



II-575 - ANÁLISE DO POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DE LODO DE ESGOTO COMO FONTE DE RECURSO PARA O SETOR INDUSTRIAL NA PERSPECTIVA DA SIMBIOSE INDUSTRIAL: ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DE VITÓRIA DA CONQUISTA- BA

Leonardo Vincenzo Santos Sarno⁽¹⁾

Estudante de Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal da Bahia. Bolsista PIBIC de iniciação científica da Rede de Tecnologias Limpas da UFBA.

Endereço⁽¹⁾: R. Prof. Aristίδes Novis, 2 - Federação - Salvador - BA: 40210-630 - Brasil - Tel: (71) 981960660 - e-mail: leonardo.sarno@ufba.br

Ana Beatriz Meireles Martins Silva⁽²⁾

Estudante de Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal da Bahia. Bolsista PIBIC de iniciação científica da Rede de Tecnologias Limpas da UFBA.

Endereço⁽²⁾: R. Prof. Aristίδes Novis, 2 - Federação - Salvador - BA: 40210-630 - Brasil - Tel: (71) 992406932 - e-mail: beammartins@hotmail.com

Luana dos Santos Lima⁽³⁾

Estudante de Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal da Bahia. Bolsista PIBIC de iniciação científica da Rede de Tecnologias Limpas da UFBA.

Endereço⁽³⁾: Simões Filho - BA - CEP: 43700-000 - Brasil - Tel: (71) 988206133 e-mail: luanal@ufba.br

Jamile Gonsalves Oliveira dos Santos⁽⁴⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Faculdade de Ciência e Tecnologia (Área 1 DeVry). Mestre em Meio Ambiente, Águas e Saneamento pelo Programa de Mestrado em Meio Ambiente, Águas e Saneamento (MAASA/UFBA). Doutoranda em Engenharia Industrial pelo Programa de Pós - graduação em Engenharia Industrial (PEI) da Universidade Federal da Bahia (UFBA).

Endereço⁽⁴⁾: Salvador - BA - CEP: 40230-330 - Brasil - e-mail: jamile.gonsalves@ufba.br

Francisco Ramon Alves do Nascimento⁽⁵⁾

Engenheiro Ambiental pela Faculdade de Tecnologia e Ciências (FTC). Doutor e mestre em Engenharia Industrial pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Professor Adjunto no Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da UFBA.

Endereço⁽⁵⁾: Salvador - BA - CEP: 40210-630 - Brasil - e-mail: francisco.ramon@ufba.br

RESUMO

Este trabalho investiga a viabilidade do aproveitamento do lodo de esgoto (LE) no setor industrial, especialmente na construção civil, utilizando o lodo obtido ao final dos processos físico-químicos da Estação de Tratamento de Esgoto no município de Vitória da Conquista - Bahia (ETE - VCA). Na literatura, o LE e as cinzas de lodo de esgoto (CLE) são amplamente estudados como materiais alternativos para substituir parcialmente a argila na produção de artefatos cerâmicos, bem como para substituir parte do cimento na produção de artefatos cimentícios e argamassas. As semelhanças mineralógicas entre o lodo de esgoto e a argila, e entre as cinzas de lodo e o cimento possibilitam o aproveitamento do LE, trazendo benefícios para a indústria de materiais da construção civil e o setor de saneamento. Dados da literatura mostram que a incorporação de até 25% de LE na massa do tijolo e 10% de cinzas de lodo de esgoto (CLE) na massa do cimento não altera significativamente suas características compressivas, além de manter os metais pesados inertes na estrutura. Considerando a produção anual de LE pela ETE - VCA, seria possível produzir 3.422.400 tijolos cerâmicos e 64.170 sacos de cimento mais sustentáveis. Isso evidencia a viabilidade da criação de sinergias entre o setor de saneamento e a indústria, promovendo a simbiose industrial em Vitória da Conquista. A implementação dessa prática não só reduziria a dependência de recursos naturais finitos, como argila e



cimento, mas também contribuiria significativamente para a economia local, mitigando impactos ambientais e fortalecendo a sustentabilidade econômica da região.

PALAVRAS-CHAVE: Recuperação de recurso; Lodo de esgoto; Simbiose industrial; Sinergias; Indústria da construção civil.

