

II-026 – GASEIFICAÇÃO DOS LODOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOS TIPOS CONVENCIONAL E UASB

Luis Henrique Pereira da Silva⁽¹⁾

Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Mestre em Tecnologia da Energia pela Escola Politécnica de Pernambuco (POLI/UPE). Coordenador de Eficiência Energética da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA).

Sérgio Peres Ramos da Silva⁽²⁾

Engenheiro Mecânico e Químico Industrial pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Mestre em Engenharia Mecânica pela Cranfield Institute of Technology. Doutor em Engenharia Mecânica pela University of Florida. Professor Associado da Escola Politécnica de Pernambuco (POLI/UPE)

Maria de Los Angeles Perez Fernandez Palha⁽³⁾

Engenheira Química pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Mestre em Bioquímica pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Doutora em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Professora Associada da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Adalberto Freire do Nascimento Júnior⁽⁴⁾

Químico Industrial pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Mestre em Tecnologia da Energia pela Escola Politécnica de Pernambuco (POLI/UPE). Doutorando em Tecnologias Energéticas e Nucleares pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Endereço⁽¹⁾: Avenida Saturnino de Brito, 472 - Cabanga - Recife - PE - CEP: 50090-310 - Brasil - Tel: (81) 3412-9139 - e-mail: luishenrique@compesa.com.br

RESUMO

O lodo removido nas diferentes etapas em uma estação de tratamento de esgoto doméstico (ETE), por apresentar grandes quantidades e composição muito variável, constitui um problema complexo. Esta complexidade está relacionada com as características da água de abastecimento e do esgoto gerado, com o processo de tratamento do esgoto, com as diferentes possibilidades de tratamento e disposição do lodo e com seus possíveis usos. O lodo necessita de tratamento, seja para a redução de seu volume ou umidade, seja para a estabilização da matéria orgânica, aproveitamento ou disposição final. O tipo de tratamento será função da sua qualidade, características de operação e processo, custos, condições climáticas, impactos ambientais, da própria distância de transporte e da dificuldade ou facilidade de se encontrar locais apropriados ou seguros para o destino final do lodo. Um primeiro passo para a escolha do tipo de tratamento mais adequado é avaliar o seu posterior uso potencial. O presente trabalho teve como objetivo verificar os potenciais energéticos dos lodos, bem como comparar os resultados dos lodos gaseificados para dois diferentes tipos de tratamento de esgoto. Dessa forma, foram escolhidas as seguintes unidades: ETE Peixinhos (tipo convencional) e ETE Mangueira (tipo UASB). Ambas as ETEs estão localizadas na Região Metropolitana do Recife e pertencem à Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), mas, desde o segundo semestre de 2013, estão sendo administradas, através de uma Parceria Público-Privada-PPP, pela empresa BRK Ambiental. Alternativas energéticas, por meio de fontes renováveis, têm sido objeto de pesquisas no mundo inteiro, visando diminuir a dependência dos combustíveis fósseis, além de encontrar soluções ambientalmente sustentáveis para colaborar com a matriz energética dos países. Propôs-se a gaseificação dos lodos das referidas ETEs, após a caracterização físico-química e energética destas matérias-primas. Com as variações de temperatura (de 700 a 900°C), o poder calorífico inferior (PCI) do *syngas* gerado na gaseificação do lodo secundário da ETE Peixinhos variou de 12,66 MJ.m⁻³ a 14,07 MJ.m⁻³. Conclui-se que é possível contribuir com a matriz energética nacional, através da análise de energia final dos combustíveis gerados, com eficiências de conversão que podem chegar até 25,77%.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de Esgoto, Biomassa, Fontes Renováveis de Energia, *Syngas*.

INTRODUÇÃO

Os combustíveis fósseis são a base da exploração primária de energia no mundo. De acordo com dados divulgados pelo Ministério de Minas e Energia (MME), em 2014 esses combustíveis (carvão mineral, petróleo e gás natural) representaram 81,6% da oferta de energia primária no mundo, sendo que o carvão mineral contribuiu com 29,0%, o gás natural com 21,5% e o petróleo com 31,1% (MME, 2015).

