

II-576 - ANÁLISE DO POTENCIAL DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO LODO DE ESGOTO PRODUZIDO NO MUNICÍPIO DE VITÓRIA DA CONQUISTA-BAHIA

Luana dos Santos Lima⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Escola Politécnica da UFBA. Bolsista de iniciação científica PIBIC na Rede de Tecnologias Limpas da UFBA (TECLIM).

Endereço⁽¹⁾: R. Prof. Aristides Novis, 2 - Federação - Salvador - BA: 40210-630 - Brasil - e-mail: luanal@ufba.br

Leonardo Vincenzo Santos Sarno⁽²⁾

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Escola Politécnica da UFBA. Bolsista de iniciação científica PIBIC na Rede de Tecnologias Limpas da UFBA (TECLIM).

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

Jamile Gonsalves Oliveira dos Santos⁽³⁾

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⁽³⁾: R. Prof. Aristides Novis, 2 - Federação - Salvador - BA: 40210-630 - Brasil - e-mail: jamile.gonsalves@ufba.br

Eduardo Henrique Borges Cohim Silva⁽⁴⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Mestre em Tecnologias Limpas pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Doutor em Energia e Meio Ambiente pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Professor Titular da Universidade de Feira de Santana (UEFS).

Endereço⁽⁴⁾: Novo Horizonte, s/n - Feira de Santana - BA - CEP: 44036-900 - Brasil - e-mail: edcohim@gmail.com

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⁾: R. Prof. Aristides Novis, 2 - Federação - Salvador - BA: 40210-630 - Brasil - e-mail: francisco.ramon@ufba.br

RESUMO

O artigo em questão aborda a avaliação do potencial energético do lodo de esgoto gerado na Estação de Tratamento de Esgoto de Vitória da Conquista - BA (ETE-VCA). O objetivo principal é sugerir uma solução eficiente e ecológica para o manejo do lodo de esgoto. A análise bibliográfica realizada indica que o lodo de esgoto possui poder calorífico comparável a outras biomassas, o que o torna uma alternativa viável para substituir combustíveis sólidos convencionais. No estudo de caso, foram calculados o Poder Calorífico Superior (PCS) e o Poder Calorífico Inferior (PCI) do lodo de esgoto. Os resultados obtidos mostraram que o PCS foi de 10,14 MJ.kg⁻¹ e o PCI foi de 9,17 MJ.kg⁻¹. Esses valores indicam um bom aproveitamento energético dessa biomassa, especialmente quando comparados ao poder calorífico do bagaço de cana, que é de 14,6 MJ.kg⁻¹. Além disso, foi investigada a viabilidade do lodo como matéria-prima para a produção de combustíveis sólidos alternativos, como pellets e briquetes, destinados a fins industriais em substituição à lenha e ao carvão. Os resultados mostraram que os combustíveis preparados a partir do lodo de esgoto oferecem um poder calorífico significativo, além de melhorias na dureza e resistência dos materiais



produzidos. Esse estudo destaca o potencial do lodo de esgoto como uma fonte renovável de energia, promovendo a sustentabilidade e eficiência no uso de recursos ao transformar um subproduto de tratamento de esgoto em um valioso recurso energético.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de Esgoto, Recuperação Energética, Pellets, Briquetes, Biomassa.

INTRODUÇÃO

As estações de tratamento de esgoto (ETE) são construídas com a finalidade de adequar a qualidade dos efluentes, ou seja, remover os poluentes para lançamento em corpos hídricos, com o propósito de promoção da saúde pública e preservação da qualidade ambiental (Taschelmayer; Billota, 2018). O processo de tratamento de esgoto resulta em vários subprodutos, dentre esses, destaca-se o lodo de esgoto (LE), resíduo semissólido que, antes do processo de desidratação, é composto de 99,9% água e 0,1% sólidos, sendo que o total de sólidos é constituído de vários grupos funcionais, principalmente orgânicos (70%), como lipídios (10%), carboidratos (25 a 50%) e proteínas (40 a 60%), além de conter compostos inorgânicos (30%) como areia, sais e metais pesados, e organismos patogênicos (Moura, 2020).