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional, combinado com o desenvolvimento econômico, resulta no aumento da produção de esgoto doméstico, tornando imperativa a implementação de soluções adequadas para o tratamento e destinação. As Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) desempenham um papel fundamental na remoção de poluentes para minimização de impactos ambientais, e possui potencial de recuperação de recursos, ao destinar os subprodutos, como biogás, efluente tratado, lodo e biossólidos.

Dentre os subprodutos gerados nas ETEs, oriundos dos processos físicos, químicos ou biológicos de tratamento, o Lodo de Esgoto (LE) é o resíduo sólido mais representativo (Brasil, 2020). O LE é constituído por microrganismos patogênicos, matéria orgânica, nutrientes, metais pesados e substâncias emergentes (fármacos e hormônios), com variação dos teores relacionada às características socioeconômicas locais (Von Sperling; Gonçalves, 2007; Zat et al., 2023).

Com a crescente busca por uma produção mais sustentável, bem como o aumento da procura por materiais de construção, a utilização de resíduos vem sendo uma alternativa estudada para suprir esta demanda. As cinzas de incineração de biomassa, escórias de alto-forno, LE, CLE e resíduos de vidro ou materiais de demolição de edifícios vêm sendo estudados como um potencial substituidor de matérias-primas na construção civil (Smol et al., 2015; Supino et al., 2016).

No contexto da Simbiose Industrial, que é associação de sistemas produtivos diversos visando benefícios mútuos com trocas físicas de água, materiais e energia e compartilhamento de serviços (Chertow, 2008), a destinação do LE pode ocorrer entre setores como saneamento, agrícola, industrial e energético. Em relação às sinergias entre os setores saneamento e industrial, as principais aplicações do LE são a substituição parcial de matérias-primas na produção de cerâmica, cimento, bloco de concreto e agregados leves (Chang et al., 2020; Chen et al., 2013; Kosior-Kazberuk, 2010; Chiou et al., 2006).

Devido ao processo de tratamento físico-químico do esgoto, o LE tende a acumular metais pesados existentes do efluente tratado. O zinco (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni), cádmio (Cd), chumbo (Pb), mercúrio (Hg) e cromo (Cr) são os principais metais pesados que restringem o uso do LE (Fytily; Zabaniotou, 2008), tornando a destinação para a substituição parcial de argila e cimento uma alternativa para o controle desses metais.

O uso de LE em materiais de construção elimina algumas das etapas caras e que consomem muita energia em seu descarte, juntamente com a transformação de resíduos nocivos ao meio ambiente em um produto seguro e estável (Świerczek; Michał Cieslik; Konieczka, 2018).

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia da pesquisa foi realizada em três etapas: I - Caracterização da área de estudo; II - Análise dos usos industriais do LE na produção de cerâmica e artefatos de cimento; e III - Análise de possibilidades de sinergias entre os setores de saneamento e industrial.

Na etapa I, a ETE da Embasa de Vitória da Conquista - BA (ETE - VCA) foi caracterizada a fim de obter uma análise técnica dos processos de tratamento de água e geração de LE.

A ETE - VCA atende 256.451 habitantes e é composta por digestores anaeróbios tipo UASB e sistemas de lodo ativados. Sua operação conta com uma vazão média de 331,83 L.s⁻¹. Para a fase sólida, são utilizados dois adensadores e uma centrífuga (EMBASA, 2021). No processo de tratamento, é gerado um total de 5.860 kgSS.dia⁻¹ (EMBASA, 2021).

Na etapa II, realizou-se a revisão narrativa da literatura com a finalidade de analisar e caracterizar o LE, em relação à composição mineralógica e o uso industrial na produção de artefatos cerâmicos e cimentícios. Para isto, strings elaboradas foram utilizadas na plataforma Web of Science, que foi selecionada por abranger importantes periódicos científicos na área de estudo. As palavras-chave utilizadas foram: “Sewage Sludge” or “Biossolids” and cement; “Sewage Sludge” or “Biossolids” and clay; “Sewage Sludge” or “Biossolids” and brick production; e “Sewage Sludge” or “Biossolids” and ceramics.

