

RENDIMENTOS DOS PRODUTOS DA PIRÓLISE DE LODO DE ESGOTO SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE PROCESSO¹

Yields of Pyrolysis Products of Sewage Sludge Under Different Process Conditions

Leandra Cristina Alencar Silva² & Gláucia Eliza Gama Vieira³

Resumo: O aproveitamento energético da biomassa tornou-se um desafio interessante, por ser um recurso renovável com alto potencial de geração de energia. Dentre as biomassas, o lodo de esgoto é uma alternativa para ser usado como combustível, sem contar os benefícios econômicos e ambientais ocasionados por esse aproveitamento. A pirólise, um processo termoquímico em ausência de oxigênio, é uma tecnologia utilizada para conversão do lodo, por meio da degradação da biomassa, em três produtos energéticos: bio-óleo, carvão e gás. O objetivo deste estudo foi referenciar os principais trabalhos na área de pirólise de lodo de esgoto, bem como as principais influências das condições de processo. Constatou-se que os parâmetros citados neste estudo tiveram influência nos rendimentos e que eles precisam ser controlados para que produtos de interesse sejam obtidos.

Palavras-chave: lodo de esgoto, pirólise, condições de processo.

Abstract: *The energetic use of biomass has become an interesting challenge, because it is considered a renewable resource with high potential energy. Among these biomasses, the sewage sludge is seen as an alternative to be used as fuel, not counting the economic benefits and environmental damage caused by such use. The pyrolysis, a thermochemical process in the absence of oxygen, is a technology used for the conversion of sludge into energy products through the degradation of biomass in three products: bio-oil, char and gas. This study aimed to cite the major papers in the area of pyrolysis of sewage sludge, as well as major influences caused by the process conditions. It was observed that the parameters cited in this study had an influence on income and that they need to be controlled so that they the products of interest can be obtained.*

Keywords: sewage sludge, pyrolysis, process conditions.

1 INTRODUÇÃO

A cada dia tem-se dado mais importância ao uso de energias renováveis, em virtude das diversas mudanças climáticas ocorridas em nível global, da poluição ambiental e da redução da disponibilidade de recursos energéticos

fósseis. A biomassa é hoje considerada um recurso renovável com alto potencial para produção de energia (YANIK, 2007). Seu aproveitamento energético é um desafio interessante, pois gera um produto limpo (zero emissão líquida de CO₂) e ilimitado e minimiza problemas associados com a eliminação de

¹ Recebido para publicação em 1.12.2010 e na forma revisada em 22.12.2011.

² Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Universidade Federal do Tocantins – UFT, <leandraeng@gmail.com>. ³ Professora Doutora Adjunta do Curso de Engenharia Ambiental e do Mestrado em Agroenergia da Universidade Federal do Tocantins e Coordenadora do Laboratório de Ensaio e Desenvolvimento em Biomassa e Biocombustíveis <glau.eliza@ig.com.br>; Campus Universitário de Palmas – QD 109 Norte Av. NS 15, ALCNO 14 – Centro – Palmas TO – CEP: 77020-120 – Brasil: +55 (63) 3232-8205.

subprodutos agrícolas. A biomassa pode ser convertida em formas de energia por meio de vários processos de conversão termoquímica, dependendo do tipo de energia desejado (YANIK, 2007). Além disso, sua exploração permite a possibilidade de gerar produtos de maior valor agregado, como produtos químicos e carvões ativados, o que é uma solução atrativa econômica e tecnologicamente (GONZÁLEZ, 2009).

Diversas são as biomassas utilizadas em processos termoquímicos, dentre elas: semente de açafrão (ONAY, 2007), serragem de eucalipto (CARDOSO, 2004), capim-elefante (GÓMEZ, 2004), casca de arroz (TSAI et al., 2007), resíduos de uva (XU et al., 2009), bagaço de laranja (MARTINI, 2009), pinho (FASSINO et al., 2009), bagaço de azeitona e de avelã (DEMIRAL; SENSÖZ, 2008), bagaço de cana-de-açúcar (PÉREZ et al., 2002) e lodo de esgoto (SÁNCHEZ, 2009).

