

## DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO LODO PRODUZIDO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE SÃO LUÍS

Ezequiel John de França Raposo<sup>1</sup>; Marcos Gustavo de Medeiros Brandão<sup>2</sup>; Luana Eloi Castro Santos<sup>3</sup>; Josilene Lima Serra<sup>4</sup>; Gricirene Sousa Correia<sup>5</sup>; Antonio Ernandes Macedo Paiva<sup>6</sup>.

### RESUMO

O lodo é um resíduo sólido proveniente do tratamento do esgoto doméstico e industrial, rico em matéria orgânica e inorgânica, que ainda não possui o devido aproveitamento em setores produtivos da cidade de São Luís, Maranhão. O conhecimento da composição química do lodo resultante do tratamento de esgoto de São Luís é uma grande oportunidade de direcionar as formas de aplicações desse resíduo. Por esse motivo, o objetivo geral deste projeto foi determinar a composição química do resíduo de lodo de efluentes da estação de tratamento de esgoto de São Luís. Para isso, o lodo foi coletado na estação de tratamento de esgoto do Anil (ETE Anil), e encaminhado para o laboratório de análise de materiais do IFMA Monte Castelo, para análises físico-químicas e microbiológicas. Na etapa seguinte, o lodo foi seco à temperatura ambiente e incinerado em 3 diferentes temperaturas (450°, 650° e 950°C) para obtenção das cinzas. As cinzas foram analisadas por difração de raio X, para avaliação da cristalinidade do material. Os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas, evidenciam a necessidade de tratamento das cinzas, com índices acima dos permitidos pela legislação vigente. Com base nisso, a incineração foi o método adotado para tratamento das cinzas e a análise de DRX revelou que a temperatura de 650°C é a mais adequada para manter uma reatividade pozolânica adequada para aplicação como substituto parcial de concreto. Ao final deste estudo, obteve-se uma análise abrangente da composição química e microbiológica do lodo de esgoto gerado em São Luís, bem como propor alternativas seguras e sustentáveis para a destinação final do lodo de esgoto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduo sólido; Efluentes; Análises químicas; Desenvolvimento sustentável.

---

<sup>1</sup> Estudante do curso de Engenharia Mecânica do IFMA do Campus São Luís Monte Castelo; e-mail: [ezequieljohn@acad.ifma.edu.br](mailto:ezequieljohn@acad.ifma.edu.br).

<sup>2</sup> Estudante do curso de Engenharia Mecânica do IFMA do Campus São Luís Monte Castelo; e-mail: [marcos.brandao@acad.ifma.edu.br](mailto:marcos.brandao@acad.ifma.edu.br).

<sup>3</sup> Estudante do Curso de Mestrado Acadêmico em Ciência e Tecnologia de Materiais do IFMA do Campus São Luís Monte Castelo; e-mail: [luanaeloi@acad.ifma.edu.br](mailto:luanaeloi@acad.ifma.edu.br)

<sup>4</sup> Dr<sup>a</sup> em Biotecnologia, Professora EBTT do IFMA do Campus Monte Castelo; e-mail: [josilene.serra@ifma.edu.br](mailto:josilene.serra@ifma.edu.br).

<sup>5</sup> Dr<sup>a</sup> em Ciência de Materiais, Professora EBTT do IFMA do Campus Monte Castelo; e-mail: [gricirene.correia@ifma.edu.br](mailto:gricirene.correia@ifma.edu.br).

<sup>6</sup> Dr em Ciência e Engenharia de Materiais, Professor Titular do IFMA do Campus Monte Castelo; e-

## **1-INTRODUÇÃO**

A crescente expansão demográfica e a intensificação das atividades humanas têm gerado um aumento significativo no consumo de água e, conseqüentemente, na produção de esgotos. Nesse cenário, destaca-se a cidade de São Luís, capital do estado do Maranhão, que possui uma considerável população de 1.037.775 habitantes e uma área urbanizada de 165,96 km<sup>2</sup>. No entanto, apenas 65,4% dos domicílios da região possuem um sistema de esgotamento sanitário adequado, destacando-se a necessidade urgente de intervenção e melhoria nessa infraestrutura essencial para a saúde pública e preservação ambiental (IBGE, 2022).

O esgoto, composto por águas residuais provenientes das atividades cotidianas e resíduos sólidos, incluindo detritos, restos de alimentos, detergentes, urina, fezes e outras substâncias. Quando não devidamente tratado, representa não apenas um desafio para a saúde pública, mas também uma ameaça ambiental significativa, contribuindo para a disseminação de microrganismos patogênicos e a contaminação de corpos hídricos (BRASIL, 2019).