O LE é um subproduto com propriedades poluentes, tanto em termos de patógenos quanto de nutrientes inadequados, por isso o processo de gestão é complexo e de alto custo e representa entre 20% e 60% dos custos operacionais totais da ETE (Andreoli; Von Sperling; Fernandes, 2014; Pedroza *et al.*, 2010). Os métodos convencionais de gerenciamento do lodo são a disposição final em aterros sanitários, incineração, aplicação em solo para produção agrícola, recuperação de áreas degradadas, reflorestamento, produção de pellets, briquetes e materiais da construção civil (Cieślík; Konieczka, 2015; Rutkowska *et al.*, 2018; Lopes *et al.*, 2022).

A disposição final do LE em aterros sanitários é o método mais empregado atualmente, porém tem se tornado econômica e ambientalmente inviável (Amaral; Aisse; Possetti, 2019). No Brasil, a preocupação com a destinação correta do LE é recente, e a prática de disposição final em aterros sanitários intensifica o problema dos resíduos urbanos (Godoy, 2013). O artigo 9º da lei 12.305/2010, que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) no Brasil, define uma hierarquia para a gestão de resíduos que prioriza a não geração, seguida pela redução, reutilização e reciclagem dos resíduos sólidos. Somente os rejeitos, que não podem ser reaproveitados ou reciclados, devem ser destinados aos aterros sanitários. Além disso, a Política Nacional de Resíduos Sólidos incentiva o desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial, para aprimorar os processos produtivos e reaproveitar os resíduos sólidos, isso inclui tecnologias para recuperação e o aproveitamento energético (Brasil, 2010).

Na União Europeia foi adotada uma série de medidas para reduzir ou proibir o descarte do LE em aterros sanitários devido aos seus impactos ambientais e econômicos. Inicialmente, a Diretiva 75/442/CEE e a Diretiva 91/156/CEE estabeleceram que a disposição em aterros deveria ser a última opção para a gestão do LE. Posteriormente, a Diretiva 99/31/CE restringiu o uso de LE na agricultura, proibiu a destinação final em aterros e tornou urgente a busca por métodos ecológicos e seguros para destinação desse resíduo (Magrinho; Didelet; Semião, 2006; Werle; Wilk, 2010; Fontes *et al.*, 2012; Durdević; Blečić; Juric, 2019).

Em resposta a esse desafio, são estudadas soluções que envolvem a estabilização segura e a reintegração do LE como um recurso renovável de valor agregado com aplicações em setores diversos produtivos. Entre essas soluções, destacam-se os processos de recuperação energética como digestão anaeróbia, incineração, combustão direta, co-combustão, pirólise e gaseificação, que são alternativas viáveis que podem ser utilizadas para a conversão de LE em energia útil (van Haandel, 2009; Spinosa *et al.*, 2011; Kokalj; Beno; Samec, 2017; Zhang *et al.*, 2023).

Além do problema da destinação adequada do LE, existe a necessidade de encontrar novas fontes de energia, devido à redução das reservas de recursos não renováveis causada principalmente pelo aumento do consumo de combustíveis fósseis. Diante da busca por opções eficientes e sustentáveis para a produção e distribuição de energia, o aproveitamento do potencial energético do LE surge como alternativa de energia renovável (Silva, 2011).

Os constituintes do LE, como carbono (C) e hidrogênio (H), possuem características que possibilitam o aproveitamento térmico a partir da recuperação de biomassa devido ao elevado poder calorífico associado (Rosa; Chernicharo; Melo, 2015; Peltola *et al.*, 2023). A demanda de combustíveis sólidos, como fonte de

energia térmica por exemplo, em caldeiras, fornos industriais, centrais elétricas a carvão e fornos de cimento, tem intensificado o interesse do uso de biomassa em substituição a combustíveis fósseis (Mills *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2015). Assim, pellets e briquetes a partir do LE seco podem ser usados como matérias-primas ou fonte de combustível adicional e ser uma estratégia para diminuir a dependência de recursos energéticos, como lenha e carvão vegetal (Duangjai boon; Kitiwan; Kaewpengkrow, 2021; Olugbade; Oji; Mohammed, 2019).

