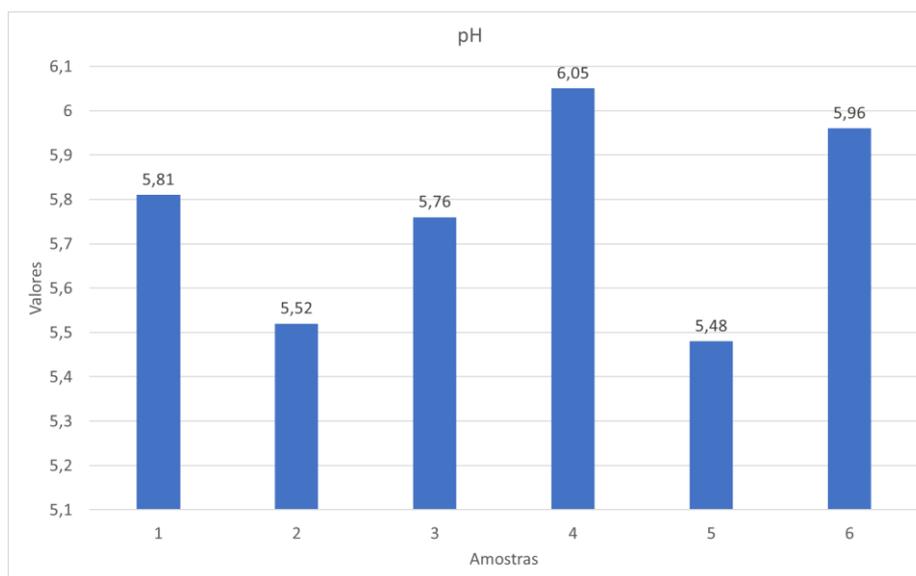


Figura 1. Medidas de pH do lodo de ETA dos meses de junho a novembro de 2021.

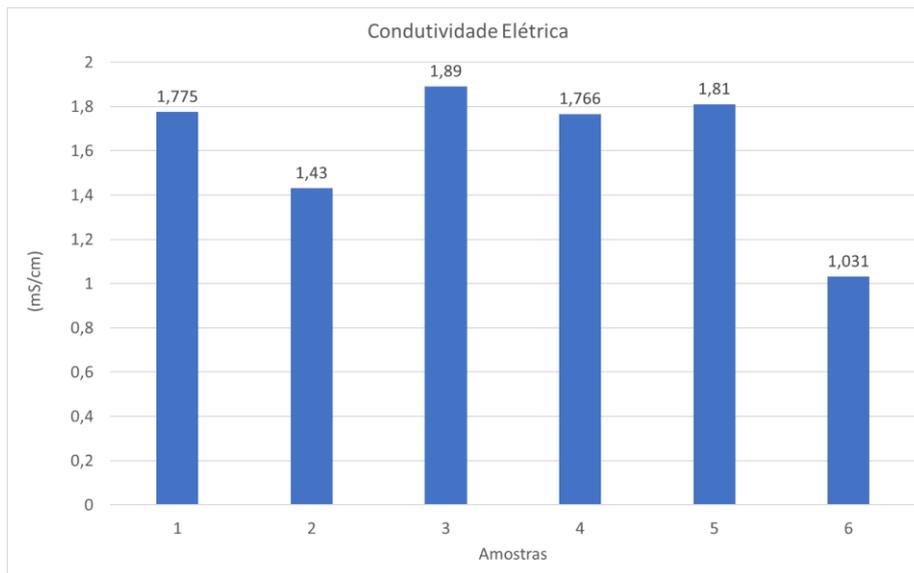


Figura 2. Valores de Condutividade Elétrica do lodo de ETA dos meses de junho a novembro de 2021.

Os valores de pH obtidos nas 6 amostras de LETA não apresentaram elevada variação decorrente da sazonalidade dos 6 meses em que foram coletadas as amostras. Os resultados se enquadram na faixa dos parâmetros estipulados para água potável, com valores entre 5 e 8, considera-se essa faixa de pH neutra, apresentando oportunidades quanto ao destino desse resíduo. Os valores de condutividade elétrica demonstraram uma faixa de variação maior ao longo das análises. Esse comportamento está relacionado a entrada de elementos oriundos da bacia hidrográfica bem como do uso de maior quantidade de produtos químicos para o tratamento.

O volume de sólidos sedimentáveis foi maior que 500mL, indicando elevada quantidade de água nas amostras. A Figura 3 apresenta o teor de sólidos (%) e teor de umidade (%) das amostras e a Figura 4 mostra os teores de sólidos fixos (%) e sólidos voláteis (%). Os resultados mostram pouca quantidade de sólidos e que esses são, majoritariamente, materiais mineralizados.

