

## CARACTERIZAÇÃO DO BIO-ÓLEO PROVENIENTE DA PIRÓLISE DE LODO RESIDUAL

George Matheus Rodrigues Teixeira<sup>1</sup>, Marcelo Mendes Pedroza<sup>2</sup>, Pedro Lucas Neves Ramos<sup>3</sup>, João Victor Teixeira d Abreu Alves<sup>4</sup>, Rayane Elias Sampaio<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia Civil. IFTO – Campus Palmas. Bolsista do PIBIC/CNPq. e-mail: georgeteixeira1@gmail.com

<sup>2</sup>Doutor em Engenharia Química. Professor do IFTO – Campus Palmas.. e-mail: [mendes@ifto.edu.br](mailto:mendes@ifto.edu.br)

<sup>3</sup>Graduando em Engenharia Elétrica – IFTO. Bolsista do PBIC/IFTO. e-mail: pedrolucasnr@gmail.com

<sup>4</sup>Graduando em Engenharia Elétrica – IFTO. Bolsista do PBIC/IFTO. e-mail: abrealvesjv@gmail.com

<sup>5</sup>Graduando em Engenharia Elétrica – IFTO. Bolsista do PBIC/IFTO. e-mail: rayanesampaio.el@gmail.com

**Resumo:** 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/h de biomassa. 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%. O bio-óleo apresentou as seguintes características: pH 6,2, densidade entre 1,0 e 1,1 g/mL, viscosidade entre 2.6 e 3.2 cSt e poder calorífico superior entre 17,0 e 18,0 MJ/Kg.

**Palavras-chave:** bio-óleo, esgoto, lodo, pirólise

### 1. INTRODUÇÃO

A atual matriz energética mundial é baseada principalmente em fontes não renováveis, tendo como principal matéria-prima o petróleo, principalmente após a revolução industrial. Mantido o atual nível de consumo, as reservas de petróleo permitem suprir a demanda mundial por somente 40 anos. Aliado a isso, a emissão de gases de efeito estufa ocasionada pelo uso das fontes de energia não renováveis pode provocar mudanças climáticas globais causando grande impacto ambiental. Dessa forma, a busca de fontes de energia alternativas, principalmente aquelas renováveis, é de fundamental importância para a preservação do planeta (Bridgwater, 2001).

Dentre as alternativas energéticas, a biomassa destaca-se no panorama brasileiro pelo seu enorme potencial de aproveitamento para a matriz energética. As condições climáticas regionais favorecem a produção desse insumo de modo a satisfazer consideráveis níveis de demanda (Ribeiro, 2007).

A biomassa compreende toda a matéria orgânica vegetal que é produzida através da fotossíntese, tais como: culturas e resíduos agroflorestais e a matéria orgânica contida nos rejeitos domésticos e industriais (Fontes, 2011).

O lodo de esgoto 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 (Vieira, 2000). 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.

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 (Pedroza et al., 2010).

A pirólise de biomassa tem como objetivo principal obter produtos (bio-óleo, carvão e gases) com densidade energética mais alta e melhores propriedades do que àquelas da biomassa inicial. Esses produtos podem ser usados para abastecer energeticamente o próprio processo ou serem comercializados como produtos químicos ou combustíveis (Pedroza et al., 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 e 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. A fração gasosa obtida na pirólise possui alto poder calorífico e é composta por hidrocarbonetos de até 6 carbonos, hidrogênio, CO e CO<sub>2</sub>. A fase gasosa pode ser utilizada como fonte de aquecimento em fornos, caldeiras, turbinas a gás, etc. O carvão também pode ser empregado na remoção de metais pesados e substâncias orgânicas tóxicas de efluentes, substituindo o carvão ativado comercial (Pedroza et al., 2014).

Assim, a pesquisa da aplicação do processo de pirólise ao lodo de esgoto anaeróbio produzido em Palmas-TO para obtenção de biocombustíveis, mostra-se como uma importante alternativa de aproveitamento e agregação de valor ao resíduo ao transformá-lo em matéria-prima de processos.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### Estação de Tratamento de Esgotos Domésticos da Vila União, em Palmas, Tocantins:

O lodo residual, biomassa empregada nos experimentos de pirólise, foi fornecido pela Companhia de Saneamento do Tocantins (Saneatins), sendo produzido na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Vila União, localizada no bairro Vila União, na cidade de Palmas (Tocantins).

