



## AVALIAÇÃO DO EFEITO DA SECAGEM TÉRMICA SOBRE AS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DE LODOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

### **Amanda Maria Dantas de Jesus Peixoto<sup>(1)</sup>**

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).

### **Juscimara Rodrigues Silva<sup>(2)</sup>**

Engenheira Química pela Universidade de Mogi das Cruzes. Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Estadual Paulista (UNESP).

### **Magda Hirsch de Carvalho<sup>(3)</sup>**

Engenheira Química pela Faculdade de Engenharia Industrial (1994). Especialista em Saúde Pública e Engenharia Ambiental – Faculdade de Saúde Pública (USP/1996). MBA em Gestão Empresarial – FIA/SABESP (2016). Engenheira do Departamento de Tratamento de Água da U.N de Produção de Água da Metropolitana (desde 1998).

### **Fabiana Alves Fiore<sup>(4)</sup>**

Professora do Departamento de Engenharia Ambiental (ICT/UNESP). Doutora em Saneamento e Meio Ambiente (FEC/UNICAMP - 2013), Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG - 2004) e Graduada em Engenharia Civil (UFMG – 2001).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Cléo de Verberena, 157, Vila Branca - CEP.: 12301-571 - Jacareí, SP. Telefone: (12) 99601-6655 - e-mail: [dantas.jesus@unesp.br](mailto:dantas.jesus@unesp.br)

## RESUMO

Os lodos das estações de tratamento de água é um problema atual no Brasil e no mundo, dada as suas características que dificultam o manejo e destinação final, devido a composição dependente da qualidade das águas, dos processos e dos insumos utilizados. Dentre os materiais que compõem esses resíduos, destacam-se os óxidos de ferro e alumínio, elementos presentes nos coagulantes, além de sílica, silte e turfas, podendo até apresentar hidrocarbonetos aromáticos, metais pesados e microrganismos. O trabalho teve como objetivo analisar o efeito da secagem térmica sobre as características físico-químicas e microbiológicas de lodos de ETA. Para isso, realizou-se análises físico-químicas e microbiológicas antes e após a secagem. Os ensaios foram realizados em laboratório de acordo com a NBR 10.004. Observou-se um aumento da concentração de alguns elementos após a secagem. Em contrapartida, houve uma redução nas concentrações de ferro e fluoreto, devido a formação de complexos voláteis. Na caracterização microbiológica, observou-se que o lodo desaguado e seco não apresentaram coliformes termotolerantes, *escherichia coli*, ovos viáveis de helmintos e *salmonella sp.* e que após a secagem os coliformes totais do lodo desaguado foram inviabilizados. Portanto, a secagem do lodo foi capaz de destruir os organismos patogênicos, mantendo os sólidos totais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lodo de ETA; Tratamento Térmico; Caracterização de Lodo.

## INTRODUÇÃO

As Estações de Tratamento de Águas (ETAs) têm grande importância econômica e social, pois elas são responsáveis pela potabilização da água destinada ao consumo humano. Entretanto, esse processo gera uma grande quantidade de um resíduo sólido, chamado de lodo. No Brasil, estima-se que são geradas cerca de 78 milhões de toneladas/ano (BRASIL, 2020), e esses são preliminarmente classificados com resíduos classe II A (não perigoso e não inerte) (COLLINS et al. 2020; IBAMA, 2012; ABNT, 2004).

O manejo e a destinação desses lodos de ETAs (LETAs) se apresentam como problema, pois a disposição inadequada pode provocar a degradação do meio ambiente ou a contaminação de mananciais e do solo, visto que a composição desses resíduos é muito variável, dependendo da qualidade das águas brutas e dos insumos utilizados no processo que deu origem a esse lodo (AHMAD et al., 2016; MENEZES, 2006). Dentre os materiais orgânicos e

inorgânicos que compõem esses resíduos, destacam-se os óxidos de ferro e alumínio (LIU et al., 2020; GONZÁLES et al., 2020; GMURKOWSKA, 2019; WOLOWIEC et al., 2019; ACKAH et al., 2018; ZHOU et al., 2018), que são elementos presentes nos coagulantes comumente utilizados para a potabilização de águas em todo o mundo e também no Brasil (GODOY et al., 2020; ALEXANDRE e LUZ, 2020; BUSELATTO et al., 2019). Também já foram relatadas presença de metais pesados, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (CHEN et al., 2019) e microrganismos variados como *Escherichia coli*, *Salmonelas*, *Criptosporidium*, Coliformes Totais, *Enterococcus faecalis*, *E. faecium*, e *Clostridium perfringens*. (BURGOS et al., 2016 e LIMA et al., 2003), além de bactérias resistentes a antibióticos (ULLMANN et al., 2019) com poucos dados públicos sobre o assunto. Em vista disso, a caracterização química e microbiológica dos LETAS se faz necessária para que seja possível conhecer melhor a composição desse material para orientação de todas as etapas de manejo e destinação ambientalmente adequada.

