

Biomassa: uma visão dos processos de pirólise

Gláucia Eliza Gama Vieira¹

Abimael Pereira Nunes²

Luana Fagundes Teixeira³

Aymara Gracielly Nogueira Colen⁴

Resumo

O objetivo deste artigo é buscar um modelo energético que incentiva uma série de indagações e inovações com uma configuração de acondicionamento de produtividade baseado no uso de biomassa. Devido a sua abundância, a biomassa tem ganhado um papel de grande importância no cenário brasileiro, tanto no contexto energético, quanto socioeconômico e sócioambiental, graças a sua gama de componentes que agregam valor. Portanto, a pirólise tem sido uma rota de alta relevância para agregar valor às biomassas que são residuais ou não. Essa rota tem, por definição, a degradação térmica do material orgânico. Na ausência total de oxigênio, com variável de temperatura entre 400°C a 700°C, tem sido a grande e eficiente aliada na geração de energia, quando diz respeito à obtenção de produtos renováveis, uma vez que o balanço energético e ecológico têm sido muito positivo.

Palavras-chave: Biomassa. Rota de processamento. Bioprodutos.

Abstract

The purpose of this article is to seek an energy model which encourages a range of questions and innovations with a productivity packaging configuration based on the use of biomass. Due to its abundance, biomass has gained a major role in the Brazilian society, both in the energy context, as socioeconomic and socio environmental, because of its range of components that add value. Therefore, the pyrolysis has been a highly important route to add value to biomass resources, which are residual or not. This route has, by definition, the thermal degradation of the organic material. In the total absence of oxygen, with temperature varying between 400°C and 700°C, it has been a great and efficient ally in power generation, concerning renewable products, since the ecologic and energetic balance have been very positive.

Keywords: Biomass. Processing route. Bioproducts.

1 Doutora em Química pela Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói (RJ), Brasil. Professora adjunta da Universidade Federal do Tocantins (UFT), Palmas (TO), Brasil. E-mail: glauciavieiraledbio@gmail.com

2 Mestrando em Agroenergia pela Universidade Federal do Tocantins (UFT), Palmas (TO), Brasil e farmacêutico generalista pelo Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos (ITPAC), Araguaína (TO), Brasil. E-mail: nunesfarmaquimico@hotmail.com

3 Mestre em Agroenergia pela Universidade Federal do Tocantins (UFT), Palmas (TO), Brasil e engenheira de alimentos pela Universidade Federal do Tocantins (UFT), Palmas (TO). E-mail: luanafagundes1@gmail.com

4 Mestre em Agroenergia pela Universidade Federal do Tocantins (UFT), Palmas (TO), Brasil e engenheira ambiental pela Universidade Federal do Tocantins (UFT), Palmas (TO). E-mail: aycolen@gmail.com

1 Introdução

Como o crescimento populacional e econômico mundial têm aumentado rapidamente a demanda energética, a oferta de derivados do petróleo tende a diminuir, provocando cada vez maior a preocupação por novas alternativas.

Mundialmente, o Brasil é conhecido por sua grande capacidade de produção, muitas vezes refletida na exportação de *commodities* agrícolas, assim gerando biomassa. Entretanto, ainda que seja estratégica a produção e exportação de tais *commodities*, a probabilidade e/ou possibilidade de agregar valor à biomassa deve ser considerada como uma oportunidade e base de dados para conhecimentos técnico-científicos nacionais e de redução de impactos ambientais (VAZ JÚNIOR, 2011).

As fontes de energia renováveis, como a biomassa, desempenham um papel fundamental no contexto energético, ambiental e socioeconômico. As biomassas são provenientes de resíduos urbanos, da madeira, de culturas agrícolas, de plantas aquáticas, algas, animais, processamento de alimentos e seus resíduos (GUEDES *et al.*, 2010).

Segundo o Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2008), os principais setores consumidores da biomassa (bagaço de cana-de-açúcar, lenha e carvão vegetal, álcool e outras fontes primárias renováveis) são o industrial, com cerca de 52% do consumo final, o residencial, com 13% e de transportes, com 14%. Na primeira metade da década de 80, houve a elevação do uso industrial de biomassa, devido à substituição do óleo combustível por carvão vegetal; à produção de álcool, utilizando o bagaço de cana-de-açúcar e à expansão da siderurgia a carvão vegetal. Seu consumo nos setores residencial e agropecuário decaiu, devido a menor utilização da lenha para cocção (INNOCENTE, 2011).

No trabalho de Pedroza *et al.*, (2010), a figura 1 mostra o balanço energético da pirólise dos lodos de esgoto estudados. O lodo um (1) apresentou o maior valor líquido 8,11 €/kg de lodo, seguido por 4,10 €/kg (lodo 3) e, 67 €/kg (lodo 2). Os resultados, aqui apresentados, mostram que o tratamento térmico de lodo de esgoto representa uma alternativa economicamente viável para a disposição final do resíduo, em escala de laboratório.