Dentre os diversos tipos de biomassa, o lodo de esgoto é considerado uma boa alternativa como fonte de energia, uma vez que sua gestão ainda é econômica e ambientalmente inviável. Tecnologias como a pirólise vêm sendo estudadas com o objetivo de transformar essa biomassa em um produto de maior valor agregado e para garantir que tenha uma destinação sustentável.

A utilização de lodo de esgoto como fonte de biomassa para produção de energia tem recebido atenção considerável nos últimos dez anos, uma vez que sua gestão econômica e ambiental ainda é uma das questões mais críticas enfrentadas pela sociedade (HOSSAIN, 2009).

2 LODO DE ESGOTO

Segundo Vieira (2004), lodo doméstico é um tipo de resíduo sólido gerado, no mundo inteiro, a partir do tratamento de águas residuárias de origem doméstica. A digestão anaeróbia envolve a degradação e estabilização de

materiais orgânicos em condições anaeróbias por micro-organismos e leva à formação de biogás (uma mistura de dióxido de carbono e metano, uma fonte renovável de energia) e da biomassa microbiana (KELLEHER et al., 2000).

Nas últimas décadas, as estações de tratamento de águas residuárias têm gerado um grande aumento na produção de lodo de esgoto (GASCÓ, 2007; HOSSAIN, 2009), devido aos fatores limitantes de disposição de água e ao crescente número de domicílios ligados a essas plantas, o que torna urgente a necessidade de encontrar novos usos para esses resíduos (GASCÓ, 2007).

À semelhança de outros resíduos orgânicos, o lodo de esgoto é abundante em matéria orgânica volátil, podendo assim ser reutilizado como um recurso biológico importante para conversão em uma diversidade de produtos combustíveis ou em eletricidade, usando processos termoquímicos disponíveis (TSAI, 2009).

A natureza do lodo é bastante heterogênea, sendo ele formado por uma mistura de vários compostos orgânicos, inorgânicos e poluentes antropogênicos (CZECHOWSKI, 2006; THIPKHUNTHOD, 2007). Acredita-se que lodos provenientes de diferentes fontes têm composições qualitativas e quantitativas diferentes, daí a variedade em termos de potencial energético e propriedades de pirólise (THIPKHUNTHOD, 2007). A fração orgânica do lodo de esgoto é constituída predominantemente de resíduos domésticos, fezes e uma mistura complexa de gorduras, proteínas, aminoácidos, açúcares, celulose, substâncias húmicas e micro-organismos, assim como seus produtos de biotransformação gerados na estação de tratamento de esgotos (ETE) (CZECHOWSKI, 2006).

O lodo de esgoto também é conhecido como um material com alto teor de cinzas em base seca (entre 20 e 50%). Os principais elementos inerentes que formam as cinzas são Al, Ca,

Fe, K, Mg, Na, P, S e Si, juntamente com pequenas quantidades de Cl, Cu, Ti e Zn. Estes elementos poderiam existir como óxidos, silicatos, carbonatos, sulfatos, cloretos e fosfatos (SHAO, 2010).

