



BIOÓLEO: UMA ALTERNATIVA PARA VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA DA BIOMASSA

Thiago Oliveira Rodrigues¹

Patrick Rousset²

Ailton Teixeira do Vale³

François Broust²

RESUMO

A produção de combustíveis líquidos a partir de biomassa é um dos meios mais eficientes de conversão energética, pois além de promover uma concentração de energia há ainda vantagens econômicas e operacionais devido às suas condições de armazenamento e transporte e vantagens ecológicas por tratar-se de um combustível renovável. Assim a pirólise rápida é alvo de várias pesquisas no mundo para a produção de bioóleos que possam enriquecer a oferta de energia. Contudo o bioóleo apresenta propriedades heterogêneas em função das características da biomassa e das condições dos processos de pirólise. O presente trabalho visa avaliar o estado da arte da produção de bioóleo, suas propriedades e suas principais formas de uso energético.

Palavras-chave: Pirólise Rápida, Bioóleos, Biomassa, Bioenergia.

1 Fundação de Tecnologia Florestal e Geoprocessamento – FUNTEC-DF, CLN 316 N Bloco B sala 51, Brasília-DF, 70775520, 61 3447 6326, thiagoefl@gmail.com

2 Centro Internacional de Pesquisa Agrônômica para o Desenvolvimento – CIRAD – convênio SFB/CIRAD, patrick.rousset@cirad.fr / francois.broust@cirad.fr

3 Departamento de Engenharia Florestal – Universidade de Brasília. Campus Darcy Ribeiro, Brasília-DF, 70910-900. 61 3017 5630, ailton.vale@gmail.com.



ABSTRACT

Fast Pyrolysis for Bio-oil Production: State of the Art. The liquid fuels production from biomass is one of the most efficient ways to energetic conversion, beyond the energy concentration, there are still economic and operational advantages due to transport and storage conditions. So, fast pyrolysis is the purpose of several researches all over the world for the production of bio-oils that can enrich the energetic supply. However, bio-oil has heterogeneous properties due to the biomass characteristics and to the operational conditions of the pyrolysis process. The present review aims to evaluate the state of art of the bio-oil production, their properties and their principal energetic ways of utilization.

Keywords: Fast Pyrolysis, Bio-Oil, Biomass, Bioenergy.

1. INTRODUÇÃO

A biomassa para fins energéticos possui claras vantagens ambientais, em virtude de seu caráter renovável e de sua contribuição para a redução dos gases de efeito estufa. No entanto, esta fonte apresenta desvantagens técnicas quando comparada com os combustíveis fósseis, que muitas vezes determinam a escolha pelos não-renováveis.

A biomassa é um material bastante heterogêneo, em geral com alto teor de umidade, baixo poder calorífico e teor de carbono fixo, além da granulometria diversa. Para torná-la um combustível eficiente e competitivo, foram desenvolvidos vários processos para a homogeneização e a melhoria de suas propriedades energéticas. Estes processos seguem basicamente duas vias: a bioquímica, que se utiliza de agentes bioquímicos (enzimas, ácidos, etc.) e a termoquímica, em que o calor é o principal agente de transformação (Figura 1).

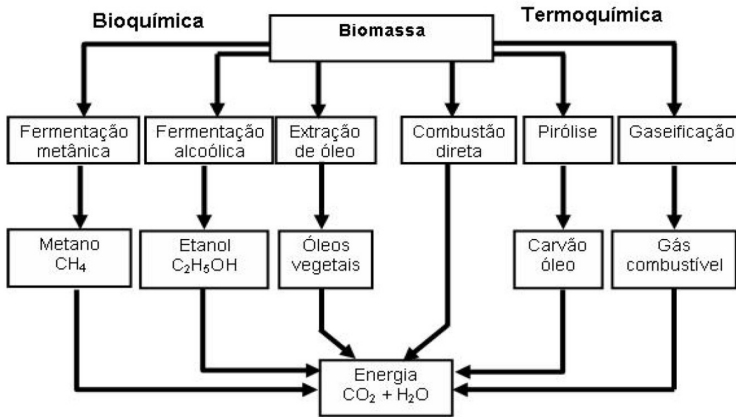


Figura 1 – Vias de conversão energética da biomassa (Fonte: próprio autor).

Os processos termoquímicos diferenciam-se pela presença ou ausência de agente oxidante na conversão energética da biomassa. A eficiência da combustão está diretamente relacionada com a quantidade de ar (oxigênio) no ambiente. A gaseificação se utiliza de gases reativos diversos (ar, O_2 , vapor d'água, H_2) que determinarão a qualidade do gás gerado. O aporte de calor à biomassa em ausência total ou com presença limitada de agente oxidante (O_2) para produção de combustível energeticamente mais denso chama-se pirólise.

2. PIRÓLISE

A pirólise é sempre o primeiro estágio nos processos de combustão e gaseificação (BRIDGWATER, 2004). Ela promove uma concentração de carbono à medida que a temperatura aumenta, em detrimento da diminuição do oxigênio e do hidrogênio.