O sistema de esgotamento da ETE é composto por rede coletora, tratamento preliminar, estação elevatória, reator UASB e Lagoa Facultativa (Figura 1).

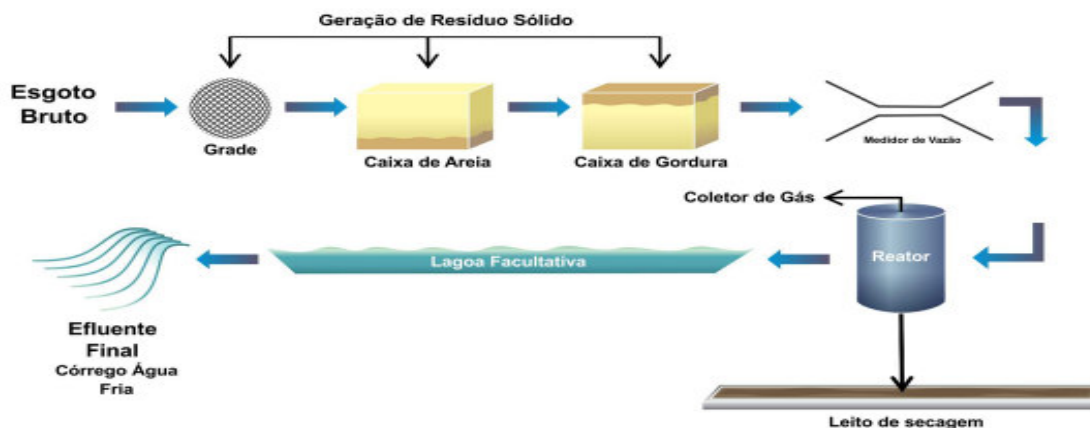


Figura 1 – Desenho esquemático da ETE Vila União.

Essa estação tem a capacidade de tratar 110 L/s, mas atualmente trata uma vazão média de 30 L/s de esgotos. A alimentação do sistema é feita através de esgotos tipicamente domésticos. O tratamento preliminar é composto de grades, caixas de areia e caixas de gorduras. Esse tipo de tratamento destina-se principalmente à remoção de sólidos grosseiros, gorduras e areia, com mecanismos básicos de ordem física. No gradeamento (Figura 2a) ficam retidos os materiais sólidos de maiores dimensões tais como: latas, preservativos, garrafas plásticas, sacos, panos, papelão, etc.

A remoção da areia contida nos esgotos é feita através de unidades especiais denominadas desarenadores (Figura 2b). O mecanismo de remoção de areia é simplesmente o de sedimentação: os grãos de areia, devido às suas maiores dimensões e densidade, se depositam no fundo do tanque, enquanto a matéria orgânica presente no esgoto, sendo de sedimentação mais lenta, permanece em suspensão, seguindo para o tratamento biológico da ETE.

A última etapa do tratamento preliminar é feita através de caixa de gordura (Figura 2c). Nesse processo, a gordura por apresentar menor densidade que o esgoto, fica retida na parte superior da caixa, e, então recolhida manualmente para seu tratamento e disposição final.

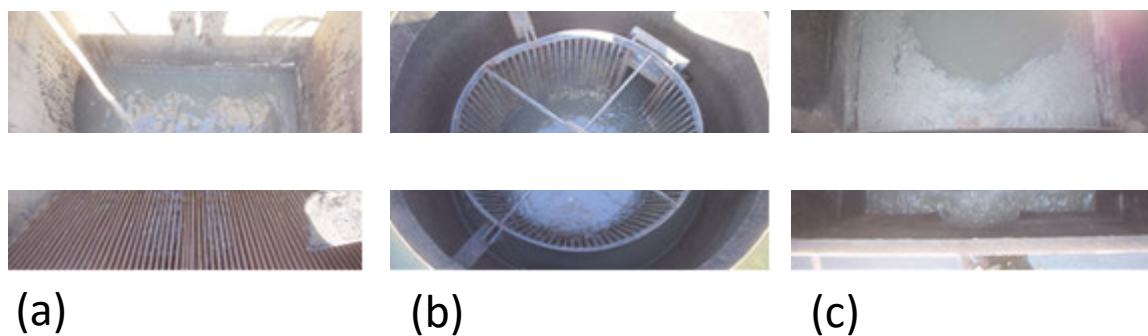


Figura 2 – Tratamento preliminar da ETE: gradeamento (a), (b) caixa de areia e (c) caixa de gordura da ETE.