O lodo pode ser disposto em aterros sanitários, incinerado ou usado na agricultura como fertilizante, porém essas formas de disposição têm algumas desvantagens. A eliminação por disposição em aterro requer muito espaço e representa um perigo potencial para o ambiente, pois o solo tem de ser selado adequadamente para evitar a lixiviação de compostos nocivos (INGUANZO, 2002). A incineração pode proporcionar redução no volume de lodo, no entanto pode gerar emissões para a atmosfera, o solo e a água (HOSSAIN, 2009). A utilização para fins agrícolas, na forma de fertilizante, é uma alternativa rentável para sua descarga, e poderia resolver o problema do crescente volume gerado pelas estações de tratamento. Para os fins mencionados, o lodo é estabilizado com diversos produtos químicos (oxidantes, inibidores de odores, etc.). Nesse processo geralmente utiliza-se cal, um estabilizador alcalino usado na desidratação do lodo para evitar problemas de odor e destruir micro-organismos patogênicos. Em pH acima de 11,5 a maioria dos micro-organismos é eliminada, além de ocorrer a inibição do crescimento de patógenos (CZECHOWSKI, 2006). No entanto, essa aplicação é limitada, devido à capacidade de absorção do solo e à potencial poluição por metais pesados e emissões indiretas ao ar e à água (INGUANZO, 2002; HOSSAIN, 2009; FONT, 2005).

Em virtude de todas essas desvantagens, a pirólise está sendo investigada como uma alternativa para o problema da disposição final do lodo de esgoto. A pirólise apresenta certas vantagens sobre os outros métodos: o volume de resíduo sólido é drasticamente reduzido e os metais pesados presentes na matriz carbonosa são relativamente resistentes à lixiviação natural (INGUANZO, 2002).

3 PIRÓLISE

A pirólise não é uma tecnologia atual. Ela já era usada pelos egípcios, de forma rudimentar, para obtenção de piche para calafetagem de barcos e vedação de tumbas. Os processos atuais, mais modernos, são de certa forma uma melhoria desses processos antigos (CARDOSO, 2004). De modo geral, a pirólise é definida como um processo pelo qual uma matéria-prima da biomassa é termicamente degradada em ausência de oxigênio. A pirólise de biomassa é atualmente uma rota promissora para produção de sólidos (carvão vegetal), líquidos (alcatrão e outros produtos orgânicos, como ácido acético, acetona e metanol) e produtos gasosos (H_2 , CO_2 , CO) (GASCÓ, 2005; BABU, 2008). Os gases e compostos líquidos possuem valor energético relativamente alto e, conseqüentemente, poderiam ser considerados como potenciais combustíveis. Finalmente, a fração sólida pode ser utilizada como base de carbono mais barato para adsorventes, para remoção de poluentes (MARTÍN, 2003; MENÉNDEZ, 2005). Segundo Gascó (2005), o material carbonoso proveniente da fração sólida do lodo pirolizado pode ser disposto em aterros sanitários.

Entre os processos termoquímicos, a pirólise é uma ferramenta promissora para o fornecimento de bio-óleo, que pode ser usado como matéria-prima de combustíveis ou produtos químicos. A pirólise de biomassa é uma tecnologia energética muito antiga, que está se tornando cada vez mais interessante entre os vários sistemas para o aproveitamento energético da biomassa (YANIK, 2007).

3.1 Classificação dos processos de pirólise

Dependendo das condições de funcionamento, o processo de pirólise pode ser dividido em três classes: pirólise lenta ou convencional, pirólise rápida ou *flash* e pirólise ultrarrápida. Na pirólise lenta, a biomassa, após um processo de secagem e de eliminação da umidade, é

submetida a aquecimento em baixas temperaturas ($< 500\text{ }^{\circ}\text{C}$), baixas taxas de aquecimento e elevado tempo de residência (CARDOSO, 2004). A pirólise convencional é uma tecnologia conhecida principalmente pela produção de carvão e produtos químicos, como o metanol e ácido acético. O objetivo principal da pirólise rápida é a conversão da biomassa em produtos líquidos (YANIK, 2007). Nesse processo, empregam-se elevadas taxas de aquecimento e de transferência de calor, em que as temperaturas são cuidadosamente controladas em torno de $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, a um tempo de residência bem pequeno, em torno de 5 segundos (CARDOSO, 2004). Na prática, cerca de 40-75% da biomassa (em base seca) é convertida em óleo pirolítico. Cerca de 10-20% da biomassa é convertida em carvão. O líquido pode ser facilmente armazenado, transportado e manipulado para produção de energia, calor e substâncias químicas (YANIK, 2007). A pirólise ultrarrápida utiliza altas temperaturas, entre 900 e $1.000\text{ }^{\circ}\text{C}$, sob elevada taxa de aquecimento ($10.000\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$) e tempo de residência inferior a 0,5 segundo (CARDOSO, 2004).

