

REAPROVEITAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL¹

Sewage Sludge Reuse and Characterization for Renewable Energy Production

Aymara G. N. Colen Fritz², Gláucia Eliza Gama Vieira³ e Ricardo Kaminishi dos Santos Júnior⁴

Resumo: O lodo de esgoto é considerado um problema ambiental e civil. Com o aumento da densidade populacional das cidades, a vida útil dos aterros é reduzida. De forma simultânea, o aumento de poluentes na atmosfera provenientes de gases liberados nas ETEs e no processo de incineração, assim como a poluição edáfica e hídrica, acarreta intensas alterações na qualidade de vida ambiental e antrópica. Uma alternativa para sua disposição adequada é a utilização na agricultura e em áreas florestais como fertilizante orgânico, o que já é uma prática comum na Europa. As características físico-químicas do lodo de esgoto revelam uma matéria-prima interessante para produção de combustíveis líquidos (bio-óleo) e adsorventes (carvão ativado), com diversas aplicações e finalidades. Neste artigo são descritas algumas metodologias para caracterização do lodo, como teor de cinzas, de voláteis e de umidade. Densidade, granulométrica e poder calorífico também são fatores fundamentais para que a matéria-prima (biomassa) possa ser utilizada para geração de energia renovável. O lodo de esgoto, como a maioria dos resíduos orgânicos, contém 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 pirólise (conversão termoquímica).

Palavras-chave: lodo de esgoto, pirólise, energia alternativa.

Abstract: *Sewage sludge is a civil and environmental issue. With increasing population density in cities, the useful life of landfills is reduced. Simultaneously, the increase of pollutants in the atmosphere from gases released into the wastewater treatment plants, incineration plants, soils and water pollution cause severe changes in the environmental quality of life and human activities. An alternative is adequate provision for its use in agriculture and forest areas as organic fertilizer, which is already a common practice in Europe. The physic-chemical properties of sewage sludge showed an interesting raw material for production of liquid fuels (bio) and adsorbents (activated charcoal) with different applications and purposes. This paper describes some of the methodologies for characterization of the sludge as ash content, volatiles and moisture. Density, size distribution and calorific value are also key factors in the raw material (biomass) that can be used for renewable energy. Sewage sludge, like most organic waste contains a large amount of volatile material and therefore represents a valuable resource that can be converted into useful products (bioproducts), if subjected to an appropriate treatment such as pyrolysis (thermochemical conversion)*

Keywords: sewage sludge, pyrolysis, alternative energy.

¹ Recebido para publicação em 23.11.2010 e na forma revisada em 22.12.2011.

² Mestranda do Programa e Agroenergia, UFT; ³ Professora Doutora Adjunta do Curso de Engenharia Ambiental e do Mestrado em Agroenergia, Coordenadora do Laboratório de Ensaios e Desenvolvimento de Biomassas e Bioprodutos, Universidade Federal do Tocantins – LEDBIO/UFT, Campus Universitário de Palmas – Qd. 109 Norte, Av. NS 15, ALCNO 14 – Centro, 77020-120 Palmas-TO, <glau.eliza@ig.com.br>; ⁴ Graduando do Curso de Engenharia Ambiental, UFT.

1 INTRODUÇÃO

Com a intensidade do consumo de combustíveis fósseis e da depreciação dos recursos naturais, somada ao crescimento desordenado da população mundial e à promoção dos impactos ambientais, surge o conflito da sustentabilidade dos sistemas econômico e natural. Tentando sanar esses problemas, o homem tem investido em formas alternativas de produzir energia. Para reduzir os danos ao meio ambiente e as crescentes alterações climáticas, são necessárias mudanças fundamentais na política e no manejo energético.

Estima-se que 40% da energia utilizada no setor agropecuário brasileiro seja produto da queima de combustíveis fósseis e 20% seja derivada da queima de lenha (biomassa) (ZHENG, 2007). Em determinadas regiões esse cenário vem se agravando em consequência do acelerado processo de industrialização, em virtude da diversificação do parque industrial e da geração de ampla gama de tipos de resíduos, o que está relacionado com a elevação do crescimento demográfico (De SENA, 2005).