O Tratamento Secundário (ou biológico) tem como objetivo a remoção da matéria orgânica, sendo esta dissolvida (DBO solúvel) ou em suspensão (DBO suspensa), através de reações bioquímicas, realizadas por microrganismos. Na ETE Vila União, o tratamento biológico é híbrido, envolvendo dois sistemas de tratamento, um Reator UASB seguido de Lagoa Facultativa.

O Reator UASB (Figura 3a) é constituído por uma câmara inferior de digestão e por um dispositivo superior para separação de gases, sólidos e líquidos. O processo consiste de um fluxo ascendente de esgotos através de uma manta de lodo densa e de elevada atividade que tem por objetivo reduzir a carga orgânica contida nos esgotos. Nesse processo de estabilização da matéria orgânica em ambiente anaeróbio, ocorre a formação contínua do biogás, que na ETE é queimado a todo instante. O volume do reator é de 3128 m<sup>3</sup>, altura de 7,8 metros e um diâmetro de 22,6 metros.

O Efluente do reator UASB é lançado numa lagoa facultativa (Figura 3b), que representava a última etapa do tratamento biológico da ETE. Essa lagoa tem 220 metros de comprimento, 110 metros de largura e 1,5 metros de profundidade. A entrada de esgoto nessa lagoa é realizada através de três pontos, localizados na sua parte superior. O tratamento biológico na lagoa facultativa ocorre através da simbiose entre algas e bactérias. O efluente final da ETE é descartado através de uma única tubulação localizada na parte superior da lagoa e, é lançado no corpo receptor, o córrego Água Fria.

Os resíduos sólidos gerados no tratamento preliminar são tratados com cal e dispostos em valas localizadas na área da própria estação. O lodo biológico produzido no reator UASB é lançado em leitos de secagem (Figura 3c), cuja finalidade é reduzir o teor de umidade do lodo. A descarga desse lodo, feita diretamente do reator UASB, é realizada a cada mês numa quantidade média que varia entre 33,6 e 50 m<sup>3</sup> de lodo.



Figura 3 - Tratamento Biológico da ETE: (a) Reator UASB, (b) lagoa facultativa e (c) leitos de secagem.

O lodo residual empregado nessa pesquisa 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 4).

Para a caracterização dos teores de umidade, cinzas e material volátil foram empregadas técnicas gravimétricas clássicas. O teor de metais foi determinado através da técnica ICP-OES. O poder calorífico superior foi determinado em bomba calorimétrica Parr 1341.

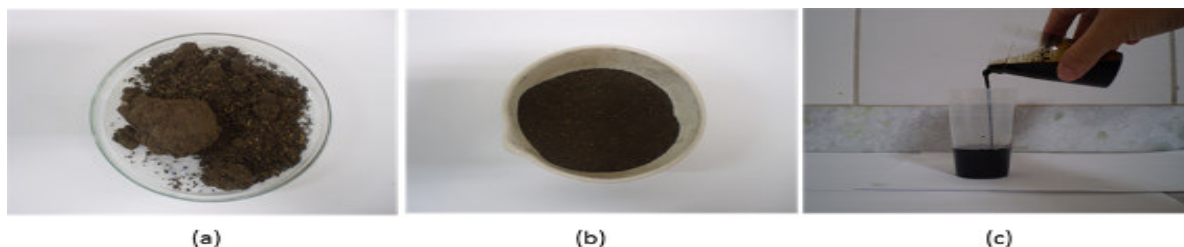


Figura 4 – Lodo anaeróbico de reator UASB: (a) lodo bruto, (b) lodo pulverizado e (c) bio-óleo obtido do processo de pirólise

### Reator de Pirólise:

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 planta pirolítica, em escala de laboratório foi constituída de um reator de cilindro rotativo cujo comprimento é 100 cm, com capacidade de processar até 2 Kg/h de biomassa. (Figura 5).