Dentre as soluções apontadas como tecnicamente viáveis para o uso benéfico estão aquelas que preveem a incorporação como substituto parcial de argilas, na produção de materiais cerâmicos; substituto parcial de cimento Portland, em pastas, argamassas e concretos; precursor ou agregado geopolimérico, bem como elemento da construção civil em obras geotécnicas de aterros sanitários, em áreas mineradas e para a construção de bases e sub-bases de pavimentos (RICHTER, 2001; FADANELLI & WIECHETECK, 2010; GONÇALVES et al., 2017; ALVARENGA et al., 2018).

Para que os LETAs sejam adequados a diferentes aplicações, são demandados tratamentos preliminares, tais como o adensamento e desaguamento (ANDRADE, et al., 2014). Nesse contexto, a secagem térmica de LETAs vem se destacando como tratamento preliminar desses resíduos, pois, além de adequar o teor de umidade do material para níveis desejáveis de forma rápida também pode promover a remoção de substâncias voláteis do material, assim como de microrganismos.

## OBJETIVO

### Objetivo Geral

Avaliar o efeito da secagem térmica sobre as características físico-químicas e microbiológicas de lodos de estações de tratamento de água.

### Objetivos Específicos

Caracterizar as propriedades físico-químicas de LETA, desaguado e seco termicamente.

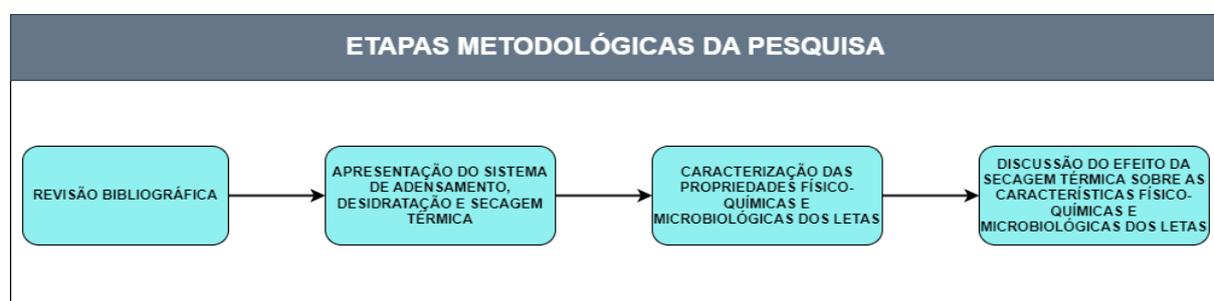
Analisar o efeito da secagem térmica sobre os microrganismos presentes na amostra de LETA estudada.

## METODOLOGIA UTILIZADA

O presente artigo apresenta uma continuidade do estudo de caso realizado por Silva et al., (2020), com dados quantitativos adquiridos no ano de 2022. Sua realização foi oportunizada pela operação de um sistema convencional de adensamento e desidratação de lodo de ETA com uma unidade complementar de secagem térmica, instalado em uma estação de tratamento de água localizada na região metropolitana de São Paulo (SP). Essa ETA produz LETAs de alumínio provenientes de dosagens de sulfato de alumínio ou Policloreto de Alumínio (PAC).

Para realização da pesquisa, foram coletadas 2 amostras tanto da etapa convencional (lodo desaguado), quanto da unidade complementar (lodo seco). A Figura 1 apresenta as etapas da metodologia dessa pesquisa.

**Figura 1-Etapas metodológicas da pesquisa.**



Fonte: Elaboração própria, 2023.

Para a caracterização do resíduo, foram realizadas análises com o intuito de avaliar a composição físico-química e microbiológica dos lodos antes e após a secagem térmica (desaguado e seco). Os LETAs foram caracterizados pela avaliação da massa bruta, lixiviado e extrato solubilizado. Os ensaios foram realizados em laboratório acreditado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, de acordo com as normas 10.004, 10.005 e 10.006 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004). As Tabelas 1 e 2 apresentam os métodos analíticos adotados no presente estudo.