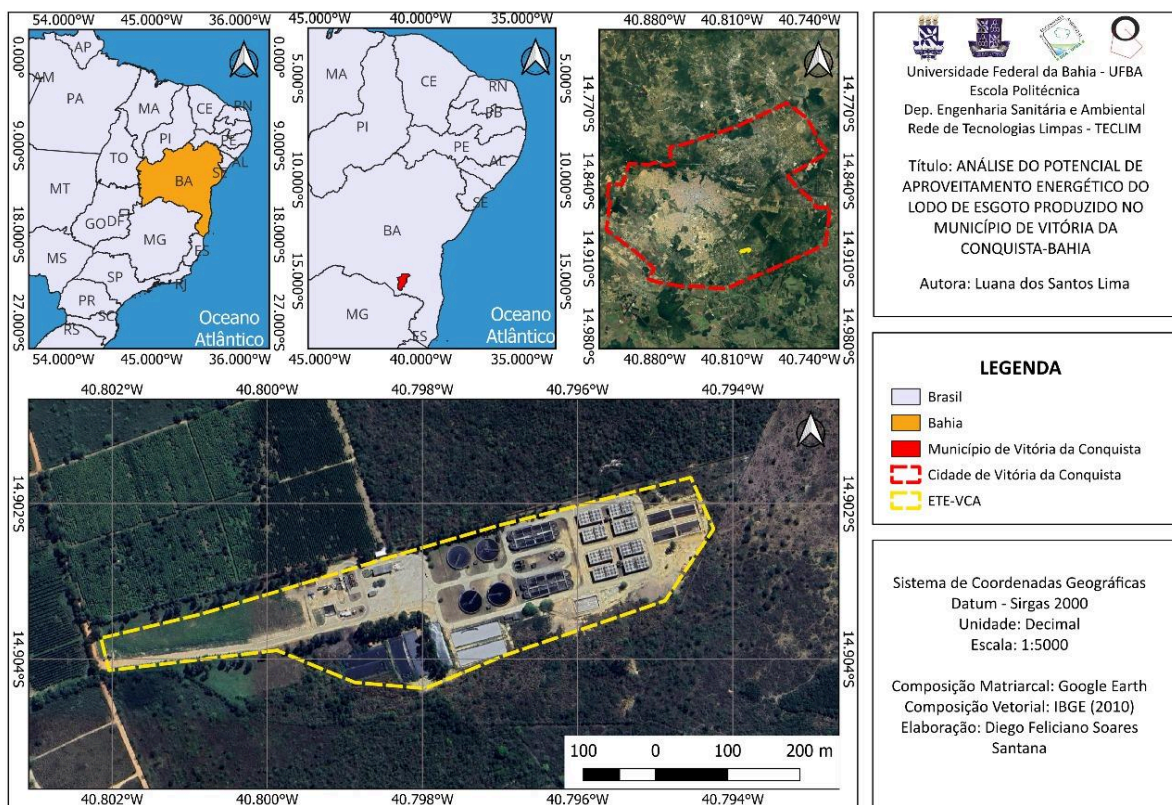
METODOLOGIA

Este trabalho adota uma metodologia de estudo de caso estruturado nas seguintes etapas:

1. Caracterização da Área de Estudo

A estação de tratamento de esgotos domésticos de Vitória da Conquista (ETE-VCA) é localizada no município de Vitória da Conquista-Bahia, gerenciada pela Empresa Baiana de Água e Saneamento (EMBASA) opera com vazão média de $331,83 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$, e atende 256.451 habitantes. O sistema é composto por gradeamento e caixa de areia (tratamento preliminar), sistema híbrido de digestores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB) e lodos ativados, com decantadores, tanque de aeração e de desinfecção final. Para a etapa de desidratação do lodo gerado, são utilizados sistemas de adensadores, centrífugas e geotêxteis (bags). A geração de LE na ETE-VCA é de 5.860 kgSS/d , ou $5,86 \text{ m}^3/\text{dia}$. (EMBASA, 2021).

Figura 1 - Mapa da localização da ETE-VCA, Vitória da Conquista-BA.



Fonte: EMBASA (2021); GOOGLE EARTH (2024).

2. Caracterização dos parâmetros energéticos

Para caracterização dos parâmetros energéticos do lodo de esgoto da ETE-VCA, dados de análise do lodo foram obtidos por meio de documentos disponibilizados pela EMBASA (2021). Nos documentos analisados, foi identificado o teor de carbono (C), porém as análises do teor de hidrogênio (H) não foram realizadas. Devido a falta de dados, foi feita uma revisão da literatura sobre valores médios de H para os cálculos de poder



calorífico. Além disso, um levantamento bibliográfico acerca da composição e características do LE para fins energéticos, como teor de umidade, sólidos voláteis, teor de carbono fixo, cinzas foi realizado. A busca englobou artigos de periódicos indexados obtidos nas bases de dados “Web of Science Clarivate Analytics” e Scielo. No processo foram utilizadas combinação de palavras-chave associadas a temática da pesquisa, que resultou nas strings (“sewage sludge” AND “potential power generation”), (“sewage sludge” AND “energy recovery”), (“sewage sludge” AND “fuel”) e (“sewage sludge” AND “pellets”). Após a leitura dos títulos e resumos, os trabalhos alinhados com os temas caracterização, destinação e aproveitamento energético do LE foram selecionados.