A utilização de biomassas como fonte de energia renovável tem recebido atenção especial nos últimos anos, por serem provenientes do reaproveitamento de resíduos. Estes são muitas vezes descartados de forma inadequada, porém possuem valores que podem ser desmembrados e agregados.

A produção de energia elétrica e térmica a partir de biomassa é muito defendida como uma alternativa importante para países em desenvolvimento (ANEEL, 2006). Sistemas de cogeração, que permitem produzir simultaneamente energia elétrica e calor útil, configuram como uma das tecnologias mais racionais para utilização de combustíveis. Para aumentar a eficiência do processo e reduzir impactos socioambientais, têm-se desenvolvido e aperfeiçoado tecnologias de conversão mais eficientes, como a gaseificação e a pirólise em sistemas que utilizam a biomassa como fonte energética (ANEEL, 2006).

Segundo Corson (1993), iniciativas para melhorar a eficiência energética, expandir as fontes energéticas renováveis, reverter o desflorestamento, limitar as emissões de dióxido de enxofre e óxidos nitrogenados, eliminar os CFCs e incentivar a agricultura sustentável podem reduzir tanto a poluição como o consumo geral de energia.

A disposição final de resíduos sólidos provenientes de sistemas de tratamento de efluentes industriais e sanitários (lodo) representa um grande desafio para a engenharia sanitária e ambiental, em virtude das características químicas e biológicas desse tipo de resíduo sólido.

Os lodos de efluentes industriais e sanitários são considerados biomassa de alto poder calorífico, quando possuem baixa umidade, e são essencialmente de origem orgânica. Eles podem gerar energia via combustão direta (De SENA, 2005).

A aplicação desses biossólidos como combustível está intimamente ligada às suas características físicas e químicas e ao seu comportamento diante das condições de rotas tecnológicas (ZHENG, 2000).

Os objetivos deste artigo foram salienta a importância do reaproveitamento de resíduos no viés da economia e do meio ambiente e ressaltar algumas características do lodo de águas residuárias, com o intuito de utilizá-lo para produção de energia e de biocombustível.

2 METODOLOGIA

2.1 Características físico-químicas do lodo

O teor de umidade, cinzas e material volátil, a densidade granulométrica e o poder calorífico são características físico-químicas relevantes para a análise do biossólido (lodo de ETE).

Para avaliar o teor de umidade, de acordo com o método ASTM D 3173-85, pode-se utilizar uma amostra de 1g do lodo em triplicata, em

um cadinho de porcelana com peso constante já predeterminado. Em seguida é feito o aquecimento da amostra em uma estufa a 110 °C, durante 1 hora. Os cadinhos são levados a um dessecador, para resfriamento e, então, são pesados.

Para analisar o teor de cinzas, de acordo com o método ASTM D 2415-66, utiliza-se uma amostra de 4 g de lodo em triplicata, em cadinhos de porcelana com peso constante. Em seguida é feito o aquecimento da amostra em uma mufla a 900 °C, durante 1 hora, e por fim realiza-se o resfriamento em uma dessecadora, onde os cadinhos permanecerão em repouso por 15 minutos. A partir do mesmo método utiliza-se uma amostra de 1 g do lodo em triplicata, para análise do material volátil. As amostras são armazenadas em cadinhos de porcelana com o peso constante. Em seguida é feito o aquecimento da amostra em uma mufla a 550 °C, durante 1 hora, e para o resfriamento é utilizado um dessecador, onde os cadinhos permanecerão em repouso por 15 minutos. O teor de cinzas é o resíduo da carbonização da parcela carbonizada, e os sólidos voláteis representam a quantidade volátil de material sólido existente no material em estudo.

A densidade pode ser determinada com uma adaptação do método de análise de solos (EMBRAPA SOLOS, 1997). Nesse método são utilizados 20 g da amostra sólida, que são colocados em um balão volumétrico com o auxílio de um funil. Em seguida são acrescentados 50 mL de álcool 70% em uma bureta de 50 mL. O álcool é adicionado aos poucos e agitado até que a amostra esteja completamente coberta. Após este processo a amostra fica em repouso por 15 minutos. Em seguida completa-se o balão com álcool até que ele atinja 50 mL.