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.

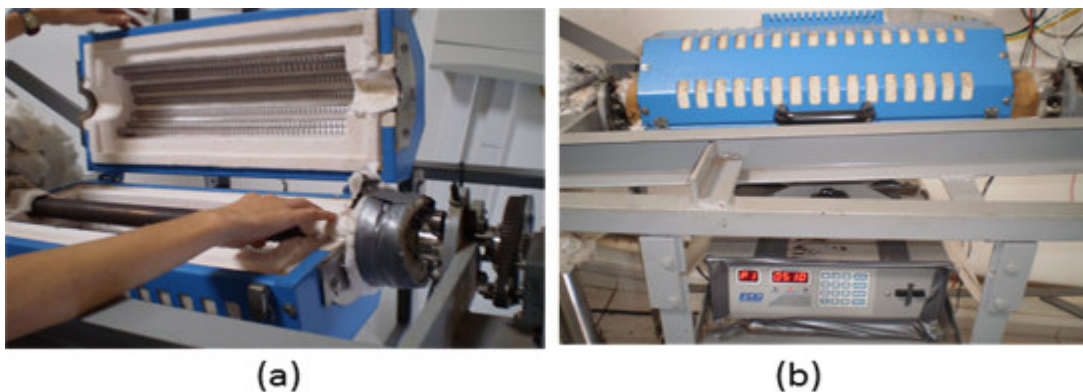


Figura 5 – Sistema de pirólise: (a) reator de cilindro rotativo e (b) forno utilizado no sistema de aquecimento do reator

O material sólido produzido durante a pirólise (carvão) foi recuperado em separadores de sólidos situados a jusante do reator. O bio-óleo foi coletado, após a unidade de centrifugação, em três recuperadores de líquidos (Figura 6). A fração aquosa foi separada do bio-óleo em funil de separação, utilizando-se do clorometano (Figura 7). A fração gasosa do processo foi coletada em colchão inflável e pesador



Figura 6 – Condensação e recuperação de líquidos pirolíticos.

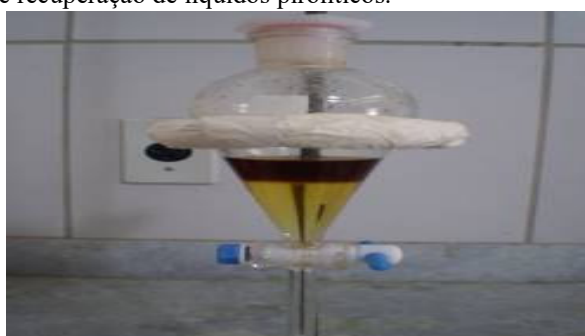


Figura 7 – Separação da fração aquosa do bio-óleo em diclorometano

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Caracterização do Lodo de Esgoto:

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%.

A Tabela 1 apresenta os resultados da análise quantitativa dos metais encontrados no lodo de esgoto produzido na cidade de Palmas, Tocantins. O ferro foi o metal encontrado em maior quantidade (28911 mg/Kg).

Os dados obtidos por Oliveira (2000) para os metais ferro e cromo total, chumbo e cobre foram superiores aos obtidos durante essa pesquisa, e isso é devido ao fato de que a concentração total de metais no lodo de esgoto depende muito do tipo de processo (aeróbio e anaeróbio) empregado para a estabilização da matéria orgânica (Pires e Andrade, 2006).

Tabela 1 – Determinação Quantitativa de alguns metais de amostra de Lodo LD-1, de Reator UASB, usando Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado

<b>Parâmetro Analisado</b>	<b>Lodo dessa pesquisa (mg/kg)</b>	<b>Outros autores (mg/kg)</b>	
Ferro total	<b>28911</b>	<b>34954</b>	Oliveira (2000) <sup>(1)</sup>
Zinco	<b>891</b>	<b>683</b>	<b>470</b> Oliveira (2000) Hossain <i>et al.</i> , (2009) <sup>(2)</sup>
Cádmio	<b>não determinado</b>	<b>4</b>	<b>0,9</b> Oliveira (2000) Hossain <i>et al.</i> , (2009)
Manganês	<b>82</b>	<b>54</b>	<b>480</b> Oliveira (2000) Hossain <i>et al.</i> , (2009)
Chumbo	<b>47</b>	<b>119</b>	<b>35</b> Oliveira (2000) Hossain <i>et al.</i> , (2009)
Cobre	<b>219</b>	<b>379</b>	<b>370</b> Oliveira (2000) Hossain <i>et al.</i> , (2009)
Níquel	<b>24,2</b>	-	<b>34</b> Hossain <i>et al.</i> , (2009)
Cromo total	<b>39</b>	<b>545</b>	<b>79</b> Oliveira (2000) Hossain <i>et al.</i> , (2009)