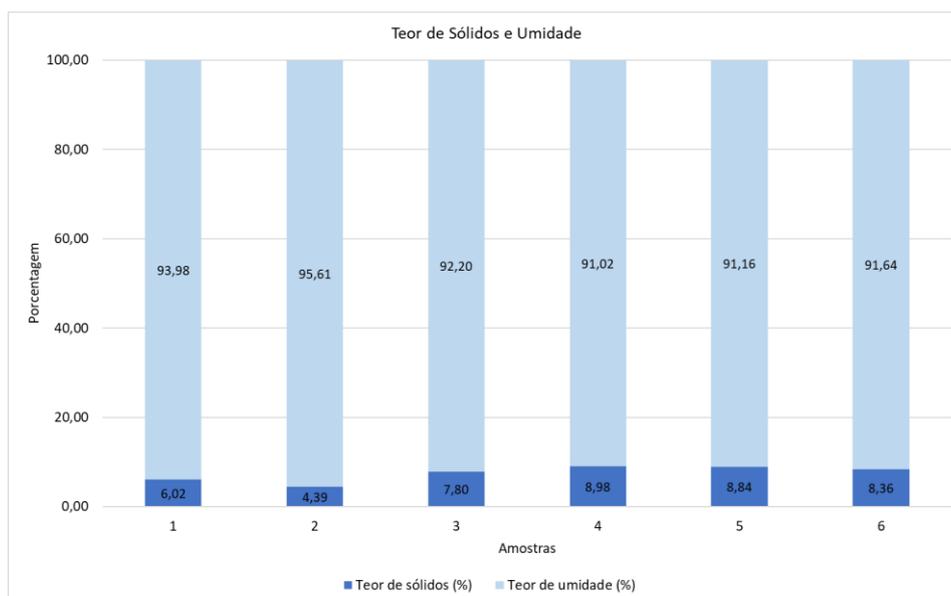


Figura 3. Teor de sólidos e teor de umidade do lodo de ETA dos meses de junho a novembro de 2021.

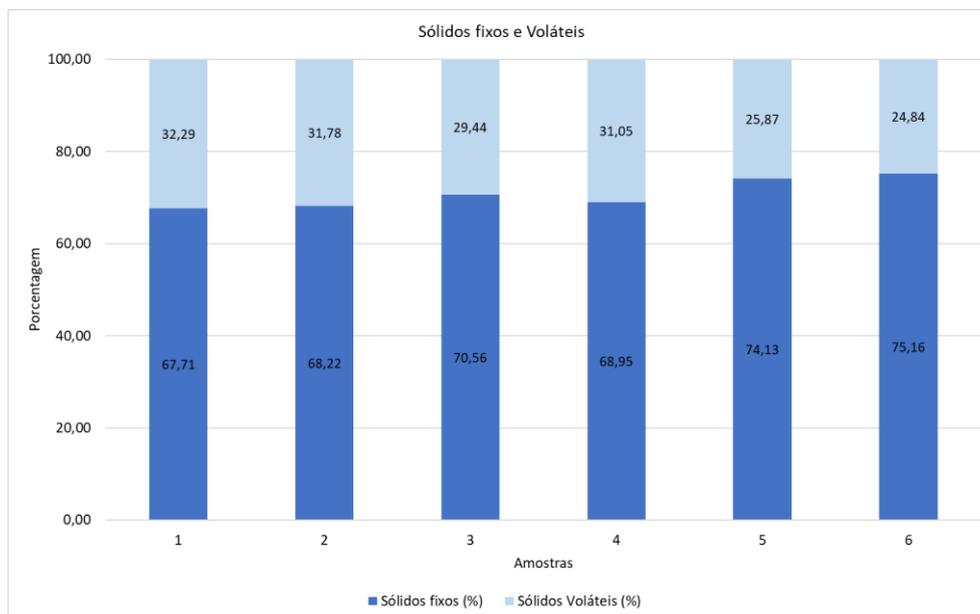


Figura 4. Teor de sólidos fixos e sólidos voláteis do lodo de ETA dos meses de junho a novembro de 2021.

Em relação os sólidos presentes, o volume sedimentável mostra grande presença de água nas amostras. Nesse caso, o teor de umidade foi 92,60%, sendo o sólido resultante composto por material mineralizados (70,80%). Os resultados não apresentaram variação importante no período avaliado, o que pode ser considerado como um efeito sazonal ténue.