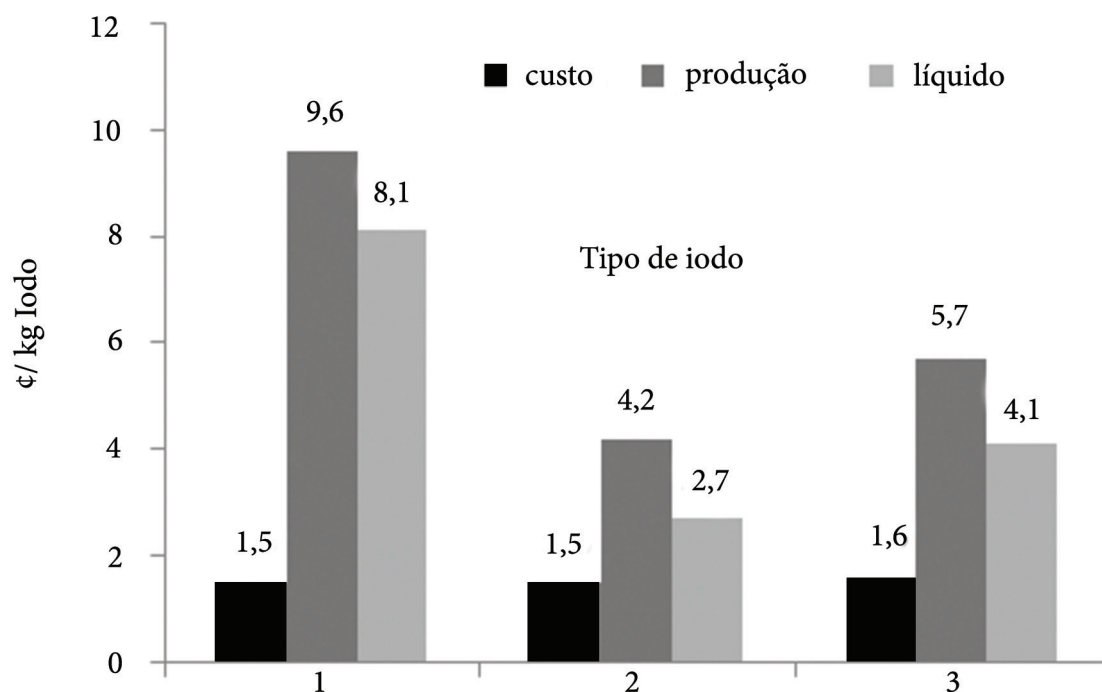


Figura 1 - Balanço de energia da pirólise de lodo de esgoto
Fonte: Pedroza *et al.* (2010).

A biomassa consiste em elementos como carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio. O enxofre está presente em menores proporções e alguns tipos de biomassa contêm também porções significativas em espécies inorgânicas (GUEDES *et al.*, 2010).

Os produtos químicos obtidos, a partir de co-produtos e resíduos, são os que possuem maior potencial em agregar valor nas cadeias produtivas da biomassa, em função da participação estratégica da indústria química no fornecimento de insumos e produtos finais a diversos setores da economia, como: petroquímico, farmacêutico, automotivo, da construção

civil, agronegócio, cosméticos, entre outros (VAZ JÚNIOR, 2011).

A maior competitividade está nas rotas derivadas da biomassa. Economicamente, está no preço mais elevado do petróleo e nas restrições ambientais mais severas que contribuíram para uma maior competitividade dessas rotas (GOMES; SZKLO; MACHADO, 2007).

Os principais constituintes moleculares da biomassa lignocelulósica (figura 2) são hemicelulose, celulose e lignina, já os principais processos (rotas) de conversão de biomassa são combustão, liquefação, fermentação, biodigestão, gaseificação e pirólise (GUEDES *et al.*, 2010).

