PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS A PARTIR DA PIRÓLISE DE LODO DE ESGOTO DOMÉSTICO

Biofuels Production from Pyrolysis of Sewage Sludge

Marcelo Mendes Pedroza [1]
Gláucia Eliza Gama Vieira [2]
João Fernandes de Sousa [3]

Dirección de contacto: 105 N, Alameda das Mangueiras, QI 2, Lote 16, Casa 07, Centro, Palmas, Tocantins, 77000-000, Brasil. Tel.:55 (63) 8486-9940. E-mail: mendes@ifto.edu.br

ABSTRACT
This study aimed to produce, from the pyrolysis of sewage sludge in rotating cylinder, biofuels aiming industrial application. The samples of residual sludge were collected in drying beds of sewage treatment plant. The sludge used in this research as biomass is produced in the reactor typically anaerobic (UASB). The moisture, ash and volatile material of residual sludge were 12.00, 38.1 and 53.9%, respectively. The sludge showed calorific value of 21.07 MJ / kg and carbon content 26.97%. The tests were performed in a thermal pyrolytic plant, laboratory scale, and the reactor consists of a rotating cylinder whose length is 100 cm, with capacity to process up to 2 kg biomass / h. The reactor was operated at temperatures of 450, 500, 550 and 600 °C. Increasing the temperature from 450 to 600 °C favored increased gaseous fraction and reduction of solid and liquid fractions. The highest yield of coal was 62.3%, obtained 450 ^{o}C. The maximum yield of bio-oil was approximately 10.8%. The higher content of gas was 22% and was determined at the reactor temperature of 600 ^{o}C. The use of sewage sludge as a raw material in the production of biofuels from the application of thermal process, presents itself as an environmentally viable alternative, which has the advantages the fact prevent future environmental impacts, resulting from the improper disposal of sludge sewage into the environment, and enable to obtain a product of economic value, such as bio-oil and combustible gases, transforming a waste into raw materials.

KeyWords: biofuels, bio-oil, pyrolysis, sewage sludge

1 Instituto Federal do Tocantins – IFTO, 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

2 Universidade Federal do Tocantins – UFT

3 Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS A PARTIR DA PIRÓLISE DE LODO DE ESGOTO DOMÉSTICO

RESUMO
Este trabalho teve como objetivo produzir, a partir da pirólise do lodo de esgoto doméstico em cilindro rotativo, biocombustíveis visando aplicação industrial. As amostras de lodo residual foram coletadas em leitos de secagem de estação de tratamento de esgoto. O lodo utilizado nessa pesquisa como biomassa foi produzido em reator tipicamente anaeróbio (UASB). Os teores de umidade, cinzas e material volátil do lodo residual foram de 12,00, 38,1 e 53,9%, respectivamente. O lodo apresentou poder calorífico superior de 21,07 MJ/kg e teor de carbono igual a 26,97%. Os ensaios térmicos foram realizados em uma planta pirolítica, em escala de laboratório, constituída de um reator de cilindro rotativo cujo comprimento é 100 cm, 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 ^{o}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 % e foi determinado na temperatura do reator de 600°C. O uso do lodo de esgoto como matéria-prima na obtenção de biocombustíveis a partir da aplicação de processo térmico, apresenta-se como uma alternativa ambientalmente viável, que tem como vantagens o fato de prevenir impactos ambientais futuros, advindos da disposição incorreta do lodo de esgoto no meio ambiente, e por possibilitar a obtenção de um produto de valor econômico, como o bio-óleo e gases combustíveis, transformando assim um resíduo a ser descartado em matéria-prima.

PALAVRAS-CHAVE: biocombustíveis, bio-óleo, lodo de esgoto, pirólise

Introdução e Objetivo

O lodo doméstico é uma mistura heterogênea complexa de materiais orgânicos e inorgânicos (Metcalf e Eddy, 2002). 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 (Eckenfelder, 2000).

Apesar do lodo de esgoto conter vários materiais valiosos, muitas vezes é descartado como um resíduo indesejável e de valor inestimável. 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 (Pedroza *et al.*, 2010).

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 (Pedroza, 2011).

O emprego do lodo residual em processo térmico contribui para a diversificação do plano energético brasileiro.

O bio-óleo advindo do processo possui em sua constituição química hidrocarbonetos alifáticos, hidrocarbonetos aromáticos, ácidos graxos, nitrilas aromáticas e esteróides. Esse líquido apresenta alto poder calorífico e ausência de compostos sulfurados, o que aponta para a possibilidade de aplicação deste produto como biocombustível. O bio-óleo pode ser utilizado em substituição do óleo diesel em caldeiras, ligantes na fabricação de briquetes siderúrgicos, emulsões para asfalto, aditivos de gasolina e óleo – diesel.

A fração gasosa obtida através da pirólise do lodo residual possui alto poder calorífico e é composta por hidrocarbonetos de até 6 carbonos, hidrogênio, CO e CO_2. O gás de síntese (CO e H_2) é representativo na mistura e pode ser empregado em processos químicos (síntese do metanol, da amônia e reações do Tipo Fischer-Tropsch para obtenção de gasolina ou mesmo diesel). A fase gasosa pode ser utilizada como fonte de aquecimento em fornos, caldeiras, fornos de cal, fornos cerâmicos, turbinas a gás, geradores de vapor, etc.

