



II-017 - FONTE DE EXCESSO DE ZINCO EM LODO DE ESGOTO: UM ESTUDO DE CASO

Simone Bittencourt⁽¹⁾

Engenheira Agrônoma pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Mestre em Agronomia, área de concentração Ciências do Solo pela UFPR. Doutora em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela UFPR. Profissional da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar).

Endereço⁽¹⁾: Rua Engenheiros Rebouças, 1376 - Rebouças, Curitiba - PR, CEP 80215-900 - Brasil - Tel: (41) 33307194 - e-mail: sbittencourt@sanepar.com.br

RESUMO

A aplicação de lodo de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) em solos fortalece a economia circular, aumenta a capacidade de armazenamento de carbono, ajudando a reduzir as emissões de gases de efeito estufa e a minimizar as mudanças climáticas. A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 498 de 2020 (Conama 498/20) estabelece critérios e procedimentos para o uso de lodo de ETE em solos brasileiros, entre os quais estão limites para substâncias inorgânicas. No Paraná, caracterizações, realizadas em 2022 e 2023, de lodo da Região Metropolitana de Curitiba (RMC), tradicionalmente destinado para disposição em aterro, mostraram a presença de zinco (Zn) acima dos limites da Conama 498/20. Uma vez que a composição do lodo está relacionada ao esgoto que lhe deu origem e aos processos de tratamento do esgoto e do próprio lodo, realizaram-se pesquisas bibliográficas, avaliação de resultados de caracterizações de lodo do Paraná, determinações laboratoriais do parâmetro e levantamento dos processos de tratamento nas ETES, cujos lodos apresentaram elevados teores de Zn, visando identificar as possíveis causas do excesso da substância. Concluiu-se que os teores acima do permitido para uso agrícola de lodo foram devido ao uso de produto cloreto férrico, com elevados teores da substância, no tratamento físico-químico de esgoto. Dessa forma, estabeleceu-se uma frequência de análises laboratoriais de Zn em lotes de cloreto férrico, bem como, na especificação básica, o limite máximo de 1.500 mg de Zn por kg de cloreto férrico solução a granel para uso no tratamento de esgoto.

PALAVRAS-CHAVE: Biossólido, Contaminante, Uso Agrícola, Metal Pesado.

INTRODUÇÃO

A aplicação de lodo de esgoto em solos restitui matéria orgânica e nutrientes, melhorando seus atributos químicos, físicos e biológicos (MONDAL et al., 2015). Promove um crescimento mais rápido das plantas, que fixam carbono da atmosfera, atenua o uso de fertilizantes sintéticos, compensando as emissões associadas a produção desses insumos e contribui na recuperação de solos, num contexto atual de perda de cerca de 36 bilhões de toneladas ao ano em todo o mundo. Além de fortalecer a economia circular, aumenta a capacidade dos solos de armazenar carbono, ajudando a reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e a minimizar as mudanças climáticas (WEF, 2022).

A composição do lodo está relacionada ao esgoto que lhe deu origem e aos processos de tratamento do esgoto e do próprio lodo. Dessa forma, além de matéria orgânica e nutrientes, o lodo de esgoto pode conter agentes patogênicos e substâncias contaminantes inorgânicas e orgânicas, as quais devem ser controladas, quando de sua aplicação em solos, de modo a não causar impactos negativos à saúde e ao ambiente (NOGUEIRA et al., 2013; SMIRI et al., 2015; USEPA, 2003).

Assim, para que seja possível o uso de lodo de esgoto em solos é necessário atender critérios e procedimentos. No Brasil, esses são estabelecidos em atos normativos do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) os quais admitem o uso de lodo de esgoto como produto agrícola, na condição de fertilizante orgânico, condicionador de solo ou substrato para plantas, ou ainda como matéria prima na produção desses



insumos (BRASIL, 2020a, 2016a, 2016b). Outra possibilidade de uso em solos é por meio do atendimento à Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 498 de 19 de agosto de 2020 (Conama 498/20), a qual não se aplica a produto contendo lodo de esgoto sanitário registrado no MAPA (BRASIL, 2020b). No estado do Paraná é a Resolução da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Sema) nº 021/2009 que define os critérios para uso agrícola de lodo de esgoto (PARANÁ, 2009).

Em caracterizações de lodo desaguado de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) do Estado do Paraná, realizadas em 2022 e 2023, verificou-se a presença de zinco (Zn) acima dos limites das Resoluções Sema 021/09 e Conama 498/20 no lodo de ETEs da Região Metropolitana de Curitiba (RMC), tradicionalmente destinado para disposição em aterro licenciado (Tabela 1).