**Tabela 1- Métodos analíticos para caracterização físico-química.**

| Análise   | Métodos Utilizados  |
|---|---|
| Inflamabilidade   | POP 173   |
| Corrosividade pH<br>1:1<br>Reatividade  | ABNT NBR 10004 - 2004   |
| Sulfeto de Hidrogênio   | POP 061   |
| Líquidos Livres   | ABNT NBR 12988 - 1993   |
| Óleos e Graxas Totais   | SMEWW, 23ª Edição, 2017, Método 5520 E                                |
| Teor de Umidade<br>Teor Sólidos Secos   | POP 174   |
| Cianeto Total<br>Cianeto de Hidrogênio  | EPA SW-846 - 9013 A – 2004; SMEWW, 23ª Edição, 2017, Método 4500CN- E |
| Arsênio Total<br>Bário Total<br>Cádmio Total<br>Chumbo Total<br>Cromo Total Prata<br>Total Selênio<br>Total Ferro Total | SMEWW, 23ª Edição, 2017, Método 3120 B                                |
| Fluoreto  | SMEWW, 23ª Edição, Método 4500-F-, B e C                              |
| Mercurio Total  | POP 036   |

Fonte: Elaboração própria, 2023.

**Tabela 2 - Métodos analíticos para caracterização microbiológica.**

| Análise                             | Método Analítico                              |
|-------------------------------------|---|
| Coliformes Termotolerantes (Fecais) | SMEWW, 23ª Edição, 2017, Método 9221 A, C e E |
| Coliformes Totais                   | SMEWW, 23ª Edição, 2017, Método 9221 A, B e C |
| <i>Escherichia coli</i>             | SMEWW, 23ª Edição, 2017, Método 9221 A, C e F |



|                           |  |
|---------------------------|--|
| Ovos Viáveis de Helmintos | EPA 625 R-92/013, 2003                 |
| <i>Salmonella sp</i>      | SMEWW, 23ª Edição, 2017, Método 9260 B |

Fonte: Elaboração própria, 2023.

Para a análise dos resultados considerou-se que, os parâmetros analisados que apresentaram valores superiores aos valores de referência da NBR 10.004 (ABNT, 2004), seriam mostrados nos resultados comparando os resultados obtidos para o lodo antes e após secagem. As classificações sobre os riscos desses lodos foram extraídas dos relatórios técnicos apresentados pelo laboratório acreditado.

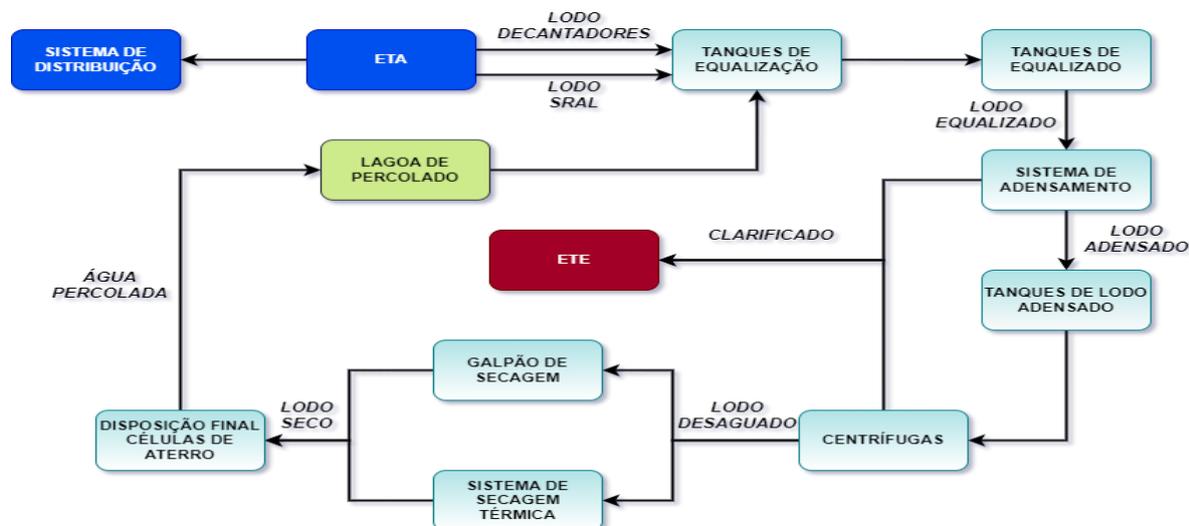
Para discorrer sobre o efeito da secagem térmica sobre as características físico-químicas e microbiológicas, comparou-se os resultados obtidos por meio dos relatórios técnicos de caracterização, com as informações obtidas na revisão bibliográfica.

