

PRODUÇÃO DE BICOMBUSTÍVEIS A PARTIR DO PROCESSO DE PIRÓLISE DE LODO RESIDUAL

Marcelo Mendes Pedroza¹, Caio Augusto Chaves², Matheus Gomes Arruda³, Argemiro Lima Pedrosa⁴

¹ Químico Industrial, MSc Engenharia Sanitária e Ambiental, Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO). Doutor em Engenharia Química. Email: mendes@ifto.edu.br

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins-IFTO, Aluno do curso de Mecatrônica.

³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins-IFTO, Aluno do curso de Controle Ambiental.

⁴ Químico Industrial, Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO). Email: pedrosa@ifto.edu.br

Resumo: O lodo de esgoto é um resíduo semi-sólido, pastoso e de natureza predominantemente orgânica gerado em estações de tratamento de esgotos. Esse resíduo pode exibir características indesejáveis, como instabilidade biológica, possibilidade de transmissão de patógenos e grandes volumes. O lodo é uma importante fonte de matéria orgânica, micro e macronutriente. Quando aplicado ao solo pode conferir maior capacidade de retenção de água, maior resistência à erosão, diminuição do uso de fertilizantes minerais, e possivelmente, propiciando maior resistência da planta aos fitopatógenos. No entanto, a presença de metais pesados e microrganismos patogênicos no biossólido podem comprometer o seu uso agrícola. A destinação deste lodo residual que é gerado nas estações de tratamento de esgotos é um grande problema ambiental para as empresas de saneamento, públicas ou privadas. O objetivo deste trabalho foi produzir, a partir da pirólise do lodo de esgoto, biocombustíveis visando aplicação industrial. O lodo utilizado nessa pesquisa foi produzido em reator UASB. Os ensaios térmicos foram realizados em um reator de cilindro rotativo, com capacidade de processar até 2 kg biomassa/h. O reator foi operado nas temperaturas de 450, 500, 550 e 600 °C. O aumento da temperatura de 450 para 600 °C favoreceu o aumento da fração gasosa e a diminuição das frações sólida e líquida. O maior rendimento de carvão foi de 62,3%, obtido a 450 °C. O rendimento máximo em bio-óleo foi da ordem de 10,8%. O maior conteúdo de gases foi de 22 %. A grande importância dessa pesquisa está relacionada com a possibilidade de transformação de um resíduo perigoso (lodo de esgoto) em produtos com valor agregado (carvão, bio-óleo e biogás).

Palavras-chave: Aproveitamento energético, biomassa, tratamento térmico

1 INTRODUÇÃO

O lodo de esgoto, biomassa utilizada nessa pesquisa, tem sido estudado como matéria-prima potencial para obtenção de biocombustível, sendo o termo “lodo” usado para designar os subprodutos sólidos do tratamento de esgotos. O lodo doméstico é uma mistura heterogênea complexa de materiais orgânicos e inorgânicos. Os sólidos do lodo normalmente contêm 60-80% de matéria orgânica. Os materiais orgânicos deste resíduo são compostos de 20-30% de proteína bruta, 6-35% de gorduras e 8-15% de carboidratos. Apesar do lodo de esgoto conter vários materiais valiosos, muitas vezes é descartado como um resíduo indesejável e de valor inestimável. O lodo é constituído predominantemente de proteínas e carboidratos e que a fração lipídica do resíduo pode ser empregada para a produção de biodiesel através do processo de transesterificação. O lodo de esgoto é constituído por uma grande variedade de grupos funcionais (ácido, álcool,