Com a intensidade do consumo de combustíveis fósseis e a depreciação dos recursos naturais, somada ao crescimento desordenado da população mundial e à promoção dos impactos ambientais, surge o conflito da sustentabilidade do sistema econômico e natural. Tentando sanar esses problemas, o homem tem investido em formas alternativas de produzir energia.

Dentre as alternativas renováveis existentes, em relação aos combustíveis fósseis, a biomassa tem despertado maior interesse. Possui algumas vantagens tais como: é um recurso renovável; tem baixo custo de aquisição; não emite dióxido de enxofre; as cinzas são menos agressivas ao meio ambiente que as provenientes de combustíveis fósseis; provoca menor corrosão nos equipamentos (caldeiras, fornos); tem menor risco ambiental e suas emissões não contribuem para o efeito estufa (GRAUER e KAWANO, 2008).

Uma das formas de conversão energética da biomassa é a gaseificação, cujo surgimento ocorreu durante os anos críticos da Primeira Guerra Mundial. A gaseificação pode ser definida como a conversão termoquímica de um material sólido ou líquido (que tenha carbono em sua composição) em um produto gasoso combustível (gás de síntese). Estes gases combustíveis são compostos por CO₂, CO, H₂, CH₄, H₂O, outros hidrocarbonetos, gases inertes e diversos contaminantes (ex. particulados e alcatrões). Embora existam vários processos de gaseificação, estes ocorrem a altas temperaturas, que podem variar entre 700 e 900°C para a otimização da produção dos gases (DAMARTZIS e ZABANIOTOU, 2011).

Há um renovado interesse pela gaseificação da biomassa principalmente devido à limpeza e versatilidade do combustível gerado, quando comparado aos combustíveis sólidos. A limpeza se refere à remoção de componentes químicos nefastos ao meio ambiente e à saúde humana, entre os quais o enxofre. A versatilidade se refere à possibilidade de usos alternativos, como em motores de combustão interna e turbinas a gás. Um exemplo é a geração de eletricidade em comunidades isoladas das redes de energia elétrica, por intermédio da queima direta do gás em motores de combustão interna (CARDOSO, 2013).

Os lodos de esgoto são considerados biomassa de alto poder calorífico quando possuem baixa umidade e são essencialmente de origem orgânica. Como a maioria dos resíduos orgânicos, os lodos contêm uma grande quantidade de material volátil, portanto é um recurso valioso, que pode ser convertido em produtos úteis (bioprodutos) se submetido a um tratamento adequado como a gaseificação (FRITZ; VIEIRA; DOS SANTOS JÚNIOR, 2011).

Diante do progressivo aumento populacional, os problemas ambientais resultantes da geração de resíduos da atividade humana exigem ações que viabilizem o equilíbrio entre consumo e reúso. No caso do lodo de esgoto não é diferente, pois além do grande volume que exigirá cada vez áreas maiores para descarte, existe ainda o problema ambiental que a ausência de tratamento adequado pode causar à área onde é depositado (GODOY, 2013).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos objetivos, foi necessária a realização da caracterização físico-química e energética dos três tipos de lodos (lodo primário, lodo secundário e lodo do reator UASB). Estas caracterizações foram obtidas através da: - Análise imediata, utilizando-se um DTG/TGA60 da Shimadzu. Foram obtidos dados de umidade, teor de voláteis, carbono fixo e cinzas; - Análise elementar, para obtenção da composição química em termos percentuais de C, H, N, O, S. O analisador CHNOS Elementar – Vario MACRO Cube foi utilizado para esta análise, conforme o procedimento da norma ASTM *Standard Methods for the Ultimate Analysis of Coal and Coke*, D3176-74; - Análise calorimétrica, para determinação do poder calorífico superior e inferior. Na análise calorimétrica, foi utilizado um calorímetro IKA C-2000, de acordo com a Norma ABNT NBR 8633. Após esta

etapa de caracterização dos lodos, estes foram gaseificados num gaseificador de bancada, onde são controladas as temperaturas do reator e o tempo de residência.

Os experimentos foram realizados a 700, 800 e 900°C com um tempo de residência de 3 minutos. Os gases produzidos em cada um dos experimentos foram coletados em sacos de amostragem de gases, e então foram analisados num cromatógrafo a gás equipado com detector de condutividade térmica. Com a composição dos gases obtidos na gaseificação, foi então possível determinar os poderes caloríficos superior e inferior (PCI e PCS, respectivamente) analiticamente.