Na pirólise da madeira a hemicelulose é o componente mais instável, se degrada entre 225 e 325°C (ROWELL, 2005). Ela se decompõe por desidratação em baixas temperaturas e despolimerização em temperaturas mais elevadas. A celulose em seguida se degrada na faixa de 325 a 375°C. Há reações primárias caracterizadas pela fragmentação em hidroxiacetaldeído e outros componentes, pela despolimerização em levoglucosana e pela desidratação a baixas temperaturas em carvão, água e gases (VAN de



VELDEN, 2009). A lignina é o componente mais estável, se degradando entre 250 e 500°C, com maior intensidade entre 310 e 420°C (MARTINS, 1980). A desidratação predomina a baixas temperaturas e há a formação de vários monômeros de lignina em altas temperaturas (VAN de VELDEN, 2009). A decomposição térmica da celulose conduz principalmente à formação de gases voláteis, enquanto que a decomposição da lignina resulta na formação de produtos sólidos (carvão) e alcatrão (ROWELL, 2005).

As condições de temperatura e tempo de residência dos vapores determinam as proporções de cada fase dos produtos da pirólise. Assim, o controle destes parâmetros permite direcionar o processo de acordo com o produto final que se deseja obter (BROUST, 2009). Baixas temperaturas e longos períodos de residência dos vapores privilegiam a produção de combustíveis sólidos (carvão) enquanto que altas temperaturas e curtos tempos de residência dos gases condensáveis favorecem a produção de combustíveis líquidos (bioóleos). A tabela 1 apresenta as proporções de cada fase de acordo com as condições de pirólise.

Tabela 1 – Rendimentos da pirólise em função das condições operacionais (Fonte: Bridgwater, 2004 – adaptado).

Tempo de residência dos vapores	Temperatura	Líquidos (%)	Sólidos (%)	Gases (%)
Curto	alta	75	12	13
Muito longo	baixa	30	35	35
Longo	muito alta	5	10	85

2.1. Pirólise Rápida

O curto tempo de residência dos vapores associado às altas temperaturas são as condições da pirólise rápida. Trata-se de uma tecnologia relativamente nova e promissora, pois objetiva a produção de combustível líquido, que é mais adequado para o transporte e armazenagem (BROUST, 2009).

A tecnologia de pirólise rápida foi inicialmente desenvolvida com o objetivo de produzir gases da biomassa (PISKORZ & SCOTT, 1987). Contudo, diversos estudos iniciais constataram altos rendimentos na produção de líquidos e que não eram necessárias temperaturas tão altas quanto às usadas para a produção de gases (SCOTT *et al.*, 1987). Chiamonti e cola-



boradores (2007) afirmam que a pirólise rápida teve um desenvolvimento maior com a passagem do laboratório para unidades de escala maior na década de 1980, no Canadá e nos Estados Unidos. Desde então diversas tecnologias têm sido desenvolvidas, mas muitas incertezas ainda permanecem relacionadas tanto à produção quanto ao uso final do bioóleos.

Bridgwater e Peacocke (2000) relatam que as características principais do processo são: alta taxa de aquecimento que requer biomassa com baixa granulometria, controle rigoroso da temperatura por volta de 500°C e rápido resfriamento dos vapores de pirólise para obtenção do bioóleo, visando rendimentos de 75% em base seca.

3. BIOÓLEOS

O bioóleo é uma mistura homogênea de compostos orgânicos e água em fase única com densidade média (15°C) de 1.220 kg/m³; com composição elementar de 48,5% de carbono, 6,4% de hidrogênio e 42,5% de oxigênio, 20,5% de água e com poder calorífico de 17,5 MJ/kg (BRIDGWATER *et al.*, 2002). Bayerbach & Meier (2009) afirmam que os bioóleos podem ser classificados em quatro frações distintas: monômeros meso-polares (40%), monômeros polares (12%), água derivada de reações e do teor de umidade inicial da biomassa (28%) e materiais oligoméricos, definidos como lignina pirolítica.

Esta substância tem diversos usos por não terem um composto principal, mas sim famílias de compostos (GÓMEZ *et al.*, 2008). Para “acessar” determinados produtos de interesse comercial cria-se a necessidade de refino do bioóleo e assim nasce o conceito de biorrefinarias. O refino destes permite a obtenção de vários produtos como fertilizantes, adesivos, saborizantes e combustíveis. A seguir são discutidas as principais propriedades dos bioóleos.

3.1. Propriedades dos Bioóleos

O fato dos bioóleos serem provenientes de biomassa, um composto natural e heterogêneo, faz com que estes tenham composições variáveis, também em função das condições dos processos de conversão energética (OASMAA & CZERNIK, 1999). A composição química destes é formada principalmente por hidroxialdeídos, hidroxicetonas, açúcares, ácidos carboxílicos e compostos fenólicos (PISKORZ & SCOTT, 1987).

A água é a substância mais abundante na composição dos bioóleos. Resultante do teor de umidade inicial da biomassa e de reações de desidratação durante a pirólise, a água varia entre 15% e 30% da massa total do bioóleo (QIANG *et al.*, 2009). Bioóleos têm solubilidade limitada em água, altos teores de umidade criam duas fases: uma aquosa e outra mais pesada, orgânica. Para manter a homogeneidade da solução, o teor de umidade deve estar em um limite máximo de 30 a 35% (RADLEIN, 2002).