O carvão também pode ser empregado na remoção de metais pesados e substâncias orgânicas tóxicas de efluentes, substituindo o carvão ativado comercial. Além disso, podem ser utilizados em caldeiras e fornos tubulares, fornos comerciais (pizzaria, padaria, etc) e uso doméstico (Vieira *et al*., 2009).

Esse trabalho teve como objetivo produzir, a partir da pirólise do lodo de esgoto doméstico em cilindro rotativo, biocombustíveis visando aplicação industrial.

Materiais e Métodos

Caracterização do Lodo de Esgoto

O lodo residual utilizado nos ensaios de pirólise foi produzido em Reator UASB (Reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo) e fornecido pela Companhia de Saneamento do Tocantins (Saneatins).

O material passou por processo de secagem em forno solar (Figura 1) 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.

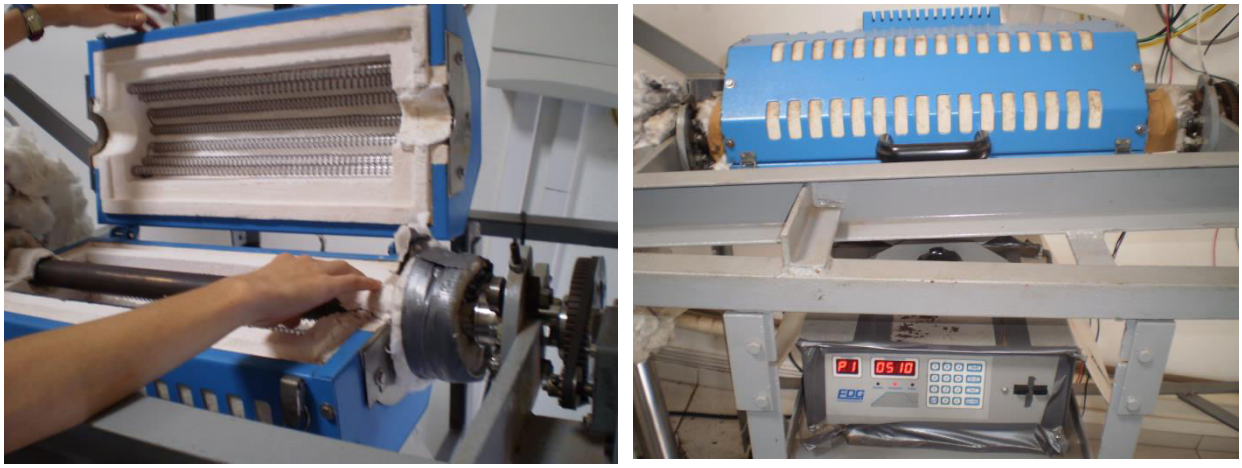
(a) (b)

Figura 1 – Lodo residual utilizado na pirólise: (a) Resíduo úmido retirado do reator UASB e (b) forno solar empregado na desidratação do material

Os teores de umidade, cinzas e material volátil do lodo residual foram de 12,00, 38,1 e 53,9%, respectivamente. O ferro foi o metal encontrado em maior quantidade (28911 mg/kg). Também foram identificados os seguintes metais no lodo: Zinco (891 mg/kg), Cobre (219 mg/kg), Manganês (82 mg/kg) e Chumbo (47 mg/kg). O lodo apresentou poder calorífico superior de 21,07 MJ/kg e teor de carbono igual a 26,97%.

Reator de Pirólise

A planta pirolítica, em escala de laboratório foi constituída de um reator de cilindro rotativo (Figura 2) cujo comprimento é 100 cm, com capacidade de processar até 2 Kg biomassa/h. O reator foi operado nas temperaturas de 450, 500, 550 e 600 °C. A unidade pirolítica é constituída das seguintes partes: (a) sistema de alimentação de biomassa, (b) reator de cilindro rotativo com sistema de aquecimento, (c) sistema de separação de sólidos, (d) lavador de gases e (e) sistema de condensação do bio-óleo.



(a) (b)

Figura 2 – Sistema de pirólise de lodo residual: (a) reator de cilindro rotativo e (b) forno utilizado no sistema de aquecimento do reator

O material sólido produzido durante a pirólise (carvão) foi recuperado em separadores de sólidos situados a jusante do reator. O bio-óleo (Figura 3) foi coletado, após a unidade de centrifugação, em três recuperadores de líquidos.

(a) (b)

Figura 3 – Produtos da pirólise de lodo residual: (a) e (b) bio-óleo e (c) carvão

A fração aquosa foi separada do bio-óleo em funil de separação, utilizando-se diclorometano (Figura 4). A fração gasosa do processo foi coletada em colchão inflável e pesada.

Figura 4 – Separação da fração aquosa do bio-óleo em diclorometano

Resultados e Discussão

Os dados experimentais mostram que, o aumento da temperatura de 450 para 600 ^{o}C favoreceu o aumento da fração gasosa e a diminuição das frações sólida e líquida (Figura 5).