A avaliação do potencial termoquímico da conversão de biomassa para produção de eletricidade e energia requer análises extensas e quantitativas das características térmicas e químicas de diferentes classes de matérias-primas, quando suas condições de processo são variadas (BABU, 2008).

As características de conversão podem ser agrupadas em termoquímica, taxa intrapartícula e taxa extrapartícula. As taxas de conversão termoquímica envolvem rendimentos de cinzas, materiais voláteis e reatividade de produtos voláteis. As taxas intrapartículas estão relacionadas com a preparação de matérias-primas, como tamanho de partícula e teor de umidade e as propriedades físicas e químicas intrínsecas. A taxa extrapartícula envolve, por exemplo, a transferência de calor do reator para a partícula e o tempo de residência (BABU, 2008).

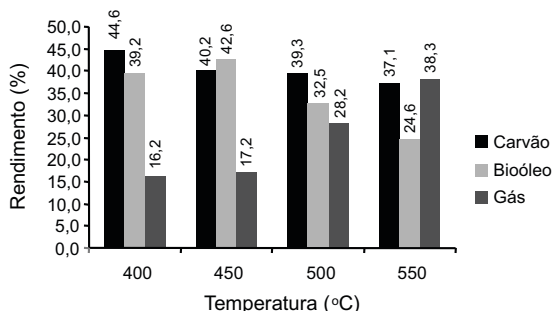
Durante o processo de pirólise ocorrem transferências de calor a partir de uma fonte de aquecimento. O calor é transferido primeiro para a superfície da partícula, por radiação e, ou, convecção, e depois para interior da partícula por condução. O início das reações de pirólise, devido ao aumento de temperatura, leva à remoção da umidade presente na partícula de biomassa e à liberação de compostos voláteis e formação de carvão. O fluxo de voláteis e de produtos gasosos através dos poros da partícula participa do processo de transferência de calor. Posteriormente ocorrem a condensação de alguns compostos voláteis nas partes mais frias do combustível, para produção de alcatrão, e as reações secundárias autocatalíticas (BABU, 2008).

3.2 Rendimentos dos produtos da pirólise de lodo de esgoto

O rendimento e a composição dos produtos da pirólise dependem das condições de processo (INGUANZO, 2002). Os principais parâmetros a serem observados no processo de pirólise são: temperatura, tamanho da partícula e tempo de residência. Todas essas condições estão relacionadas com o rendimento da pirólise e o tipo de produto que se quer obter, se bio-óleo, gás ou bio-sólido (carvão).

De acordo com Park et al. (2010), a temperatura é o parâmetro mais importante que afeta o rendimento dos produtos da pirólise. Os autores constataram que o rendimento de carvão diminuiu gradativamente de 44,6% em peso, a $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, para 37,1% a $550\text{ }^{\circ}\text{C}$. Isto se deve ao fato de o aumento de temperatura liberar mais vapores de alcatrão primário e gases. O rendimento máximo de bio-óleo (42,6%) foi obtido a $450\text{ }^{\circ}\text{C}$. Os rendimentos de bio-óleo, carvão e gás estão na Figura 1.