A análise granulométrica demonstrou que em 4 amostras a classe textural do LETA foi média arenosa, em uma amostra foi arenosa e em outra amostra foi média argilosa, conforme Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1. Composição química elementar do lodo de ETA dos meses de junho a novembro de 2021.

Amostras	1	2	3	4	5	6
Resultado	AR	MD-AR	MD-AR	MD-ARG	MD-AR	MD-AR

Tabela 2. Legenda da classe textural.

CLASSE TEXTURAL DO SOLO (g Kg-1)				
ATÉ 149	150 a 249	250 a 349	350 a 599	>600
(AR)	(MD-AR)	(MD-ARG)	(ARG)	(MT-ARG)
Arenosa	Média arenosa	Média argilosa	Argilosa	Muito argilosa

A estrutura cristalina encontrada nas 6 amostras identificou apenas a fase do quartzo. A Figura 5 mostra os resultados obtidos através do Difratorômetro de Raio (DRX).

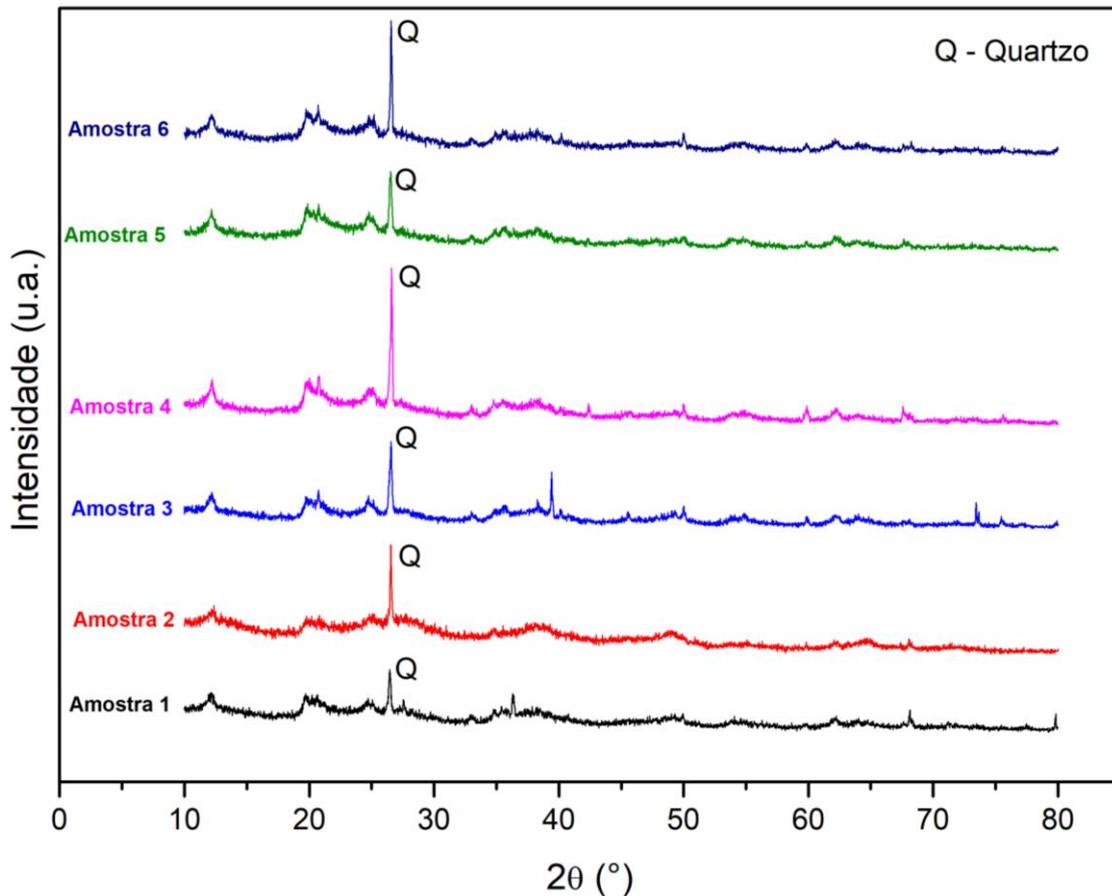


Figura 5. Resultados das análises de DRX nas amostras do lodo de ETA dos meses de junho a novembro de 2021.

A Figura 6 apresenta o comportamento térmico, que indicou perda de massa da amostra próximo a temperatura de 100°C, em média, 8,00%. Entre 100°C e 250°C, a perda foi de aproximadamente 6,60% e, entre 250°C e 600°C a perda foi de 27,70%. Após a temperatura de 600°C a massa não sofreu variação considerável.