A presença de água tem consequências negativas e positivas para o combustível. A umidade diminui o poder calorífico, dificulta a ignição, diminui as taxas de combustão, entre outros. Porém reduz a viscosidade, facilita a atomização e diminui a emissão de poluentes durante a combustão (CALABRIA *et al.*, 2007).

Os bioóleos apresentam uma densidade alta de 1,2 kg/l se comparada com a densidade dos óleos combustíveis leves, com 0,85kg/l (BRIDGWATER, 2004). A densidade é maior quanto menor for o teor de umidade do óleo (OASMAA *et al.*, 1997). A composição química elementar é caracterizada pelo alto teor de oxigênio, variando entre 35 e 60% em base úmida (QIANG *et al.*, 2009). O oxigênio está presente na maioria dos 300 diferentes compostos identificados nos bioóleos (CZERNIK & BRIDGWATER, 2004). Este elemento é responsável pelo baixo poder calorífico, corrosividade e instabilidade dos bioóleos. Os outros elementos principais são o carbono (50 a 58%) e hidrogênio (5 a 7%).

Há uma presença significativa de ácidos orgânicos derivados da degradação térmica provocada pela pirólise que dão um caráter ácido (pH = 2,5) aos bioóleos, portanto é preciso recipientes resistentes como ácido inoxidável (BRIDGWATER & PEACOCKE, 2000). A corrosividade está diretamente ligada ao aumento de temperatura e do teor de umidade (CZERNIK & BRIDGWATER, 2004).

O poder calorífico superior dos bioóleos é de 17 MJ/kg com 25% de umidade que não pode ser separada (BROUST, 2009; BRIDGWATER, 2004). Mas devido à alta densidade destes, sua densidade energética pode atingir de 50 a 60% a dos combustíveis fósseis (QIANG, 2009).

As cinzas encontradas nos bioóleos estão associadas ao carvão formado na pirólise e que não foi separado da parte líquida. Os sólidos causam efeitos negativos na armazenagem e combustão dos bioóleos, pois se aglomeram e aumentam a viscosidade (OASMAA & CZERNIK, 1999). Eles podem



atingir até 3% da massa total e o tamanho das partículas variam entre 1 e 200 μm (QIANG, 2009). Bridgwater (2004) afirma que até 0,1% em massa é tolerável e que normalmente estão em 1%.

A viscosidade é uma propriedade muito importante para combustíveis líquidos e não é diferente para os bioóleos. Há uma grande variação (10 a 1000 cp a 40°C) em função do teor de umidade, condições operacionais, de armazenagem e tempo (BRIDGWATER & PEACOCKE, 2000). Quanto maior a viscosidade maiores são as dificuldades de atomização e bombeamento, o pré-aquecimento do bioóleo é uma forma de reduzi-la. No entanto, temperaturas maiores que 80°C causam uma aceleração das reações de envelhecimento do combustível, alterando todas as suas propriedades (BOUCHER *et al.*, 2000). A tabela a seguir resume as principais propriedades destes combustíveis.

Tabela 2 – Principais propriedades dos bioóleos (Fonte: próprio autor).

Propriedades	Valores médios
Teor de umidade	15 – 30%
Densidade	1,2 kg/l
Oxigênio	35 – 60%
Carbono	50 – 58%
Hidrogênio	5 – 7%
pH	2,5
Poder calorífico superior	17 MJ/kg
Sólidos	1%
Viscosidade	10 – 1000 cp (40°C)

4. TECNOLOGIAS

Os princípios da pirólise rápida são os mesmos para qualquer tecnologia: alta taxa de aquecimento, curto tempo de residência dos gases e rápido resfriamento dos vapores para a obtenção do bioóleo. A biomassa também deve atender a condições básicas de baixa granulometria e baixo teor de umidade. Assim o diagrama a seguir ilustra o processo da produção de óleos de pirólise.

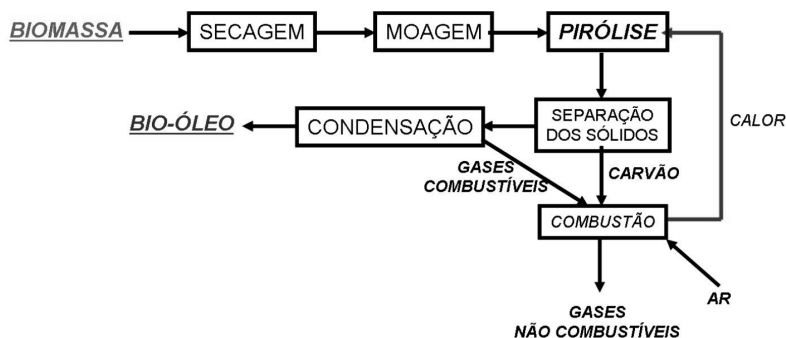


Figura 2 – Princípios da pirólise rápida (Fonte: próprio autor).

Nogueira *et al* (2000) destacam que a pirólise rápida fundamenta-se em duas tecnologias: a pirólise ablativa, em que o aquecimento da biomassa é realizado por contato direto com a superfície do reator à alta temperatura, e a pirólise com carreador de calor, em que a biomassa é aquecida mediante o contato com partículas em suspensão sob ação de um gás quente inerte.

