

Potencial uso do lodo de esgoto urbano como fonte energética

Potential use of urban sewage sludge as an energy source

Uso potencial de lodos de depuradoras urbanas como fuente de energía

Recebido: 14/04/2025 | Revisado: 22/04/2025 | Aceitado: 22/04/2025 | Publicado: 24/04/2025

Keliane de Jesus Reis

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1582-3383>

Universidade Federal de Sergipe, Brasil

E-mail: kelianereis92@outlook.com

Jorge Artur Santos

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1801-3720>

Universidade Federal de Sergipe, Brasil

E-mail: jorgearturwork@gmail.com

Márcio Ricardo Nascimento Lima

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9964-2365>

Universidade Federal de Sergipe, Brasil

E-mail: marcio_lima2002@outlook.com

Mariane Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9457-6374>

Universidade Federal de Sergipe, Brasil

E-mail: marianesilvawork@gmail.com

Alessandra Maria Ferreira Reis

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1379-0916>

Universidade Federal de Sergipe, Brasil

E-mail: alessandrareis@academico.ufs.br

Antônio Américo Cardoso Júnior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1497-3404>

Universidade Federal de Sergipe, Brasil

E-mail: acardoso@academico.ufs.br

Anna Carolina de Almeida Andrade

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6316-2467>

Universidade Federal de Sergipe, Brasil

E-mail: carol_bertges@hotmail.com

Resumo

O lodo de esgoto apresenta-se como um potencial problema econômico e ambiental no território brasileiro uma vez que seu descarte é realizado majoritariamente em aterros sanitários. Utilizar esse resíduo como fonte geradora de energia, além de promover uma estratégia sustentável e eficiente de geração de energia limpa atua também como fonte de auxílio para o setor de saneamento básico. Desta forma, o trabalho objetivou avaliar o potencial energético do lodo de esgoto in natura e pirolisado através do Poder Calorífico Superior (PCS). Realizou-se uma pesquisa exploratória, laboratorial de natureza quantitativa. As análises foram realizadas em duplicata com o auxílio da bomba calorimétrica IKA C-200, sendo utilizados os valores médios obtidos de cada material. Analisando-se os resultados obtidos observou-se valores médios de 20,07 e 10,13 MJ.kg⁻¹ para as amostras in natura e carbonizadas, respectivamente. Tais valores corroboram com os encontrados em literatura para materiais já consolidados na geração de energia como a madeira, por exemplo. Dessa forma, conclui-se que os resíduos de esgoto urbano podem ser destinados a utilização para fins energéticos com ênfase ao seu uso na forma direta in natura.

Palavras-chave: Resíduo; Poder Calorífico Superior; Energia.

Abstract

The sewage sludge is a potential economic and environmental problem in Brazil, since its disposal is mostly carried out in landfills. Using this waste as a source of energy, in addition to promoting a sustainable and efficient strategy for generating clean energy, also acts as a source of support for the basic sanitation sector. Thus, the study aimed to evaluate the energy potential of raw and pyrolyzed sewage sludge through the Higher Calorific Value (HCV). An exploratory, laboratory study of a quantitative nature was carried out. The analyses were performed duplicate with the aid of the IKA C-200 calorimetric bomb, using the average values obtained for each material. Analyzing the results obtained, average values of 20.07 and 10.13 MJ.kg⁻¹ were observed for the raw and carbonized samples, respectively. These values corroborate those found in literature for materials already consolidated in energy generation, such as wood, for example. Thus, it is concluded that urban sewage waste can be used for energy purposes with emphasis on its use in its direct form in natura.

Keywords: Residue; Superior Calorific Power; Energy.