amina, amida, nitrila, cetona, hidrocarbonetos). Essas estruturas orgânicas possuem potencial energético elevado e podem ser recuperadas em processos térmicos. Várias tecnologias estão sendo desenvolvidas e representam alternativas viáveis para o aproveitamento do lodo residual. Dentre essas alternativas, citam-se: a pirólise, a oxidação úmida e o processo de gaseificação. A pirólise é um processo endotérmico que consiste em aquecer a biomassa (normalmente entre 300°C e 600°C), na “quase-ausência” de ar, com a formação de vapores, que ao serem resfriados produzem um líquido que é normalmente indicado como bio-óleo, finos de carvão e gases pirolíticos não condensáveis, que podem ser usados para gerar calor e energia para o processo em si, ou para o mercado local. Nessa pesquisa foi investigada a pirólise de lodo de esgoto em reator do tipo cilindro rotativo em regime contínuo, direcionando a obtenção de um maior rendimento da fração gasosa do processo visando aplicação industrial. O lodo utilizado foi produzido em reator anaeróbio UASB (cerca de 40 m³ /mês) da estação de tratamento de esgoto Vila União, localizada na cidade de Palmas (TO). Atualmente esse material é desidratado em leitos de secagem e disposto em terreno nas vizinhanças da estação de tratamento. Esse tipo de disposição final do lodo tem como grande desvantagem o acúmulo no solo de metais pesados, microrganismos patogênicos e substâncias orgânicas tóxicas. No processo de degradação térmica do lodo, além dos gases foram estudadas outras frações como o bio-óleo e os finos de carvão.

2 METODOLOGIA

O lodo residual utilizado nos ensaios de pirólise foi produzido em Reator UASB (Reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo). O material passou por processo de secagem em centrífuga e moído mecanicamente num moinho de bolas e peneirado através de uma peneira com aberturas de malha de 0,59 mm para garantir a homogeneidade da amostra e para facilitar os procedimentos de análise.

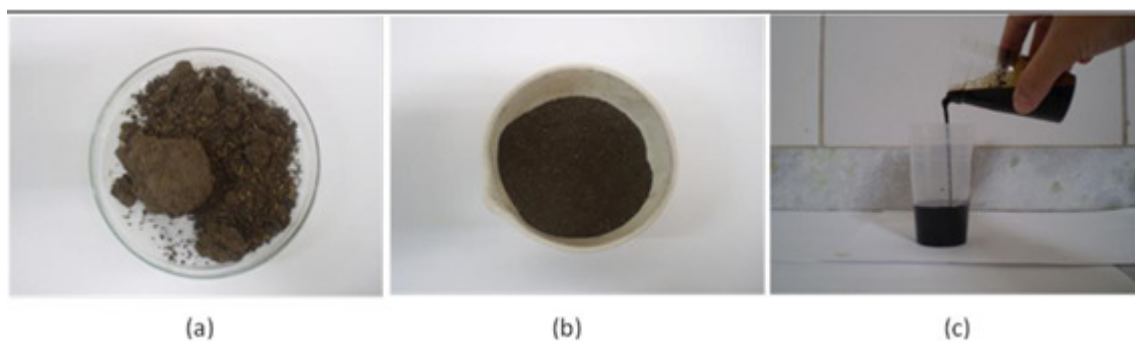


Figura 1– Amostras de Lodo de esgoto e bio-óleo: (a) lodo de esgoto bruto, (b) lodo triturado e (c) bio-óleo obtido no processo

Técnicas gravimétricas clássicas foram empregadas para caracterizar os teores de umidade, cinzas e material volátil. A unidade pirolítica é constituída das seguintes partes: sistema de alimentação de biomassa, reator de cilindro rotativo com sistema de aquecimento, sistema de separação de sólidos, lavador de gases e sistema de condensação do bio-óleo. O reator foi operado nas temperaturas de 450, 500, 550 e 600 °C, valores comumente adotados por outros pesquisadores para a pirólise de lodo de esgoto (Figura 2).