Na análise granulométrica, por sua vez, macera-se a amostra, e esta é separada (500 g) de acordo com o método ASTM D-1762-64. A amostra é então colocada em um agitador eletromagnético, que contém seis peneiras

padronizadas de 5, 10, 28, 42, 100, 270 mesh, o que corresponde às aberturas de 4 mm, 17 mm, 600 µm, 355 µm, 150 µm, 53 µm, respectivamente.

O poder calorífico pode ser determinado em uma amostra de 10 g de lodo, conforme o método ASTM D 3286-66 (calorímetro).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Tratamento dos esgotos sanitários

Um sistema qualquer de esgotos sanitários (resíduos de segunda geração) encaminha seus efluentes, direta ou indiretamente, para corpos hídricos receptores, formados pelos conjuntos das águas superficiais ou subterrâneas. A base do tratamento do esgoto doméstico é a estabilização biológica, que envolve a transformação parcial da matéria orgânica em um gás e produz um resíduo estabilizado com a ajuda das bactérias, na ausência ou presença do oxigênio, o que leva à estabilização anaeróbia ou aeróbia do lodo (MÉNDEZ et al., 2005).

Nesses sistemas de tratamento de águas residuárias, a água retorna aos mananciais com bom grau de pureza. No entanto, ocorre a geração de um resíduo semissólido, pastoso e de natureza predominantemente orgânica, o lodo de esgoto. A destinação desse lodo residual gerado nas ETEs é um grande problema ambiental para as empresas de saneamento, públicas ou privadas.

Em relação ao tratamento de esgotos domésticos, tem-se verificado uma crescente utilização da tecnologia anaeróbia (Von SPERLING, 1995), por meio dos reatores tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*). Entretanto esta tecnologia, que depende da proliferação de bactérias anaeróbias, é sensível a variações da temperatura e de matéria-prima, e não se consegue produtividade para valores de temperatura abaixo de 20 °C.

As destinações mais comuns para o lodo de esgoto sanitário têm sido as disposições em

aterros, a incineração e as aplicações na agricultura. Os problemas relacionados às disposições em aterros são o grande volume de lodo produzido e a disponibilidade de áreas, devido a processos de lixiviação e produção de gases, principalmente do metano, que é um dos mais significativos colaboradores das mudanças climáticas (JINDAROM et al., 2007). Mais especificamente, as emissões produzidas pela decomposição dos resíduos em aterros sanitários são compostas por metano (45 a 60%), dióxido de carbono (40 a 60%), nitrogênio (2 a 5%) e, em quantidades inferiores a 1%, por dezenas de contaminantes orgânicos e inorgânicos conhecidos pela sigla NMOCs (*Non-Methane Organic Compounds*), que incluem benzeno, tolueno, clorados, mercúrio, organometálicos, etc. A incineração também é um processo de poluição ambiental, por emitir dioxinas, portanto exige cuidados especiais no tratamento dos gases de exaustão. As cinzas produzidas na incineração também contêm diversos poluentes.

No entanto esse resíduo, hoje problemático, poderá ser considerado um importante insumo, gerando estímulo para que mais esgotos urbanos sejam tratados antes de promoverem a eutrofização e a poluição dos rios (LIRA et al., 2008).

3.2 Lodo

O termo lodo (NBR 10.004 de 2004) tem sido utilizado para designar os subprodutos sólidos provenientes do tratamento das águas residuárias nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) (Von SPERLING et al., 2001; GASPAR, 2003). Rico em matéria orgânica, esse biossólido é absorvido e convertido, fazendo parte da biomassa microbiana, denominada genericamente de lodo biológico ou secundário. Ele é composto principalmente de sólidos biológicos, com características que permitem sua reciclagem de maneira racional e ambientalmente segura (ANDREOLI et al., 2001).

A natureza do lodo depende do processo empregado no tratamento do esgoto e da fonte

geradora. Sua qualidade é muito variável, pois o uso indiscriminado de diversos produtos químicos, incluindo aqueles empregados na higiene humana, modifica suas características. Portanto, o lodo pode conter significativas quantidades de substâncias tóxicas, como metais pesados, substâncias orgânicas e micro-organismos patogênicos (JINDAROM et al., 2007).