Bridgwater (2012) realizou um extenso levantamento dos processos de pirólise rápida em operação até 2010 nos principais centros de pesquisa no mundo, além de processos demonstrativos e mesmo comerciais. Foram identificadas 124 plantas, 44 em escala industrial e 80 em escala de laboratório sendo que a maioria está instalada no Canadá (24), é de leito fluidizado (12 industriais e 35 de laboratório), com capacidade de que 1 kg/h (14). A seguir são apresentadas as principais tecnologias utilizadas para a produção de bioóleo combustível em escala industrial.

4.1. Reatores Ablativos

Os reatores ablativos se caracterizam pelo contato direto da biomassa sob forte pressão contra uma placa em alta temperatura e rotação contínua (figura 3). Apesar do contato com a placa não há atrito, pois há a formação de um “filme” líquido entre a biomassa e a placa, que é justamente a biomassa entre as fases líquida e gasosa.

Na Alemanha há um processo chamado *BtO* (Biomass to Oil) desenvolvido pela empresa PYTEC, no qual a biomassa é aquecida à 500°C sem oxigênio. Uma planta com capacidade de 48 t/dia foi instalada no sudeste da Alemanha, alimentada com resíduos florestais (MEIER *et al.*, 2007).

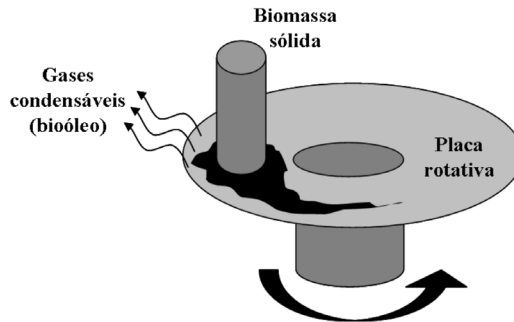


Figura 3 – Esquema de um reator ablativo (Fonte: próprio autor).

4.2. Reatores com Leito Fluidizado Borbulhante

O princípio do funcionamento de um reator com leito fluidizado borbulhante é que haja a passagem de um gás através do leito formado por material particulado (areia+biomassa) em uma velocidade maior que a mínima de fluidização, na qual a força peso das partículas seja menor que a força de arraste do gás (figura 4). As partículas passam a se comportar como um líquido e então, há a ocorrência de duas fases: uma gasosa formada por bolhas do gás e outra conhecida como emulsão, formada pelo gás e pelo material particulado fluidizado. Nestes reatores há elevadas taxas de produção e troca de calor (USHIMA, 2009).

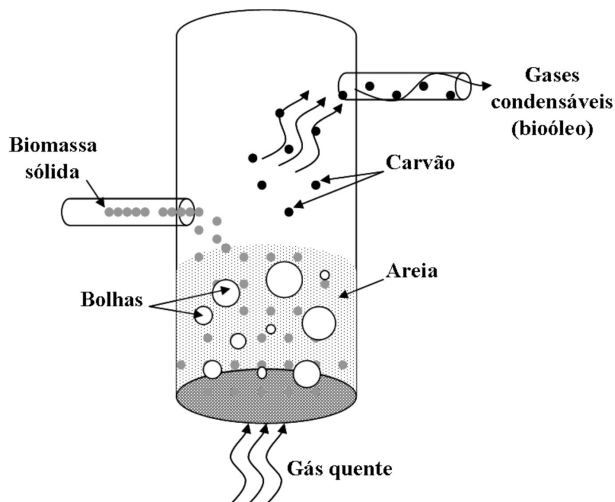


Figura 4 – Esquema de um reator com leito fluidizado borbulhante (Fonte: próprio autor).

A DYNAMOTIVE é uma empresa canadense que produz bioóleo em um reator com leito fluidizado borbulhante. A biomassa deve estar com teor de umidade menor que 10% e granulometria entre um e dois milímetros (DYNAMOTIVE). A temperatura de pirólise é de 450 a 500°C, na ausência de oxigênio. Há uma planta no Canadá que está associada com uma turbina à gás de 2,85 MWe (THAMBURAJ, 2000). No Brasil há uma planta da BLOWARE com capacidade nominal de 100 kg/h que processa bagaço de cana, gramíneas como capim-elefante e outros tipos de biomassa (BLOWARE).

4.3. Reatores com Leito Fluidizado Circulante

A diferença entre os reatores de leito fluidizado borbulhante e circulante é que no circulante a velocidade de arraste do gás é maior que a velocidade terminal das partículas, ou seja, há o arraste das partículas sem a formação de bolhas para um outro dispositivo (ciclone) que as re-introduzirá no leito, gerando um movimento circulatório (figura 5).

A empresa ENSYN do Canadá tem 7 plantas de 50 ton/dia para a produção de bioóleo para saborizantes da empresa RED ARROW (GOODFELLOW, 2010). Mas também tem plantas direcionadas para a produção de combustíveis. O Centro de Pesquisas Técnicas da Finlândia (VTT) desenvolve pesquisa para integração do bioóleo em refinarias convencionais.