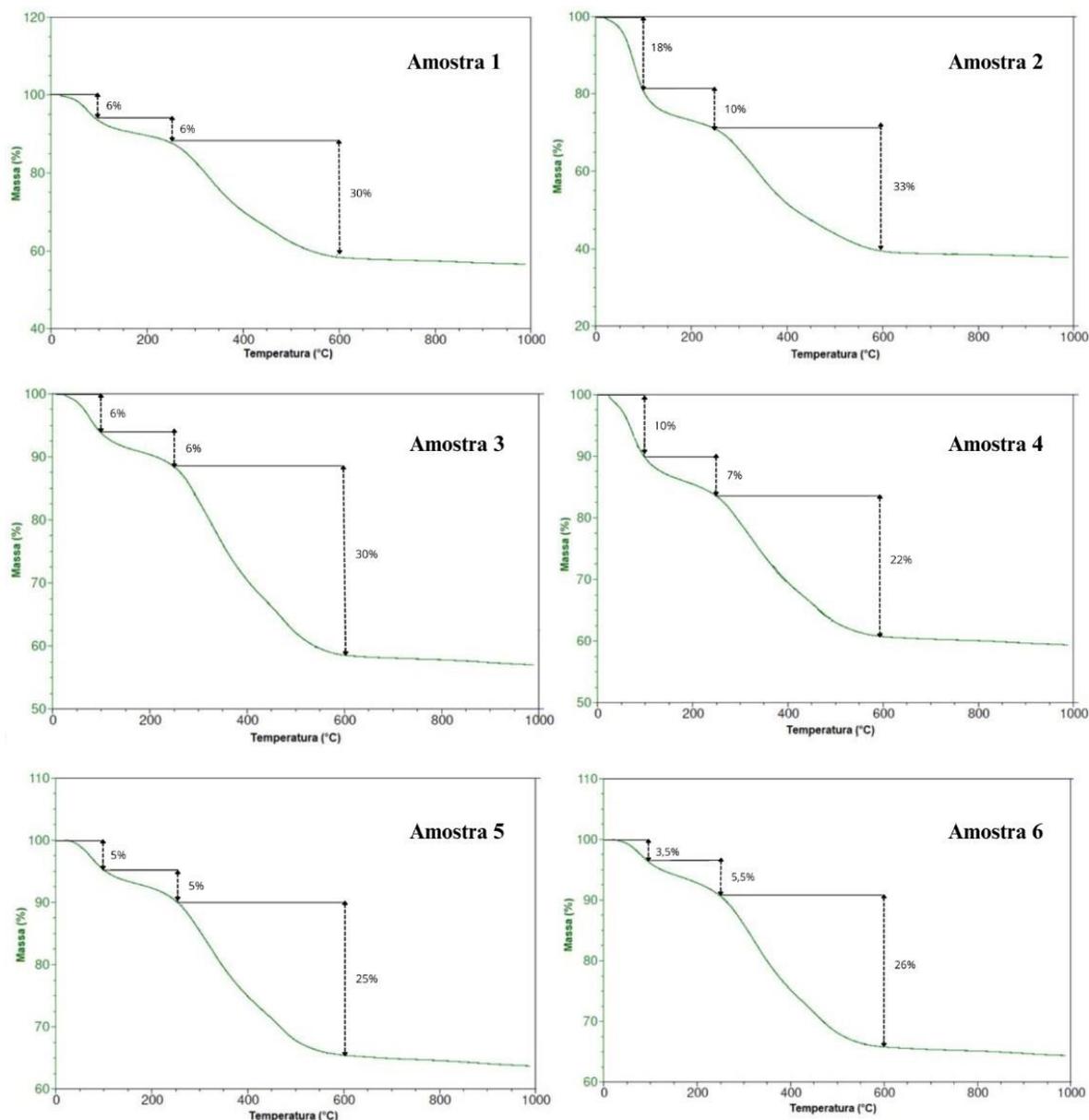


Figura 6. Resultados das análises térmicas das amostras do lodo de ETA dos meses de junho a novembro de 2021.

A composição química (Tabela 3) resultou na predominância dos elementos óxido de alumínio (Al_2O_3), dióxido de silício (SiO_2), Óxido de ferro (Fe_2O_3), Óxido sulfúrico (SO_3), Óxido de cálcio (CaO), Dióxido de Titânio (TiO_2).

Tabela 3. Composição química elementar do lodo de ETA dos meses de junho a novembro de 2021.

