

AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA E PROPRIEDADES DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA ESSENCIAIS PARA INCORPORAÇÃO NO SOLO

Roberta Bueno Martins¹
Raphaela Ferraz Freitas²
Rosane Freire Boina³
Ana Karla Vieira Santos⁴
Camila da Silva Rodrigues⁵

Reaproveitamento, reutilização e tratamento de resíduos (sólidos e líquidos)

Resumo

Este estudo avaliou as propriedades físicas e químicas do lodo de ETA a fim de verificar a sua aplicabilidade em latossolo vermelho para recuperação de áreas degradadas. O lodo foi coletado em uma Estação de Tratamento de Água municipal que utiliza como coagulante o policloreto de alumínio (PAC). Considerando que a ETA não possui tecnologia de desidratação do lodo, o resíduo *in natura* foi submetido a adensamento gravitacional simples e caracterizado pelo método gravimétrico. Após, o solo e lodo foram submetidos a análise qualitativa de óxidos por Fluorescência de Raios-X e análise química básica, conforme a metodologia do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). De acordo com os resultados obtidos, o lodo e solo apresentaram pH ácido devido a solubilização dos íons Al^{3+} em meio ácido ($pH < 5,5$). Esse resultado é importante para compreender a função do alumínio trocável, da acidez potencial, MO, CTC, SB e V. Observou-se que o lodo apresentou características que indicam o seu uso como “condicionante” de solos, principalmente, em solos ácidos, que normalmente contêm elementos que conferem baixa disponibilidade nutrientes (distróficos). Além disso, a ausência de alumínio trocável no LETA traz perspectivas positivas para destinação em solos degradados.

Palavras-chave: Resíduo sólido; Análise química; Áreas degradadas; Destinação.

¹ *Graduanda de Engenharia Ambiental – UNESP, Presidente Prudente, SP. roberta.bueno@unesp.br*

² *Graduanda de Engenharia Ambiental – UNESP, Presidente Prudente, SP. raphaela.freitas@unesp.br*

³ *Prof. Dra. da Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP, Presidente Prudente, SP. rosane.freire@unesp.br*

⁴ *Graduanda de Engenharia Ambiental – UNESP, Presidente Prudente, SP. ak.santos@unesp.br*

⁵ *Graduanda de Engenharia Ambiental – UNESP, Presidente Prudente, SP. camila.s.rodrigues@unesp.br*



INTRODUÇÃO

O processo de tratamento de água para o consumo humano gera um resíduo sólido chamado de lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA), ou LETA (Roque; Montalvan; Boscov, 2022). As ETAs convencionais representam uma parcela significativa nos tipos de tratamento aplicados no Brasil, com cerca de 7.500 plantas no país (Grassi *et al.*, 2020). Essas seguem as seguintes etapas de tratamento: coagulação, floculação, sedimentação, filtração e higienização (Pai *et al.*, 2020). O LETA surge na etapa de sedimentação e filtração, sendo um resultado físico da coagulação, a partir da adição de agentes coagulantes, oriundos de sais de cloreto ou sulfato de ferro e alumínio (Almeida *et al.*, 2024). A composição desse material depende da qualidade da água bruta e do período do ano, porém, em suma, o LETA é formado por minerais, matéria húmica e elementos químicos, oriundos dos agentes coagulantes adicionados (Urban; Nakada; Isaac, 2023).

O lodo de ETA é gerado em grandes quantidades pelas ETAs. Em grandes cidades, estima-se que ele corresponda a 5% do total de água produzida diariamente (Lima *et al.*, 2023). Segundo Ahmad *et al.* (2016), anualmente, são geradas 100.000 toneladas de LETA. Conforme a legislação ambiental vigente no Brasil, o lodo de ETA é um resíduo sólido não perigoso e não inerte (Classe IIA) e, por isso, após esgotarem todas suas possibilidades de reuso, a sua disposição final ambientalmente correta deve ser feita em aterros sanitários (Brasil, 2010; ABNT, 2004).

No entanto, esse tipo de disposição gera algumas preocupações ambientais e econômicas, como limitações de espaço para a disposição do resíduo (Daza-Marques *et al.*, 2024). Além disso, outro problema é que, aproximadamente, 68% das ETAs brasileiras ainda lançam esse resíduo, *in natura*, em corpos d'água, gerando uma série de impactos aos recursos hídricos e fauna aquática, como a diminuição de oxigênio dissolvido e aumento da concentração de alumínio (Hagemann *et al.*, 2019; Hemkemeier *et al.*, 2023).