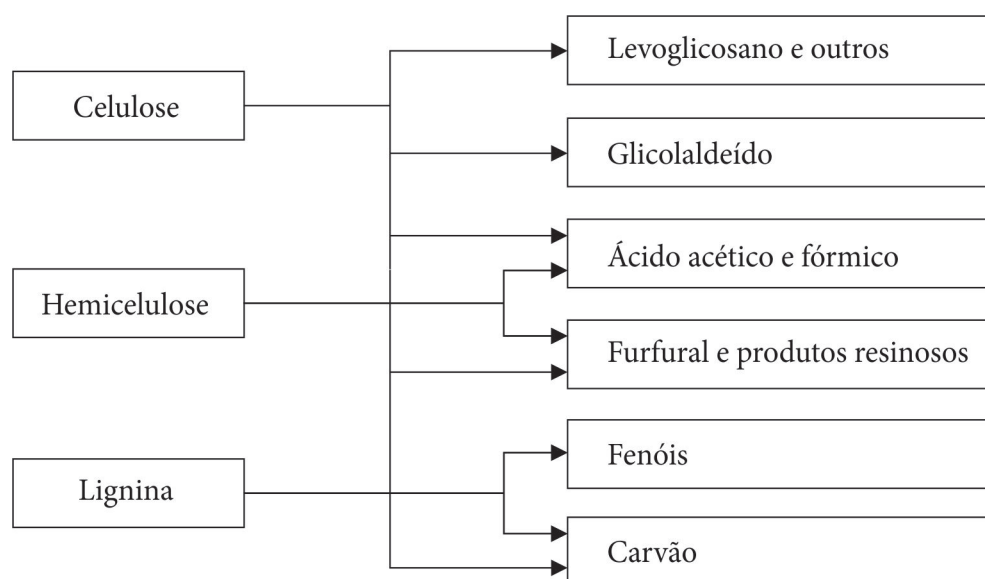


Figura 2 - Principais componentes da biomassa lignocelulósica e suas transformações mediante tratamento térmico. Fonte: Rocha, Pérez e Cortez (2004 *apud* Diniz, 2005).

A pirólise pode ser definida como a degradação térmica do material orgânico na ausência parcial ou total de um agente oxidante, ou mesmo num ambiente com uma concentração de oxigênio capaz de impedir a gaseificação intensiva do material orgânico. A pirólise ocorre, geralmente, a uma temperatura, variando de 400 ° C, até ao início do sistema de gaseificação (PEDROZA *et al.*, 2010, 2011).

Já foram propostos alguns mecanismos para as possíveis rotas de reação que ocorrem, durante a pirólise de biomassa. Durante o

processo, ocorre a formação de água por desidratação: de ácido acético, pela eliminação de grupo acetila (o ácido acético é o principal produto da decomposição térmica em algumas biomassas) que inicialmente é ligado a unidades de xilose; de furfural, pela desidratação da xilose; de ácido fórmico, a partir de grupos carboxílicos do ácido urônico e de metanol, a partir de grupos metoxilas e também do ácido urônico (GUEDES *et al.*, 2010).

A pirólise se destaca, quando comparada com os tipos diferenciados de processos, por

gerar produtos (líquidos, sólidos e gasosos), com valores agregados que podem ser usados como fonte de combustíveis ou entre outros usos (PEDROZA, 2011).

O processo de pirólise produz combustíveis líquidos com alto rendimento, ainda existem alguns desafios que precisam ser enfrentados no uso desses produtos. O óleo resultante da pirólise de biomassa, usualmente denominado de bio-óleo, além de ser um combustível líquido renovável, sendo essa a principal vantagem sobre derivados do petróleo, pode ser usado para a produção de várias substâncias químicas (GUEDES *et al.*, 2010).

Pesquisaram a separação e transformação de componentes de bio-óleo em ésteres, caracterizando as reações e os produtos da pirólise, avaliando a estabilidade do produto, durante a estocagem, ou ainda, testar a mistura desse bio-combustível (GUEDES *et al.*, 2010).

Esta revisão tem como objetivo apresentar as principais características químicas de

biomassas e os principais tipos de pirólise, normalmente, empregados no seu aproveitamento.

2 Biomassa

Biomassa pode ser definida como toda matéria orgânica, seja de origem animal, vegetal ou microrganismos, suscetível a ser transformada em energia (bioenergia). A biomassa é composta por diferentes tipos de células, cuja estrutura e composição variam com a espécie ou de partes de plantas. As paredes celulares de biomassa são formadas de microfibrilas de celulose, rodeadas por uma matriz de hemicelulose e lignina (figura 3). Ainda estão presentes alguns lipídeos e hidrocarbonetos (terpenos) que são solúveis em éter e vários tipos de compostos fenólicos, hidratos de carbono e proteínas que podem ser solúveis em benzeno, etanol ou água (SHAFIZADEH, 1982 *apud* MARIN MESA, 2011).