A análise da resistência dos materiais produzidos com cimento e com incorporação de Cinzas de Lodo de Esgoto (CLE) foi realizada a partir da ABNT NBR 12653:2014, na qual foi estabelecidos os requisitos para



materiais pozolânicos, com resistência à compressão mínima de 6 Mpa. Para a resistência de blocos cerâmicos, foi utilizada a ABNT NBR 15270-1:2005, no qual as resistências mínimas para blocos com furos na horizontal e blocos com furos na vertical são 1,5 Mpa e 3,5 Mpa, respectivamente.

No cálculo da incorporação de LE na produção de cimento, foi considerada a substituição de 10% da quantidade de cimento por CLE (Chen et al., 2013). A taxa de produção de CLE foi obtida considerando 85% de redução da massa de LE no processo de incineração (Fontes et al., 2016). A estimativa do potencial de produção de sacos de cimento com incorporação de CLE foi realizada a partir da Equação (1).

$$Q_{sc} = M_{le} \times (1 - Trinc) / M_{sc} \times T_{ssc} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde: Q_{sc} = Quantidade de Sacos de Cimentos Produzidos (un.); M_{le} = Massa de Lodo de Esgoto Produzida (kg); $Trinc$ = Taxa de Redução da M_{le} no Processo de Incineração (%); M_{sc} = Massa de Cimento por Saco (kg); e T_{ssc} = Taxa de Substituição de Cimento por LE (%).

Para a substituição da argila por LE na fabricação de artefatos cerâmicos, foi considerada a taxa média de 25% (Liew et al., 2004; Vaithiyasubramanian et al., 2022). Considerando o peso de 2,5 kg por tijolo (Silva et al., 2017), a quantidade total de tijolos de cerâmicas produzida com LE foi calculada a partir da Equação (2).

$$Q_{tij} = LE_{prod} / T_{sal} \times P_{tij} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde: Q_{tij} = Quantidade de Tijolo (un); LE_{prod} = Lodo de Esgoto produzido (kg); T_{sal} = Taxa de Substituição de Argila por LE (%); P_{tij} = Peso do Tijolo.

A análise de impacto ambiental relacionada às emissões de gases de efeito estufa (GEEs), utilizou dados da literatura e do Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção (SIDAC) referente a quantidade de CO_2eq emitido em cada processo.

Na etapa III foi realizada a análise de oportunidades de sinergias entre os setores de saneamento e industrial na cidade de Vitória da Conquista/BA, com a prospecção de empreendimentos na região a partir das bases de dados de instituições locais e regionais, como AINVIC e FIEB, respectivamente. Os empreendimentos foram identificados e classificados a partir dos códigos de atividades econômicas inscritos sob os CNAEs 2330-3/02, 2342-7/02 e 2349-4/99, conforme indicado pelo IBGE.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Composição Mineralógica

Com base na revisão da literatura, foram observadas semelhanças das composições mineralógicas das CLE e do cimento. A presença de óxidos indica que as CLE podem ser incorporadas no cimento sem prejudicar as características compressivas do material (Chang et al., 2020).

Os teores de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, K₂O, TiO₂, MnO e Na₂O determinados nas CLE chegam a representar até 3 vezes os teores determinados em amostras de cimento, enquanto que o teor de CaO representa menos que 50%. Os elementos Fe₂O₃, K₂O e MnO presentes no LE possuem teores de até 6 vezes mais que na argila, enquanto os teores SiO₂, Al₂O₃, MgO e TiO₂ são semelhantes (Tabela 1).

Tabela 1. Composição mineralógica do cimento, cinzas de lodo, argila e lodo de esgoto Materiais

| Materiais | Cimento (%) ^{1,2} | CLE (%) ^{3,4} | Argila (%) ^{5,6} | LE (%) ^{1,7} |
|--------------------------------|----------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------|
| CaO | 20,1 - 64,2 | 7,88 – 20,6 | 0,3 | 0,31 – 19,23 |
| SiO ₂ | 22,01 | 34,2 – 43,64 | 61 -63,7 | 16,18 – 53,36 |
| Al ₂ O ₃ | 4,91- 5,25 | 12,6 – 16,85 | 22 – 25,51 | 8,46 – 15,28 |
| MgO | 4,91 – 5,25 | 0,53 – 1,42 | 0,3 | 0,31 – 1,37 |
| Fe ₂ O ₃ | 3,35 – 5,43 | 3,35 – 5,43 | 3,6 | 2,78 – 21,01 |
| SO ₃ | 2,17 – 4,74 | 2,17 – 4,74 | - | 1,94 – 4,91 |
| K ₂ O | 0,45 | 0,45 | 0,9 | 0,27 – 5,41 |
| TiO ₂ | 0,16 – 0,35 | 0,16 – 0,35 | 0,98 – 1,6 | 0,43 – 1,38 |
| MnO | 0,04 | 0,04 | 0,41 | 0,05 – 0,73 |
| ZrO ₂ | - | - | 0,19 | - |
| Na ₂ O | 0,31 | 0,31 | - | 0,04 – 0,31 |
| P ₂ O ₅ | - | - | - | 0,83 |