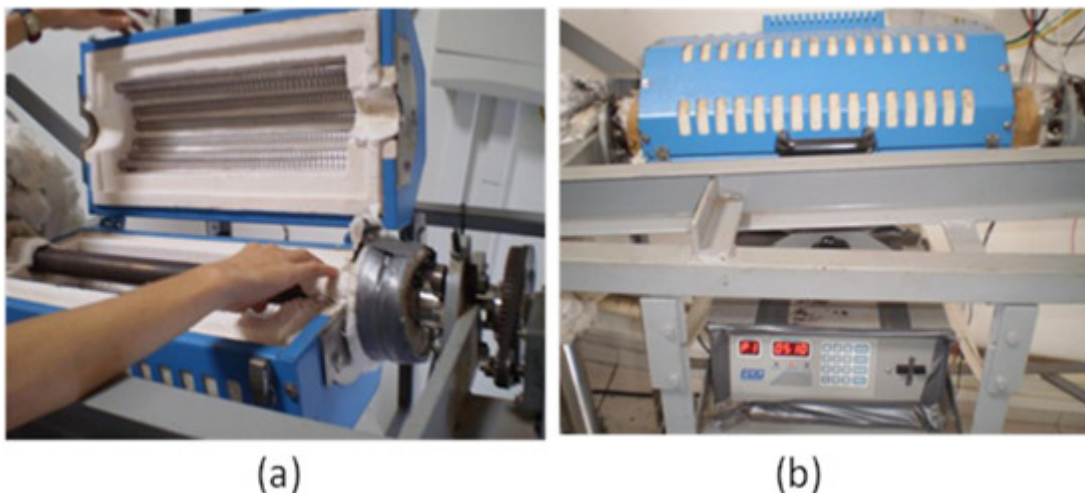


Figura 2 – Reator empregado do processo

A biomassa empregada passava por processo de secagem antes dos experimentos. A secagem do lodo acontecia em estufa por 24 horas a 70 °C. O lodo foi caracterizado, antes e após a secagem, através da análise imediata (umidade ASTM D 3173-85, cinzas, material volátil e carbono fixo). Em cada experimento, foi utilizada uma quantidade de 600 g de lodo residual para se determinar o balanço de massa do processo. O tempo de reação foi de 30 minutos quando se empregou uma frequência de alimentação de biomassa de 8 Hz. Todos os produtos finais (bio-óleo, carvão, gases e água).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análises Imediata e Elementar dos Lodos Residuais

Os Lodos LD-1 e LD-6 apresentaram teores de umidade de 12,00 e 11,47%, respectivamente. Na amostra de LD-10 foi detectada a menor umidade (Tabela 1). O lodo LD-12 apresentou um alto teor de umidade (24,15 %), bem superior à umidade das outras amostras, e a explicação para tal

variação fundamenta-se nos períodos de coleta das amostras de lodo na ETE, em que as amostras LD-1 e LD-6 foram coletadas em setembro, mês de menor umidade relativa do ar na cidade de Palmas-TO e o LD-12 no mês de julho, período seco, porém de umidade maior que o mês de setembro. Segundo a literatura, a etapa inicial de secagem da amostra é o estágio que se gasta mais energia durante o processo de pirólise e que a umidade interfere no deslocamento da biomassa principalmente em reatores do tipo leito fluidizado ou do tipo cilindro rotativo podendo dificultar a passagem da amostra.

O maior teor de cinzas foi observado na amostra LD-6 (46,15%), possivelmente devido a uma elevada quantidade de ferro advindo do tratamento físico-químico do lodo com cloreto férrico (FeCl_3).

Tabela 1 – Resultados das análises Gravimétricas e Elementar das amostras de

Variável Analítica	Lodos dessa pesquisa				Outros autores	
	LD-1	LD-6	LD-10	LD-12		
Umidade (%)	12,00	11,47	6,72	24,15	5,30 (Pokorna <i>et al.</i> , 2009) ⁽¹⁾	7,10 (Fonts <i>et al.</i> , 2009) ⁽¹⁾
Cinzas (%)	32,20	46,15	31,80	45,01	47,50 (Pokorna <i>et al.</i> , 2009)	39,00 (Fonts <i>et al.</i> , 2009)
Material Volátil (%)	53,90	40,57	57,79	25,66	53,00 (Pokorna <i>et al.</i> , 2009)	47,00 (Sánchez <i>et al.</i> , 2009) ⁽¹⁾
Carbono Fixo (%)	1,90	1,81	3,69	5,18	8,30 (Pokorna <i>et al.</i> , 2009)	4,40 (Fonts <i>et al.</i> , 2009)
Carbono (%)	26,97	15,00	27,00	-	27,16 (Barneto <i>et al.</i> , 2009) ⁽¹⁾	27,70 (Fonts <i>et al.</i> , 2009)
Hidrogênio (%)	4,36	3,62	3,70	-	4,62 (Barneto <i>et al.</i> , 2009)	4,40 (Fonts <i>et al.</i> , 2009)
Nitrogênio (%)	3,63	2,68	2,74	-	4,91 (Barneto <i>et al.</i> , 2009)	3,90 (Fonts <i>et al.</i> , 2009)
Enxofre (%)	2,74	5,32	3,09	-	1,00 (Barneto <i>et al.</i> , 2009)	3,20 (Fonts <i>et al.</i> , 2009)
Poder calorífico (MJ/kg)	21,07	-	19,04	-	17,1 (Pokorna <i>et al.</i> , 2009)	16,5 (Sánchez <i>et al.</i> , 2009)