Os esgotos sanitários (domésticos) são constituídos essencialmente de despejos domésticos, de uma parcela de águas pluviais e de água de infiltração e, às vezes, de uma parcela não significativa de despejos industriais. Compõem-se basicamente da água de banho, urina, fezes, papel, restos de comida, sabão, detergentes e água de lavagem em geral. No Quadro 1 estão, de forma genérica, alguns componentes presentes no lodo de esgoto. Geralmente ele possui 18% de lipídios; 7% destes são triglicerídeos, também constituídos por ácidos carboxílicos de cadeia longa e hidrocarbonetos. As gorduras e os óleos podem ser pirolisados para produção de combustíveis líquidos, ricos em hidrocarbonetos e com potencial para substituir os derivados de petróleo (MOCELIN, 2007).

Quadro 1 - Composição média do lodo de ETE no Brasil

Table 1 - Average composition of STS sludge in Brazil

Parâmetro	Valor médio do Brasil
pH	11,6
Material Seco – MS (%)	57,86
Nitrogênio total – N (%)	1,07
Carbobo Total – C (%)	12,56
Relação C/N	13,32
Fósforo Total – P ₂ O ₅ (%)	0,26
Potássio – K ₂ O (%)	016
Cálcio total – CaO (%)	19,85
Magnésio Total – MgO (%)	3,17
Cádmio (mg kg ⁻¹ MS)	0,57
Zinco (mg kg ⁻¹ MS)	28,99
Cobre (mg kg ⁻¹ MS)	73,73
Cromo (mg kg ⁻¹ MS)	28,11
Mercúrio (mg kg ⁻¹ MS)	0,52
Níquel (mg kg ⁻¹ MS)	18,06

Fonte: adaptado de Andreoli et al. (2001).

O uso de lodos de estações de tratamento de efluentes como combustível alternativo na cogeração de energia vem sendo estudado por diversos autores, porém seu emprego ainda não é muito difundido (SÄNGER et al., 2001).

3.3 Processos de conversão de biomassa

A pirólise ou carbonização é o mais simples e antigo processo de conversão térmica de um combustível (normalmente lenha) em outro de melhor qualidade e conteúdo energético (carvão) (ANEEL, 2006).

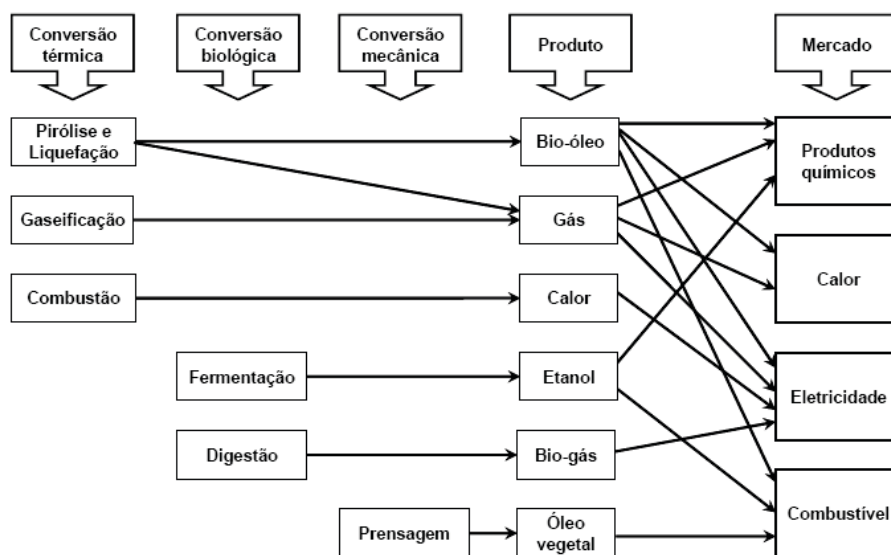
A biomassa precisa ser convertida em combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos, que serão utilizados para gerar eletricidade, fornecer calor ou para mover automóveis. Essa conversão é feita por meio de processos termoquímicos, bioquímicos e mecânicos. A Figura 1 mostra os processos de conversão termoquímica (combustão, gaseificação, pirólise e liquefação) e seus possíveis produtos.