Fonte: ¹Vaithiyasubramanian *et al.* (2022); ²Rusãnescu *et al.* (2022); ³Cyr *et al.* (2007); ⁴Basto *et al.* (2018); ⁵Correia *et al.* (2005); ⁶Silva *et al.* (2015); ⁷Liew *et al.* (2023)

A presença de metais pesados no LE também foi levado em consideração, Jordán et al. (2005) identificaram pequenas concentrações de V, Cr, Co, Ni, Cu e Zn. Nas CLE, é esperado que metais como Hg, Cd, Sb, As e Pb sejam volatilizados no processo de combustão, entretanto, estudos como o de Van de Velden et al. (2008) mostram que 20% de Hg, 93% de As e quase 100% de Cd e Pb foram retidos nas amostras de CLE após um ano de estudo.

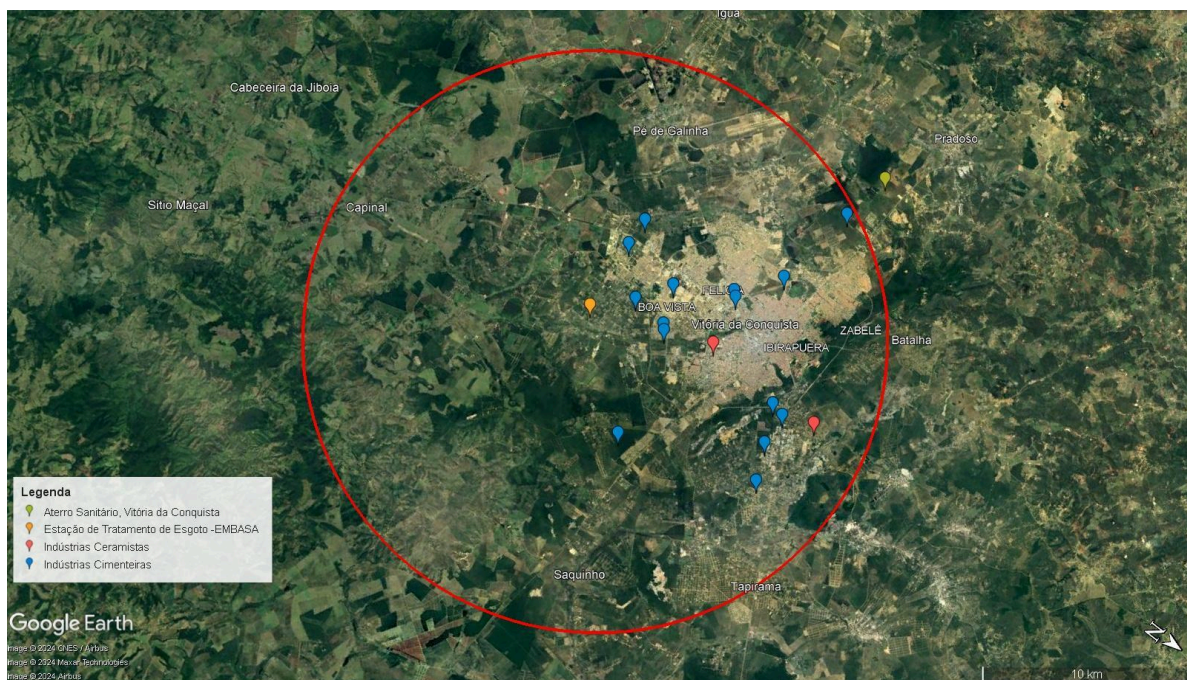
De acordo com a produção diária de LE a estimativa de produção anual de lodo na ETE - VCA é de 2.139 toneladas. Considerando a taxa de substituição parcial da argila por LE igual a 25%, seria possível produzir 3.422.400 tijolos cerâmicos mais sustentáveis. Em relação ao cimento, a produção de LE da ETE - VCA de Vitória da Conquista seria capaz de produzir aproximadamente 320 toneladas de CLE após a incineração. Considerando que um saco de cimento contém 50 kg e que a taxa de substituição assumida foi de 10% por CLE, o quantitativo de LE gerado na ETE - VCA contribuiria para a produção de 64.170 sacos de cimento mais sustentáveis.