lodo anaeróbio digerido

A análise de material volátil mostrou que a amostra LD-10 apresentou a maior concentração de matéria orgânica (57,79%). A menor concentração foi detectada em LD-6 (40,57%), por ser esse lodo rico em material inorgânico. O lodo LD-12 apresentou teor de carbono fixo bem superior aos demais lodos estudados nessa pesquisa, 5,18 %, e isso pode ser atribuído à presença de carbonato de cálcio presente nesse tipo de lodo.

As características orgânicas e inorgânicas das amostras foram também verificadas através da análise elementar (CNHS) dos lodos. Os lodos LD-1 e LD-10 apresentaram maior conteúdo de carbono, 26,97 e 27,00%, respectivamente. Esses valores estão bem próximos dos observados por Pokorna *et al.*, (2009) e Fonts *et al.*, (2009). Na amostra LD-6, foi percebido o menor teor, 15,00% (Tabela 1). O lodo de esgoto possui em sua composição uma diversidade de compostos orgânicos que apresentam um potencial energético muito elevado para serem tratados como simples resíduos. O poder calorífico obtido do lodo LD-1

foi de 21,07 MJ/kg, bem superior ao valor 16,5 MJ/kg determinado por Sánchez *et al.*, (2009), possivelmente por o lodo LD-1 apresentar em sua constituição o teor de material volátil superior ao observado por esses pesquisadores. Os lodos pesquisados pelos outros autores da Tabela 5.1 são do tipo anaeróbio.

Nos experimentos de pirólise desenvolvidos nesse trabalho foi utilizada apenas a amostra de lodo anaeróbio digerido LD-1. As cinzas obtidas da queima das amostras de lodos, durante a análise imediata, são apresentadas na Figura 6.1. As colorações avermelhada e cinza, indicam presença abundante dos metais ferro e cálcio, respectivamente.

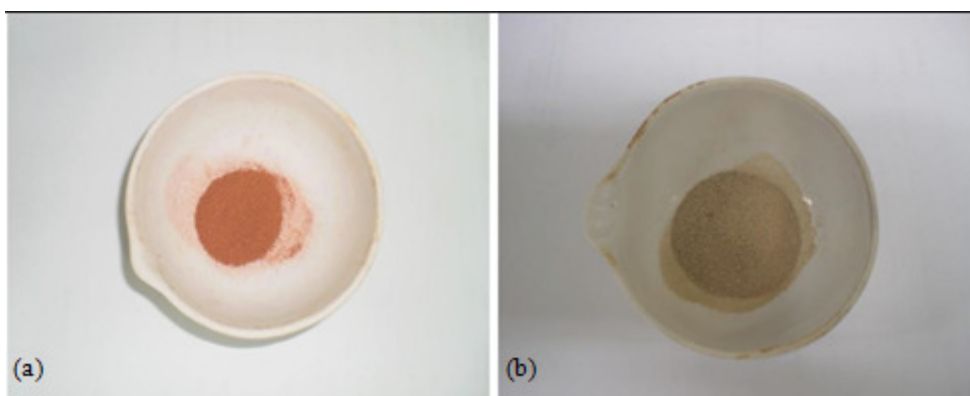


Figura 3 – Tipos de cinzas obtidas de amostras de lodos residuais: (a) geradas do Lodo LD-1, (b) obtidas de LD-12

4.2 Ensaios de Pirólise

Os dados experimentais mostram que, o aumento da temperatura de 450 para 600 °C favoreceu o aumento da fração gasosa e a diminuição das frações sólida e líquida (Figura 4).