Resumen

Los lodos de depuradora se presentan como un potencial problema económico y ambiental en territorio brasileño ya que su disposición se realiza principalmente en rellenos sanitarios. El uso de estos residuos como fuente de energía, además de promover una estrategia sustentable y eficiente de generación de energía limpia, también actúa como fuente de ayuda al sector de saneamiento básico. Así, el trabajo tuvo como objetivo evaluar el potencial energético de los lodos de depuradora crudos y pirolizados a través del Poder Calorífico Superior (PCI). Se realizó una investigación exploratoria, de laboratorio, de carácter cuantitativo. Los análisis se realizaron por duplicado con ayuda de la bomba calorimétrica IKA C-200, utilizando los valores promedio obtenidos para cada material. Analizando los resultados obtenidos se observaron valores promedio de 20,07 y 10,13 MJ.kg⁻¹ para las muestras in natura y carbonizadas, respectivamente. Estos valores corroboran los encontrados en la literatura para materiales ya consolidados en la generación de energía, como la madera, por ejemplo. Por tanto, se concluye que los residuos de aguas residuales urbanas pueden ser utilizados con fines energéticos con énfasis en su aprovechamiento en su forma directa en la naturaleza.

Palabras clave: Residuo; Poder Calorífico Superior; Energía.

1. Introdução

O Brasil apresenta-se como um grande país gerador de resíduos, fator influenciado tanto por sua alta densidade populacional, como pela geração de alimentos, criação de animais e diversos processos que geram toneladas de subprodutos potencialmente reaproveitáveis. Uma das formas de aproveitar esses resíduos é através da geração de energia, que apresenta benefícios como a implementação de novas fontes de energias renováveis, mitigando os impactos ambientais pelo descarte inadequado destes rejeitos e, até a geração de empregos e renda para a população (Oliveira et al., 2016).

Dentre esses resíduos, o lodo de esgoto, por ser produzido em grande escala em áreas urbanas, apresenta-se como um resíduo com potencial de reaproveitamento. No Brasil, o lodo de esgoto tende a ser um problema com o passar dos anos, uma vez que sua disposição final é realizada majoritariamente nos aterros sanitários, que necessitam de um tratamento adequado e impermeabilização do local, que, assim como outros destinos finais (incineração, reciclagem agrícola e recuperação de áreas degradadas), tendem a ser inviáveis econômica e ambientalmente (Silva, 2021). Por isso, deve-se estudar novas formas para o aproveitamento deste resíduo.

Desta forma, o potencial energético do lodo de esgoto surge como uma estratégia sustentável e eficiente visando a geração de energia limpa bem como o saneamento básico (Schmitke & Leme, 2020). Tal perspectiva é ainda reforçada por Werther et al., (2000) e Fytili & Zabaniotou (2008) que em seus respectivos estudos apontaram o lodo de esgoto como um potencial biomassa que pode ser utilizada na geração de energia térmica e elétrica.

Para expressar o potencial energético desse resíduo, utiliza-se o Poder Calorífico Superior (PCS), definido segundo a NBR 11956/90 como o calor liberado pela queima de uma unidade de massa do combustível, feito em uma bomba calorimétrica de volume constante, com condensação de toda a água (ABNT, 1990; Poli et al., 2013).

A utilização de resíduos como fonte energética pode se dar de forma direta em que há o emprego na condição in natura ou pode-se realizar tratamentos para geração de melhorias no rendimento energético, como a pirólise por exemplo (Dias, 2021; Protásio et al., 2015).

Visto isso, o presente trabalho teve como objetivo analisar o Poder Calorífico Superior do lodo de esgoto in natura e pirolisado, visando seu potencial para geração de energia.

2. Metodologia

Realizou-se uma pesquisa experimental, laboratorial de natureza quantitativa (Pereira et al., 2018) com emprego de estatística descritiva simples com o uso de valores médios (Shitsuka et al., 2014) e de análise estatística (Vieira, 2021).

O material de estudo foi adquirido junto a Companhia de Saneamento de Sergipe (DESO) em fevereiro de 2018 em seu estado original (in natura). O lodo de esgoto em questão é proveniente da captação de esgoto urbano, sendo uma parte do material

testado in natura e outra submetida à pirólise em um forno TLUD com temperaturas acima de 500 °C.