4.2 Empreendimentos com potencial de aproveitamento de lodo de esgoto

A partir do levantamento realizado na base de dados da AINVIC e da FIEB, 444 empreendimentos foram localizados na região de Vitória da Conquista (BA). Destes, apenas 17 possuem potencial de aproveitamento de lodo de esgoto, com incorporação nos processos produtivos, sendo 15 do ramo de fabricação de artefatos de cimento e concreto (2330-3/02), 1 fabricação de artefatos de cerâmica e barro cozido para uso na construção (2342-7/02), e 1 fabricação de produtos cerâmicos não-refratários (2349-4/99).

As indústrias estão distribuídas em um raio de 13 km da ETE - VCA, representando distância consideravelmente menor em comparação entre o aterro sanitário e a ETE - VCA (Figura 1).

Figura 1: Localização das indústrias da construção civil e da ETE em Vitória da Conquista/BA



Fonte: Autoria Própria, 2024.

A avaliação dos aspectos técnicos observados nos estudos indicaram que, LE e CLE conferem resistência aos materiais devido ao preenchimento microscópico de vazios das estruturas e da atividade pozolânica inerente ao material (Alam et al., 2023). De acordo com Liew et al. (2004), a incorporação de lodo em proporções de



até 20% em peso, não gera alterações significativas nas características funcionais dos tijolos cerâmicos. Em ensaios realizados por Vaithiyasubramanian et al. (2022), tijolos produzidos a partir da incorporação de 30% de LE na massa de argila, alcançaram resistência a compressão máxima de 14,5 MPa, atendendo aos valores mínimos de 1,5 para furos horizontais e 3,5 para furos verticais estabelecidos pela ABNT NBR 15270-1:2005. Os metais pesados presentes no LE, embora tóxicos e perigosos, são estabilizados na cerâmica após a queima no processo e não são lixiviados (Areias et al., 2020; Jordán et al., 2005).

A produção de cimento com CLE sinterizadas a 600°C e moldadas em corpos de prova com argamassas, exibiram resistência à compressão de 7,5 MPa, valor superior ao mínimo exigido pela ABNT NBR 12653:2014 de 6,0 MPa (Basto et al., 2018). As CLE também foram analisadas na incorporação do cimento para utilização em argamassas. Estudos em que foram incorporados 10% de CLE na produção de cimento relataram que apesar de ocorrer a redução da propriedade compressiva em cerca de 25%, os resultados da aplicação de CLE no cimento foram satisfatórios (Chen et al., 2013). No estudo realizado por Naamane et al. (2022), observou-se que a argamassa apresentou uma diminuição na resistência à compressão nos primeiros 7 dias de cura. Este resultado pode ser explicado pela presença de matéria orgânica e água absorvida no LE incinerado na faixa de 300 a 600 °C, que prejudica o tempo de cura da argamassa (Naamane; Rais; Taleb, 2016). Entretanto, houve um aumento significativo aos 90 dias, em comparação com a argamassa de cimento convencional, alcançando um valor de 45,12 MPa. É importante destacar que as características do LE utilizado influenciam diretamente as taxas de inserção do material no processo de fabricação dos produtos.

Quanto ao impacto ambiental associado às emissões de GEEs, o LE disposto em aterros sanitários emite o equivalente a 1,56 kg CO₂eq·kg⁻¹ de LE (Chen; Kuo, 2016). Assim, o LE produzido na ETE - VCA emitiria o equivalente a 3.336 t de CO₂ eq·ano⁻¹ sendo enviado para disposição. Já a incineração de LE emite 0,108 kg CO₂eq·kg⁻¹. Partindo do pressuposto que o LE incinerado transformado em CLE seja destinado para a produção de cimento portland CP II - F, que emite cerca de 0,87 kg CO₂eq·kg⁻¹ no processo de fabricação (SIDAC, 2022), a incorporação das CLE evitaria 3.384 t de CO₂eq·ano⁻¹. Em relação à argila, a extração emite em média 0,0073 kg CO₂eq·kg⁻¹ (SIDAC, 2022), substituindo a argila pelo o LE na produção de artefatos cerâmicos, seriam evitados 3.352 t de CO₂·ano⁻¹.