É importante ressaltar que temperaturas abaixo de 450 °C não favorecem a produção de bio-óleo, induzindo apenas a geração da fração sólida (carvão).

O maior rendimento de carvão foi de 62,3%, sendo esse experimento operado 450 °C e o menor rendimento (53,8%) foi obtido com à 600 °C.

A redução no rendimento de sólidos com o aumento da temperatura pode ser atribuído à devolatilização dos compostos orgânicos sólidos (hidrocarbonetos, ácidos húmicos, proteínas) e gaseificação parcial de resíduos carbonosos no carvão em altas temperaturas. A devolatilização é o primeiro passo para a produção do carvão por processos térmicos (SANCHEZ et al., 2009).

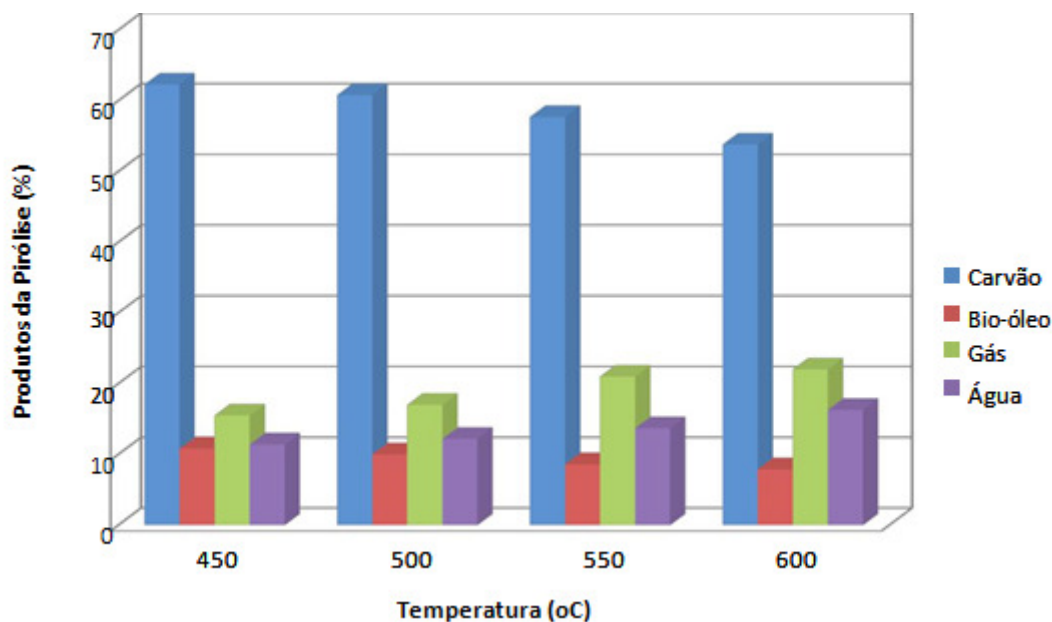


Figura 4 - Rendimentos das frações obtidas durante a pirólise de lodo de esgoto doméstico

A fração líquida sofreu uma menor redução quando comparada com a fração sólida. O craqueamento secundário do alcatrão provavelmente ocasionado pela dolomita presente no lodo do esgoto e que intensificado a altas temperaturas pode ter influenciado na diminuição da quantidade de líquidos pirolíticos, induzindo assim para obtenção de um maior percentual da fração gasosa.

O rendimento máximo em bio-óleo foi da ordem de 10,8%, obtido a 450 °C. Foi observado, na temperatura de 600 °C, o menor rendimento líquido (7,9 %). O maior conteúdo de gases foi de 22 % e foi determinado na temperatura do reator de 600 °C.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As características químicas da biomassa, poder calorífico superior (21,07 MJ/kg) e teor de carbono (26,97%), apontam para utilização do resíduo como precursor para a produção de biocombustíveis. Os dados experimentais mostram que, o aumento da temperatura de 450 para 600 °C favoreceu o aumento da fração gasosa e a diminuição das frações sólida e líquida. É importante ressaltar que temperaturas abaixo de 450 °C não favorecem a produção de bio-óleo, induzindo apenas a geração da fração sólida (carvão). O tratamento térmico por pirólise é uma alternativa ambientalmente correta a ser empregada no reaproveitamento de biossólidos. As frações líquida e gasosa obtidas durante o processo apresentam elevados poderes caloríficos que podem ser reaproveitados no próprio processo pirolítico. O resíduo sólido gerado durante o processo também pode ser reaproveitado na construção civil.