Fontes et al. (2009), trabalhando com pirólise rápida de três diferentes amostras de lodo de esgoto, encontraram valores de cerca de 50% em peso de bio-óleo, a $550\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nesse trabalho, a produção de bio-óleo diminuiu



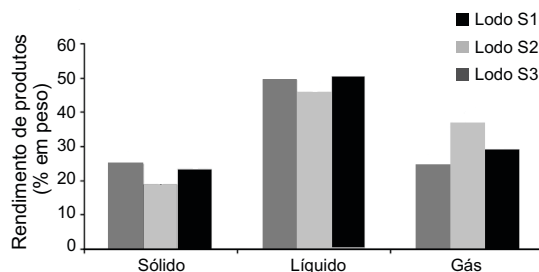
Fonte: Adaptado de Park et al. (2010)

Figura 1 - Rendimento dos produtos da pirólise a diferentes temperaturas (400, 450, 500, 550 °C). Condições de processo da pirólise: tamanho da partícula de 0,7mm, fluxo de gás de 5 L min⁻¹ e taxa de alimentação de 2,5 g min⁻¹.

Figure 1 - Yield of pyrolysis products at different temperatures (400, 450, 500, 550 °C). Process conditions of pyrolysis: particle size of 0,7 mm, flow rate of the gas of 5 L min⁻¹, feed rate of 2,5 g min⁻¹.

significativamente em altas temperaturas, devido às reações secundárias como o craqueamento térmico do alcatrão, que é conhecido se por tornar ativo a 500 °C ou mais. Esse aumento resultou na elevação da produção de gás, como pode ser visualizado na Figura 2.

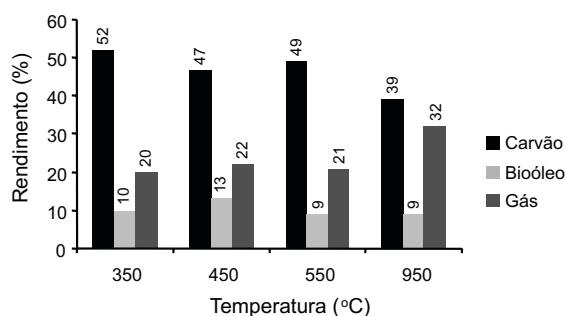
Sánchez et al. (2009) pirolisaram lodo de esgoto através de pirólise lenta, utilizando temperaturas de 350, 450, 550 e 950 °C, como mostra a Figura 3. Pode-se observar decréscimo no rendimento de carvão com o aumento da temperatura de pirólise. Esse decréscimo pode ser atribuído ao aumento de volatilização dos hidrocarbonetos sólidos no carvão, apesar de também ser possível a gaseificação parcial do resíduo de carbono. Para todas as temperaturas, a produção de água foi maior do que o teor de umidade do lodo inicial (6,8% em peso), indicando que água foi formada durante a pirólise. Este fato pode ser explicado pela quebra dos grupos funcionais dos compostos voláteis durante as reações homogêneas secundárias. O aumento dos produtos gasosos foi devido ao craqueamento secundário dos vapores da



Fonte: Adaptado de Fonts et al. (2009)

Figura 2 - Rendimento dos produtos da pirólise a 550 °C.

Figure 2 - Yield of pyrolysis products at 550 °C.



Fonte: Adaptado de Sánchez et al. (2009).

Figura 3 - Rendimentos de produtos da pirólise a 350, 450, 550 e 950 °C. Condições de pirólise: tamanho de partículas de 2 mm, fluxo de gás de 0,1 L min⁻¹.

Figure 3 - Yield of pyrolysis products at 350, 450, 550 and 950 °C. Process conditions of pyrolysis: particle size of 2 mm, flow rate of the gas of 0,1 L min⁻¹.

pirólise à alta temperatura. No entanto, como mencionado, a decomposição secundária do carvão em altas temperaturas também pode gerar produtos gasosos não condensáveis, devido às reações heterogêneas entre o carvão e os componentes gasosos, como H₂O.

Em baixas temperaturas, esses parâmetros são conhecidos por aumentar o rendimento do carvão à custa da formação do bio-óleo. Em altas temperaturas, a formação do gás é favorecida, embora o carvão continue a ser o principal produto (SÁNCHEZ, 2009).