CONCLUSÕES

As sinergias entre o setor saneamento e da indústria da construção civil a partir da incorporação de LE e CLE na produção de cimento e artefatos cerâmicos, é uma estratégia de gestão de resíduos que pode resultar em benefícios mútuos para os setores. A avaliação do potencial do aproveitamento industrial do LE em substituição a matérias-primas convencionais, mostra-se uma alternativa viável e mais sustentável para os processos promovendo a redução de custos de produção, conservação de recursos naturais e a estabilização de metais pesados a partir da prática da simbiose industrial. Contudo, a atenção aos padrões de produção com a realização de ensaios sistemáticos a cada lote produzido, atentando-se às exigências das normas são imperativos para garantir a qualidade e a integração efetiva dessa prática na indústria, alinhando eficiência técnica e ambiental ao processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALAM, M.; ALANAZI, M.; ALTHOEY, F.; FAROUK DEIFALLA, A; AHMAD, J. Mechanical performance of concrete made with sewage sludge ash: A review (Part I). *Science and engineering of composite materials*, v. 30, n. 1, 2023.
2. ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M; FERNANDES, F. Lodo de Esgotos: tratamento e disposição final, Belo Horizonte: UFMG, 2º ed., v.. 6, 2014.
3. AREIAS, I. O. R. et al. Could city sewage sludge be directly used into clay bricks for building construction? A comprehensive case study from Brazil. *Journal of Building Engineering*, v. 31, p. 101374, Sep. 2020.



4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12653:1992: Materiais pozolânicos. Rio de Janeiro, 1992.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270-1:2005: Componentes cerâmicos - Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação — Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.
6. BASTO, P.; MELO NETO, A.; REGIS, P. A. Caracterização e determinação da pozolanicidade de cinzas de lodo de tratamento de esgoto. 3º Congresso Luso - Brasileiro Materiais de Construção Sustentáveis. Coimbra, 10 p. 14 fev. 2018.
7. CANGUSSU, N.; VASCONCELOS, L.; MAIA, L. Environmental benefits of using sewage sludge in the production of ceramic bricks. **Environmental science and pollution research international**, v. 30, n. 10, p. 25344–25355, 2022.
8. CORREIA, S.L.; BLOOT, M.V.; FOLGUERAS, M.V.; HOTZA, D. Caracterização físico-química de argilas da região norte de Santa Catarina. **U.S. Department of Energy Office of Scientific and Technical Information**, 2009.
9. CERQUEIRA, P. L. W.; AISSE, M. M. Custos de processamento de lodo em Estações de Tratamento de Esgoto com reatores anaeróbios de manto de lodo e pós-tratamento aeróbio: subsídios para Estudos de Concepção. **Cadernos técnicos Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 2, p. 251-262, 2021.
10. CHAMHUM-SILVA, L. A; FARIA, B. R.; LOPES, W. F. A. Avaliação econômica do potencial de uso do lodo de esgoto em solos após higienização via estabilização alcalina. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, v. 11, n. 3, p. 822-843, 2022.
11. CHANG, Z.; LONG, G.; ZHOU, J. L.; MA, CONG. Valorization of sewage sludge in the fabrication of construction and building materials: A review. **Resources, conservation, and recycling**, v. 154, n. 104606, 2020.
12. CHEN, M.; BLANC, D.; GAUTIER, M.; MEHU, J.; GOURDON, R. Environmental and technical assessments of the potential utilization of sewage sludge ashes (SSAs) as secondary raw materials in construction. **Waste management (New York, N.Y.)**, v. 33, n. 5, p. 1268–1275, 2013.
13. CHIANG, K.-Y.; CHOU P.-H.; HUA, C.-H.; CHIEN K.-L.; CHEESEMAN. C. Lightweight bricks manufactured from water treatment sludge and rice husks. *Journal of hazardous materials*, v. 171, n. 1–3, p. 76–82, 2009.
14. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 498. Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2020.
15. DA SILVA, D.H.; SILVA, J.F.T.; ALMEIDA, S.; DE LIMA, S.F. Tijolos, normas técnicas e aplicação em alvenaria. v. 4, n. 2, p. 207-216, 2017.