3. Análise do potencial energético do lodo de esgoto

Considerando o teor de C na amostra do lodo da ETE-VCA igual a 11,7% (EMBASA, 2021), teor de H de 4,32% (Borges et al., 2009), valores de poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI) para o H de 141,5 e 119,81 MJ.kg⁻¹, respectivamente e PCS para o C estabelecido em 34,03 MJ.kg⁻¹, os PCS e PCI foram calculados, conforme as equações 1 e 2 (Rose; Cooper, 1977; Lee; Santos, 2011). A partir desses dados, foi realizada a análise do potencial de substituição de recursos energéticos por lodo de esgoto com a determinação da quantidade de energia disponível no lodo seco (Equação 3).

$$PCS = (PCScarbono \times \%C) + (PCShidrogênio \times \%H) \quad \text{Equação 1}$$

$$PCI = (PCScarbono \times \%C) + (PCIhidrogênio \times \%H) \quad \text{Equação 2}$$

$$Q_{lodo} = M_{lodo seco} \times \{(PCScarbono \times \%C) + (PCIhidrogênio \times \%H)\} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

PCS: Poder calorífico superior (MJ.kg⁻¹)

PCI: Poder calorífico inferior (MJ.kg⁻¹)

%C: Teor de carbono na amostra (%)

%H: Teor de hidrogênio na amostra (%)

M_{lodo seco}: Massa do lodo seco (kg.ano⁻¹)

Q_{lodo}: Energia gerada pela queima do lodo seco (MJ.ano⁻¹)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos valores de lodo produzido diariamente na ETE-VCA, estima-se que a produção anual é em média de 2139 toneladas, que está de acordo com Aisse *et al.*, (2000) que estimou a produção média de lodo em reatores UASB de 16 g SShab/d. As amostras de LE analisadas pela EMBASA em 2021 indicaram teores de umidade 4,68% (ao ar) e 12,02% (estufa 75°C). Conforme a Tabela 1, o teor de umidade nas amostras submetidas a secagem térmica variou de 6,4 a 9,05%, enquanto nas amostras desidratadas, apenas durante a etapa de desaguamento e adensamento, variou de 58,7 a 79,6%. A avaliação do teor de umidade é crucial para a aplicação de matérias-primas em processos térmicos, pois a água presente afeta significativamente a qualidade de combustão (Vieira *et al.*, 2016).

Os valores para PCS e PCI do LE, determinados pelo modelo empírico, foram de 10,14 e 9,15 MJ.kg⁻¹ respectivamente, e corroboram com as informações encontradas no levantamento bibliográfico que apresentaram PCS entre 10,83 e 20,1 MJ.kg⁻¹ e PCI entre 2 e 18,6 MJ.kg⁻¹. Além disso, a literatura mostra que o teor de carbono fixo variou entre 1,43 e 5,86%, enquanto os sólidos voláteis estiveram entre 38 e 59,8%. O teor de cinzas ficou na faixa de 32,4 a 54,4% (Tabela 1).

Os valores de poderes caloríficos calculados são similares aos valores determinados para as amostras de LE, provenientes de reatores anaeróbios, da ETE Uberabinha, localizada em Uberlândia-MG, de 16,2 MJ.kg⁻¹ (Silva, 2011). Conforme observado por Moura *et al* (2020), os resultados de poder calorífico podem variar de 12 a 20 MJ.kg⁻¹.

Vieira et al (2016) ressalta que a aplicação do LE como recurso energético é inerente a composição do

material, que possui características físico-químicas compatíveis com critérios e parâmetros de aspectos termoquímicos, como composição química elementar, análise química imediata (teor de cinzas, teor de voláteis, teor de carbono fixo), composição granulométrica, poder calorífico superior e inferior. Em consonância, Moura *et al* (2020) também destacam que a natureza e a caracterização do LE variam conforme a origem, a sazonalidade e os tipos de tratamentos aplicados.

Tabela 1 - Análise imediata do lodo de esgoto de acordo com a literatura.