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 ^{o}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. O comportamento dos compostos da biomassa, durante a devolatilização, é resultado da soma dos comportamentos dos componentes individuais do lodo: celulose, hemicelulose, lignina, ácidos húmicos, hidrocarbonetos sólidos.

O contato entre os metais e a matéria orgânica pode ter favorecido às reações de devolatização dos compostos orgânicos. A velocidade rotacional do reator rotativo pode ter ajudado as interações entre esses constituintes químicos. Os movimentos de cisalhamento e deslizamento do reator de cilindro rotativo podem favorecer as reações de devolatilização de biomassa.

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 porcentual da fração gasosa. Observa-se que temperaturas maiores, promovem uma maior degradação dos vapores da pirólise em cadeias carbônicas menores, aumentando a produção de gases não condensáveis.

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.

A configuração do reator favoreceu os fenômenos de transferência de massa e calor durante a pirólise da biomassa. O gás inerte usado no processo pode ter contribuído para uma diminuição das resistências friccionais, favorecendo a difusão e a coleta da fração gasosa no sistema pirolítico.

Parte da umidade presente no lodo residual pirolisado pode ter sofrido condensação para a fração líquida, enquanto o restante do conteúdo pode ter participado do processo de reforma a vapor de hidrocarbonetos com reações intermediárias de pirólise que contribuíram para a produção de H_2. O processo de reforma a vapor de hidrocarbonetos constitui a maior via de produção de hidrogênio a partir do metano.

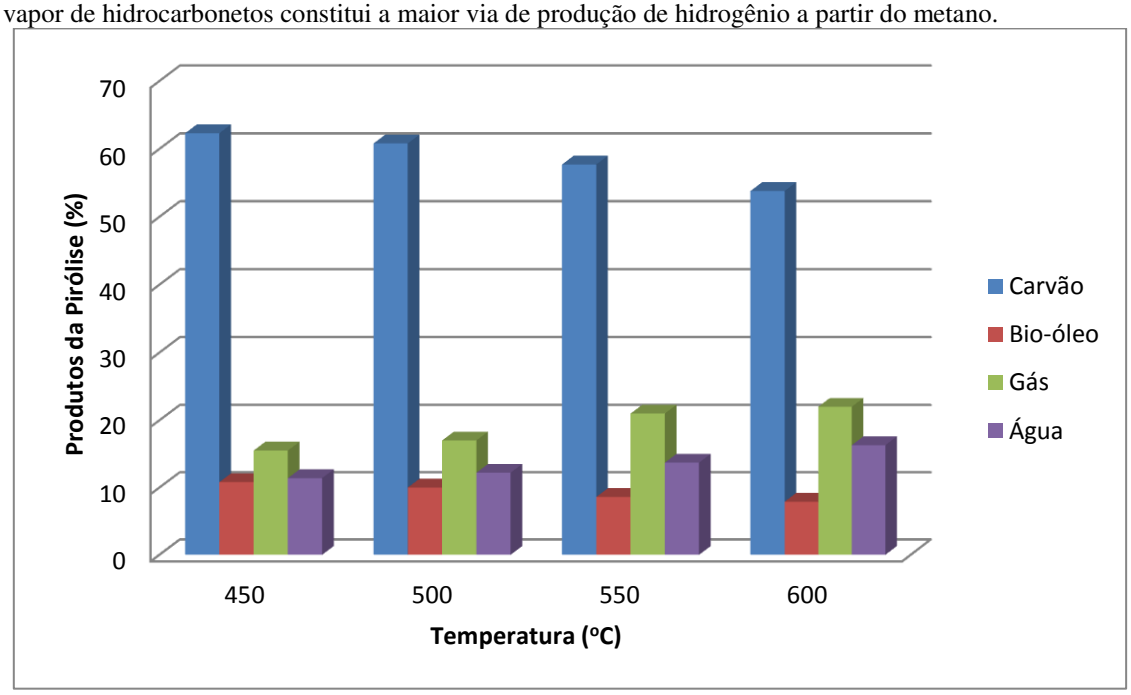


Figura 5 – Rendimentos das frações obtidas durante a pirólise de lodo de esgoto doméstico

Conclusões

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.

A temperatura teve efeito negativo para frações líquida e sólida e positiva para a fase gasosa. Observa-se que temperaturas maiores promovem uma maior degradação dos vapores da pirólise em cadeias carbônicas menores, aumentando a produção de gases originados do processo de pirólise.

Referências Bibliográficas

ECKENFELDER, W.W. (2000) *Industrial Water Pollution Control*. Boston, McGraw-Hill.

METCALF & EDDY, INC. (2002) *Wastewater engineering: Treatment, disposal and reuse*. New York, Ed. McGraw-Hill, 1334 p.

PEDROZA, M. M. (2011) *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.

PEDROZA, M. M., VIEIRA, G. E. G., SOUSA, J. F., PICKLER, A. C., LEAL, E. R. M., MILHOMEN, C. C. (2010) Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão. *Revista Liberato*, **11**, p.147-157.

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