Novas alternativas de reutilização do lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) vêm sendo estudadas, por exemplo, o seu uso para remoção de poluentes (Boina *et al.*,



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

2024; Balkaya; Erkan, 2019), para produção de matrizes cimentícias e tijolos (Spat Ruviano *et al.*, 2023; Hemkemeier *et al.*, 2023; Wolf *et al.*, 2015) e aplicações em solo (Das *et al.*, 2015; Morselli *et al.*, 2022; Gonçalves *et al.*, 2017). Uma dessas aplicações em solo é a recuperação de áreas degradadas (Kircher *et al.*, 2023). Esse tipo de uso é uma forma barata e adequada para a disposição do LETA, além de contribuir para a melhoria de algumas características químicas e estruturais do solo (Tisthall; Hughes, 2005; Fan *et al.*, 2014). O material se mostra promissor para esse tipo de aplicação, pois aumenta a aeração do solo, bem como a retenção de água, proporcionando diversos benefícios às plantas (Turner *et al.*, 2019).

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo estudar as propriedades físicas e químicas do lodo de ETA, a fim de verificar sua aplicabilidade em solo visando, posteriormente, o cultivo de mudas voltadas para a recuperação ambiental de áreas degradadas.

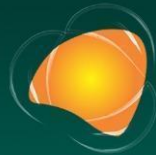
METODOLOGIA

O experimento foi conduzido nos laboratórios da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Câmpus de Presidente Prudente, São Paulo – Universidade Estadual Paulista. Laboratório de Caracterização e Gestão de Resíduos Sólidos (LCGRS) e no Laboratório de Águas, Águas Residuais e Reuso (LAARR).

As etapas experimentais envolveram a coleta e preparo do lodo de ETA e solo, bem como caracterização das amostras de lodo e solo.

Coleta e preparo do LETA e solo

O resíduo foi gentilmente cedido por uma Estação de Tratamento de Água, localizada no interior paulista. Nesta empresa de saneamento, o tratamento de água segue o método convencional, empregando o policloreto de alumínio (PAC) como coagulante na etapa de coagulação, além de um polieletrólito não iônico como auxiliar, dependendo da



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

qualidade da água bruta captada. As amostras do LETA foram adquiridas durante a limpeza manual dos decantadores (pás), realizada pelos próprios funcionários da empresa e, posteriormente, acondicionadas em bombonas de polietileno de 20L para facilitar o transporte até o laboratório da universidade.

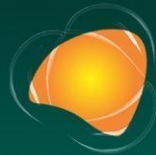
Para fins de caracterização de teor de sólidos e umidade, uma parte do resíduo homogeneizado foi separada. Para a análise da composição e propriedades do LETA misturado ao solo, o LETA *in natura* foi dividido em partes, sendo que o Lodo Líquido (LL) foi separado no momento da coleta.

Nos demais ensaios, o lodo de ETA passou por adensamento gravitacional simples, utilizando uma manta geotêxtil não tecido de gramatura 105 g/m², mantido à sombra em local aberto. Após o período de deságue, as tortas de lodo formadas foram denominadas de Lodo Adensado (LA). O material restante foi encaminhado para uma estufa de circulação forçada à 90°C ± 5°C até que fosse observada ausência de umidade. Em seguida, os torrões de lodo foram macerados manualmente em um almofariz de porcelana e, posteriormente, pulverizados em micronizador. A Figura 1 apresenta as etapas para a obtenção do Lodo Seco (LS).



Figura 1 - Ensaio para a obtenção do LETA em diferentes estados físicos

O solo utilizado na mistura foi gentilmente disponibilizado pela equipe de serviços gerais da Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT-UNESP), sendo um tipo de solo característico da região do oeste paulista. Com o objetivo de garantir uma melhor



homogeneização, o solo foi peneirado para remover detritos, pedras e materiais orgânicos maiores, conforme representado na Figura 2.