Após, a obtenção do poder calorífico inferior, foi então possível determinar a energia final disponível com a gaseificação destes lodos.

RESULTADOS OBTIDOS

Para as ações propostas, foram obtidos os seguintes resultados:

1. Nas tabelas 1, 2 e 3, encontram-se os resultados obtidos para as análises imediata, elementar e calorimétrica dos lodos primário e secundário para a ETE Peixinhos, bem como os resultados para o lodo da ETE Mangueira. Tais resultados estão na base seca.

Tabela 1: Análise Imediata dos Lodos Estudados.

BIOMASSA	LODO PRIMÁRIO-ETE PEIXINHOS	LODO SECUNDÁRIO-ETE PEIXINHOS	LODO DO UASB-ETE MANGUEIRA
CARBONO FIXO (%)	1,50 ± 0,03	0,37 ± 0,01	2,10 ± 0,06
MATERIAL VOLÁTIL (%)	40,24 ± 0,34	55,67 ± 0,35	43,24 ± 0,20
CINZAS (%)	58,26 ± 0,36	43,96 ± 0,35	54,66 ± 0,21
UMIDADE (%)	3,55 ± 0,03	5,23 ± 0,44	12,77 ± 0,10

Tabela 2: Análise Elementar dos Lodos Estudados.

BIOMASSA	LODO PRIMÁRIO-ETE PEIXINHOS	LODO SECUNDÁRIO-ETE PEIXINHOS	LODO DO UASB-ETE MANGUEIRA
C (%)	47,72 ± 0,57	49,25 ± 0,32	22,08 ± 0,12
H (%)	3,55 ± 0,04	4,37 ± 0,01	3,37 ± 0,01
N (%)	0,83 ± 0,01	1,85 ± 0,01	2,43 ± 0,01
S (%)	1,16 ± 0,02	0,96 ± 0,03	2,85 ± 0,03

Tabela 3: Análise Calorimétrica dos Lodos Estudados.

BIOMASSA	LODO PRIMÁRIO-ETE PEIXINHOS	LODO SECUNDÁRIO-ETE PEIXINHOS	LODO DO UASB-ETE MANGUEIRA
PCS (kJ/kg)	11.898 ± 17,42	15.987 ± 19,95	7.564 ± 96,15
PCI (kJ/kg)	11.752 ± 18,06	16.294 ± 17,21	7.317 ± 99,92

2. Nas tabelas 4, 5 e 6 encontram-se os resultados obtidos dos lodos gaseificados das unidades estudadas. Para a gaseificação das biomassas, foram utilizadas amostras com massas em torno de 9 g, nas temperaturas de 700°C, 800°C e 900°C.

A gaseificação é um processo termoquímico que converte o combustível sólido ou líquido em combustível gasoso. A operação é realizada em ambiente parcialmente oxidativo, sob temperaturas elevadas compreendidas entre 800°C e 1000°C (GÓMEZ, 1996) e com o uso de reatores pressurizados ou atmosféricos. Ao contrário da combustão, neste processo a quantidade de ar aplicada está abaixo dos níveis estequiométricos.

No que se refere ao uso do lodo de ETE como matéria-prima para a gaseificação, são evidentes os potenciais de uso e suas vantagens, em especial pelo uso do gás liberado na gaseificação em benefício da produção de energia elétrica, assim como o uso do calor liberado para a secagem do lodo (AZNAR, 1998 e MANARA e ZABANIOTOU, 2012).

Tabela 4: Resultados médios encontrados para T=700°C.

BIOMASSA	LODO PRIMÁRIO-ETE PEIXINHOS	LODO SECUNDÁRIO-ETE PEIXINHOS	LODO DO UASB-ETE MANGUEIRA
H ₂ (% m/m)	18,93 ± 0,35	15,52 ± 0,70	10,07 ± 0,25
CO (% m/m)	3,37 ± 0,21	26,69 ± 0,86	3,26 ± 0,25
CH ₄ (% m/m)	4,64 ± 0,22	16,70 ± 0,10	4,01 ± 0,30
C ₂ H ₆ (% m/m)	2,05 ± 0,03	3,82 ± 0,55	1,94 ± 0,12
C ₂ H ₄ (% m/m)	4,26 ± 0,08	3,79 ± 0,27	4,60 ± 0,10

Tabela 5: Resultados médios encontrados para T=800°C.