Material	Poder calorífico Superior (MJ.kg ⁻¹)	Poder calorífico Inferior (MJ.kg ⁻¹)	Teor de umidade (%)	Sólidos Voláteis (%)	Teor de carbono fixo (%)	Cinzas (%)	Referência
Lodo desidratado							
	16,27	15,30	79,6	56,86	5,86	37,56	Lee <i>et al.</i> , 2011*
	8,7	2,0	58,7	42,9	3,8	53,3	Rosa <i>et al.</i> , 2011
	10,84	-	78,7	43,15	2,52	52,86	Deng <i>et al.</i> , 2009
	12,2	2,1	65	49,2	-	50,8	Houdkova <i>et al.</i> , 2008
Lodo de Esgoto	Lodo desidratado (seco ou processado termicamente)						
	20,1	18,6	9,05	43,3	-	47,6	Borges <i>et al.</i> , 2009
	12,77	-	7,43	58,11	1,43	33,03	Vieira <i>et al.</i> , 2016
	16,5	-	6,8	59,2	8,4	32,4	Otero <i>et al.</i> , 2010
	17,11	13,55	6,4	59,8	7,5	32,5	Arjharn <i>et al.</i> , 2013
	10,9	-	7,3	38	7,9	54,4	Trinh <i>et al.</i> , 2013

Fonte: Adaptado de Vieira, 2016; Rosa *et al.*, 2015; Arjharn *et al.*, 2013; Trinh *et al.*, 2013; Lee, *et al* 2011; Otero *et al.*, 2010; Deng *et al.*, 2009; Borges, 2009; Houdkova *et al.*, 2008.

- Parâmetro não analisado.

* Os valores apresentados são médias dos valores encontrados nesta literatura para amostras semelhantes.

O poder calorífico para o LE gerado na ETE-VCA, são próximos aos valores indicados na literatura para biomassas de madeira de eucalipto (16 MJ.kg⁻¹) e bagaço de cana (14,5 MJ.kg⁻¹) (Borges *et al.*, 2009; Neiva *et al.*, 2018). Portanto, é viável formar pellets e briquetes de LE para aplicação em caldeiras comuns de biomassa promovendo uma combustão mais eficiente e estável.

Segundo os estudos de Jiang *et al.* (2016) a produção de pellets de biomassas com adição de lodo de esgoto melhorou características importantes como dureza, resistência, redução da matéria volátil, menor absorção de umidade e maior poder calorífico. Os autores indicaram que a dureza Meyer do pellet produzido com abeto chinês puro atingiu 3,02 n mm⁻² ± 0,6, enquanto com o pellet produzido com abeto chinês e lodo foi de 4,15 n mm⁻² ± 0,38. Vale ressaltar que o gasto energético na compressão do pellet misto foi duas vezes menor e a absorção de umidade foi reduzida em 34%. Os valores de poder calorífico do pellet misto foram similares aos valores do pellet de biomassa pura. Verificou-se que os pellets mistos de biomassa e lodo apresentam qualidade de combustível superior em comparação aos pellets de biomassa pura. Os pellets mistos demonstraram redução da matéria volátil e aumento do carbono fixo, características que contribuem para uma combustão mais estável. No entanto, deve-se notar que o teor de cinzas foi muito superior nos pellets misturados com LE (Tabela 2).



Alinhados a Jiang *et al* (2016), Duangjaiboon *et al* (2021) também encontraram resultados positivos ao utilizar LE como matéria-prima para a fabricação de pellets. Os benefícios incluem armazenamento sem causar poluição ambiental secundária, facilidade no transporte, o que aumenta seu potencial de aplicação, e podem ser usados em substituição ao carvão. Além disso, os estudos destacam que o uso de LE em pellets pode contribuir para a gestão sustentável de resíduos, fornecendo uma alternativa energética renovável e eficiente.

Tabela 2 - Comparativo entre pellets de biomassa e pellets mistos com lodo.