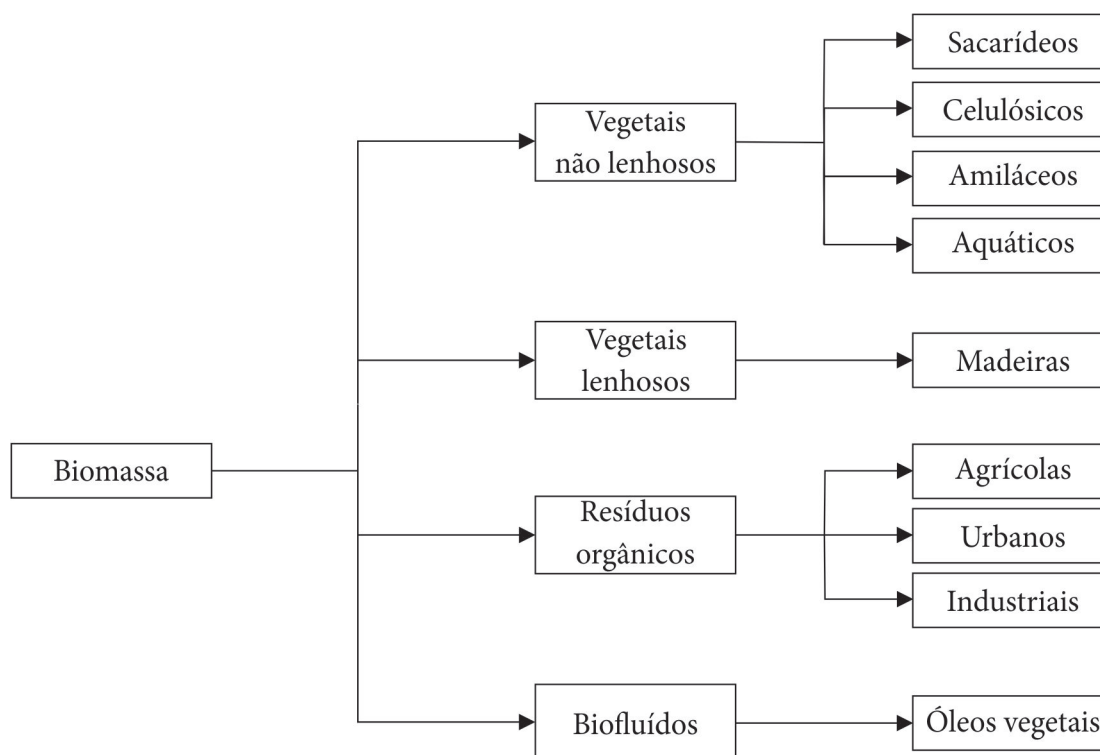


Figura 3 - Fontes de biomassa
Fonte: Brasil (2008).

A composição elementar e imediata de algumas biomassas (base seca) é expressa nas (tabelas 1 e 2), respectivamente. A composição elementar é avaliada em termos de porcentagem de massa de alguns elementos químicos presentes na estrutura de materiais combustíveis, carbono (C), hidrogênio (H), enxofre (S), oxigênio (O), nitrogênio (N), umidade (W) e material residual (A) (GOMES, 2010).

Tabela 1 - Composição elementar da biomassa (base seca) em porcentagem

Biomassa	C	H	O	N	S	A	MJ/kg**	Referências
Pinus	49,25	5,99	44,36	0,06	0,03	0,3	17,23	Menezes (2013)
Eucalipto	49,00	5,87	43,97	0,30	0,01	0,72	25,00	Menezes (2013)
C. de arroz	40,96	4,30	35,86	0,40	0,02	18,34	13,15	Souza, <i>et. al.</i> , (2012)
B. de cana	44,80	5,35	39,55	0,38	0,01	9,79	18,24	Silva (2008)
C. de coco	48,23	5,23	33,19	2,98	0,12	10,25	23,55	Vale, <i>et. al.</i> , (2011)
S. de milho	46,58	5,87	45,46	0,47	0,01	1,40	12,12	Vale, <i>et. al.</i> , (2011)
L. de esgoto	28,00	4,6	23,2	4,9	1,2	-	21,10	Pedroza, <i>et. al.</i> (2014)
Pequi	-	-	-	-	-	-	23,70	Silveira, (2012)
R. algodão	47,05	5,35	40,77	0,65	0,21	5,89	18,26	Carpio (2013)

** Poder calorífico em MJ/kg

Fonte: Adaptado de Cortez, L. A. B. *et al.* (2009, p. 50 *apud* GOMES, 2010).

De acordo com os estudos de Gomes (2010), observa-se, na tabela 1, o teor de cinzas (A) que nos diversos tipos de biomassa não ultrapassa 2%, tendo algumas exceções como o bagaço de cana-de-açúcar, a casca de arroz, a casca de coco e as ramas de algodão. E também se pode observar que a biomassa é muito rica em carbono e oxigênio, podendo chegar a 80% da composição de todo material. Quanto

ao poder calorífico, o eucalipto apresenta maior energia em MJ/kg com relação às outras biomassas citadas.

A determinação da composição imediata de um material combustível pode ser avaliada pelo conteúdo em porcentagem de massa de alguns componentes presentes em sua estrutura como, carbono fixo (F), voláteis (V) e cinzas (A) (GOMES, 2010).

Tabela 2 - Composição imediata da biomassa (base seca) em porcentagem

Tipo de biomassa	V	A	F
Pinus	82,54	0,29	17,70
Eucalipto	81,42	0,79	17,82
Casca de arroz	65,47	17,89	16,67
Bagaço de cana	73,78	11,27	14,95
Casca de coco	67,95	8,25	23,80
Sabugo de milho	80,10	1,36	18,54
Ramas de algodão	73,29	5,51	21,20

Fonte: Cortez, L. A. B. *et al.* (2009, p. 50 *apud* Gomes, 2010).