Para realizar as análises de calorimetria, os materiais foram submetidos a um processo de moagem e peneiramento, selecionando a amostra que passou pela peneira de 40 mesh e ficou retida na peneira de 60 mesh (Figura 1). Seguindo essa classificação, o lodo de esgoto foi colocado em estufa, a uma temperatura de $103 \pm 2^\circ \text{C}$ por 24 horas para secagem completa.

Figura 1 - Preparo da amostra de lodo de esgoto.



Fonte: Autores (2025).

A análise dos dados relacionados ao Poder Calorífico Superior (PCS) foi realizada por meio de Bomba Calorimétrica IKA C-200 (Figura 2). Foram analisados 0,3g de material em duplicata para cada estado do material, in natura e pirolisado, sendo considerado os seus respectivos valores médios, esta metodologia está em concordância com a proposta pela norma ASTM E711/87 (ASTM, 2004).

Figura 2 - Análise da amostra de lodo de esgoto na bomba calorimétrica.



Fonte: Autores (2025).

3. Resultados e Discussões

Analizando os dados gerais obtidos para o PCS das amostras de lodo de esgoto in natura e pirolisado encontrou-se valores médios equivalentes a 20,07 e 10,13 MJ.kg⁻¹, respectivamente.

A avaliação isolada do PCS do lodo de esgoto está de acordo com dados encontrados para outros materiais que são destinados a geração de energia, como a madeira por exemplo, em que ela possui PCS médio de 20,11 MJ.kg⁻¹ próximo ao encontrado neste trabalho (Crisóstomo et al., 2021). No entanto, quando observamos os valores médios de PCS do lodo de esgoto pirolisado verificou-se menor potencial de geração energética desse material em relação à madeira. Esse valor mostra que o uso de lodo in natura deve ser priorizado, pois evita mais um beneficiamento do material, no caso a pirólise, aumentando assim o tempo de uso desse material.

Valores semelhante também foram encontrados por Nascimento (2022) em seu estudo no município de Aracaju - SE, com resultados que variaram entre 14,01 e 10,25 MJ.kg⁻¹ para as análises de lodo de esgoto pirolisado, coletados na Estação de Tratamento de Esgoto Orlando Dantas.

Os resultados do PCS dos materiais obtidos corroboram com dados da literatura, conforme Tabela 1. Observou-se em diversos trabalhos, diferenças no potencial energético dos lodos de esgoto o que, de acordo com Mânica (2015), essa variação de resultados deve-se, provavelmente, ao tipo de tratamento empregado nas estações de tratamento de esgoto, mesmo sendo provenientes de uma mesma atividade como os esgotos urbanos.

Tabela 1 - Poder calorífico de lodo de esgoto encontrado na literatura.

Poder Calorífico (MJ.kg ⁻¹)	Referência
20,10	Borges; Sellin; Medeiros (2008)
14,89	Higa Lee; Santos (2011)
22,19	Pasquini (2014)
12,69	Mânica (2015)

Fonte: Autores (2025).

Em relação ao baixo valor encontrado para o lodo de esgoto pirolisado, segundo Zelaya (2016), a diminuição do poder calorífico deve-se ao processo de pirólise, uma vez que este reduz o volume de resíduos orgânicos pela perda de compostos voláteis e altera a concentração final de componentes químicos inorgânicos da matéria-prima.

4. Conclusão

Conclui-se que o lodo de esgoto, tanto in natura quanto pirolisado, possuem potencial para serem empregados ao uso energético, uma vez que os valores obtidos do PCS do material in natura é semelhante à madeira que é um material consolidado e, o PCS do pirolisado é semelhante ao encontrado em literatura, sendo indicado o uso do lodo in natura pelo menor tempo entre a coleta e o seu uso para geração de energia, em comparação com a amostra que passou ainda pelo processo de pirólise, que além do custo de beneficiamento pela pirólise apresentou valores de PCS inferiores.