Amostra	Consumo de energia (KJ.Kg ⁻¹)	Poder calorífico (MJ.kg ⁻¹)	Teor de carbono fixo (%)	Dureza Meyer (n.mm ⁻²)	Absorção de umidade (k)	Matéria volátil (%)	Teor de cinzas (%)
Pellet de abeto chinês	20,4±0,7	18,96	14,67	3,02±0,60	0,0081	71,59	1,15
Pellet de abeto chinês com lodo	9,8±0,3	17,54	18,25	4,15±0,38	0,0054	54,30	14,84
Pellet de cânfora	18,6±0,3	18,87	12,03	2,87±0,70	0,0071	73,56	1,84
Pellet de cânfora com lodo	9,8±0,2	17,50	16,70	4,03±0,64	0,0050	55,88	15,15
Pellet de palha de arroz	13,1±0,5	15,04	11,02	3,98±0,16	0,0041	63,49	14,31
Pellet de palha de arroz com lodo	7,2±0,2	15,32	15,10	4,18±0,06	0,0037	51,26	21,41

Fonte adaptado: Jiang *et al.* (2016)

A energia gerada pela queima do LE da ETE-VCA é estimada em cerca de 19 milhões MJ por ano. Esse aproveitamento pouparia aproximadamente 1223 toneladas de madeira de eucalipto anualmente. Em 2021, o município de Vitória da Conquista registrou a extração de 4374 toneladas de lenha e 100 toneladas de carvão vegetal (IBGE, 2021). Portanto, o potencial energético do LE poderia corresponder a toda demanda de carvão e a até 23% do total de lenha, indicando sua viabilidade como uma opção de combustível. Outros autores, também concluíram que a recuperação energética do LE é possível (Borges, 2009; Deng *et al.*, 2009; Lee, 2011; Vieira, 2016; Moura *et al.*, 2020), o que indica a possibilidade do LE analisado ser uma alternativa promissora como recurso energético na forma de pellets e briquetes. Isso apresenta um potencial significativo para substituir combustíveis sólidos convencionais, como madeira nativa, lenha de eucalipto e carvão vegetal. Adotar essa alternativa pode contribuir para a redução dos riscos associados à disposição final, diminuir a dependência de recursos energéticos não renováveis e minimizar as emissões de gases de efeito estufa.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos indicam que a utilização do lodo de esgoto da ETE de Vitória da Conquista para a produção de pellets, a serem utilizados em fornos industriais, apresenta viabilidade e potencial significativo como alternativa energética, este potencial está associado às características do lodo de esgoto que favorecem a combustão.



O poder calorífico dos pellets produzidos a partir do LE é comparável ao de outros combustíveis sólidos convencionais, como a lenha e o carvão vegetal, proporcionando uma fonte renovável e eficiente de energia. Além disso, o uso de pellets de LE pode contribuir para a gestão sustentável de resíduos, oferece uma solução para a disposição final do LE e reduz a dependência de combustíveis fósseis. Os benefícios incluem a minimização dos riscos ambientais associados ao descarte de lodo em aterros sanitários e a redução das emissões de gases de efeito estufa. O aproveitamento de lodo de esgoto para produção de combustíveis sólidos pode contribuir para redução dos custos operacionais de ETEs, devido à redução do envio para aterros sanitários, e da entrada de combustíveis convencionais na produção industrial, devido ao potencial do uso de pellets e briquetes produzidos com esta biomassa, promovendo a eficiência do uso de recursos. Isso promoveria competitividade às indústrias e contribuiria diretamente no desenvolvimento socioeconômico da região. Com o intuito de disseminar a aplicação do LE como recurso energético para o setor industrial, estudos futuros devem focar na otimização das técnicas de produção e na análise de viabilidade econômica para ampliar a aplicação industrial desta tecnologia de transformação de resíduos em energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. Lodo de esgoto: tratamento e disposição final. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 444 p.

AISSE, M.N.; VAN HAANDEL, A.C.; VON SPERLING, M., CAMPOS, J.R.; COURACCI FILHO, B., SOBRINHO, P. A. Tratamento e destino final do lodo gerado em reatores anaeróbios. In: CAMPOS, J.R. (coord.). Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. ABES, Rio de Janeiro, RJ. cap. 11, p.271 – 299, 1999.

AMARAL, K. G. C.; AISSE, M. M.; POSSETTI, G. R. C. Análise do custo de ciclo de vida do tratamento e destinação final do lodo e biogás, provenientes de ETE que emprega reatores do tipo UASB. Revista DAE, v. 68, n. 226, p. 6–17, 2020.

ARJHARN, W.; HINSUI, T.; LIPLAP, P.; VIJAYA R. G. S. Evaluation of an energy production system from sewage sludge using a pilot-scale downdraft gasifier. Energy & Fuels, v. 27, p. 229–236, 2013.