## RESULTADOS OBTIDOS

### Sistema de Secagem Térmica

O Sistema de Secagem Térmica é uma unidade complementar ao sistema de adensamento e desidratação de lodo na ETA estudada. De acordo com Silva et al (2020), o processo de secagem consiste na utilização de uma fonte de calor para a desidratação do lodo. Além do secador e seus periféricos, o sistema é composto por uma caldeira para fornecimento de energia térmica aos equipamentos na forma de vapor d'água. Os sólidos nunca entram em contato direto com o fluido de troca térmica, sendo a condução o método utilizado para a transferência de calor. A temperatura de trabalho do secador varia de 150 a 180°C e o tempo de permanência do lodo dentro do equipamento é em torno de 2 horas. Após esse período, o lodo, que entrou com um percentual médio de 16% de teor de sólidos, sai com um percentual superior a 50%. Na Figura 2 está apresentado um fluxograma resumido do sistema de tratamento convencional do lodo (adensamento e desidratação) e a unidade complementar de secagem.

Figura 2-Fluxograma do Sistema de Adensamento, Desidratação e Secagem de Lodo.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

### Caracterização do LETA antes e após a secagem térmica

As Tabela 3 e 4 apresentam os resultados da caracterização físico-química e microbiológicas respectivamente, referente às amostras de lodo desaguado e lodo seco termicamente.

**Tabela 3 - Caracterização da massa bruta.**

| <b>Análise</b>        | <b>Referência da NBR 10004:2004 para a classe II</b> | <b>Resultado Lodo desaguado</b> | <b>Resultado Lodo Seco</b> |
|-----------------------|--|---------------------------------|----------------------------|
| Inflamabilidade       | Ausência   | Ausência                        | Ausência                   |
| Corrosividade         | Não corrosivo  | Não Corrosivo                   | Não Corrosivo              |
| pH (1:1 água :lodo)   | 2,0 a 12,5   | 6,28                            | 5,58                       |
| Reatividade           | Não Reativo  | Não Reativo                     | Não Reativo                |
| Sulfeto de Hidrogênio | 500 mg/kg  | 7,8 mg/kg                       | 9,3 mg/kg                  |
| Líquidos Livres       | -  | Ausente A/P                     | Ausente A/P                |
| Óleos e Graxas Totais | -  | 0,1 %                           | 0,7 %                      |
| Teor de Umidade       | -  | 82,2 %                          | 31,1 %                     |
| Teor Sólidos Secos    | -  | 17,8 %                          | 68,9 %                     |

Fonte: Elaboração própria, 2023.

**Tabela 4 - Caracterização microbiológica.**

| <b>Análise</b>                      | <b>Resultado Lodo Desaguado</b> | <b>Resultado Lodo Seco</b> |
|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| Coliformes Termotolerantes (Fecais) | < 1,8 NMP/100g ± 0,14           | < 1,8 NMP/100g ± 0,14      |
| Coliformes Totais                   | 230 NMP/100g ± 37               | < 1,8 NMP/100g ± 0,16      |
| <i>Escherichia coli</i>             | < 1,8 NMP/100g ± 0,13           | < 1,8 NMP/100g ± 0,13      |
| Ovos Viáveis de Helmintos           | < 0,01 ovo/g ST                 | < 0,01 ovo/g ST            |
| <i>Salmonella sp</i>                | Ausente A/P                     | Ausente A/P                |

Fonte: Elaboração própria, 2023.

Nas Tabelas 5 e 6 apresenta-se os resultados do solubilizado e lixiviados, respectivamente, referente às amostras de lodo desaguado e lodo seco termicamente.