Tabela 1 – Teores de zinco em amostras lodo de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) da Região Metropolitana de Curitiba (RMC).

ETE	Origem do lodo	Data de coleta	Zn (mg kg ⁻¹ de Sólidos Totais -ST)
A	Secador térmico	07/11/2022	5.240,09
B	Desaguamento mecânico	28/04/2023	13.951,53
C	Desaguamento mecânico e em leitos de secagem	28/04/2023	4.837,32
D	Dragagem de lagoa e desaguamento em bolsas geotêxtis	28/04/2023	3.156,58

Nota: limite para Zn – Resolução Sema 021/09 = 2.500 mg kg⁻¹ de ST, Resolução Conama 498/20 - Classe 1= 2.800 mg kg⁻¹ de ST, Classe 2 = 7.500 mg kg⁻¹ de ST.

Frente a esse cenário, realizaram-se ações para identificar as possíveis causas do excesso da substância no lodo de esgoto e para corrigir a situação, as quais são apresentadas no presente estudo de caso.

MATERIAIS E MÉTODOS

Realizaram-se as seguintes ações para identificar as possíveis causas do excesso de Zn em lodo de esgoto de ETEs da RMC:

- Pesquisa bibliográfica utilizando-se as palavras-chaves: “fontes naturais de zinco”, “fontes de zinco em esgoto doméstico”, “fontes de zinco em águas residuárias”, “zinco em lodo de esgoto”, “zinc sources in domestic wastewater”, “zinc in sewage sludge”, “toxicological zinc” no website Google.
- Análise de resultados de caracterização de 110 amostras de lodo de esgoto tratado por processo de redução de patógenos de estabilização alcalina prolongada (EAP) no estado do Paraná, de 2020 e 2021.
- Coletas de amostras e determinações laboratoriais de Zn em produto químico comercial no Laboratório da Gerencia de Avaliação de Conformidade da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), no município de Curitiba, utilizando-se os métodos: Method 3051A Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Oils (USEPA, 2007) e Method 6010D Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry (USEPA, 2018).
- Levantamento sobre os processos de tratamento de esgoto nas ETEs, cujo lodo apresentou elevado teor de Zn.

Realizaram-se reuniões com a participação de uma equipe multidisciplinar e multissetorial com o objetivo de analisar os resultados, debater e definir ações para solucionar o problema.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fontes de zinco e limites em lodo de esgoto: revisão bibliográfica

O Zn é um elemento essencial para quase todas as formas de vida, sendo componente de enzimas, importante para o sistema imunológico e manutenção do equilíbrio ácido-base nos organismos (MEDEIROS, 2012).

Na natureza, é encontrado principalmente sob a forma de sulfetos, associado ao chumbo, cobre, prata e ferro (galena, calcopirita, argentita e pirita, dentre outros) (JESUS, 2001; MEDEIROS, 2012). É utilizado na produção de aço, revestimento de superfícies para evitar a corrosão, no preparo de materiais galvanizado, nas indústrias automobilísticas e da construção civil, na produção de ligas metálicas, principalmente com Al, Mg e Cu, na produção de pilhas e baterias secas, em telas de raios-X e em televisores; na fabricação de tintas, cosméticos, fármacos, protetores solares, maquiagem, desodorantes, preparações para tratamento de micoses, acne e xampu anticaxpa, revestimentos plásticos, borracha e aditivo alimentar (MEDEIROS, 2012; CETESB, 2017).

Nas águas residuais domésticas, o Zn é proveniente, principalmente, de produtos de cuidados pessoais e detergentes para a roupa, também pode ser proveniente da corrosão de tubulações e torneiras, liberação de amálgama de obturações dentárias e de produtos alimentícios (COMBER; GUNN, 1996; AONGHUSA; GRAY, 2002; SORME; LAGERKVIST, 2002; BRAGA; VARESCHE 2014).

Nos solos o teor de Zn está em torno de 300 mg kg⁻¹ de ST e no sedimento de até 100 mg kg⁻¹ de ST (CETESB, 2017). Na condição natural dos solos brasileiros, dentre os micronutrientes, o Zn é o mais deficiente, necessitando de suplementação via adubação para permitir o cultivo das plantas, sendo que o micronutriente aparece frequentemente em níveis críticos em solos paranaenses (MOTTA et al., 2007).