No Maranhão, o sistema de esgotamento sanitário é operado pela Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão (CAEMA), compreendendo diversas Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) e Estações Elevatórias de Esgotos (EEE) (CAEMA, 2024). Apesar da estrutura existente, estudos indicam que os esgotos urbanos continuam a causar problemas de contaminação ambiental em bacias hidrográficas locais, evidenciando a necessidade de aprimoramento e implementação de soluções eficazes (Fabri et al., 2018; Anjos Neto, 2006).

Um dos principais desafios enfrentados durante o tratamento de esgoto é a gestão do lodo resultante desse processo. A disposição inadequada desse resíduo pode perpetuar problemas ambientais, exigindo o desenvolvimento de alternativas seguras e sustentáveis para sua destinação final.

Este projeto de pesquisa visa investigar a composição química do lodo de esgoto gerado em São Luís, considerando suas características particulares e potenciais aplicações em setores produtivos da sociedade. Por meio da análise detalhada da composição química do lodo, busca-se propor alternativas e fornecer subsídios para políticas públicas e práticas de gestão ambiental mais eficientes e sustentáveis, alinhadas com as metas da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.

## **2-METODOLOGIA**

### **2.1-Coleta e caraterização do Lodo**

O lodo foi coletado na descarga dos tanques de decantação da Estação de Tratamento de Esgoto e armazenado em recipientes de 20 litros. A coleta foi realizada no período seco e chuvoso, para verificar o efeito da sazonalidade sobre as características, microbiológicas, físicas e químicas do lodo.

Para realizar a caracterização e classificação do lodo, conforme CONAMA (2011) foram realizadas análises físico-químicas, incluindo determinação de matéria orgânica e inorgânica, e análises microbiológicas (determinação das concentrações de coliformes e *Escherichia coli*, pelo método dos enzimático colilert). As análises foram realizadas pelo Laboratório de Físico-química de Alimentos e Água da Universidade Estadual do Maranhão, segundo métodos recomendados pela American Public Health Association (APHA, 2012).

### **2.2- Processamento do lodo por incineração e caracterização das cinzas**

O lodo foi separado em três amostras para incineração em forno mufla. Cada amostra foi incinerada com as respectivas temperaturas de 450°C, 650°C e 950°C, para obtenção das cinzas que foram incorporadas no concreto. As cinzas foram moídas em moinho de bolas por 1 hora, peneiradas e, foram submetidas a análise de difração de raios X.

## **3-Resultados e Discussão**

### **3.1 Análises físico-químicas**

A tabela 1 apresenta as análises físico-químicas do lodo in natura coletado na Estação de Tratamento de esgoto do Anil (ETE-Anil). Diante do exposto, a tabela apresentada revela que diversos parâmetros físico- químicos do lodo da ETE Anil estão significativamente acima dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA 430/2011, o que indica um potencial impacto ambiental severo. Destacam-se, por exemplo, os níveis elevados de manganês (30,00 mg/L), ferro (50,10 mg/L), alumínio (80,00 mg/L), fósforo total (73,41 mg/L), nitrogênio

(36,40 mg/L) e cromo total (50,00 mg/L), todos muito superiores aos valores máximos permitidos (VMP).

**Tabela 1** - Análise Físico-Química do lodo da ETE ANIL.

Parâmetros	CONAMA 430/2011 (VMP*)	RESULTADO - ETE ANIL
Manganês (mg/L)	0,1	30,00
Dureza Total (mg/L)	≤500,0	3.000,00
Cloretos (CL-) (mg/L)	≤250	600,00
pH	5,0 a 9,0	6,73
Temperatura (°C)	30°	20,8°
Fósforo total (mg/L)	0,05	73,41
Turbidez (U.N.T)	100,00	307,30
Ferro (mg/L)	5,00	50,10
Alumínio (mg/L)	0,20	8,00
Nitrato (mg/L)	10,00	11,00
Nitrito (mg/L)	1,00	3,60
Nitrogenio (mg/L)	13,30	36,40
Sulfeto (mg/L)	0,30	8,00
Cromo total (mg/L)	0,05	50,00

Esse excesso de metais e nutrientes pode provocar a contaminação de corpos hídricos receptores, afetando a biota aquática, promovendo processos de eutrofização e prejudicando a qualidade da água para consumo humano e uso agrícola. Além disso, a alta turbidez e concentração de sulfeto contribuem para a redução de oxigênio dissolvido, podendo causar mortandade de peixes e outros organismos aquáticos. Portanto, os resultados apontam para a necessidade urgente de intervenções no tratamento do lodo para mitigar os riscos ambientais e atender à legislação vigente.