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO
DE ENGENHARIA SANITÁRIA
E AMBIENTAL



16. FONTES, C. M. A.; TOLEDO FILHO, R. D.; BARBOSA, M. C. Cinza de lodo de esgoto (CLE) em concretos de alto desempenho: caracterização e aplicação. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**. Bahia, v. 9, p. 989-1006, 2016.
17. FYTILI, D.; ZABANIOTOU, A. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 12, n. 1, p. 116–140, Jan. 2008.
18. JORDÁN, M. M. et al. Application of sewage sludge in the manufacturing of ceramic tile bodies. **Applied clay science**, v. 30, n. 3–4, p. 219–224, Nov. 2005.
19. KOSIOR-KAZBERUK, M. Application of SSA as partial replacement of aggregate in concrete. **Polish journal of environmental studies**, v. 20, n. 2, p. 365–370, 2010.
20. LIEW, A. G. et al. Incorporation of sewage sludge in clay brick and its characterization. **Waste management & research: the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association**, ISWA, v. 22, n. 4, p. 226–233, 2004.
21. LINS, T. C.; LIMA, A. S. T. Lodo de Esgoto como alternativa de fertilização agrícola para o município de Igaci - AL. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, 2022.
22. LUDUVICE, M.; FERNANDES, F. Principais tipos de transformação e descarte do lodo. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M. & F. FERNANDES (Ed.). Lodo de esgotos: Tratamento e disposição final. Belo Horizonte: DESA/UFMG, v. 6, p. 399-423, 2001.
23. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. Sidac - Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção. Versão 1.0.0. São Paulo: MME; CBCS, 2022.
24. NAAMANE, S. et al. Leachability of cement mortars containing sewage sludge ash. **Materials Today: Proceedings**, v. 58, p. 1098–1103, 2022.
25. RUSĂNESCU, C. O.; VOICU, G.; PARASCHIV, G.; BEGEA, M.; PURDEA, L.; PETRE, I. C.; STOIAN, E. V. Recovery of Sewage Sludge in the Cement Industry. **Energies**, v. 15, n. 7, p. 2664, 2022.
26. SILVA, C. R. L.; CHINELATTO, A. L.; CHINELATTO, A. S. A. Viabilidade da incorporação do lodo de estação de tratamento de esgoto (ETE) em massa cerâmica para produção de blocos. **Cerâmica**, v. 61, n. 357, p. 31–40, 2015.
27. SMOL, M. et al. The possible use of sewage sludge ash (SSA) in the construction industry as a way towards a circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 95, p. 45–54, May 2015.
28. SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. Disponível em: <http://snic.org.br/numeros-industria.php>. Acesso em: 19 nov 2024.
29. ŚWIERCZEK, L.; CIEŚLIK, B. M.; KONIECZKA, P. The potential of raw sewage sludge in construction industry – A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 200, p. 342–356, Nov. 2018.



30. VAITHIYASUBRAMANIAN, R; SRINIVASAN, D.KANAGARAJAN, A. K. Study on preparation of brick blocks by using construction waste and sludge. **Environmental science and pollution research international**, v. 29, n. 48, p. 72528–72544, 2022.
31. VAN DE VELDEN, M. et al. The distribution of heavy metals during fluidized bed combustion of sludge (FBSC). **Journal of hazardous materials**, v. 151, n. 1, p. 96–102, 28 Feb. 2008.
32. VON SPERLING, M.; GONÇALVES, R.F. Sludge characteristics and production. In.: ANDREOLI, C., VON SPERLING, M; FERNANDES, F. (Eds.) **Sludge Treatment and Disposal** , London: IWA Publishing, p. 4-30, 2007.
33. ZAT, T.; BANDIEIRA, M.; SATTLER, N.; SEGADÃES, A. M.; CRUZ, 'Ç.: MOHAMAD, G . Potential re-use of sewage sludge as a raw material in the production of eco-friendly bricks. **Journal of environmental management**, v. 297, n. 113238, p. 113238, 2021.