A pirólise é um processo termoquímico que envolve a degradação térmica na ausência de

oxigênio, e pode ser utilizada para transformar a biomassa em produtos de grande interesse. A técnica tem sido estudada como uma alternativa promissora para destinação do lodo, uma vez que os óleos e as gorduras provenientes da alimentação podem ser transformados em óleos combustíveis (INGUANZO et al., 2001; DOMINGUEZ et al., 2003; SHEN et al., 2004) e em adsorventes carbonosos (TAY et al., 2001).

Na pirólise de lodo de esgoto em atmosfera livre de oxigênio e em baixa temperatura ocorrem decomposição térmica e recuperação de energia, por exemplo, lodos de estação de tratamento de efluentes, em atmosfera controlada com pequena emissão de poluentes, como o óxido nitroso e o óxido de enxofre. Seu custo de operação é baixo quando comparado com do processo de incineração (SHEN; ZHANG, 2004; MAHER; BRESSLER, 2007).

Shen e Zhang (2004) realizaram a pirólise de uma mistura de lodo de esgoto (80%) com lixo urbano (20%), a 500°C, e obtiveram 17% de óleo pirólítico com poder calorífico de 33 MJ kg⁻¹ e propriedades similares às do óleo diesel.



Fonte: adaptado de Bridgwater (2006).

Figura 1 - Processos de conversão de biomassa, produtos e aplicações.

Figure 1 - Biomass conversion processes, products and applications.

Segundo Bhaskar et al. (2003), a pirólise é o melhor método e uma das tecnologias disponíveis e adequadas no mercado para preservar as reservas de petróleo e reduzir o descarte de recursos não degradáveis dispostos no meio ambiente. O tratamento térmico recebe destaque por reduzir o volume do resíduo em até 90% de seu peso, além de favorecer o reaproveitamento da matéria-prima em vários segmentos industriais.

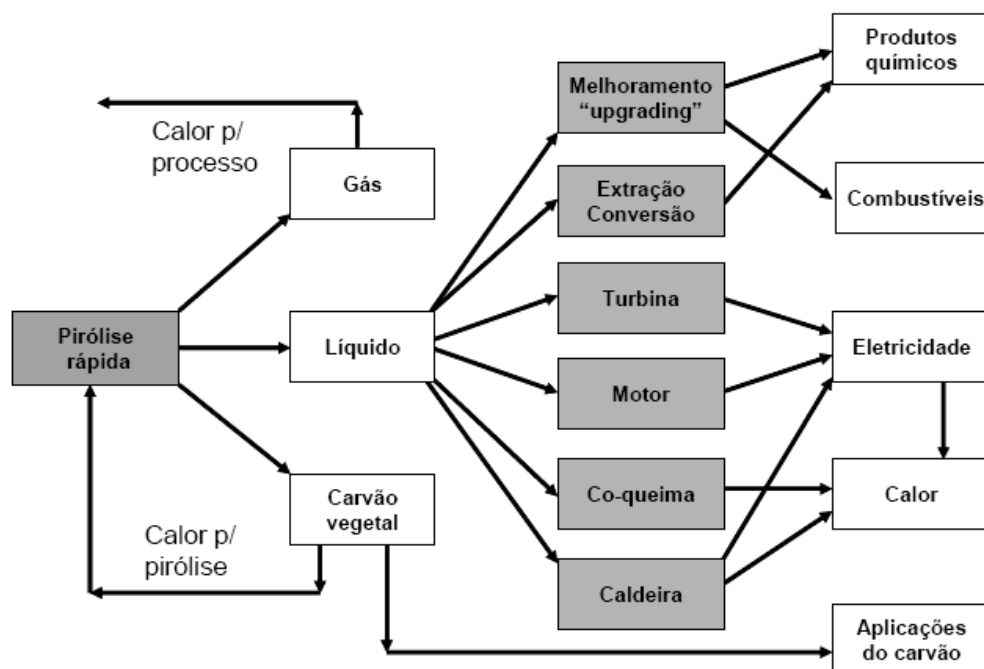
Nos processos de pirólise rápida (Figura 2) a temperaturas entre 800 e 900 °C, cerca de 60% do material se transforma em um gás rico em hidrogênio e monóxido de carbono (apenas 10% de carvão sólido), o que a torna uma tecnologia competitiva com a gaseificação. Todavia, a pirólise convencional (300 a 500 °C) ainda é a tecnologia mais atrativa, devido aos problemas que ocorrem durante o tratamento dos resíduos, que são maiores nos processos com temperatura mais elevadas (NASCIMENTO et al., 2004; ANNEL, 2006).