As matérias-primas (biomassa), utilizadas no processo de pirólise, podem ser pontuadas em resíduos vegetais ou agrícolas (bagaço de cana-de-açúcar, casca de arroz, palha e sabugo de milho, etc.), resíduos industriais (casca, cavaco e pó de serra derivados de toras de madeira, bagaço de laranja, caju, abacaxi, entre outros) e resíduos florestais (folhas, galhos, madeira de reflorestamento e materiais resultantes da destoca) (GOMES, 2010).

3 Pirólise

Nesse processo a hemicelulose (que é o primeiro componente a se decompor entre 200°C e 260°C) produz ácido acético, furfural e furano; a celulose (cuja degradação ocorre entre 240°C e 350°C), principalmente formaldeído, hidroxiacetaldeído, acetol, levoglucosano, 5 – hidroximetilfurfural; e a lignina, devido à sua complexidade estrutural, forma um enorme leque de produtos (pequenas quantidades de fenóis monoméricos, mas sobretudo fragmentos oligoméricos) bem como a fração mais pesada do bio-óleo (é o último componente a degradar-se, entre 280°C e 500°C), constituída principalmente por: fenol e seus derivados (catecol, resorcinol, hidroquinona, guaiacol, baunilha, eugenol, siringol, cresol, dimetil fenol e trimetil fenol) e produtos oligoméricos, principalmente em que o anel benzênico se polimeriza (naftaleno, antraceno e bifenilo) (PARADELA, 2012).

3.1 Pirólise lenta ou carbonização

Utilizam-se baixas taxas de aquecimento (menos de 2°C / segundo), baixa temperatura (inferior a 500 ° C) e tempos de residência dos produtos de elevadas (gás: maior do que 5s e sólida pode ser minutos, horas ou dias). Tem como objetivo maximizar o resíduo carbonáceo (sólidos) como, por exemplo, na produção clássica de carvão, a partir da biomassa, devido à volatilização lenta do combustível, bem como as reações secundárias de polimerização e de coque dos produtos mais voláteis (PARADELA, 2012). Nos USA, desenvolveu-se um sistema para a produção de carvão no ambiente rural, utilizando motor diesel, acoplado um sistema de combustão para a produção de energia elétrica em pequena escala (PANNIRSELVAM *et al.*, 2005).

Quanto aos termos “pirólise lenta” e “pirólise rápida”, diferenciam-se entre si, através de variáveis de processos, tais como: (1) taxa de aquecimento, (2) temperatura, (3) tempo de residência das fases sólida e gasosa e (4) produtos desejados. A tabela 3 apresenta as variáveis de processos, os tipos de pirólise foram subdivididos em: (1) carbonização; (2) convencional; (3) rápida; (4) flash-líquido; (5) flash-gás; (6) ultra; (7) vácuo; (8) hidro-pirólise e (9) metano-pirólise (VIEIRA, 2004).

Tabela 3 - Variantes do processo de pirólise

Variantes do processo	Tempo de residência	Temperatura do processo, °C	Produtos obtidos
Carbonização	Horas/dia	400 – 450	Carvão vegetal
Convencional	5-30 min	até 600	Bio-óleo, carvão e gás
Rápida	0,5 – 5 s	500 – 550	Bio-óleo
Flash-líquido	< 1 s	< 650	Bio-óleo
Flash-gás	< 1 s	> 650	Gás combustível
Vácuo	2 – 30 s	400	Bio-óleo
Metano-pirólise	< 10 s	> 700	Produtos químicos
Hidro-pirólise	< 10 s	> 500	Bio-óleo e produtos químicos

Fonte: Adaptado de Gómez (2002).

3.2 Pirólise rápida

Na pirólise rápida, tecnologia já desenvolvida no Brasil em projetos de média e grande escala, o bio-óleo é o principal produto e é composto basicamente de alcatrões solúveis e insolúveis e ácido pirolenhoso que contém produtos químicos valiosos como o ácido acético, metanol e acetona. Observa-se, também, nesse tipo de sistema, a produção de carvão e gás. Para esse tipo de pirólise, observa-se um melhor rendimento na recuperação de co-produtos (carvão e gás), baixo impacto ambiental e aplicabilidade do bio-óleo em escala industrial (PANNIRSELVAM *et al.*, 2005).

Para Fernandes (2010), a pirólise rápida de biomassa pode ser realizada nos seguintes reatores:

- Leito fluidizado (borbulhante e circulante);
- Reator de prato rotativo (Pirólise ablativa);
- Reator de cone rotativo (Pirólise ablativa);
- Reator de vórtice (Pirólise ablativa);
- Reator de pirólise a vácuo.

Marin Mesa (2011) utilizou um reator de leito fluidizado para a pirólise de cana-de-açúcar. O sistema era constituído de: silo de alimentação, rosca de alimentação reator de pirólise, revestido com material refratário, ciclone para separação do material particulado, recuperador de bio-óleo, câmara de combustão acoplada a um trocador de calor. O calor é aproveitado para aquecer o ar de fluidização. Um sistema de aquisição de dados monitorou as pressões e temperaturas em diferentes alturas no reator e nas entradas e saídas dos sistemas de recuperação de bio-óleo e carvão (MARIN MESA, 2011).