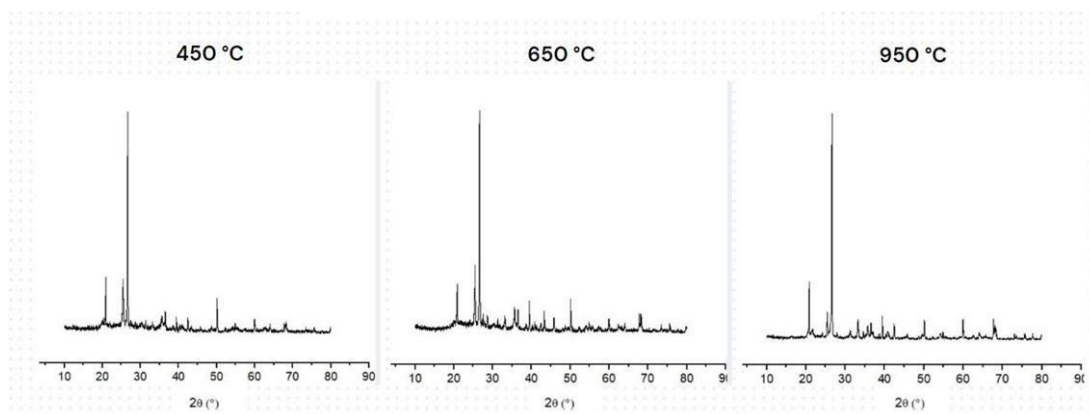
### 3.2 Análises microbiológicas

Os resultados obtidos para a análise da qualidade microbiológica do lodo não tratado obtido em uma estação de tratamento de esgoto de São Luís, indicou um elevado nível de contaminação microbiana, por coliformes totais e *Escherichia coli* ( $2,4 \times 10^4$  NMP por 100 mL da amostra). Esses resultados já eram esperados, e evidenciam a necessidade de propor alternativas para a disposição final e aproveitamento do lodo não tratado, conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

### 3.3 Análise do DRX das cinzas do lodo

As cinzas do lodo foram submetidas à análise mineralógica por difração de raios X (DRX). O intuito dessa análise é definição da composição mineralógica das amostras, após serem incineradas. Com as análises de DRX, observamos picos bem definidos, o que é característico de composições químicas com baixa reatividade. À vista disso, em todas as temperaturas, há picos bem definidos em torno de  $2\theta \approx 20,8^\circ$ ,  $26,6^\circ$ ,  $60^\circ$  e  $70^\circ$ , o que sugere a formação de uma fase cristalina dominante, indicando a presença de quartzo ( $\text{SiO}_2$ ). Além disso, picos secundários distribuídos no plano  $2\theta$  em  $33,2^\circ$ ,  $36,5^\circ$  e  $50,1^\circ$  foram identificados associados à presença de minerais como hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Sousa et al. (2025) ao estudarem as cinzas do lodo obtidas em uma ETE da cidade de Balsas-MA também verificaram a presença predominante de quartzo, e demais minerais caulinita, calcita, hematita e muscovita.

**Figura 1-** Difratoograma de raios X das cinzas do lodo clacinadas em três diferentes temperaturas



À medida que a temperatura aumenta, observa-se um ligeiro aumento na intensidade relativa dos picos, indicando maior cristalização ou formação de fases mais ordenadas. Além disso, na temperatura de  $450^\circ\text{C}$  os picos são menos intensos, sugerindo estrutura com menor cristalinidade, em relação as cinzas obtidas nas demais temperaturas. Ainda há grande contribuição de matriz orgânica.

Já em  $650^\circ\text{C}$ , observa-se picos mais definidos e com maior número de reflexões secundárias, indicando formação de diferentes fases cristalinas. Há maior organização estrutural, possivelmente formação de óxidos metálicos estáveis (ex:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,<sub>5</sub>

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> cristalino) dependendo da composição do lodo, o que pode ser observado nitidamente na coloração vermelha das cinzas obtidas característicos da presença de ferro na sua composição (Figura 2). Por fim, a temperatura de 950°C apresentou o melhor desempenho em termos de cristalização, o que sugere baixa reatividade pozolânica. O uso de temperaturas de calcinação acima de 700°C, promovem a decomposição térmica de alguns compostos, como a calcita que está presente nas cinzas calcinadas a 650°C (Basto et al., 2019).