<sup>(1)</sup> mistura de lodo aeróbio e lixo

<sup>(2)</sup> lodo anaeróbio digerido

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 8). 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 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.

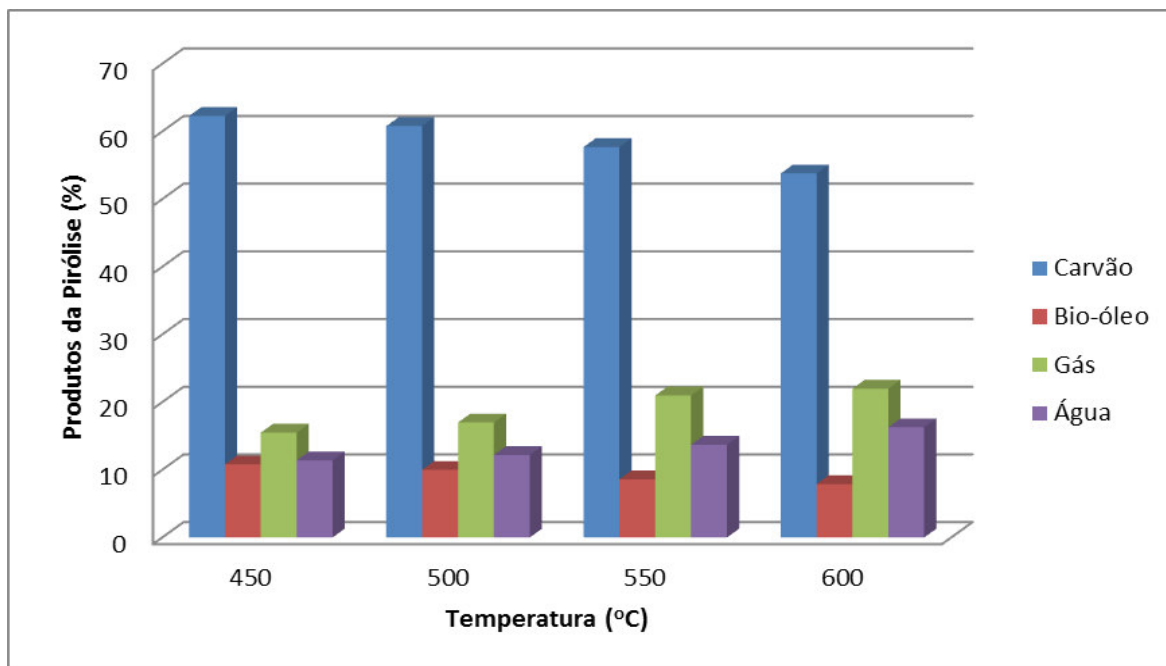


Figura 8 – Rendimentos das frações obtidas durante a pirólise de lodo de esgoto doméstico

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.

#### Caracterização Química dos Líquidos de Pirólise:

Durante os experimentos de pirólise do lodo foram obtidos dois líquidos. Um de coloração amarelada e odor forte (extrato ácido) obtido no segundo reservatório de recuperação de líquidos e o segundo deles de coloração escura e viscoso (bio-óleo), recuperado no primeiro reservatório localizado na parte superior logo após o topo da coluna lavadora.

#### Reologia e análise elementar do bio-óleo:

Os resultados da viscosidade, densidade, pH, poder calorífico superior e análise elementar do bio-óleo obtido a partir da pirólise de lodo de esgoto em reator do tipo cilindro rotativo são mostrados na (Tabela 2.)