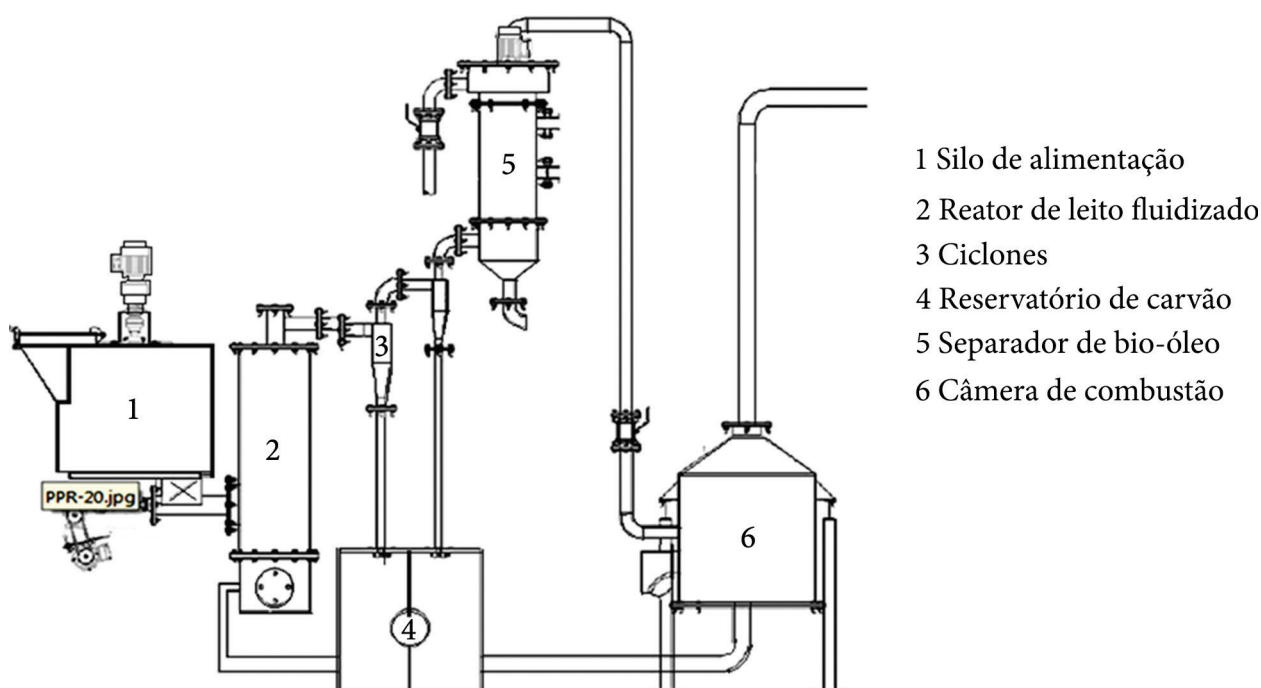


Figura 4 - Esquema da Planta de Pirólise Rápida, modelo PPR-20, tecnologia Bioware.
Fonte: MARIN MESA (2011).

3.3 Pirólise instantânea (pirólise de “flash”)

As velocidades de aquecimento são ainda mais elevadas (maiores que 1000°C/s). Além disso, os tempos de residência são

ainda menores (dos sólidos, menores que 1 segundo), através da utilização de partículas muito pequenas do material a pirolisar, de modo a maximizar a transferência de calor (PARADELA, 2012).

3.4 Pirólise analítica

A pirólise analítica pode ser definida como uma técnica de caracterização de determinado material pelas reações de degradação químicas, induzidas por energia térmica, na ausência de oxigênio, resultando em um conjunto de pequenas espécies moleculares, as quais são relacionadas à composição da amostra original. A

possibilidade da cromatografia gasosa (figura 5) de separar os produtos provenientes da pirólise e da espectrometria de massas de identificá-los faz da associação entre essas técnicas uma poderosa ferramenta para caracterização de diversos materiais poliméricos não voláteis (NUNES, 2011).

Desenho esquemático do acoplamento do pirolisador (py) ao sistema GC/MS na figura a seguir.