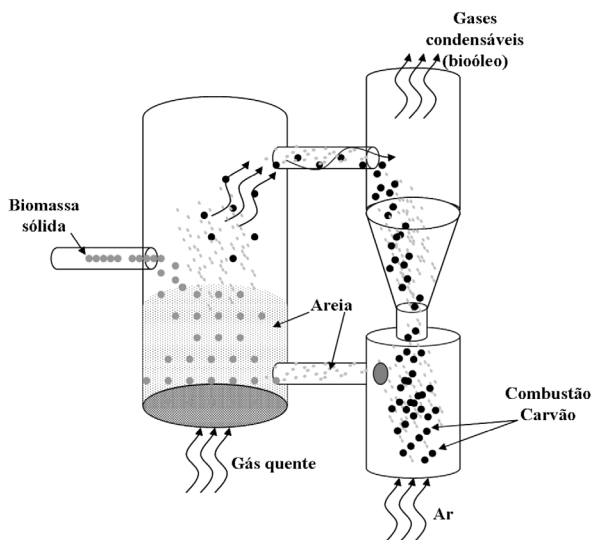


Figura 5 – Esquema de um reator de leito fluidizado circulante (Fonte: próprio autor).

4.4. Reatores em Cone Rotativo

Esta tecnologia é bastante recente e se caracteriza por não necessitar da injeção de gases inertes e pela mistura intensiva da biomassa com a areia quente (figura 6). A BTG (Biomass Technology Group) é uma empresa holandesa que realiza pesquisas com pirólise rápida nesse tipo de reator. O carvão formado no processo é queimado e reaquece a areia que é re-injetada no reator. Atualmente há uma planta comercial de 50 toneladas/dia em operação na Malásia para o aproveitamento dos Cachos de Frutos Vazios das plantações de palma ou dendê (VENDERBOSCH & PRINS, 2010).

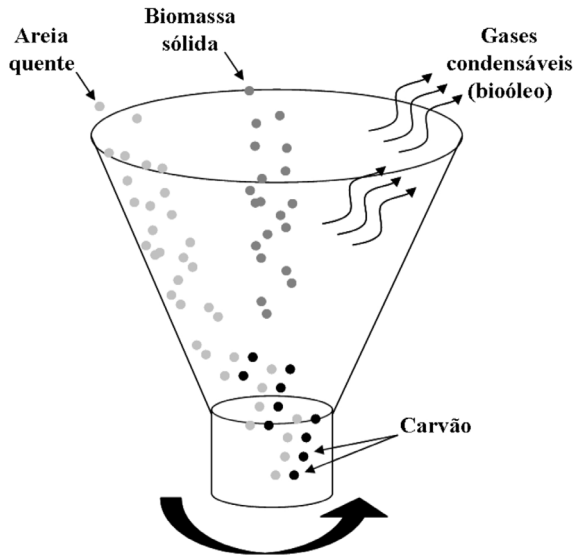


Figura 6 – Esquema de um reator em cone rotativo (Fonte: próprio autor).

4.5. Reatores com Rosca Sem Fim

Esta é uma tecnologia alemã em que a biomassa é aquecida com areia quente em um reator com uma rosca sem fim que faz a mistura a aproximadamente 500°C (figura 7). Ao final há a condensação dos gases para a formação do bioóleo e depois a mistura com os finos de carvão, gerando um produto conhecido como *bio-slurry* ou biolama, que alimentará um gaseificador sob pressão. Esta tecnologia é aplicada na Alemanha pela empresa FZK no projeto *BIOLIQ* (Biomass to liquid), em um reator com capacidade de 500 kg/h. A biolama será convertida em gás de síntese em um gaseificador a 1200°C sob pressão de 80 bar (HENRICH, 2007).

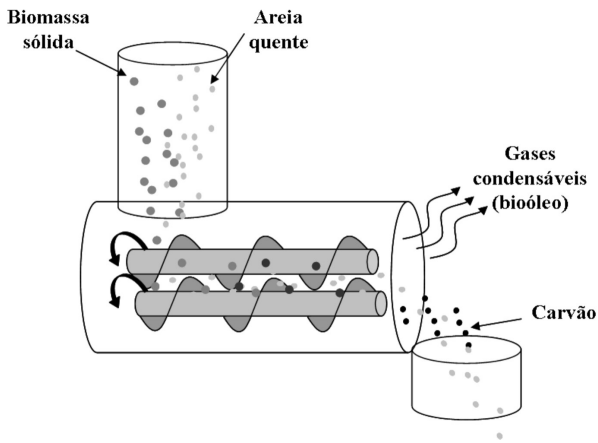


Figura 7 – Esquema do reator de rosca sem fim (Fonte: próprio autor).

4.6. Pirólise à Vácuo

Esta tecnologia foi desenvolvida no Canadá e serve tanto à produção de bioóleo quanto à produção de biomassa torrificada. Em 2002 a tecnologia foi demonstrada com uma planta de capacidade de 3 toneladas/hora. Ela suporta partículas com até 20 mm e a transferência de calor se dá por sais fundidos (ROY, 2011). O sistema é ilustrado na figura 8.