Tabela 2 - Caracterização do bio-óleo obtido da pirólise de lodo de esgoto

Método Analítico	Bio-óleos Pirolíticos dessa pesquisa		
	LQ 1	LQ 2	LQ 3
pH (-)	6.2	5.1	6.9
Densidade (g/mL)	1.1	1.1	1.0
Viscosidade a 20 °C (cSt)	2.6	3.0	3.2
Poder calorífico(MJ/kg)	17.1	17.0	18.0
Teor de sólidos (%)	0.8	0.9	0.9

Legenda:

LQ-1 – bio-óleo obtido a 500 °C, 50 mL/min de inerte, centrifugação de 20 Hz, cilindro rotativo

LQ-2 – bio-óleo obtido a 550 °C, 100 mL/min de inerte, centrifugação de 26 Hz, cilindro rotativo

LQ-3 – bio-óleo obtido a 600 °C, 100 mL/min de inerte, centrifugação de 23 Hz, cilindro rotativo

O pH das amostras de bio-óleo obtidas nessa pesquisa se situou em torno da neutralidade (6.9 para a amostra LQ-3). Fonts et al., (2009) obtiveram bio-óleos de lodos de esgotos com pH em torno de 8. Dominguez et al., (2005) que estudaram a pirólise do lodo de esgoto úmido em altas temperaturas para a obtenção de hidrogênio, determinou que o pH da fase aquosa do alcatrão foi de 9 e o do bio-óleo próximo da neutralidade.

A densidade do bio-óleo obtido do lodo residual variou entre 1,0 e 1,1 g/mL. Segundo Oasmaa e Peacocke (2001), a densidade de bio-óleos está relacionada com o conteúdo de água presente no líquido. O autor reporta valores de densidade de 1,2 – 1,3 g/mL. A viscosidade de um combustível líquido desempenha um papel importante no projeto e operação do sistema de injeção de combustível, bem como sobre a qualidade da atomização e sua combustão (Qiang; Xu-lai; Xi-feng, 2008).

Os valores de viscosidade dos bio-óleos obtidos nessa pesquisa se situaram entre 2,6 e 3,2 cSt, resultados esses bem inferiores aos apresentados por Fonts, Kuoppala e Oasmaa (2009) (17 cSt). Fonts et al., (2009) reportam valores de viscosidade em bio-óleo de lodo de esgoto de  $7,92 \pm 3,04$  cSt. Os baixos valores de viscosidade das amostras de bio-óleo obtidas nessa pesquisa podem estar associados à presença de água no líquido, como também ao curto período de tempo entre coleta e análise do bio-óleo.

Almeida (2008) informa que os principais problemas do uso de bio-óleo como combustível são a baixa volatilidade, a alta viscosidade, formação de coque e corrosividade. Esses problemas limitam o uso de bio-óleo a aplicações estáticas. Para queima em motores a diesel as principais dificuldades são a difícil ignição, formação de coque e corrosividade. O bio-óleo tem sido usado com sucesso em caldeiras e tem mostrado potencial para uso em motores a diesel e turbinas (Czernick e Bridgwater, 2004). As experiências relevantes no uso de bio-óleo para geração de eletricidade foram recentemente relatadas por Chiamonti et al., (2007). Apesar de não existirem ainda normas e especificações definidas para o bio-óleo, Oasmaa e Meier (2005) propuseram especificações do produto para as referidas aplicações.

O poder calorífico superior das amostras de bio-óleo, obtido de lodo de esgoto anaeróbio nessa pesquisa, variou entre 17,0 e 18,0 MJ/kg, estando os resultados experimentais situados entre os valores relatados na literatura, 13 - 18 MJ/kg (Oasmaa et al., 2001).

Oasmaa et al., (2001) informam que a forma de alimentação de biomassa (contínuo e batelada) e o tipo da condensação dos vapores da pirólise interferem no conteúdo de sólidos no bio-óleo. O teor de sólidos das amostras de bio-óleo variou entre 0,8 % (LQ-1) e 0,9 % (LQ-2). O menor teor de sólidos na composição do bio-óleo foi detectado para a condição menor frequência de centrifugação da coluna lavadora de gases (20 Hz), sendo que o maior valor de sólidos no líquido conseguido quando a centrifugação foi de 26 Hz, o que indica que o processo de centrifugação também interfere no arraste de sólidos ao longo do sistema de pirólise.