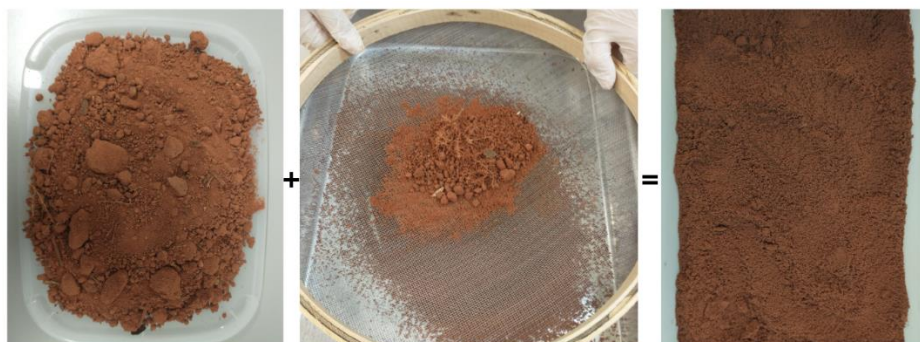


Figura 2 – Etapas para a obtenção do solo

Ensaio de caracterização das amostras de LETA e solo

As amostras de lodo líquido foram submetidas a análise de teor de sólidos e umidade, resíduo fixo e resíduo volátil, conforme a metodologia descrita pela NBR 10.664/1989 – Método J, Método L e Método M.

As etapas do processo de caracterização de teor de sólidos estão representadas na Figura 3. Nesse processo, foi transferido cerca de 45 g da amostra de lodo bruto para as cápsulas de porcelana, previamente higienizadas e pesadas. As amostras realizadas em sextuplicata (6 repetições) foram levadas a estufa à $\pm 103^{\circ}\text{C}$ para eliminação da umidade (Método J), sendo possível determinar o resíduo total. Posteriormente, para a obtenção do resíduo fixo (Método L), a cápsula com o resíduo total foi submetida a calcinação em forno à 550°C . Por último, o resíduo volátil foi determinado pela diferença entre os valores do resíduo total e fixo, conforme indica o Método M.

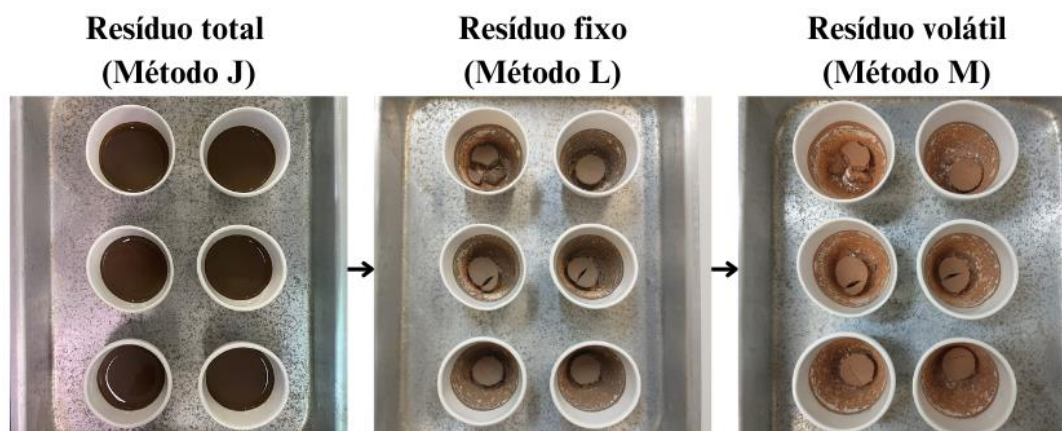
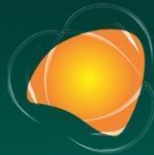


Figura 3 – Etapas para a determinação do teor de sólidos e umidade do lodo de ETA

O resíduo e o solo foram analisados quanto à composição química por meio de Espectrometria de Fluorescência de Raios X (FRX), para obter uma análise qualitativa e quantitativa dos óxidos presentes nas amostras. Além dessa análise, os materiais foram caracterizados quanto aos atributos do complexo sortivo, isto é, pH, alumínio trocável, acidez potencial e CTC (Capacidade de Troca Catiônica) por um laboratório externo à universidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização gravimétrica e química das amostras de LETA e solo

A Tabela 1 apresenta os resultados da fração sólida (totais, fixos e voláteis), bem como o teor de umidade da amostra de lodo de ETA bruto.

Tabela 1 – Fração sólida e umidade do LETA.

Amostra	Teor de umidade (%)	Teor de sólidos (%)		
		Totais	Fixos	Voláteis
Lodo de ETA	89,66	10,34±0,05	82,96±0,27	17,04±0,27

Os resultados indicam um valor representativo de umidade presente no resíduo



EXTREMOS CLIMÁTICOS: IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS

(<90%) e, conseqüentemente, um valor baixo de material sólido (10,34%). Na literatura, alguns pesquisadores relataram que o lodo de ETA apresenta um alto teor de umidade, em torno de 82,88% (Almeida *et al.*, 2024) e 94,96% (Morselli *et al.*, 2022), valores similares ao encontrado neste trabalho.