A Resolução Conama 498/20, quanto à presença de substâncias inorgânicas, estabelece duas classes de bioestabilizado (lodo que atende os critérios da Resolução para uso em solos), sendo o limite máximo para Zn de 2.800 mg kg⁻¹ de ST para Classe 1 e de 7.500 mg kg⁻¹ de ST para a Classe 2. Em relação ao Zn, o bioestabilizado Classe 2 somente poderá ser aplicado em solos se a taxa máxima anual da substância não exceder o limite de 140 kg ha⁻¹ ano⁻¹ e a carga máxima acumulada não exceder os limites, respectivamente de 1.400 kg ha⁻¹ para solos de áreas degradadas e 2.800 kg ha⁻¹ para solos de áreas não degradadas (BRASIL, 2020b). A Resolução Sema 021/09 estabelece que o Zn não poderá ultrapassar o limite de 2.500 mg kg⁻¹ de ST em qualquer das amostras de lodo de esgoto analisadas (PARANÁ, 2009). As normativas do MAPA não estabelecem limites para Zn em fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo (BRASIL, 2016b).

Caracterização de Zn em lodo de esgoto no estado do Paraná, 2021 e 2022

A Tabela 2 apresenta os níveis mínimo, médio, percentis 50, 70, 90 e máximo dos resultados de análises laboratoriais de Zn em 110 amostras de lodo de esgoto tratado por processo de estabilização alcalina prologada (EAP), caracterizadas no estado do Paraná nos anos de 2021 e 2022.

Tabela 2 – Níveis mínimo, médio, percentis 50, 70, 90 e máximo dos resultados de análises laboratoriais de Zn em 110 amostras de lodo de esgoto tratado por processo de estabilização alcalina prologada, Paraná, 2021 e 2022.

Zn (mg kg ⁻¹ de ST)					
Mínimo	Média	Percentil 50	Percentil 70	Percentil 90	Máximo
103,2	564,2	503,9	576,4	1002,1	1683,4

A média, os percentis 50, 70, 90 e o máximo de Zn observados (Tabela 2) foram acima do valor médio de 369 mg kg⁻¹, obtido por Bittencourt et al. (2014) em 99 lotes de lodo de esgoto tratado por EAP, destinado ao uso agrícola, no período de 2007 a 2010 na RMC. Segundo os autores a média obtida se deve principalmente à baixa ou nenhuma presença de despejo industrial na rede de esgoto, uma vez que a política é tratar o lodo industrial antes de seu lançamento na rede coletora e que a companhia de saneamento possui critérios restritivos quanto ao recebimento de efluentes industriais na rede de esgoto (SANEPAR, 2013).

Por outro lado, verificou-se que os resultados (Tabela 2) estavam abaixo do valor de Zn, de 3.176 mg kg⁻¹, obtido por Rangel et al. (2006), em estudo de lodo proveniente da ETE Barueri, São Paulo, que trata de esgoto doméstico e industrial.

Processos de tratamento de esgoto nas ETEs que apresentaram elevado teor de Zn e determinações laboratoriais do parâmetro

Nas ETEs A, B e C o tratamento biológico do esgoto é realizado em reatores anaeróbios de fluxo ascendente - UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) seguido de processo de pós-tratamento por flotação com uso do coagulante cloreto férrico (FeCl_3). Já a ETE D, também com tratamento biológico em UASB, tem como pós-tratamento uma lagoa de polimento, a qual recebeu por longo período o lodo da ETE B.

Dessa forma, concluiu-se que havia grande possibilidade que os elevados teores de Zn no lodo dessas ETEs fosse proveniente do produto químico FeCl_3 utilizado no processo de flotação.

O teor de Zn no produto comercial FeCl_3 depende da matéria prima e do processo de produção, sendo que a companhia de saneamento não estabelece em sua especificação básica um valor máximo de Zn para esse produto. A Tabela 3 apresenta a qualidade mínima exigida para a aquisição do produto FeCl_3 .

Tabela 3 – Garantias exigidas para aquisição do produto cloreto férrico

Características	Limites (% em massa)
Teor de FeCl_3	Mínimo de 38
Ferro Ferroso (Fe + Ferro total)	Máximo de 2,5
Acidez (expressa em HCl)	Máximo de 1
Material insolúvel	Máximo de 0,1
Sulfato	Isento

Neste contexto, realizaram-se análises laboratoriais de Zn em amostras dos produtos de duas empresas que estavam fornecendo o FeCl_3 para tratamento de esgoto, sendo que o nível de Zn encontrado no produto da empresa Y (média de 7.419,5 mg kg^{-1}) foi 370 vezes superior ao do produto da empresa X (média de 20,4 mg kg^{-1}).