Referências

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (1990). NBR 11956: Coque - Determinação do poder calorífico superior.
- ASTM E711 –87. (2004). Test Method for Gross Calorific Value of Refine-Derived Fuel by the Bomb Calorimeter. ASTM International: West Conshohocken, PA.
- Borges, F., Sellin, N., & Medeiros, S. H. W. (2008). Caracterização e avaliação de lodos de efluentes sanitário e industrial como biomassa na geração de energia. *Ciência & Engenharia*, 17(2):27 – 32.
- Crisóstomo, M.C., Silva, M.F.D., Vale, A.T.D., & Chaves, B.S.A. (2021). Caracterização energética de madeira de *E. grandis*, *Pinus sp.*, *T.vulgarise P. lecointei*. *Recursos Naturais: Energia de Biomassa Florestal*. Editora Científica Digital, Brasil.
- Dias, G. I. (2021). Efeito da torrefação de resíduos de *Eucalyptus grandis*. Dissertação de mestrado. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica. p. 81.
- Fytili, D., & Zabaniotou, A. (2008). Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(1), 116-140.
- Higa Lee, E. S., & Santos, F. J. (2011) Caracterização do lodo proveniente de estação de tratamento de esgoto (ETE) e estudo sobre seu potencial energético. II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, IBEAS, Londrina.
- Mânica, A. N. (2015). Determinação do poder calorífico do lodo de esgoto doméstico e industrial a partir da análise imediata. Trabalho de Conclusão de Curso. Chapecó: UFFS, p.15.
- Nascimento, J. H. M. (2022). Utilização do lodo de esgoto como alternativa para o coprocessamento na indústria cimenteira sergipana. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE.
- Oliveira, S. V. W., Ferreira, A. H., & Oliveira, M. M. B. (2016). Aproveitamento de resíduos para geração de energia: ecoeficiência e sustentabilidade. Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente-ENGEMA.
- Pasquini, N.C. (2014). Uso potencial como fonte de energia de lodo proveniente de esgoto doméstico e industrial. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, 16(1).
- Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). Metodologia da pesquisa científica. Editora UAB/NTE/UFSM.

Poli, D. C. R., Zancheta, M. N., Boari, Z. M., Meldonian, N. L., de Moura, C. L., & Jiurgiu, P. A. (2013). Uma avaliação das metodologias para determinação do poder calorífico dos resíduos sólidos urbanos. *Revista de Ciências Exatas e Tecnologia*. v. 8, n. 9, p. 9-31. DOI: <https://doi.org/10.17921/1890-1793.2013v8n8p9-31>.

Protásio, T. P., Trugilho, P. F., Siqueira, H. F., Melo, I. C. N. A., Andrade, C. R., & Guimarães Júnior, J. B. (2015). Caracterização energética de pellets in natura e torreficados produzidos com madeira residual de Pinus. *Pesquisa Florestal Brasileira (Online)*, v. 35, p. 435-442.

Schmitke, Y. & Leme, F. (2020). Mais saneamento com a valorização energética do lodo de esgoto. *CanalEnergia*.

Shitsuka, R. et al. (2014). *Matemática fundamental para tecnologia*. (2ed.). Editora Erica.

Silva, V. B. (2021). Caracterização e estudo da aplicação e valoração de lodo de estação de tratamento de esgoto de uma instituição de ensino. Trabalho de Conclusão de Curso. Erechim: UFFS, p.65.

Vieira, S. (2021). *Introdução à bioestatística*. Editora GEN/Guanabara Koogan.

Werther, J., Saenger, M., Hartge, E. U., Ogada, T., & Siagi, Z. (2000). Combustion of sewage sludge: A review. *Progress in Energy and Combustion Science*, 26(6), 563-610.

Zelaya, K. P. S. (2016). Caracterização de biocarvão de lodo de esgoto e bagaço de cana-de-açúcar e efeitos no cultivo de beterraba. Dissertação Mestrado. Montes Claros: UFMG, p. 72.