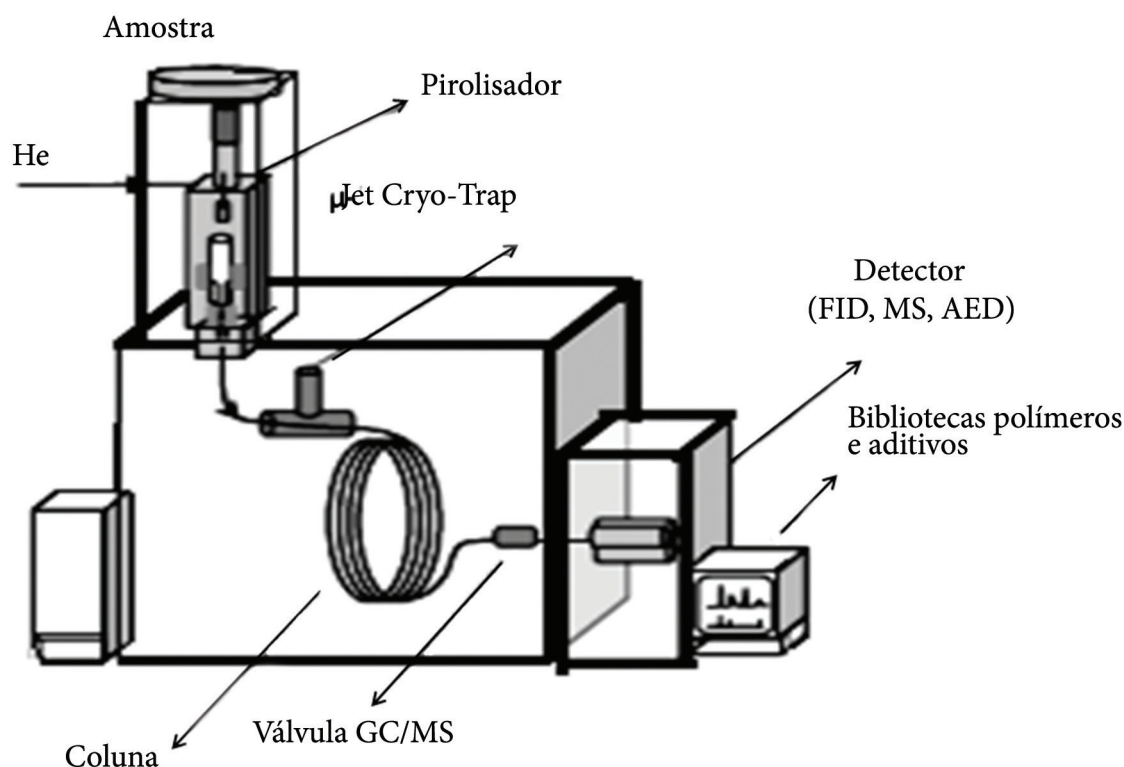


Figura 5 - Sistema de Py-GC/MS usando pirolisador de microforno equipado com cromatógrafo a gás (CG) acoplado ao espectrômetro de massas (MS) com quadrupolo.

Fonte: SILVÉRIO *et al.* (2008 *apud* MIRANDA, 2011).

4 Uso do processo em biomassa

De acordo com Vieira (2004), lodo doméstico é um tipo de resíduo sólido, gerado em todo o mundo, a partir do tratamento de águas residuárias de origem doméstica. A denominação “lodo” tem sido utilizada para assinalar os subprodutos sólidos do tratamento de esgotos. No tratamento de processos biológicos, parte da matéria orgânica é absorvida e convertida,

fazendo parte da biomassa microbiana, denominada genericamente de lodo biológico ou secundário, composto principalmente de sólidos biológicos (PEDROZA, 2010).

A grande produção de lodo vem incentivando, nos últimos anos, a aplicação de tecnologias que visem o aproveitamento do lodo residual gerado. A tabela 4 mostra os rendimentos do lodo de esgoto processo de pirólise (SILVA *et al.*, 2012).

Tabela 4 - Rendimentos dos produtos da pirólise de lodo de esgoto coletado na ETE Norte - Palmas-TO.

Repetição	Redimento (%)	
	450°C	550°C
Fração aquosa	12,7 ⁽¹⁾	15,4 ⁽¹⁾
Bio-óleo	11,6 ⁽²⁾	11,4 ⁽²⁾
Fração sólida	62,1 ⁽³⁾	58,4 ⁽³⁾
Fração gasosa	13,7 ⁽⁴⁾	14,8 ⁽⁴⁾

Fonte: Silva *et al.* (2012).

(1) e (3) - As médias apresentaram diferença significativa a um nível de 95% de confiança pelo teste t Student;

(2) e (4) - As médias não apresentaram diferença significativa a um nível de 95% de confiança pelo teste t Student.

De acordo com os estudos de Silva *et al.* (2012), os resultados na tabela acima mostram que os rendimentos da fração aquosa e sólida apresentam diferenças significativas com o aumento da temperatura de pirólise. O rendimento em fração aquosa aumentou, enquanto que o da fração sólida diminuiu. No carvão, pode ser atribuído a um aumento de volatilização dos hidrocarbonetos sólidos, assim como, à possível gaseificação parcial do resíduo de carbono. Na fração aquosa, a diferença pode ser devido a uma maior quebra dos grupos funcionais dos compostos voláteis, durante as reações secundárias.

Já os rendimentos em bio-óleo e fração gasosa não se diferenciaram estatisticamente entre si. Dessa maneira, pode-se justificar o uso da temperatura de 450°C em vez de 550°C, podendo, com isso, evitar o gasto desnecessário de energia (SILVA *et al.*, 2012).