Já a fração volátil foi de aproximadamente 17,04% da amostra, indicando um material com características minerais. Isso ocorre porque, na ausência de algas e outros materiais orgânicos no manancial, a fração orgânica do lodo torna-se insignificante, conferindo ao lodo características de estabilidade química, sendo ele composto predominantemente por areias finas, siltes e argilas (Reali, 1999).

A Tabela 2 mostra os resultados referentes a composição elementar química da amostra e solo determinadas por FRX.

Tabela 2 – Composição elementar química das amostras de lodo e solo.

Amostra	Elementos (%)							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	CaO	SO ₃	Outros
Lodo de ETA	52,58	32,04	9,73	1,80	1,54	0,90	0,80	0,62
Solo	72,80	18,16	4,49	2,21	1,17	-	0,76	0,42

Nota: (-) não presente na amostra.

A amostra de lodo analisada é composta predominantemente por óxidos de silício (52,58% SiO₂), seguida de alumínio (32,04% Al₂O₃) e ferro (9,73% Fe₂O₃). Ensaio realizados por Almeida *et al.* (2024), indicaram uma predominância dos óxidos de alumínio, silício e ferro em 43,98%, 24,26% e 19,55%, respectivamente. No estudo de Paixão *et al.* (2008), o lodo de ETA apresentou uma composição maior de óxido de ferro (73,0% Fe₂O₃), além de 12,6% de silício e 8,6% de alumínio. Essas variações quantitativas das amostras de lodo possivelmente estão relacionadas ao tipo de coagulante utilizado na etapa de tratamento de água (Paixão *et al.*, 2008; Zhao *et al.*, 2011).

Em relação a amostra de solo, foi observado a mesma combinação anterior dos elementos de óxidos de silício (72,80%), alumínio (18,16%) e ferro (4,49%). Essa combinação é representativa da composição mineralógica típica de solos de origem basáltica na região do oeste paulista (Fushimi; Nunes, 2012). Nessa região, os solos mais



predominantes são os argissolos e latossolos vermelhos, formados por processos pedogenéticos que ocorreram em rochas areníticas do Grupo Bauru (Silva Junior *et al.*, 2014).

Atributos do complexo sortivo do lodo e solo

A Tabela 3 apresenta os resultados da análise referente ao complexo sortivo das amostras de lodo de ETA e solo, parâmetros essenciais ao considerar a disposição do resíduo no solo.

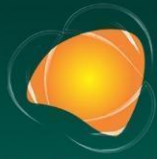
Tabela 3 – Análise química do LETA e solo.

Amostras	Parâmetros									
	pH	M.O	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC _p	V
		g dm ⁻³	mmolcdm ⁻³							%
Lodo de ETA	5,7	30	0	31	2,9	104	4	111	142	111
Solo	4,4	2	6	21	3,5	7	4	15	36	15

pH: potencial hidrogeniônico; MO: matéria orgânica; Al³⁺: alumínio trocável; H+Al: acidez potencial; SB: soma de bases; CTC_p: capacidade de troca catiônica potencial; V: saturação por bases.

As amostras de lodo de ETA indicaram condições de pH menor que pH7, ou seja, ácido. De acordo com Richter (2001), os resíduos de ETA geralmente apresentam pH entre 6 e 8. Em estudos que investigam seu uso no solo, Morselli *et al.* (2022) relatam que os valores de pH variam entre 5,1 e 6,8. Já o solo em estudo é ácido (pH <5) e apresentou deficiência de bases, como cálcio e magnésio e acidez trocável (H+Al), o que pode gerar a liberação de íons na solução do solo (Ronquim, 2010), tornando-o pobre em nutrientes.

A Capacidade de Troca de Catiônica (CTC), que expressa a capacidade de reter e trocar cátions (Hsieh e Raghu, 1997), obtida para o LETA foi de 142 mmol_c.dm⁻³ (ou 109,23 mmol_c.kg⁻¹). De acordo com Roque *et al.* (2021), o valor de CTC encontrado para o lodo de ETA foi de 73,3 mmol_c.kg⁻¹, inferior ao presente trabalho. Os autores destacam que a CTC depende do tipo e quantidade de argila e matéria orgânica no solo, sendo fortemente influenciada pelo pH do meio. Neste estudo, não foi observada a presença de alumínio livre



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

disponível para troca iônica no lodo de ETA, um resultado positivo quando se pretende dispor em áreas degradadas. Segundo Bitencourt *et al.* (2020), a toxicidade do Al é referente a valores de pH abaixo de 5,5 devido a solubilidade dos íons Al^{3+} em meio ácido. Dessa forma, o pH encontrado neste trabalho está dentro do esperado.