REFERÊNCIAS

PEDROZA, M. M. *Bio-óleo e Biogás da degradação termoquímica de lodo de esgoto doméstico em cilindro rotativo*. Tese de Doutorado, Universidade do Rio Grande do Norte, 210 p, 2010.

PEDROZA, M. M., VIEIRA, G. E. G., SOUSA, J. F., PICKLER, A. C., LEAL, E. R. M.,

MILHOMEN, C. C. Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão. *Revista Liberato*, **11**, p.147-157, dez. 2010.

PEDROZA, M. M., VIEIRA, G. E. G., SOUSA, J. F., PICKLER, A. C., LEAL, E. R. M.,

MILHOMEN, C. C. Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão. *Revista Liberato*, **11**, p.147-157, dez. 2010.

VIEIRA, G. E. G., ROMEIRO, G. A., SELLA, S. M., DAMASCENO, R. N., PEREIRA, R. G. Low temperature conversion (LTC) – An alternative method to treat sludge generated in an industrial wastewater treatment station – Batch and continuous process compari - son. *Bioresource Technology*, **100**, p.1544–1547, ago. 2009.

ANDREOLI, C. V., TAMANIN, C. R., HOLSBACH, B., PEGORINI, E. S., NEVES, P. S. Uso de lodo de esgoto na produção de substrato vegetal. In: **BIOSSÓLIDOS – ALTERNATIVAS DE USO DE RESÍDUOS DO SANEAMENTO**. Rio de Janeiro, Editora ABES, 2006.398 p.

ANDREOLI, C. V., VON SPERLING, M., FERNANDES, F. **Lodos de Esgoto: Tratamento e Disposição Final**. Rio de Janeiro ABES, 2001. 483p.

ANDREOLI, C. V. **A gestão de bissólidos no Paraná**. In: ANAIS DO CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPECIALIDADES EM MEDICINA VETERINÁRIA. Curitiba, AMEVE, 202. 43 – 46p.

BLACK, J. G. **Microbiologia – Fundamentos e perspectivas**. Rio de Janeiro, Editora Guanabara Koogan, 4ed., 202. 829p

BITTON, G. **Wastewater microbiology**. New York, Ed. Wiley, 2001. 381p.

CASSINI, S. T. **Digestão de resíduos orgânicos e aproveitamento de biogás**. Rio de Janeiro, EDITORA ABES, 2003. 210p.

EUROPEAN COMMISSION. **HEAVY METALS IN WASTE**. DG ENV. E3, Project ENV. E3/ETU/2000/0058. 2002.

POKORNA, E., POSTELMANS, N., JENICEK, P., SCHREURS, S., CARLEER, R., YPERMAN, J. Study of bio-oils and solids from flash pyrolysis of sewage sludges. **Fuel**, 88, p.1344-1350, 2009.

FONTS, I., AZUARA, M., GEA, G., MURILLO, M. B. Study of the pyrolysis liquids obtained from different sewage sludge. **J. Anal. Appl. Pyrolysis**, 85, p.184–191, 2009.

BARNETO, A. G., CARMONA, J. A., ALFONSO, J. E. M., BLANCO, J. D. Kinetic models based in biomass components for the combustion and pyrolysis of sewage sludge and its compost. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, 86, p.108-114, 2009.

SANCHEZ, M. E., MENÉNDEZ, J. A., DOMÍNGUEZ, A., PIS, J. J., MARTÍNEZ, O., CALVO, L. F., BERNAD, P. L. Effect of pyrolysis temperature on the composition of the oils obtained from sewage sludge. **Biomass and Bioenergy**, 33, p.933-940, 2009.