Há ainda outras tecnologias em desenvolvimento com boas perspectivas, como a pirólise sob microondas na qual o aquecimento das partículas se inicia de dentro para fora, ou ainda a hidropirólise que agrega a pirólise ao hidrocraqueamento em um esforço para reduzir o teor de oxigênio. Contudo, ainda são processos de difícil mudança de escala.

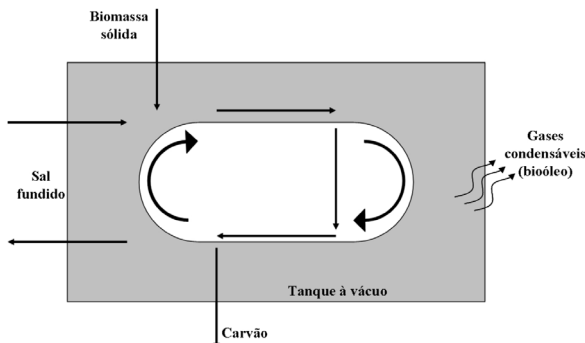


Figura 8 – Esquema do reator de pirólise à vácuo (Fonte: próprio autor).



5. COPRODUTOS

Os coprodutos da pirólise rápida são o carvão e os gases não condensáveis. A proporção de cada um varia em função de alguns parâmetros como temperatura ou tamanho da partícula, mas em média produz-se 12% de carvão e 13% de gases a partir da massa inicial de biomassa (BRIDGWATER, 2004). A aplicação mais óbvia é a geração de energia para a própria pirólise, já que estes coprodutos contém juntos 30% da energia da biomassa e o processo requer 15% dessa energia (BRIDGWATER, 2011).

Contudo há outras possibilidades, principalmente para o carvão, que podem ser mais eficientes. O carvão pode ser aplicado nos solos para sequestro de carbono além de aumentar o potencial higroscópico e reter nutrientes e agroquímicos devido a sua alta porosidade (LAIRD, 2008). Ele ainda pode ser gaseificado para obtenção de Hidrogênio (GOYAL *et al.*, 2008).

Os gases não condensáveis são compostos principalmente de CO₂ e CO, com pequenas quantidades de CH₄ e H₂ (MULLEN *et al.*, 2010). Com exceção do CO₂, os outros gases são combustíveis e podem fornecer energia para secagem da biomassa ou para geração de energia elétrica.

6. USOS DO BIOÓLEO COMO COMBUSTÍVEL

A essência da iniciativa de produção de combustíveis líquidos a partir de biomassa é a diminuição da dependência dos combustíveis fósseis para os processos em que estes são queimados na forma líquida. A conversão para fase líquida implica no aumento do conteúdo volumétrico de energia, na diminuição dos custos de transporte e na adequação da biomassa para uso em equipamentos já existentes e específicos para combustíveis líquidos (SOLANTAUSTA *et al.*, 1993).

Os bioóleos podem substituir os óleos combustíveis fósseis e o diesel em vários usos estacionários como caldeiras, motores e turbinas para geração de energia elétrica. Zhang e colaboradores, em estudo sobre as características da combustão e da cinética de bioóleos, destacam a facilidade em volatilizar e queimar o combustível e afirmam que a combustão se divide em três fases: a fase volátil endotérmica, a fase de transição e a fase de queima exotérmica. Em estudo sobre a combustão de bio-óleo de casca de arroz, Zheng e Kong (2010) observaram temperaturas de até 1400°C.



Chiamonti *et al* (2007) revisaram diversos trabalhos sobre o uso de bioóleos para a geração de energia, concentrando-se em motores diesel, turbinas à gás e co-combustão com carvão mineral. Os autores puderam concluir que o uso deste combustível nestas tecnologias requer a padronização e a melhoria da qualidade do mesmo, especificamente para a ausência de sólidos, para a homogeneidade (teor de umidade máximo de 30%) e para a estabilidade no armazenamento (no mínimo seis meses sem aumento brusco da viscosidade).

As principais propriedades que afetam negativamente o uso direto dos bioóleos como combustíveis são o baixo poder calorífico, a incompatibilidade com combustíveis convencionais, a presença de sólidos, a alta viscosidade, a incompleta volatilidade e a instabilidade (CZERNIK & BRIDGWATER, 2004). Estas deficiências podem ser amenizadas ou mesmo solucionadas através de métodos físicos ou químicos, sobretudo para o uso de bioóleos como combustíveis para o transporte.

Um método para a mistura de bioóleos com diesel é a emulsificação. Ikura *et al* (1998) patentearam um método que produz uma microemulsão com 5 a 30% de bioóleo no diesel, um combustível estável e com propriedades físicas semelhantes ao diesel convencional. A hidroxidação é um método químico bastante promissor para a diminuição do teor de oxigênio nos óleos de pirólise (MARSMAN *et al.*, 2007). Este método requer altas temperaturas (>300°C) e pressão (10 a 20 MPa). Ainda há a possibilidade de se produzir combustíveis "premium" por catálise (BEZZON e ROCHA, 2005). Talvez o combustível mais promissor que pode ser extraído de bioóleos para o futuro seja o hidrogênio. Bridgwater (2004) destaca que o NREL (National Renewable Energy Laboratory) realiza intensos estudos nesta área. Os trabalhos realizados no laboratório conseguiram converter a fração solúvel do bioóleo em hidrogênio e CO₂ em mais de 80% da conversão teórica. Isto significa dizer que 100 kg de biomassa seca a 0% de umidade são capazes de produzir 6 kg de hidrogênio.