A Saturação por Bases (V) é um ótimo indicador das condições gerais de fertilidade do solo (Ronquim, 2010). Ainda segundo o autor, solos com $V\% < 50\%$ são solos distróficos, ou seja, pouco férteis. As amostras de lodo e solo resultaram em valores de saturação por bases de, respectivamente, 78 e 41%. Nesse caso, o lodo de ETA pode ser benéfico para estruturação química do solo em estudo.

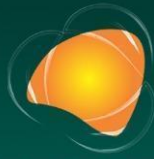
No estudo de Ferreira *et al.* (2017), a baixa produtividade do Capim Tifton 85 pode ser atribuída ao limitado potencial do LETA em melhorar um solo agronomicamente pobre. Isso é evidenciado pelo índice de saturação por bases (V) inferior a 50%, alta acidez potencial (H+Al) e baixa capacidade de troca de cátions efetiva (Ca, Mg, Na, K e Al). Tal condição agrônômica não se mostrou presente no Lodo de ETA em estudo. Por outro lado, no estudo de Oliveira *et al.* (2015), foi observado um aumento na saturação por bases proporcional a dose de lodo de ETA aplicada, indicando que o lodo foi capaz de fornecer cátions bases.

Com o exposto, prevê-se um retorno positivo ao solo com a adição do lodo de ETA em estudo, trazendo melhoria agrônômica e estrutural. Cuidados devem ser observados em relação a manutenção do pH do solo, visando reduzir efeitos de solubilização e lixiviação.

CONCLUSÕES

O lodo de ETA estudado apresentou-se com alto teor de umidade e características minerais como areia, silte e argila. Além disso, a sua composição química indicou a predominância de óxidos de silício, alumínio e ferro (>80%) semelhante ao descrito na literatura.

A análise química geral do lodo e solo resultou em um pH ácido, o que desperta



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

atenção, especialmente quando se pretende aplicar o resíduo, devido ao risco de toxicidade para as plantas. Em relação às demais análises, o lodo mostrou-se passível para aplicação como “condicionante” de solos em áreas degradadas devido a presença propriedades essenciais, já que apresentou altos valores de CTC e V, além da ausência de alumínio trocável no meio.

AGRADECIMENTOS

As autoras gostariam de agradecer a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Pró-Reitoria de Graduação (Prograd) e a Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT-UNESP) pelo apoio recebido. Equipe LAARR. Equipe LCGRS.

REFERÊNCIAS

AHMAD, T.; AHMAD, K.; ALAM, M. Characterization of Water Treatment Plant's Sludge and its Safe Disposal Options. **Procedia Environmental Sciences**, v. 35, p. 950–955, 2016.

ALMEIDA, M. B. G.; DE JESUS, A. M. D.; PEREIRA, A. S.; FIORE, F. A. Evaluating centrifuged water treatment plant sludge as an adsorbent for nutrients, microorganisms, and heavy metals removal from wastewater. **Journal of Cleaner Production**, v. 468, p. 142975, 2024.

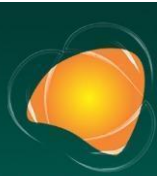
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10664: **Águas – Determinação de resíduos (sólidos)** – Método gravimétrico. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004**: Resíduos sólidos-Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BALKAYA, N.; ERKAN, E. Phosphate removal from wastewater by using water treatment sludge. **Desalination and Water Treatment**, v. 172, p. 61–69, dez. 2019.

BITENCOURT, G.A., SOUZA, G., FRAZÃO, J.J., APOLARI, J.P.A., MONTEIRO, R.T.R. Uso do lodo de ETA no crescimento de feijão guandu e milho. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, n.20, v.1, p.10-16, 2020.

FREIRE BOINA, R.; ESTEVAM, B. R.; FERRAZ FREITAS, R.; RODRIGUES, J. M. M.; BOINA, W. L. de O.; SALES, D. H.; DE SOUZA, A. E.; TEIXEIRA, S. R.; PEREIRA, N. C. Ceramic adsorbent material in removing reactive blue bf 5G dye from synthetic wastewater. **Separation and Purification Technology**, v. 331, 125555, 2024.