No processo de tratamento, a dosagem de cloreto férrico é determinada em função da turbidez do afluente ao sistema de flotação, que por sua vez, é relacionada à DQO e à DBO. Na ETE A a dosagem aplicada de cloreto férrico fornecido pela empresa X visou atingir turbidez inferior a 5 NTU. Esta dosagem variou (em até 100%) em função da turbidez, DQO e DBO do afluente ao processo de flotação.

Dessa forma, com o objetivo de estimar a quantidade de Zn no lodo de esgoto em função da aplicação de FeCl_3 , realizou-se um levantamento da massa mensal de ST de lodo removido (calculado a partir do volume de lodo removido e respectivo teor de sólidos totais) nas ETEs, com pós tratamento de flotação, cujo lodo apresentou elevado teor de Zn e da quantidade mensal de FeCl_3 aplicada. Com base nessas quantidades e no teor médio de Zn nos produtos, realizaram-se estimativas da quantidade de Zn aplicada nas ETEs A, B e C no período de janeiro de 2022 a maio de 2023, respectivamente, para os produtos das empresas Y e X, as quais são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Lodo removido e quantidade de cloreto férrico aplicada, de janeiro de 2022 a maio de 2023, e estimativa de teores de zinco em lodo de esgoto, quando utilizado o produto das empresas Y e X.

ETE	Lodo removido (t de ST)	FeCl_3 aplicado (t)	Estimativa de Zn aplicado com o produto da empresa Y*			Estimativa de Zn aplicado com o produto da empresa X**		
			t	%	mg/kg	t	%	mg/kg
A	12.103,20	17.519,57	129,99	1,1	10.740	0,36	0,003	29,5
B	1.473,20	2.796,93	20,75	1,4	14.086	0,06	0,004	38,7
C	214,4	338,28	2,51	1,2	11.706	0,01	0,003	32,1

Nota: *média de 7.419,5 mg/kg no FeCl_3 da empresa Y. **média de 20,4 mg/kg no FeCl_3 da empresa X



As estimativas (Tabela 4) demonstram que a quantidade total de Zn aplicada seria de 153,2 e 0,4 t, respectivamente, utilizando o produto da empresa Y e o da empresa X. Nessas estimativas, o teor de Zn no lodo removido, utilizando o produto da Y, seria em média de 1,2% ou 12.177 mg kg⁻¹. É importante destacar que não foram considerados na estimativa, outros fatores intervenientes, entre os quais o de que a massa de cloreto férrico aplicada faz parte da massa do lodo removido em t de ST.

Dessa forma, supondo que o percentil 90 dos resultados de Zn em lotes de lodo de esgoto, de 1.000 mg kg⁻¹ de ST (Tabela 2), representaria o limite máximo a ser encontrado em um lodo proveniente do tratamento de esgoto doméstico, definiu-se o limite máximo de Zn na especificação básica do produto Cloreto Férrico Solução a Granel para uso no tratamento de esgoto. O limite definido foi de 1.500 mg kg⁻¹, resultado da subtração 1.000 mg kg⁻¹ (percentil 90) de 2500 mg kg⁻¹ (limite para destinação agrícola da Resolução Sema 021/009).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Frente ao contexto apresentado no presente trabalho, de que a fonte de Zn que causou teores acima do permitido para uso de bioisólido em solo foi o uso de produto cloreto férrico contendo elevados níveis de Zn, foram estabelecidas algumas ações para corrigir a situação, entre as quais:

- Uma frequência de análises laboratoriais em amostras de lotes do produto químico cloreto férrico, para verificar o teor de Zn, a qual deve ser de no mínimo uma análise no início de cada contrato de fornecimento do produto.
- Para os futuros contratos, estabeleceu-se na especificação básica o limite máximo de 1.500 mg de Zn por kg de produto Cloreto Férrico Solução a Granel para uso no tratamento de esgoto.

Não é somente a presença em excesso de determinada substância inorgânica no esgoto afluente, principalmente, devido à contribuição de efluente não doméstico, que irá causar elevados teores da substância no lodo. O excesso da substância também pode ser proveniente de produtos utilizados no tratamento do esgoto e do lodo, que por suas características acabam se concentrando no lodo. Fato que corrobora a afirmação de que a composição do lodo está relacionada ao esgoto que lhe deu origem e aos processos de tratamento do esgoto e do próprio lodo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AONGHUSA, C. N.; GRAY, N. F. Laundry detergents as a source of heavy metals in Irish domestic wastewater. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 37(1), p. 1-6. 2002.
2. BITTENCOURT, S. et al. Sewage sludge usage in agriculture: A case Study of its destination in the Curitiba Metropolitan Region, Paraná, Brazil. *Water, Air and Soil Pollution*. 225, p. 2-8, 2014.
3. BRAGA, J. K.; VARESCHE, M. B. A. Commercial laundry water characterization. *American Journal of Analytical Chemistry*, 5, p. 8-16. 2014.
4. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016*. Estabelece as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, DF, 2016a.
5. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. *Instrução Normativa nº 61, de 08 de julho de 2020*. Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura. Brasília, DF, 2020a.
6. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. *Instrução Normativa nº 7, de 04 de abril de 2016*. Altera a Instrução Normativa SDA nº 27, de 5 de junho