## 6. 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.

As variáveis usadas na pirólise do lodo de esgoto, tais como a temperatura e a taxa de aquecimento têm uma grande influência sobre o rendimento e composição dos produtos da reação. 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.

As amostras de bio-óleo apresentaram um valor do pH em torno da neutralidade e com baixos valores de viscosidade, o que pode ser um atrativo visando aplicação industrial do líquido. O bio-óleo possui alto poder calorífico (18,0 MJ/Kg).

O sistema pirolítico utilizado nessa pesquisa apresenta como vantagens: (a) fluxo contínuo para pequenas capacidades de alimentação de biomassa, (b) dispensa a princípio o emprego de carga térmica inerte como areia ou sílica, (c) baixo tempo de residência da biomassa e (d) auto-limpeza do reator bem como a condução e desagregação da biomassa pela mola helicoidal minimizando prováveis entupimentos.

Os parâmetros de operação (vazão de gás e de biomassa, temperatura, velocidade de rotação do reator e do sistema de centrifugação) do processo de pirólise do lodo são facilmente ajustados e controlados. Os rendimentos de bio-óleo e biogás, obtidos no reator cilindro rotativo, são semelhantes aos resultados empregando-se outros tipos de reatores (leito fixo, leito fluidizado).

O tratamento térmico por pirólise é uma alternativa ambientalmente correta para ser empregada no reaproveitamento de lodos residuais. As frações líquida e gasosa obtidas durante o processo apresentam elevados poderes caloríficos.

## REFERÊNCIAS

Almeida, M. B. B. **Bio-óleo a partir da pirólise rápida, térmica ou catalítica, da palha da cana-de-açúcar e o seu co-processamento com gásóleo em craqueamento catalítico.** 2008. 149p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ.

Chiamaramonti, D., Oasmaa, A., Solantausta, Y. (2007) **Power generation using fast pyrolysis liquids from biomass.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11,( n. 6), p.1056-1086.

Czernik, S., Bridgwater, A. V. (2004) Overview of applications of biomass fast pyrolysis oil. *Energy and Fuels*, 18, p.590-598.

Dominguez, A., Menendez, J. A., Inguanzo, M., Pis, J. J.(2005) Investigation into the characteristics of oils produced from microwave pyrolysis of sewage sludge. *Fuel Process Technol*, 86, p.1007–1020.

Fonts, I., Azuara, M., Gea, G., Murillo, M. B. (2009) **Study of the pyrolysis liquids obtained from different sewage sludge**. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, 85, p.184 – 191.

Fonts, I., Kuoppala, E., Oasmaa, A. (2009) **Physicochemical properties of product liquid from pyrolysis of sewage sludge**. *Energy & Fuels*, 23, p.4121–4128.

Oasmaa, A., Kytie, M., Sipilä, K. (2001) **Pyrolysis Oil Combustion Tests in an Industrial Boiler**. In: *Progress in Thermochemical Biomass Conversion*. Blackwell Science, p.1468-1481.

Oasmaa, A., Meier, D. **Norms and standards for fast pyrolysis liquids**. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 73, p.323-334, 2005.

Oasmaa, A., Peacocke, C. A. (2001) **A guide to physical property characterisation of biomass-derived fast pyrolysis liquids**. Technical Research Centre of Finland, 65p.

Oliveira, F. C. (2000) **Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo urbano num latossolo vermelho-amarelo cultivado com cana-de-açúcar**. 247p. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Pedroza, M. M., Vieira, G. E. G., Sousa, J. F., Bezerra, M. B. D. (2014) **Characterization of the products from the pyrolysis of sewage sludge in 1 kg/h rotating cylinder reactor**. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 11, p.147-157.

Pedroza, M. M., Vieira, G. E. G., Sousa, J. F. (2011) **Características químicas de lodos de esgotos produzidos no Brasil**. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica*, 4, p. 1-13.

Pires, A. M. M., Andrade, C. (2006) **Metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto**. In: *Gestão de Resíduos na Agricultura e Agroindústria*. Botucatu, FEPAF, p.205-232.

Qiang, L., Xu-Lai, Y., Xi-Feng, Z. (2008) **Analysis on chemical and physical properties of bio-oil pyrolyzed from rice husk**. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 82, p.191 – 198. .

Vieira, G. E. G., Romero, 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.