BORGES, F.; SELLIN, N.; MEDEIROS, S. H. W. Caracterização e avaliação de lodos de efluentes sanitário e industrial como biomassa na geração de energia. Ciência e Engenharia (Science and Engineering Journal), v. 17, n. 1/2, p. 27-32, 2009.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília: Governo Federal, 2010.

CIEŚLIK, B. M.; NAMIEŚNIK, J.; KONIECZKA, P. Review of sewage sludge management: standards, regulations and analytical methods. Journal of Cleaner Production, v. 90, p. 1–15, 2015.

DENG, W.; YAN, J.; LI, X.; WANG, F.; CHI, Y.; LU, S. Emission characteristics of dioxins, furans and polycyclic aromatic hydrocarbons during fluidized-bed combustion of sewage sludge. Journal of Environmental Sciences, v. 21, n. 12, p. 1747–1752, 2009.

DUANGJAIBOON, K.; KITIWAN, M.; KAEWPENGKROW, P. R. Co-pelletization of industrial sewage sludge and rice straw: characteristics and economic analysis. International Journal of Renewable Energy Development, v. 10, n. 3, p. 653–662, 2021.

ĐURĐEVIĆ, D.; BLECICH, P.; JURIĆ, Ž. Energy recovery from sewage sludge: the case study of Croatia. Energies, v. 12, n. 10, p. 1927, 2019.

EMBASA. Relatório Projeto Piloto (Experimento): Doação de Lodo da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do município de Vitória da Conquista para uso agrícola como bio-sólido em lavoura de café. 2021.



- FONTES, I.; GEA, G.; AZUARA, M.; ÁBREGO, J.; ARAUZO, J. Sewage sludge pyrolysis for liquid production: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 16, n. 5, p. 2781–2805, 2012.
- GODOY, L. C. A logística na destinação do lodo. *Revista Científica On-line Tecnologia Gestão Humanismo*, v. 2, n. 1, p. 79-90, 2013.
- HOUDKOVA, L.; BORAN, J.; UCEKAJ, V.; ELSASER, T.; STEHLIK, P. Thermal processing of sewage sludge – II. *Applied Thermal Engineering*, v. 28, p. 2083–2088, 2008.
- IBGE. Cidades. Pesquisa de Informações Básicas Municipais - Perfil do Município: Vitória da Conquista, BA. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/vitoria-da-conquista/pesquisa/16/0?ano=2021>. Acesso em: 11 abr. 2024.
- JIANG, L.; YUAN, X.; XIAO, Z.; LIANG, J.; LI, H.; CAO, L.; WANG, H.; CHEN, X.; ZENG, G. A comparative study of biomass pellet and biomass-sludge mixed pellet: energy input and pellet properties. *Energy Conversion and Management*, v. 126, p. 509–515, 2016.
- KOKALJ, F.; ARBITER, B.; SAMEC, N. Sewage sludge gasification as an alternative energy storage model. *Energy Conversion and Management*, v. 149, p. 738–747, 2017.
- LEE, E. S. H.; SANTOS, F. J. Caracterização do lodo proveniente de estação de tratamento de esgoto (ETE) e estudo sobre seu potencial energético. In: II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, IBEAS. Londrina, 2011.
- LI, H.; JIANG, L.-B.; LI, C.-Z.; LIANG, J.; YUAN, X.-Z.; XIAO, Z.-H.; WANG, H. Co-pelletization of sewage sludge and biomass: the energy input and properties of pellets. *Fuel Processing Technology*, v. 132, p. 55-61, 2015.
- LOPES, A. C. A. C.; EUFRADE, H. J. J.; SPADIM, E. R.; SILVA, J. M. S.; GUERRA, S. P. S. Caracterização física, química e mecânica de pellets de bagaço de cana-de-açúcar. *Energia na Agricultura*, v. 35, n. 1, p. 38–45, 2020.
- MAGRINHO, A.; DIDELET, F.; SEMIAO, V. Municipal solid waste disposal in Portugal. *Waste Management (New York, N.Y.)*, v. 26, n. 12, p. 1477–1489, 2006.
- MILLS, N.; PEARCE, P.; FARROW, J.; THORPE, R. B.; KIRKBY, N. F. Environmental & economic life cycle assessment of current & future sewage sludge to energy technologies. *Waste Management*, v. 34, n. 1, p. 185–195, 2014.
- MOURA, A. F. F.; SIQUEIRA, A. M. D. O.; LEITE, I. C.; MARTINS, M. C.; CASTRO, F. D.; SILVA, J. L. D. Reaproveitamento energético do lodo da estação de tratamento de esgoto – uma revisão. *Journal of Chemical Engineering and Chemistry*, v. 6, n. 5, p. 740–747, 2020.
- OLUGBADE, T.; OJO, O.; MOHAMMED, T. Influence of binders on combustion properties of biomass briquettes: a recent review. *Bioenergy Research*, v. 12, p. 241-259, 2019.
- OTERO, M.; SANCHEZ, M. E.; GÓMEZ, X.; MORÁN, A. Thermogravimetric analysis of biowastes during combustion. *Waste Management*, 2010.
- PEDROZA, M. M.; VIEIRA, G. E. G.; SOUSA, J. F. D.; PICKLER, A. D. C.; LEAL, E. R. M.; MILHOMEN, C. D. C. Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão. *Revista Liberato*, v. 11, p. 89–188, 2010.
- PELTOLA, P.; RUOTTU, L.; LARKIMO, M.; LAASONEN, A.; MYÖHÄNEN, K. A novel dual circulating fluidized bed technology for thermal treatment of municipal sewage sludge with recovery of nutrients and energy. *Waste Management*, v. 155, p. 329–337, 2023.