Elemento (%)	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	Amostra 6
Al_2O_3	47.31	57.03	46.34	40.72	36.01	39.86
SiO_2	37.29	30.19	36.25	42.62	48.99	45.48
Fe_2O_3	8.79	5.36	10.12	9.93	8.59	7.99
SO_3	2.23	3.08	2.21	1.77	1.58	1.69

CaO	1.35	1.79	1.38	1.07	1.09	1.28
TiO ₂	1.35	0.89	1.63	1.80	1.54	1.49
Outros	1.65	2.53	2.07	2.08	2.10	2.19

O efeito da sazonalidade também foi tênue na avaliação da classe textural, no comportamento térmico da matriz sólida e na respectiva composição química elementar.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos no estudo, conclui-se que as características físicas e química do lodo de uma estação de tratamento de água do interior paulista, não apresentaram elevadas variações em relação ao efeito sazonal das amostras coletadas, indicando parâmetros iniciais para a construção de banco de dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 10004: Resíduos sólidos — classificação, Rio de Janeiro, 2004
2. ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10664. Águas – Determinação de resíduos (sólidos) – Método gravimétrico. Rio de Janeiro, 1989.
3. AHMAD T., AHMAD K., ALAM M., *Sustainable management of water treatment sludge through 3 'R' concept, Journal of Cleaner Production*, Vol. 124, 2016, P 1-13, 2016.
4. BABATUNDE, A. O.; ZHAO, Y. Q. *Constructive approaches toward water treatment works sludge management: an international review of beneficial reuses. Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v. 37, n. 2, p. 129-164, 2007.
5. BRASIL. Presidência da República Federativa do Brasil. Legislação Federal Brasileira. Brasília. Lei Federal nº 9.605 de 1998.
6. BRASIL. Presidência da República Federativa do Brasil. Legislação Federal Brasileira. Brasília. Lei Federal nº 12.305 de 2010.
7. CREMADES, L. V., CUSIDO, J. A., ARTEAGA, F. *Recycling of sludge from drinking water treatment as ceramic material for the manufacture of tiles. Journal of Clean Production*, v. 201, p.1071–1080, 2018.
8. DUBE, S.; MUCHAONYERWA, P.; MAPANDA, F.; HUGHES, J. *Effects of sludge water from a water treatment Works on soil properties and yield and elemental uptake of Brachiaria decumbens and lucerne (Medicago sativa) Agricultural Water Management*, v. 208, p. 335-343, 2018.
9. EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997. 212p
10. GOMES, S. D. C., ZHOU, J. L., LI, W., & LONG, G. *Progress in manufacture and properties of construction materials incorporating water treatment sludge: A review. Resources, conservation and recycling*, 145, 148-159. 2019.
11. HAGEMANN, S. E., GASTALDINI, A. L. G., COCCO, M., JAHN, S. L., TERRA, L.M. *Synergic effects of the substitution of Portland cement for water treatment plant sludge ash and ground limestone: technical and economic evaluation. Journal of Clean Production*, v. 214, p. 916–926, 2019.
12. JING, F; HUI, B.; YUDAN, X.; RUI, Z.; PULI, Z.; DUO, B.; ZENG, D.; WEI, L.; XUEBIN, L. *Recycling of iron and aluminium from drinking water treatment sludge for synthesis of a magnetic composite material (ALCS-Fe-AL) to remove fluoride from drinking water. Groundwater for Sustainable Development*, 11, p.1-9, 2020, 100456
13. LIU, Y., ZHUGE, Y., CHOW, C. W., KEEGAN, A., PHAM, P. N., LI, D., ... & WANG, L. *Recycling drinking water treatment sludge into eco-concrete blocks with CO₂ curing: Durability and leachability. Science of The Total Environment*, 746, 2020.
14. LIU, Y., ZHUGE, Y., CHOW, C. W., KEEGAN, A., MA, J., HALL, C., ... & WANG, L. *Cementitious composites containing alum sludge ash: an investigation of microstructural features by an advanced nanoindentation technology. Construction and Building Materials*, 299, 2021.
15. MARASCHIN, M.; FERRARI, K. F. H.; CARISSIMI, E. *Acidification and flocculation of sludge from a water treatment plant: new action mechanisms. Separation and Purification Technology*, v. 252, p. 1-8, 2020, 117417



16. MONTEIRO, N. B.; SILVA, C. R. S.; TAVERES, R. G.; ROCHA, E. E. M.; SOBRINHO, M. A. M. Avaliação do deságue de lodo físico-químico de estação de tratamento de água por geotêxteis. Revista AIDIS, v.11, n.2, p. 266-277, 2018.
17. SMIDERLE, J. J. Estudo de viabilidade para destinação final do lodo da ETA Laranjal/RJ. 99f. Trabalho de Graduação (Curso de Engenharia Civil). UFRJ - Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.