**Tabela 5 - Análise do solubilizado.**

| <b>Análise</b> | <b>Referência para a Classe 2 – B (NBR 10004:2004)</b> | <b>Resultado Lodo Desaguado</b> | <b>Resultado Lodo Seco</b> |
|----------------|--|---------------------------------|----------------------------|
| Alumínio Total | 0,2 mg/L   | < 0,0037 mg/L                   | < 0,0037 mg/L              |



|                |            |                |                |
|----------------|------------|----------------|----------------|
| Arsênio Total  | 0,01 mg/L  | < 0,0014 mg/L  | < 0,0014 mg/L  |
| Bário Total    | 0,7 mg/L   | 0,093 mg/L     | 0,244 mg/L     |
| Cádmio Total   | 0,005 mg/L | < 0,0003 mg/L  | < 0,0003 mg/L  |
| Chumbo Total   | 0,01 mg/L  | < 0,0005 mg/L  | < 0,0005 mg/L  |
| Ferro Total    | 0,3 mg/L   | 3,394 mg/L     | 0,297 mg/L     |
| Fluoreto       | 1,5 mg/L   | 0,2 mg/L       | 0,15 mg/L      |
| Manganês Total | 0,1 mg/L   | 2,069 mg/L     | 9,303 mg/L     |
| Mercurio Total | 0,001 mg/L | < 0,00004 mg/L | < 0,00004 mg/L |
| Prata Total    | 0,05 mg/L  | < 0,0005 mg/L  | < 0,0005 mg/L  |
| Selênio Total  | 0,01 mg/L  | < 0,0013 mg/L  | < 0,0013 mg/L  |

Fonte: Elaboração própria, 2023.

**Tabela 6 - Análise do Lixiviado.**

| Análise        | Referência para a<br>Classe 2 – B<br>(NBR 10004:2004) | Resultado<br>Lodo Desaguado | Resultado<br>Lodo Seco |
|----------------|---|-----------------------------|------------------------|
| Arsênio Total  | 1,0 mg/L  | < 0,0014 mg/L               | < 0,0014 mg/L          |
| Bário Total    | 70,0 mg/L   | 0,637 mg/L                  | 0,903 mg/L             |
| Cádmio Total   | 0,5 mg/L  | < 0,0003 mg/L               | < 0,0003 mg/L          |
| Chumbo Total   | 1,0 mg/L  | < 0,0005 mg/L               | 0,006 mg/L             |
| Cromo Total    | 5,0 mg/L  | < 0,0008 mg/L               | < 0,0008 mg/L          |
| Fluoreto       | 150 mg/L  | 0,21 mg/L                   | 0,19 mg/L              |
| Mercurio Total | 0,1 mg/L  | < 0,0015 mg/L               | < 0,0015 mg/L          |
| Prata Total    | 5,0 mg/L  | < 0,0005 mg/L               | < 0,0005 mg/L          |
| Selênio Total  | 1,0 mg/L  | < 0,0013 mg/L               | < 0,0013 mg/L          |

Fonte: Elaboração própria, 2023.

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Conforme o resultado na Tabela 3 e dos relatórios técnicos, o lodo desaguado e seco apresenta para massa bruta, todos os parâmetros dentro dos limites de referência para a classe 2B (não perigosos inertes), da norma ABNT NBR 10004/2004. No entanto, na análise do extrato solubilizado, alguns parâmetros foram identificados acima desses limites, conforme mostrado na Tabela 5, e por isso os LETAs foram classificados como Classe IIA - resíduos não perigosos e não inertes.

Na caracterização microbiológica, verificou-se que o lodo desaguado e seco não apresentaram coliformes termotolerantes (fecais), *escherichia coli*, ovos viáveis de helmintos e *salmonella sp.* Os coliformes totais

identificados no lodo desaguado, foram inviabilizados após secagem térmica, obtendo redução abaixo do LQ (limite de detecção do método). Esse resultado de acordo com Silva et al., (2020), deve-se a temperatura de trabalho do secador térmico (150 a 180°C), que atua com um tempo de detenção de aproximadamente 2 horas, promovendo assim um elevado potencial para inativação das bactérias do grupo coliformes totais e *escherichia coli* nos LETAs, as quais são inativadas a partir de 50°C e 60°C, respectivamente, com tempos de detenção aplicados de 15 e 30 minutos para ambos.

Na análise do solubilizado foi observado que os elementos estão abaixo dos níveis permitidos pela norma NBR 10004:2004, exceto o Mn e Fe, que podem ser adivinhos da água bruta. Isso também foi relatado por FIORE et. al. 2022 quando realizaram a caracterização físico-química de lodos de ETA em diferentes estações do ano (períodos secos e chuvosos).