Os processos de pirólise têm como objetivo a obtenção de produtos com melhores propriedades e densidade energética elevada. Na pirólise do lodo de esgoto sanitário os gases, os líquidos e os sólidos são gerados em diferentes proporções, dependendo dos parâmetros de operação, que podem ser otimizados para maximização de um produto, por exemplo, a produção de gases (que é maior em temperaturas elevadas) (DOMINGUÉZ et al., 2004).

3.4 Aplicação do lodo pirolisado (bio-óleo)

As gorduras e os óleos podem ser pirolisados para produção de combustíveis líquidos ricos em hidrocarbonetos e com potencial para substituir os derivados de petróleo (BRESSLER; MAHER, 2007).

Os óleos pirolíticos obtidos em forno de micro-ondas, por exemplo, podem ser alifáticos e oxigenados, com poder calorífico de 35,8 kJ g⁻¹,



Fonte: adaptado de Bridgwater (2006).

Figura 2 - Fluxograma de bioprodutos.
Figure 2 - Flowchart bioproducts.

enquanto os obtidos no forno convencional podem ser formados por hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e poder calorífico de $36,4 \text{ kJ g}^{-1}$ (DOMÍNGUEZ et al., 2005).

A pirólise do lodo de esgoto produz óleos e gases que podem ser usados como combustíveis. Adicionalmente, origina um resíduo sólido carbonáceo apropriado para produzir adsorventes simples.

O bio-óleo é também conhecido como óleo de pirólise, bio-óleo bruto, alcatrão pirolítico, alcatrão pirolenhoso, licor pirolenhoso, líquido de madeira, óleo de madeira, condensado da fumaça e destilado da madeira. É um líquido de coloração marrom- escura, quase negra, tem odor característico de fumaça e composição elementar próxima à da biomassa. É uma mistura complexa de compostos oxigenados com uma quantidade significativa de água, originada da umidade da biomassa e das reações, podendo conter ainda pequenas partículas de carvão e metais alcalinos dissolvidos oriundos das cinzas (BRIDGWATER, 2003; BRIDGWATER, 2007).

O bio-óleo pode ser produzido em pequenas plantas de pirólise rápida perto da fonte de matéria-prima, onde a biomassa de baixa densidade é convertida em um líquido muito mais denso e livre de cinzas, que é transportado economicamente para uma central de processamento. Neste momento ocorre gaseificação a gás de síntese para produção de combustíveis líquidos (BRIDGWATER, 2004; BURGT, 2006).

As propriedades físico-químicas mais utilizadas para definir a qualidade de um óleo combustível são o poder calorífico, o ponto de névoa, o ponto de fluidez, a densidade específica, a viscosidade, a destilação, o ponto de fulgor, o calor de combustão, o teor de água e sedimento, o teor de cinzas, o carbono residual e o índice cetano (BAHADUR et al., 1996; MAYER; BRESSLER, 2007).

A energia liberada em um processo de combustão pode ser determinada pelo poder

calorífico. Normalmente é quantificada pelo poder calorífico de um combustível, definido como a quantidade de calor despreendido pela combustão completa de uma unidade de volume ou massa do combustível. De acordo com De Sena (2005), para um bom rendimento térmico na combustão, o combustível deve possuir elevada quantidade de carbono fixo e materiais voláteis, além de alto poder calorífico. Quanto maior o teor de carbono e hidrogênio, melhor será a eficiência de combustão na liberação de energia. O poder calorífico é uma das propriedades mais importantes de um combustível (THIPKHUNTHOD et al., 2006).

O poder calorífico do óleo pirolítico de lodo de esgoto de sistema aeróbio é de aproximadamente de 35 kJ g^{-1} (MOCELIN et al., 2003), o que pode ser atribuído às características do lodo empregado, ou seja, quanto maior a quantidade de matéria orgânica maior é o seu poder calorífico.

Se um lodo apresentar teor de cinzas relativamente alto é porque ele contém uma quantidade significativa de substâncias inorgânicas a $900 \text{ }^\circ\text{C}$. Mesmo sendo uma porcentagem relativamente baixa, os sólidos inorgânicos têm valor de aquecimento imprevisível e superior em relação aos sólidos voláteis, podendo influenciar diretamente o rendimento da fração líquida orgânica (THIPKHUNTHOD et al., 2006).