BIOMASSA	LODO PRIMÁRIO-ETE PEIXINHOS	LODO SECUNDÁRIO-ETE PEIXINHOS	LODO DO UASB-ETE MANGUEIRA
H ₂ (% m/m)	13,62 ± 0,44	14,94 ± 0,49	27,31 ± 0,30
CO (% m/m)	6,12 ± 0,01	24,86 ± 0,78	6,68 ± 0,42
CH ₄ (% m/m)	7,83 ± 0,09	14,81 ± 0,05	6,63 ± 0,46
C ₂ H ₆ (% m/m)	1,52 ± 0,01	3,74 ± 0,05	0,91 ± 0,05
C ₂ H ₄ (% m/m)	3,21 ± 0,08	3,05 ± 0,01	4,46 ± 0,48

Tabela 6: Resultados médios encontrados para T=900°C.

BIOMASSA	LODO PRIMÁRIO-ETE PEIXINHOS	LODO SECUNDÁRIO-ETE PEIXINHOS	LODO DO UASB-ETE MANGUEIRA
H ₂ (% m/m)	19,18 ± 0,44	32,59 ± 0,66	16,05 ± 0,21
CO (% m/m)	10,19 ± 0,09	26,96 ± 0,10	5,38 ± 0,55
CH ₄ (% m/m)	11,61 ± 0,13	14,67 ± 0,10	4,49 ± 0,34
C ₂ H ₆ (% m/m)	2,04 ± 0,08	1,45 ± 0,11	0,64 ± 0,10
C ₂ H ₄ (% m/m)	2,69 ± 0,07	1,73 ± 0,10	2,93 ± 0,66

Para os testes de gaseificação, foi utilizado um minigaseificador laboratorial. Trata-se de um equipamento que opera em regime de batelada, visto que esta tecnologia é mais eficiente para operação em pequena escala e para testes de novos processos que ainda não foram completamente desenvolvidos.

O sistema de análise dos gases combustíveis consistiu de um cromatógrafo a gás Thermo, equipado com detector de condutividade térmica (TCD) e coluna Restek (1/8 polegada de diâmetro, empacotada com recheio de peneira molecular Mol Sieve 5 A). A análise transcorreu de modo isotérmico (40°C), com vazão de gás de arraste de 20 mL por minuto.

- Para cada situação experimental, o PCI do gás combustível produzido a partir da gaseificação dos coprodutos investigados neste trabalho foi calculado conforme equação 1. Os resultados estão apresentados na tabela 7.

$$\text{PC da mistura} = \sum \% \text{Mi} \cdot \text{PCi} \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

Mi – Massa molar do gás (kg.kmol⁻¹) e

PCi – Poder calorífico do gás (MJ.m⁻³)

Tabela 7: Resultados médios encontrados para o PCI (MJ. m⁻³)

TEMPERATURA	LODO PRIMÁRIO-ETE PEIXINHOS	LODO SECUNDÁRIO-ETE PEIXINHOS	LODO DO UASB-ETE MANGUEIRA
700°C	7,13	14,07	6,17
800°C	7,09	12,77	8,41
900°C	9,32	12,66	5,52

Os maiores valores médios dos poderes caloríficos inferiores obtidos neste trabalho são superiores aos valores obtidos por Judex, Gaiffi e Burgbacher (2012). Uma justificativa para isto se deve ao fato de os gases combustíveis obtidos a partir dos lodos secundários da ETE Peixinhos possuírem maiores concentrações de metano, que possui elevado poder calorífico individual.

- A energia final disponível para cada situação experimental foi calculada multiplicando-se o volume de gás gerado pelo poder calorífico inferior do gás combustível. A eficiência de conversão (η) foi calculada dividindo-se a energia final (forma gasosa) pela energia inicial (forma sólida). Os resultados para os lodos primário e secundário da ETE Peixinhos e para o lodo do UASB da ETE Mangueira são mostrados, respectivamente, na tabela 8.

Tabela 8 – Análise da energia final.