Já na análise do lixiviado, apesar de todos os elementos estarem dentro dos níveis permitidos, observou-se um aumento da concentração de Ba e Pb (mas abaixo dos limites referências da tabela F da NBR 10.004:2004) após a secagem térmica, o que é justificado pela redução do teor de umidade que ocorreu e consequentemente um aumento da concentração de sólidos.

## CONCLUSÕES

Propriedades como inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade não foram observadas no LETA estudado, o que conforme o disposto por Pereira (2011), permite que sejam classificados como resíduos não perigosos. Entretanto, foi observado um aumento da concentração de alguns elementos (Ba e Mn) na análise do solubilizado do lodo após o processo de secagem, o que é justificado pela redução do teor de umidade que ocorreu e consequentemente um aumento da concentração de sólidos. No entanto, observou-se também a redução nas concentrações de ferro e fluoreto, que pode ser justificada pela formação de alguns complexos voláteis evaporados junto com a fase gasosa do processo de secagem.

Dentro da caracterização microbiológica estudada foi observado a ausência de coliformes termotolerantes (fecais), *escherichia coli*, ovos viáveis de helmintos e *salmonella sp.* no lodo desaguado e seco. Entretanto, o processo de secagem promoveu uma redução significativa no teor de coliformes totais, uma vez que a secagem se dá por aproximadamente 2 horas a uma temperatura maior que 100°C, onde a maioria dos patógenos são inativados. Todavia o aquecimento promovido pelo sistema é menor que a temperatura de destruição da matéria orgânica.

Portanto, o processo de secagem térmica do LETA, mesmo abaixo da temperatura de destruição da matéria orgânica, mostrou-se capaz de destruir os organismos patogênicos, mantendo assim os sólidos totais praticamente inalterados.

## 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 e auxílio de pesquisa do Programa de Pós-Doutorado da UNESP (PROPe 13/2022). Agradecemos também a Superintendência de Pesquisa, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação e a Superintendência de Produção de Água da Metropolitana.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Classificação de Resíduos Sólidos. NBR 10004. Rio de Janeiro, 2004.
2. ACKAH, LA; GURU, R.; PEIRAVI, M.; MOHANTY, M.; MA, X.; KUMAR, S.; LIU, J. Characterization of Southern Illinois Water Treatment Residues for Sustainable Applications. Sustainability, 2018.
3. AHMAD, T., AHMAD, K., & ALAM, M. Characterization of Water Treatment Plant's Sludge and its Safe Disposal Options. Procedia Environmental Sciences, 35, 950- 955. New Delhi, India: ELSEVIER. 2016.