Fonts et al. (2009) constataram menor rendimento em bio-óleo e maior para fração gasosa, para teores de cinzas mais elevados do lodo. Para teores de cinzas mais baixos, obtém-se maior rendimento de óleo. A viscosidade dos líquidos de pirólise do lodo de esgoto tende a diminuir quando o valor de cinzas aumenta.

Maior quantidade de sólidos voláteis pode produzir maior rendimento de óleo em pirólise (BORGES et al., 2003; MENÉNDEZ et al., 2005). Quanto mais densos forem esses sólidos, mais difícil é a quebra de suas partículas em processo de pirólise.

Nesse processo, é importante determinar a umidade, pois a água exerce influência em processos de queima (piro); se presente em teores elevados, haverá maior consumo de energia, o que reduz o balanço energético. Portanto, é preciso fazer a secagem prévia da biomassa (BORGES et al., 2003).

A utilização do lodo de esgoto como matéria-prima alternativa em determinados processos representa uma solução ambiental e economicamente viável para produção de energia alternativa (BOROWSKI et al., 2002).

4 CONCLUSÃO

Os dejetos antrópicos e urbanos podem ter destinação adequada e, conseqüentemente, ser reaproveitados a fim de obter produtos de grande valor econômico. Essas características mostram as potencialidades do emprego do lodo de esgoto sanitário na produção de óleo combustível, para uso em equipamentos industriais e em certos tipos de motores, enfim, para geração de energia.

A caracterização da biomassa, neste caso o lodo, pode dar respostas concretas a cerca dos rendimentos (frações) em pirólise.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf)>. Acesso em: 14 out. 2006.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **ATLAS**. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf)>. Acesso em: 14 out. 2006.

ANDREOLI, C. V. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Curitiba: RIMA; Rio de Janeiro: ABES, 2001. 282 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10004**: 2004. 71 p.

ASTM D 3173-85. **Standard Test of Humidity**. 1985.

ASTM D 2415-66. **Standard Test Method for ash Determination**. 1986.

ASTM D 3286-66. **Standard Test Method for The Gross Calorific Power Value by Bomb Calorimeter**. 1986.

ASTM D 1762-64. **American Society for Testing and Materials**. (Reapproved 1977).

BAHADUR, N. P.; BOOCOOCK D, G. B.; KONAR S. R. K. Liquid hydrocarbons from catalytic pyrolysis of sewage sludge lipid and canola oil: evaluation of fuel properties. **Energy & Fuels**, v. 9, n. 2, p. 246-256, 1996.

BHASKAR, T. et al. Comparison of thermal degradation products from real municipal waste plastic and model mixed plastics. **J. Anal. Appl. Pyrolysis**, v. 70, n. 2, p. 579-587, 2003.

BORGES, F. M. et al. Desenvolvimento e criação de uma unidade produtiva de carvão ativado. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 23., 2003, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: UFOP, 2003. CD-ROM.

BOROWSKI, H. C. et al. Análise de um modelo de cogeração a partir de resíduos sólidos urbanos. **Revista de Tecnologia**, v. 23, n. 1, p. 26-27, 2002.

BRIDGWATER, A. V., Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass. **Chemical Engineering Journal**, v. 91, n. 2-3, p. 87-102, 2003.

BRIDGWATER, A. V. Biomass fast pyrolysis. **Thermal Science**, v. 8, n. 2, p. 21-49, 2004.

BRIDGWATER, T. Biomass for energy. **J. Science of Food and Agriculture**, v. 86, n. 12, p. 1755-1768, 2006.

BRIDGWATER, A. V. Biomass pyrolysis - an overview prepared by Task 34. In: TUSTIN, J., **IEA Bioenergy Annual Report 2006**. Disponível em: <www.ieabioenergy.com>. Acesso em: 14 ago. 2010.

BURGT, M. J. V. D. ThermalNet newsletter. n. 1, p. 24. 2006.

CORSON, W. H. **Manual global de ecologia**: o que você pode fazer a respeito da crise do meio ambiente. São Paulo: Augustus, 1993. 413 p.