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO
DE ENGENHARIA SANITÁRIA
E AMBIENTAL



- de 2006 que estabelece os limites máximos de contaminantes e agentes fitotóxicos patogênicos ao homem, animais e plantas a serem atendidos nos fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes. Brasília, DF, 2016b.
7. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução CONAMA nº 498, de 19 de agosto de 2020*. Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos, e dá outras providências. Brasília, DF, 2020b.
 8. COMBER, S. D. W., & GUNN, A. M. Heavy Metals Entering Sewage-Treatment Works from Domestic Sources. *Water and Environment Journal*, 10(2), p. 137-142. 1996.
 9. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). *Ficha de Informação Toxicológica*. Zinco Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental. Julho de 2012. Atualizado em março 2017. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Zinco.pdf>>. Acesso em 16 out. 2023.
 10. COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ - SANEPAR. Sistema Normativo da Sanepar. *IT/OPE/1899 - Gestão de Efluentes Não Domésticos*. Curitiba: Sanepar, 2013.
 11. JESUS, C. A. G. de. Zinco. *Balanco Mineral Brasileiro*, 2001. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001-zinco#:~:text=Os%20principais%20minerais%20de%20zinco,SiO2>>. Acesso em 16 out. 2023.
 12. MEDEIROS, M. A. de. Zinco. *Quim. Nov. na Escola*, v. 34, n.3, p.159 – 160, 2012.
 13. MONDAL, S. et al. Changes in soil quality in response to short-term application of municipal sewage sludge in a typic haplustept under cowpea-wheat cropping system. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*. 4, p.37-41, 2015.
 14. MOTTA, A. C. V. et al. *Micronutrientes na Rocha, Solo e na Planta*. 1. ed. Curitiba, Edição do Autor, 2007. 246p.
 15. NOGUEIRA, T. A. R.; FRANCO, A.; HE, Z.; BRAGA, V. S.; FIRME, L. P.; ABREU-JUNIOR, C. H. Short-term usage of sewage sludge as organic fertilizer to sugarcane in a tropical soil bears little threat of heavy metal contamination. *Journal of Environmental Management*, v. 114, p. 168–177, 2013.
 16. PARANÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Resolução Sema 021/09. Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. *Diário Oficial do Estado do Paraná*, Curitiba, n. 7962, 2009, pp. 13–16. Disponível em: <<https://www.documentos.dioe.pr.gov.br/dioe/consultaPublicaPDF>>. Acesso em: 10/06/2014.
 17. RANGEL, O. J. P. et al. Efeito de aplicações de lodos de esgoto sobre os teores de metais pesados em folhas e grãos de milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 30 (3), p. 583- 594, 2006.
 18. SMIRI, M.; ELARBAOUI, S.; MISSAOUI, T.; BEN DEKHIL, A. Micropollutants in sewage sludge: elemental composition and heavy metals uptake by *Phaseolus vulgaris* and *Vicia faba* seedlings. *Arabian Journal Science Engineering*, v.40, n. 7, p. 1837–1847, 2015.
 19. SÖRME, L.; LAGERKVIST, R. Sources of heavy metals in urban wastewater in Stockholm.. *Science of the Total Environment*, 298(1), p. 131-145. 2002.
 20. UNITED STATE ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY (USEPA). *Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge*. 2003. Disponível em: <<http://www.epa.gov/region8/water/biosolids/pdf/625R92013ALL.pdf>>. Acesso em: 29 nov. 2012.
 21. UNITED STATE ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY (USEPA). *Method 3051A: Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Oils*. Revision 1 February 2007. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3051a.pdf>>. Acesso em 16 out. 2023.



22. UNITED STATE ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY (USEPA). *Method 6010D: Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry*. Revision 5 July 2018. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/6010d.pdf>>. Acesso em 16 out. 2023.
23. WATER ENVIRONMENT FEDERATION. (WEF). *Biosolids Resources*. 2022. Disponível em: <<https://biosolidsresources.org/OE/>>. Acesso em: 03 mar. 2023.