- ROSA, A. P.; CHERNICHARO, C. A. de L.; MELO, G. C. B. de. Contribuição para o aproveitamento energético do lodo de ETEs em processos térmicos. *Revista DAE*, v. 63, n. 198, p. 55–62, 2015.
- ROSE, J. W.; COOPER, J. R. *Technical data on fuel*. 7. ed. London: British National Committee, World Energy Conference Edinburgh: Distributed by Scottish Academic Press, 1977.
- RUTKOWSKA, G.; WICHOWSKI, P.; FRONCZYK, J.; FRANUS, M.; CHALECKI, M. Use of fly ashes from municipal sewage sludge combustion in production of ash concretes. *Construction and Building Materials*, v. 188, p. 874–883, 2018.
- SILVA, J. O.; FILHO, G. R.; MEIRELES, C. S.; RIBEIRO, S. D.; VIEIRA, J. G.; SILVA, C. V. ; CERQUEIRA, D. A. Thermal analysis and FTIR studies of sewage sludge produced in treatment plants: the case of sludge in the city of Uberlândia-MG, Brazil. *Thermochimica Acta*, v. 528, p. 72–75, 2012.
- SPINOSA, L.; AYOL, A.; BAUDEZ, J.-C.; CANZIANI, R.; JENICEK, P.; LEONARD, A.; RULKENS, W.; XU, G.; VAN DIJK, L. Sustainable and innovative solutions for sewage sludge management. *Water*, v. 3, n. 2, p. 702–717, 2011.
- TASCHELMAYER, C.; BILOTTA, P. Análise espacial e temporal de estratégias de recuperação energética de subprodutos do tratamento de esgoto na região metropolitana de Curitiba. *Geosul*, v. 36, n. 79, p. 495-517, 2021.
- TRINH, T. N.; JENSEN, P. A.; JOHANSEN, K. D.; KNUDSEN, N. O. Influence of the pyrolysis temperature on sewage sludge product distribution, bio-oil, and char properties. *Energy & Fuels*, v. 27, p. 1419–1427, 2013.
- VAN HAANDEL, A. Potencial de geração de energia a partir do lodo de sistemas de tratamento de esgoto. *Revista AIDIS de Engenharia e Ciências Ambientais: Pesquisa, Desenvolvimento e Prática*, v. 2, n.1, p. 125-142, 2009.
- VIEIRA, G. E. G.; PICKLER, A. C.; MADEIRA, C. S. P.; REGO, F. S.; CAMPOS, C. E. A.; TEIXEIRA, L. F. Caracterização química e físico-química de lodo de esgoto para fins energéticos. XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química, ABEQ. Fortaleza, 2016.
- WERLE, S.; WILK, R. K. A review of methods for the thermal utilization of sewage sludge: the Polish perspective. *Renewable Energy*, v. 35, n. 9, p. 1914–1919, 2010.
- ZHANG, X.; CHEN, X.; XIAO, J.; PENG, X.; WANG, J.; MA, J.; LIU, D.; LIANG, C. Comparative study of different sewage sludge incineration treatments based on environmental and economic life cycle assessment. *Waste Management & Research*, v. 43 p. 418-429, 2023.