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

BRASIL. **Lei Federal nº 12.305**, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 2010.

DAS, S.; BORA, J.; GOSWANI, L.; BHATTACHARYYA, P.; RAUL, P.; KUMARM M.; BHATTACHARYA, S. Vermiremediation of Water Treatment Plant Sludge employing *Metaphire posthuma*: A soil quality and metal solubility prediction approach. **Ecological Engineering**, v. 81, p. 200–206, ago. 2015.

DAZA-MARQUEZ, N.; GUMÁN, A.; AVILA, Y.; ABELLAN-GARCIA, J. Exploring the potential of nitrophosphogypsum and calcined water-treatment plant sludges in mortar mixtures: A study on workability and strength. **Construction and Building Materials**, v. 432, p. 136646, jun. 2024.

FAN, J.; HE, Z.; MA, L.; YANG, Y.; STOFFELLA, P. Impacts of calcium water treatment residue on the soil-water-plant system in citrus production. **Plant and Soil**, v. 374, n. 1–2, p. 993–1004, 28 jan. 2014.

FERREIRA, A. C. S.; SILVA, J. B. G.; PEREIRA, R. O.; OLIVEIRA, A. P. S. 2017. Avaliação do capim Tifton cultivado em latossolo adubado com lodo de ETA. **Revista Internacional de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 07, n. 01, p. 64 – 83.

FUSHIMI, M.; NUNES, J. O. R. Major soil classes from presidente prudente' county: identification and characterization. *B.goiano.geogr. Goiânia*, v. 32, n. 1, p. 45-58, jan./jun. 2012.

GONÇALVES, F.; SOUZA, C.; TAHIRA, F.; FERNANDES, F.; TEIXEIRA, R. Incremento de lodo de ETA em barreiras impermeabilizantes de aterro sanitário. **Revista DAE**, v. 65, n. 205, p. 5–14, 2017.

MORSELLI, L. B. G. A.; CARMO, L. A. G.; QUADRO, M. S.; ANDREAZZA, R. Lodo de estação de tratamento de água: possibilidade de aplicação no solo. **Scientia Plena**, v. 18, n. 5, 2022.

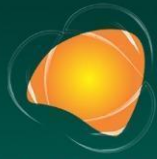
PAIXÃO, L. C. C.; YOSHIMURA, H. N.; ESPINOSA, D. C. R.; TENORIO, J. A. S. Efeito da incorporação de lodo de ETA contendo alto teor de ferro em cerâmica argilosa. **Cerâmica**, v. 54, p. 63-76, 2008.

REALI, M.A.P. (Coord.). Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. **Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB)**. São Carlos/SP. 1999.

RICHTER, C. A. **Tratamento de lodos de estações de tratamento de água**. Editora Blucher, 2001. 102 p.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. – **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. ISSN 1806-3322.

ROQUE, A.; MONTALVAN, E. L. T.; BOSCOV, M. E. G. Caracterização Mineralógica, Química e Geotécnica do Lodo da Estação de Tratamento de Água Taiapuêba. **Geotecnica**, pp.



33-52. 2021.

ROQUE, A.; MONTALVAN, E. L. T.; BOSCOV, M. E. G. Reuse of water treatment plant sludge mixed with lateritic soil in geotechnical works. **Environmental Challenges**, v. 7, p. 100465, abr. 2022.

OLIVEIRA, A. P. O.; SILVA, J. B. G.; PEREIRA, R. O.; SANTOS, A. S. P. Avaliação dos atributos de um latossolo adubado com lodo de estação de tratamento de água. **Revista Internacional de Ciências**, v. 5, n. 2, p. 29-46, 2015.

SILVA JUNIOR, M. R. M.; SÁENZ, C. A. T.; NUNES, J. O. R.; TEIXEIRA, M. F. S. Quantificação de chumbo em solos: um estudo comparativo entre áreas de falha geológica e áreas rurais na cidade de Presidente Prudente/SP. 2014. **Colloquium Exactarum**. ISSN: 2178-8332, 6(3), 54-71.

ZHAO, Y. Q.; BABATUNDE, A. O.; HU, Y. S.; KUMAR, J. L. G; ZHAO, X. H. Pilot field-scale demonstration of a novel alum sludge-based constructed wetland system for enhanced wastewater treatment. **Process Biochemistry**, London, v. 46, p. 278-283, 2011.