7. CONCLUSÕES

A pirólise rápida é uma tecnologia recente em comparação com outros processos de conversão termoquímica da biomassa, mas é alvo de diversas pesquisas em vários centros técnico-acadêmicos no mundo. A razão para tal são dois pontos principais: a disponibilidade imediata de



matéria-prima (biomassa) em praticamente todas as regiões do planeta e a adequação do combustível aos processos de transporte, armazenamento e uso já existentes para os combustíveis fósseis.

O fator crucial para o uso energético de bioóleos é o atendimento às especificações dos equipamentos (motores, caldeiras, turbinas, etc.), o que demanda pesquisa e desenvolvimento de métodos e técnicas para se conseguir uma produção padronizada.

O caminho para a adequação dos bioóleos aos processos tradicionais de conversão energética demanda mais intervenções nas tecnologias de pirólise rápida e de tratamento dos líquidos do que na produção e obtenção da biomassa. Estas tecnologias se justificam quando contemplam o uso integral da biomassa, portanto toda e qualquer matéria-prima deve ser aproveitada, fato que certamente implica na grande variabilidade do material. Assim, o desenvolvimento e aprimoramento de métodos e técnicas para a padronização dos bioóleos estão fortemente ligados às especificações que devem ser determinadas pelos órgãos competentes, como é feito para a regulamentação da produção dos combustíveis derivados de petróleo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAYERBACH, R.; MEIER, D. Characterization of the Water-insoluble Fraction from Fast Pyrolysis Liquids (Pyrolytic Lignin). Part IV: Structure Elucidation of Oligomeric Molecules. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. Ed. Elsevier, n. 85, 2009. p. 98 – 107.

BEZZON, G.; ROCHA, J. D. Novas tecnologias para os vetores modernos de energia de biomassa – pirólise. In: *Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira*. ROSILLO-Calle, F. et al (org.). Ed. Unicamp: Campinas, SP, 2005. p 397 – 403.

BIOWARE. www.bioware.com.br Acesso em 21 de fevereiro de 2012.

BOUCHER, M. E.; CHAALA, A.; PAKDEL, H. ; ROY, C. Bio-oils Obtained by Vacuum Pyrolysis of Softwood Bark as a Liquid Fuel for Gas Turbines. Part II: Stability and Ageing of Bio-oil and its Blends with Methanol and Pyrolytic Aqueous Phase. *Biomass and Bioenergy*, v. 19, n. 5, 2000. p. 351 – 361.

BRIDGWATER, A. V.; PEACOCKE, G. V. C. Fast pyrolysis processes for biomass.



Renewable & Sustainable Energy Reviews, Ed. Elsevier, n. 4, 2000. p 1-73.

BRIDGWATER, A. V. TOFT, A. J.; BRAMMER, J. G. A techno-economic comparison of power production by biomass fast pyrolysis with gasification and combustion. Renewable & Sustainable Energy Reviews, Ed. Elsevier, n. 6, 2002. p 181-248.

BRIDGWATER, A. V. Biomass Fast Pyrolysis. Thermal Science, v. 8, n. 2, 2004. p. 21 – 49.

BRIDGWATER, A. V. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. Biomass and Bioenergy, v. 38, 2012. p. 68 – 94.

BROUST, F. Overview of Fast Pyrolysis Principles, Processing and Applications. In: Curso de Gaseificação da Biomassa. II Escola de Combustão, São José dos Campos, SP. 22 a 26 de junho de 2009. p. 78 – 88.

CALABRIA, R.; CHIARIELLO, F.; MASSOLI, P. Combustion Fundamentals of Pyrolysis Oils Based Fuels. Experimental Thermal and Fluid Science, V. 31, n. 5, 2007. p. 413 – 420.

CHIARAMONTI, D.; OASMAA, A.; SOLANTAUSTA, Y. Power Generation using Fast Pyrolysis Liquids from Biomass. Renewable & Sustainable Energy Reviews, Ed. Elsevier, n. 11, 2007. p. 1056 – 1086.

CZERNIK, S.; BRIDGWATER, A. V. Overview of Applications of Biomass Fast Pyrolysis Oils. Energy & Fuels, n. 18, 2004. p. 590 – 598.

DYNAMOTIVE. <http://www.dynamotive.com/technology/fast-pyrolysis/> Acesso em 21 de fevereiro de 2012.

GÓMEZ, E. O.; PÉREZ, J. M. M.; PÉREZ, L. E. B. Pirólise Rápida de Materiais Lignocelulósicos para a Obtenção de Bioóleo. Capítulo 11. In: Biomassa para Energia. CORTES, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GOMEZ, E. O. Ed. Unicamp, Campinas, SP, 2008. 84 p.

GOODFELLOW, R. Renewable Energy, Fuels & Chemicals: maximizing value from renewable feedstocks. In: CanBio Annual National Conference, Vancouver, Canada, 30 september – 1 october, 2010. 14 p.