Em relação ao tamanho de partículas, Park et al. (2010) relataram que esse parâmetro influencia os rendimentos dos produtos da pirólise de lodo de esgoto e que essa influência é devido, provavelmente, à taxa de aquecimento das partículas. Partículas maiores aquecem mais lentamente, tornando a temperatura média das partículas mais baixa, causando uma volatilização incompleta. À medida que o tamanho das partículas aumentou o rendimento de bio-óleo diminuiu, enquanto o de carvão aumentou. Houve também decréscimo no rendimento de bio-óleo quando as partículas diminuíram para menos de 0,3 mm, o que pode estar relacionado ao superaquecimento das partículas menores, seguido pela conversão dos vapores em gás.

Luo (2010) relatou que há redução no rendimento de gás com o aumento do tamanho das partículas e que o efeito da granulometria sobre a produção de gás ocorre, possivelmente, em virtude de dois aspectos opostos: um acontece quando o tamanho da partícula é menor; devido à sua maior área superficial, há melhor transferência de calor e massa e, portanto, as taxas de aquecimento são mais rápidas, produzindo gases leves, menos carvão e vapores condensáveis. O outro aspecto é que com aumento no tamanho das partículas o tempo de residência de materiais voláteis nas partículas pode se prolongar, o que é útil para reforçar reações secundárias (craqueamento térmico) do alcatrão nas partículas, aumentando o rendimento do gás.

O tempo de residência dos vapores de pirólise é, também, um fator muito importante para produção de bio-óleo, uma vez que determina a possibilidade de reações secundárias de alcatrão (PARK et al., 2010).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O lodo é considerado uma biomassa que pode ser utilizada como fonte de energia ou produtos químicos de valor agregado. Como as

alternativas de disposição de lodo, seja em aterros sanitários, incineração ou uso na agricultura, a pirólise contribui para que essa biomassa possa ser aproveitada, a fim de evitar os diversos problemas causados pela sua disposição ineficiente. É por esse motivo que estudos com pirólise de lodo de esgoto vêm ganhando cada vez mais importância.

As condições de processo como temperatura, tempo de residência e tamanho de partículas são de extrema necessidade quando se trabalha com pirólise, pois elas podem influenciar os rendimentos dos produtos esperados. Todos esses parâmetros podem ser regulados de acordo com o que se deseja obter do processo. Para produção de bio-óleo, as melhores faixas de temperaturas foram de 450-550 °C, enquanto a produção de gás foi beneficiada a temperaturas mais elevadas. O tamanho das partículas também tem influência nos rendimentos. De acordo com os trabalhos citados, as partículas menores sofrem maior perda de matéria, causando maior formação de gás.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BABU, B. V. Biomass pyrolysis: a state-of-the-art review. **Biofuels, Bioproducts & Biorefining**, v. 2, n. 5, p. 393-414, 2008.

CARDOSO, A. L. **Pirólise lenta de serragem de eucalipto para obtenção de bioóleo e carvão**. 2004. 68f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

CZECHOWSKI F.; MARCINKOWSKI, T. Sewage sludge stabilisation with calcium hydroxide: Effect on physicochemical properties and molecular composition. **Water Research**, v. 40, n. 9, p. 1895-1905, 2006.

DEMIRAL, I.; SENSÖZ, S. The effects of different catalysts on the pyrolysis of industrial wastes (olive and hazelnut bagasse). **Bioresource Technology**, v. 99, n. 17, p. 8002-8007, 2008.