DE SENA, R. F. **Avaliação da biomassa obtida pela otimização da flotação de efluentes da indústria de carnes para geração de energia**. 2005. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Florianópolis, 2005.

DOMÍNGUEZ, A. et al. Investigations into the characteristics of oils produced from microwave pyrolysis of sewage sludge. **Fuel Processing Technology**, v. 86, n. 9, p. 1007-1020, 2005.

DOMÍNGUEZ, A. et al. Gas chromatographic–mass spectrometric study of the oil fractions produced by microwave-assisted pyrolysis of different sewage sludges. **Journal of Chromatography**, v. 1012, n. 2, p. 193-206, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

FONTS, I. et al. Study of the pyrolysis liquids obtained from different sewage sludge. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 85, n. 1-2, p. 184-191, 2009.

GASPAR, P. M. F. **Pós-tratamento de efluentes de reator UASB em sistema de lodos ativados visando remoção biológica de nitrogênio associada a remoção físico-químico de fósforo**. 2003. 239 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

INGUANZO, M. et al. Reactivity of pyrolyzed sewage sludge in air and CO₂. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 58-59, p. 943-954, 2001.

JINDAROM, C. et al. Surface characterization and dye adsorptive capacities of char obtained from pyrolysis/ gasification of sewage sludge. **Chem. Eng. J.**, v. 133, n.1-3, p. 239-246, 2007.

LIRA, A. C. S.; GUEDES, M. C.; SCHALCH, V. Reciclagem de lodo de esgoto implantação de eucalipto: carbono e nitrogênio. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 13, n. 2, p. 207-216, 2008.

MAHER, K. D.; BRESSLER, D. C. Pyrolysis of triglyceride materials for the production of renewable fuels and chemicals. **Bioresource Technology of the skype Highlighting**, v. 98, n. 12, p. 2351-2368, 2007.

MÉNDEZ, A. et al. Preparation of carbon - based adsorbents from pyrolysis and air activation of sewage sludges. **Chemical Engineering Journal**, v. 108, n. 1-2, p. 169-177, 2005.

MENENDEZ, J.A. et al. Microwave induced drying, pyrolysis and gasification (MWDPG) of sewage sludge: Vitrification of the solid residue. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 74, n. 1-2, p. 406-412, 2005.

NASCIMENTO, C. W. A. et al. Alterações químicas de solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto, **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 8, n. 2, p. 385- 392, 2004.

MOCELIN, C. et al. Óleo combustível obtido de lodo de esgoto sanitário. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO SOBRE BIODISSOLÚTOS, 2003. São Paulo. **Anais...**, São Paulo, 2003. np.

MOCELIN, C., **Pirólise de lodo de esgoto sanitário: produção de adsorvente e óleos combustíveis**. 2007. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Curitiba, 2007.

SÄNGER, M.; WERTHER, J.; OGADA, J. NO_x and N₂O emission characteristics from fluidized bed combustion of semi-dried municipal sewage sludge. **Fuel**, v. 80, n. 2, p. 167-177, 2001.

SHEN, L., ZHANG, D. Low- temperature pyrolysis of sewage sludge and putrescible garbage for fuel oil production. **Fuel**, v.86, p. 1-7, 2004.

TAY, J. H. et al. Optimizing the preparation of activated carbon from digested sewage sludge and coconut husk. **Chemosphere**, v. 44, n. 1, p. 45-51, 2001.

THIPKHUNTHOD, P. V. et al. Pyrolytic characteristics of sewage sludge. **Chemosphere**, n. 64, n. 6, p. 955-962, 2006.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. 1995. 240 p.

VON SPERLING, M.; ANDREOLLI, C. V.; FERNANDES, F. **Lodo de esgoto: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG/ Companhia de Saneamento do Paraná. Belo Horizonte, 2001. 484 p.

ZHENG, G.; KOZIN'SKI, J. A. Thermal events occurring during the combustion of biomass residue. **Fuel**, v. 79, n. 2, p. 181-192, 2000.

ZHENG, J. L. Bio-oil from fast pyrolysis of rice husk: yields and related properties and improvement of the pyrolysis system. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 80, n. 1, p. 30-35, 2007. (DOI: 10.1016/J.JAAP.2006.12.030).