TEMPERATURA	Lodo Primário - ETE Peixinhos		Lodo Secundário - ETE Peixinhos		Lodo do UASB - ETE Mangueira	
	Energia Final (kJ)	η (%)	Energia Final (kJ)	η (%)	Energia Final (kJ)	η (%)
700°C	105,7	8,96	109,15	15,36	62,43	10,06
800°C	105,77	11,91	115,86	25,77	64,34	15,18
900°C	107,2	17,76	107,15	24,44	72,31	12,22

Pela análise da tabela 8, pode ser observado que a maior eficiência de conversão (25,77%) foi alcançada na temperatura de 800°C para o lodo secundário da ETE Peixinhos. Nestas condições, a energia final (energia do gás combustível produzido proveniente da biomassa do lodo secundário da ETE Peixinhos injetada) foi de 115,86 kJ.

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

De todos os lodos estudados, o lodo secundário da ETE Peixinhos, de acordo com os resultados dos experimentos, é o lodo com maior potencial para a geração de energia. Obviamente, faz-se necessário um estudo mais aprofundado e ficam como sugestões as seguintes propostas:

- Variar as massas das biomassas injetadas no minigaseificador;
- Incluir o tempo de residência como variável de processo;
- Verificar a influência da cogaseificação (utilização de combustível formado a partir da mistura do lodo de diferentes ETEs) na formação dos principais componentes gasosos do *syngas*;
- Realizar estudo cinético do processo de gaseificação e mecanismos de formação dos gases componentes do *syngas*;
- Verificar a aplicação das condições otimizadas encontradas neste trabalho em gaseificações de maior escala;
- Desenvolver de técnicas para medição do alcatrão formado durante o processo de gaseificação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT NBR 8.633/1984: Carvão vegetal - Determinação do poder calorífico - Método de ensaio.
2. ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. “Standards Methods for the Ultimate Analysis of Coal and Coke”, in Annual Book of ASTM Standards, section D3176-74, 1983.
3. AZNAR, M. P. Commercial steam reforming catalysts to improve biomass gasification with steam oxygen mixtures, 2. Catalytic tar removal. Ind Eng Chem Res, v.37, p.2668–2680, 1998.
4. BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Resenha Energética Brasileira. Brasília: MME, 2015.
5. CARDOSO, M. T. Da iluminação das cidades no século XIX às biorrefinarias modernas: história técnica e econômica da gaseificação. 2013. 139f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo.
6. DAMARTZIS, T.; ZABANIOTOU, A. thermochemical conversion of biomass to second generation biofuels through integrated process design: a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, New York, v. 15, n. 1, p. 366-378, 2011.
7. FRITZ, A. G. N. C.; VIEIRA, G. E. G; DOS SANTOS JÚNIOR, R. K. Reaproveitamento e caracterização do lodo para produção de energia renovável. Biomassa & Energia, v. 4, n. 2, p. 121-130, 2011.
8. GODOY, L. C. A logística na destinação do lodo de esgoto. Revista Científica On-line Tecnologia – Gestão – Humanismo, v. 2, n. 1, 2013. Disponível em: <<http://www.fatecguaratingueta.edu.br/revista/index.php/RCO-TGH/article/view/43/27>>. Acesso em: 05 dez. 2014.
9. GÓMEZ, E. O. Projeto, construção e avaliação preliminar de um reator de leito fluidizado para gaseificação de bagaço de cana-de-açúcar. 1996. 178 p. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
10. GRAUER, A.; KAWANO, M. Aproveitamento energético de resíduos para biomassa é rentável. Revista da Madeira, n. 110, 2008. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1203&subject=Biomassa&title=Aproveitamento de resíduos para biomassa é rentável](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1203&subject=Biomassa&title=Aproveitamento%20de%20res%C3%ADuos%20para%20biomassa%20%C3%A9%20rent%C3%A1vel)>. Acesso em: 12 nov. 2014.
11. JUDEX, J. W.; GAIFFI, M.; BURGBACHER, C. Gasification of dried sewage sludge: Status of the demonstration and pilot plant. Waste Management, v. 32, p.719-723, 2012.
12. MANARA, P.; ZABANIOTOU, A. Towards sewage sludge based biofuels via thermochemical conversion – A review. Renewable and Sustainable. Energy Reviews. v. 16, p.2.566– 2.582, 2012.