- FASSINO, W.F. et al. Pyrolysis of pinus pinaster in a two-stage gasifier: influence of processing parameters and thermal cracking of tar. **Fuel Processing Technology**, v.90, n. 1, p. 75-90, 2009.
- FONT, R.; FULLANA, A.; CONESA J. Kinetic models for the pyrolysis and combustion of two types of sewage sludge. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 74, n. 1-2, p. 429-438, 2005.
- FONTS, I; AZUARA, M.; MURILLO, M.B. 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.
- GASCÓ, G. et al. The influence of organic matter on sewage sludge pyrolysis. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 74, n. 1-2, p. 413-420, 2005.
- GASCÓ, G.; CUETO, M. J.; MENÉNDEZ, A. The effect of acid treatment on the pyrolysis behavior of sewage sludges. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 80, n. 2, p. 496-501, 2007.
- GÓMEZ, E. O. Estudo da pirólise rápida de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) em leito fluidizado borbulhante mediante caracterização dos finos de carvão. **Revista Analytica**, n. 9, fev./mar, 2004.
- GONZÁLEZ, J.F. et al. Pyrolysis of various biomass residues and char utilization for the production of activated carbons. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 85, n. 1-2, p.134-141, 2009.
- HOSSAIN, M. K.; STREZOV, V.; NELSON, P. F. Thermal characterisation of the products of wastewater sludge pyrolysis. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 85, n. 1-2, p. 442-446, 2009.
- INGUANZO, M. et al. On the pyrolysis of sewage sludge: the influence of pyrolysis conditions on solid, liquid and gas fractions. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 63, n. 1, p. 209-222, 2002.
- KELLEHER, B. P. et al. Advances in poultry litter disposal technology – a review. **Bioresource Technology**, v. 83, n. 1, p. 27-36, 2000.
- LUO, S. et al. Effect of particle size on pyrolysis of single-component municipal solid waste in fixed bed reactor. **International Journal of hydrogen energy**, v. 35, n. 1, p. 93-97, 2010.
- MARTÍN, M. J. et al. Activated carbons developed from surplus sewage sludge for the removal of dyes from dilute aqueous solutions. **Chemical Engineering Journal**, v. 94, n. 3, p. 231-239, 2003.
- MARTINI, P. R. R. **Conversão pirolítica de bagaço residual da indústria de suco de laranja e caracterização química dos produtos**. 2009. 136 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.
- MENÉNDEZ, A.; GASCÓ, G.; Optimization of water desalination using carbon-based adsorbents. **Desalination**, v. 183, p. 249-255, 2005.
- ONAY, O. Influence of pyrolysis temperature and heating rate on the production of bio-oil and char from safflower seed by pyrolysis, using a well-swept fixed-bed reactor. **Fuel Processing Technology**, v. 88, n. 5, p. 523-531, 2007.
- PARK, H. J. et al. Clean bio-oil production from fast pyrolysis of sewage sludge: effects of reaction conditions and metal oxide catalysts. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 1, p. S83-S85, 2010.
- PÉREZ, M. G.; CHAALA, A.; ROY, C. Vacuum pyrolysis of sugarcane bagasse. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 65, n. 2, p. 111-136, 2002.
- SÁNCHEZ, M. E. et al. Effect of pyrolysis temperature on the composition of the oils obtained from sewage sludge. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, n. 6-7, p. 933-940, 2009.
- SHAO, J. et al. Catalytic effect of metal oxides on pyrolysis of sewage sludge. **Fuel Processing Technology**, v. 91, n. 9, p. 1113-1118, 2010.
- THIPKHUNTHOD, P. et al. Describing sewage sludge pyrolysis kinetics by a combination of biomass fractions decomposition. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 79, n. 1-2, p. 78-85, 2007.
- TSAI, W. T.; LEE, M. K.; CHANG, Y.M. Fast pyrolysis of rice husk: product yields and compositions. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 1, p. 22-28, 2007.

TSAI, W. T. et al. Levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in the bio-oils from induction-heating pyrolysis of food-processing sewage sludges. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 86, n. 2, p. 364-368, 2009.

VIEIRA, G. E. G. **Fontes alternativas de energia – processo aperfeiçoado de conversão térmica**. 2004. 130 f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2004.

XU, R. et al. Flash pyrolysis of grape residues into biofuel in a bubbling fluid bed. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 86, n. 1, p. 58-65, 2009.

YANIK, J. et al. Fast pyrolysis of agricultural wastes: Characterization of pyrolysis products. **Fuel Processing Technology**, v. 88, n. 10, p. 942-947, 2007.