**Figura 2** - Cinzas do lodo gerado na ETE Anil obtidos nas temperaturas de 450°C (A) e 650°C (B)



Fonte: Autor (2025)

#### 4-Conclusão

Diante do exposto, as cinzas do lodo é um agregado que pode ser utilizado para aplicação em materiais cerâmicos e cimentícios, logo mostrando resultados e comportamentos relevantes em tal projeto de pesquisa. Além do mais, a temperatura de 650°C de calcinação do lodo em forno mufla apresentou melhor desempenho em termo de reatividade pozolânica para aplicação na substituição parcial do concreto. Por fim, tal trabalho também contribuiu na mitigação dos impactos ambientais ao propor uma alternativa de tratamento e aplicação do lodo gerado na ETE de São Luís, mostrando que a sustentabilidade é o primeiro passo para o avanço da pesquisa desenvolvida, contribuindo na planejamento de cidades mais sustentáveis.

## **Agradecimentos:**

Primeiramente quero agradecer a Deus por me dar força e vigor para sempre estar dando o meu melhor nos projetos que estou desenvolvendo, e depois a minha orientadora Dr. Josilene Serra pelos ensinamentos e parceria ao longo desse projeto e ao meu mestre Ernandes Paiva por me apresentar esse mundo de engenharia de materiais e por me ensinar a cada dia ser melhor e desenvolver projetos sensacionais, e ao meu colega de turma Marcos Brandão pela ajuda e parceria durante os experimentos de tal projeto, e ao Ifma por disponibilizar os recursos e materiais devidos para eu desenvolver o presente trabalho.

## **REFERÊNCIAS**

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22 ed. Washington: APHA, 2012.

ANJOS NETO, S. P. **Aspectos históricos e diagnóstico técnico operacional do sistema de esgotos sanitários de São Luís**. São Luís: [s.n], 2006.

ARAÚJO, V. S et al. Lodo de esgoto e suas potencialidades agrícolas. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 3, e14711326200, 2022.  
<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i3.26200>.

BASTO, P. DE A.; SAVASTANO JUNIOR, H.; DE MELO NETO, A. A. Characterization and pozzolanic properties of sewage sludge ashes (SSA) by electrical conductivity. **Cement and Concrete Composites**, v. 104, p. 103410, nov. 2019.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Lodo de Esgoto: Impactos Ambientais na Agricultura**. Embrapa Meio Ambiente: Jaguariúna, SP. 2006. 350p.

BRASIL. **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto: Visão Geral** Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Brasília-DF. 2023. 108 p.

BRASIL. **Manual de saneamento**. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. 5.ed. Brasília: Funasa, 2019. 545 p.

CAEMA. **Sistema de esgotamento sanitário da capital**. Disponível em: <https://caema.ma.gov.br/index.php/22-sustentabilidade/qualidade-da-agua/2920-apresentacao-operacao?jij=1709232471995>. Acesso em: 29/02/2024.

CONAMA- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução N° 498**,

CORRÊA, R.S.; FONSECA, Y.M.F.; CORRÊA, A.S. Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.4, p. 420-426, 2007.

**de 19 de agosto de 2020.** 2020.

**de esgotamento sanitário em São Luís do Maranhão, Brasil:** um enfoque ambiental. In: Anais do 15º Congresso Nacional de Meio Ambiente. Poços de Caldas. set. 2018.

FABRI, A. N.; SANTOS, J. F. L.; SILVA, I. Q.; SILVA, J. P. F. **Análise do sistema**

IBGE. **Censo de 2022.** São Luís. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/sao-luis/panorama>. Acesso em: 29/02/2024.

JORGE, F. W. Avaliação da incorporação de lodo de ETE como adição mineral em concretos. **Revista de Engenharia e Tecnologia.** v.15, n.1, 2023.

MOURA, A. F.F et al. Reaproveitamento energético do lodo de estação de tratamento de esgoto – uma revisão. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 06, n. 05, 2020.

NAÇÕES UNIDAS. **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil.** Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 20/02/2024.

PAREDES FILHO, M. V. Compostagem de lodo de esgoto para uso agrícola. **Revista Agroambiental.** Dez., 2011.

ROSA, L. A. B. et al. Circular economy and sustainable development goals: main research trends. **Revista de Administração da UFSM.** Santa Maria, v. 16, n. 1, e9, 2023 <https://doi.org/10.5902/1983465971448>.

SOUSA, D. A. et al. Caracterização do lodo da Estação de Tratamento de Água (ETA) da cidade de Balsas - Maranhão e aplicação como agregado miúdo em argamassa. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, v. 17, n. 4, p. e7888, 1 abr. 2025.

VIEIRA, G.; SILVA, D. F. **Estudo da adição de lodo gerado pela indústria metal mecânica na fabricação de tijolos de cerâmica vermelha.** In: E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial, Florianópolis, n. esp. Metalmeccânica, p. 69-91, 2012.