5 Conclusão

A biomassa pode ser considerada como melhor opção e tem a maior potência, que cumpre os requisitos e que pode garantir abastecimento de combustível no futuro.

A técnica de pirólise é uma poderosa ferramenta para uso em muitas áreas da ciência e tem sido a grande aliada na geração de energia. Existem várias geometrias de reatores possíveis no

processo de pirólise rápida, porém a mais usual é a de leito fluidizado que se destaca devido ao seu baixo custo e a sua eficiência na transferência de calor, além de ser de fácil controle na temperatura.

Esse processo também se demonstra muito eficiente, quando diz respeito à obtenção de produtos renováveis, uma vez que o balanço energético e ecológico é muito positivo. Essa alternativa é viável, devido aos valores agregados aos produtos e co-produtos, formados durante o processo.

Referências

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanço energético nacional 2008**: ano base 2007. Brasília, 2008. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2008.pdf>. Acesso em: 13 maio 2014.

DINIZ, J. **Conversão térmica de casca de arroz à baixa temperatura**: produção de bioóleo e resíduo sílico-carbonoso adsorvente. 2005. 185f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

FERNANDES, J. O. **Estudos de melhorias do processo de aproveitamento de resíduos do tratamento de esgotos sanitários para geração de biocombustíveis**. 2010. 51f. Monografia (Bacharel em Engenharia Química) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

GOMES, G. L.; SZKLO, A. S.; MACHADO, G. A influência das alterações nos mercados mundiais de petroquímicos sobre a integração refino-petroquímica no Brasil. In: CONGRESSO

- BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 4., 2007, Campinas. **Anais...** Campinas: ABPG / UNICAMP, 2007.
- GOMES, M. S. **Produção de bio-óleo através do processo termoquímico de pirólise**. 2010. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, Araçatuba, 2010.
- GÓMEZ, E. O. **Estudo da pirólise rápida de capim elefante em leito fluidizado borbulhante mediante caracterização dos finos de carvão**. 2002. 412f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 2002.
- GUEDES, C. L. B. et al. Avaliação de biocombustível derivado do bio-óleo obtido por pirólise rápida de biomassa lignocelulósica como aditivo para gasolina. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 4, p. 781-786, 2010.
- INNOCENTE, A. F. **Cogeração a partir da biomassa residual de cana-de-açúcar**: estudo de caso. 2011. 124f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrônomicas Campus de Botucatu, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2011.
- MARIN MESA, L. R. **Estudo da pirólise de cana-de-açúcar integral**. 2011. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.
- MIRANDA, M. R. S. **Bagaço do sorgo**: estimativa de parâmetros cinéticos e pirólise analítica. 2011. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.
- NUNES, C. A. et al. Determinação de constituintes químicos em madeira de eucalipto por Pi-CG/EM e calibração multivariada: comparação entre redes neurais artificiais e máquinas de vetor suporte. **Química Nova**, São Paulo, v. 34, n. 2, p. 279-283, 2011.
- PANNIRSELVAM, P. V. et al. Desenvolvimento de projeto para produção de fibra de coco com inovação de tecnologia limpa e geração de energia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. **Revista Analytica**, São Paulo, n. 15, p. 56-61, fev./mar. 2005.
- PARADELA, F. M. R. **Estudo da pirólise de misturas de resíduos de plásticos, pneus e biomassa**. 2012. 322f. Tese (Doutorado em Engenharia Química e Bioquímica) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.
- PEDROZA, M. M. **Bio-óleo e biogás da degradação termoquímica de lodo de esgoto doméstico em cilindro rotativo**. 2011. 114f. Tese (Doutorado em Química) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.
- PEDROZA, M. M., et al. Balanço energético da pirólise de lodo de esgoto: uma abordagem das propriedades termodinâmicas do processo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 18., Foz do Iguaçu: **Anais...** Foz do Iguaçu: ABEP, 2010. p. 1 - 8.
- _____. Características químicas e pirólise de borra de petróleo: uma revisão. **EDUCTE: Revista Científica do Instituto Federal de Alagoas**, Maceió, v. 1, n. 2, jan./jul. 2011.
- _____. Produção e tratamento de lodo de esgoto: uma revisão. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 11, n. 16, p. 89-188, 2010.
- SILVA, L. C. A. et al. Caracterização físico-química de lodo de esgoto e aplicação da biomassa em processo de pirólise em um reator de leito fixo. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE AGROENERGIA, 1., SEMINÁRIO DE AGROENERGIA DA UNIVERSIDADE

FEDERAL DE TOCANTINS, 2., 2012, Palmas. **Anais...** Palmas: Sinagro, 2012. p. 18 -21.

VAZ JÚNIOR, S. **Biorrefinarias: cenários e perspectivas.** Brasília: Athalaia, 2011.

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