4. ALEXANDRE, E; LUZ, C. A. Partial replacement of CPV-ARI cement by water treatment plant sludge (WTS). *Matéria* - Rio de Janeiro, 2020.
5. ANDRADE C. F., SILVA C. M. e OLIVEIRA F. de C. Gestão Ambiental em saneamento; uma revisão das alternativas para tratamento e disposição do lodo de ETA e seus impactos na qualidade das águas. V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Belo Horizonte/MG – 24 a 27/11/2014.
6. ALVARENGA, P., FERREIRA, C., MOURINHA, C., PALMA, P., DE VARENNES, A. Chemical and ecotoxicological effects of the use of drinking-water treatment residuals for the remediation of soils degraded by mining activities. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 161, pp. 281-289. 2018.
7. BRASIL (2019). Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2017. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2019.
8. BRASIL. (MMA) Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Resíduos Sólidos - Consulta Pública. Brasília: [s. n.], 2020. Disponível em: <<http://consultaspublicas.mma.gov.br/planares/wp-content/uploads/2020/07/Plano-Nacional-de-Res%C3%ADd-uos-S%C3%B3lidos-Consulta-P%C3%ABlica.pdf>>. Acesso em: 12 Abril 2023.
9. BURGOS, T. DAS N., KURODA, E. K., SILVEIRA, C., SCHUROFF, P. A., LIMA, N. R. DE, LOPES, A. M., & PELAYO, J. S. Caracterização microbiológica e físico-química do lodo de decantadores das estações de tratamento de água após desaguamento em leito de drenagem com manta geotêxtil. *Revista De Ciências Da Saúde*, 17(1), 17–24, 2016.
10. BUSELATTO, D. M.; WENZEL, M. C.; DA ROCHA, G. H.; et al. Use of water treatment sludge (WTS) as fine aggregate in concretes: evaluation of physical-mechanical properties. *Matéria (Rio J.)* [online]. vol.24, n.1, e-12270, 2019.
11. CHEN CF, JU YR, LIM YC, ET AL. Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sludge from Water and Wastewater Treatment Plants by GC-MS. *Int J Environ Res Public Health*.;16(14):2604, 2019.
12. COLLINS, F., ROZHKOVSKAYA, A., OUTRAM, J.G., MILLAR, G.J. A critical review of waste resources, synthesis, and applications for Zeolite LTA, Microporous and Mesoporous Materials, 291, 109667, 2020.
13. FADANELLI, L. E. A.; WIECHETECK, G. K. Estudo da Utilização do Lodo de Estação de Tratamento de Água em Solo Cimento para Pavimentação Rodoviária. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, Ponta Grossa, v.02, n. 2, p. 31-37, 2010.
14. 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, e2565, 2020.
15. GMURKOWSKA, R. Characteristics of water sludge from Cracow Water Treatment Plants - Case study (2019).
16. GODOY, L.G.G.; ROHDEN, A.B.; GARCEZ, M.R.; DALT, S.; GOMES, L.B. Production of supplementary cementitious material as a sustainable management strategy for water treatment sludge waste. *Case Studies Constr. Mater.* p. e0032. 2020.
17. GONÇALVES, F.; SOUZA, C. H. U.; TAHIRA, F. S.; FERNANDES, F.; TEIXEIRA, R. S. Incremento de lodo de ETA em barreiras impermeabilizantes de aterro sanitário. *Revista DAE*. Ed. 205, 2017.
18. GONZÁLEZ, K. B.; PACHECO, E.; GUZMÁN, A.; PEREIRA, Y. A.; CUADRO, H. C.; VALENCIA, J.A.F. Use of sludge ash from drinking water treatment plant in hydraulic mortars. *Materials Today Communications*, 23 100930. 2020.
19. IBAMA, 2012. Lista Brasileira de Resíduos Sólidos – Instrução Normativa nº 13, de 18 de dezembro de 2012. *Diário Oficial da União*, Brasília (DF). 2012 20 dez.

20. LIMA, C.E; STAMFORD, T.L.M, *Cryptosporidium* spp. no ambiente aquático: aspectos relevantes da disseminação e diagnóstico *Ciencia e Saúde Coletiva* 8(3):791-800, 2003.
21. LIU, Y.; ZHUGE, Y.; CHOW, C. W. K; KEEGAN, A.; PHUONG, N. P.; LI, D.; QIAN, G; WANGF, L. Recycling drinking water treatment sludge into eco-concrete blocks with CO<sub>2</sub> curing: Durability and leachability. *Science of the Total Environment* 746, 141182, 2020.
22. LOBATO, L.C.S. Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto doméstico. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Sanitária. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.
23. MENEZES, M. P. Gerenciamento do Resíduo Sólido Oriundo de Estação de Tratamento de Água e Estudo da Disposição no Meio Ambiente. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no CEFET-GO/Área de Química para a obtenção do grau Tecnólogo em Química Agroindustrial. Goiânia, Goiás. p. 79 2006.
24. RICHTER, C.A. Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2001.
25. ULLMANN, I.F.; TUNSJØ, H.S.; ANDREASSEN, M.; NIELSEN, K.M.; LUND, V.; CHARNOCK, C. Detection of aminoglycoside resistant bacteria in sludge samples from Norwegian drinking water treatment plants. *Frontiers in Microbiology*, 10 (MAR), art. no. 487, 2019.
26. WOLOWIEC, M., KOMOROWSKA-KAUFMAN, M., PRUSS, A., RZEPA, G., BAJDA, T. Removal of heavy metals and metalloids from water using drinking water treatment residuals as adsorbents: A review, *Minerals*, 9 (8), 487, 2019.
27. PEREIRA, S.L.M. Características físicas, químicas e microbiológicas do lodo das lagoas da ETA GRAMAME, 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) - Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2011.
28. ZHOU, Z.; YANG, Y.; LI, X.; LI, P.; ZHANG, T.; LV, X.; LIU, L.; DONG, J.; ZHENG, D. Optimized removal of natural organic matter by ultrasound-assisted coagulation of recycling drinking water treatment sludge, *Ultrason. Sonochem* 48, 171–180, 2018.