GOYAL, H. B.; SEAL, D.; SAXENA, R. C. Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources: A review. Renewable & Sustainable Energy Reviews, n. 12, 2008. p. 504 – 517.



HENRICH, E. The status of the FZK concept of biomass gasification. In: 2nd European Summer School on Renewable Motor Fuels. Warsaw, Poland. 29 – 31 august, 2007. 24 p.

IKURA, M.; SLAMAK, M.; SAWATZKY, H. Pyrolysis Liquid-in-Diesel Oil Micro-emulsions. US Patent, 5,820,640, 1998.

LAIRD, D.A. The charcoal vision: a win-win-win scenario for simultaneously producing bioenergy, permanently sequestering carbon, while improving soil and water quality. *Agronomy Journal*, v. 100, n. 1, 2008. p. 178 – 181.

MARSMAN, J. H.; WILDSCHUT, J.; MAHFUD, F.; HEERES, H. J. Identification of Components in Fast Pyrolysis Oil and Upgraded Products by Comprehensive Two-dimensional Gas Chromatography and Flame Ionization Detection. *Journal of Chromatography A*, n. 1150, 2007. p. 21 – 27.

MARTINS, H. Madeira como fonte de energia. In: *Uso da madeira para fins energéticos*. Belo Horizonte, MG: CETEC, 1980. p. 9 – 26.

MULLEN, C. A.; BOATENG, A. A.; GOLDBERG, N. M.; LIMA, I. M. Bio-oil and bio-char production from corn cobs and stover by fast pyrolysis. *Biomass and Bioenergy*, v. 34, 2010. p. 67 – 74.

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S.; TROSSERO, M. A.; FRISK, T. *Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações*. Brasília, DF: ANEEL. 2000. 144 p.

OASMAA, A.; LEPPAMAKI, E.; KOPONEN, P.; LEVANDER, J.; TAPOLA, E. Physical Characterization of Biomass-based Pyrolysis Liquids – Application of Standard Fuel Analysis. Technical Research Centre of Finland, VTT. Publication 306. 1997. 87 p.

OASMAA, A.; CZERNIK, S. Fuel Oil Quality of Biomass Pyrolysis Oils – State of the Art for the End Users. *Energy & Fuels*, n. 13, 1999. p. 914 – 921.

PISKORZ, J.; SCOTT, D. S. The Composition of Oils Obtained by Fast Pyrolysis of Different Woods. In: *Analysis of Pyrolysis Oils II*. American Chemical Society National Meeting & Exposition, Denver, 1987 32 (2). P. 215 – 222.

QIANG, L.; WEN-ZHI, L.; XI-FENG, Z. Overview of Fuel Properties of Biomass Fast Pyrolysis Oils. *Energy Conversion and Management*, n. 50, 2009. p. 1376 – 1383.

RADLEIN, D. Study of Levoglucosan Production – a Review. In: *Fast Pyrolysis*



of Biomass – a Hand Book. V. 2, Newbury: CPL Press, 2002.

ROWELL, R. M.; LEVAN-GREEN, S. L. Thermal Properties. In: Handbook of wood chemistry and wood composites. Rowell, R. M. (ed.) Boca Raton, Florida: CRC, 2005. p 121 – 138.

ROY, C. Production de biochar et d'huiles pyrolytiques au Québec. In : Can-Bio Bioenergy Conference, Québec, Canada, 19 – 20 may, 2011. 24 p.

SCOTT, D. S.; PISKORZ, J.; GRINSHPUN, A.; GRAHAM, R. G. The Effect of Temperature on Liquid Product Composition from Fast Pyrolysis of Cellulose. In: Analysis of Pyrolysis Oils II. American Chemical Society National Meeting & Exposition, Denver, 1987 32 (2). p. 1 - 11.

SOLANTAUSTA Y.; NYLUND N-O.; WESTERHOLM M.; KOLJONEN T.; OASMAA A. Wood pyrolysis liquid as fuel in a diesel power plant. Bioresource Technology, v. 46, n. (1-2), 1993. p. 177-188.

THAMBURAJ, R. Fast Pyrolysis of Biomass for Green Power Generation. In: First World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry. Sevilla, Spain, 5-9 June, 2000. 7 p.

USHIMA, A. H. Princípios de Gaseificação. In: Curso de Gaseificação da Biomassa. II Escola de Combustão, São José dos Campos, SP. 22 a 26 de junho de 2009. p. 6 – 48.

VAN DE VELDEN, M.; BAEYENS, J.; BREMS, A.; JANSSENS, B.; DEWIL, R. Fundamentals, kinetics and endothermicity of the biomass pyrolysis reaction. Renewable Energy, v. 35, n. 1. p. 232 – 242.

VENDERBOSCH, R. H.; PRINS, W. Fast pyrolysis technology development. Biofuels, Bioproducts & Biorefining, v. 4, 2010. p. 178 – 208.

ZHANG, R.; ZHONG, Z.; HUANG, Y. Combustion characteristics and kinetics of bio-oil. Frontiers of Chemical Engineer in China, v. 3, n. 2, 2009. p. 119 – 124.

ZHENG, J. L.; KONG, Y. P. Spray combustion properties of fast pyrolysis bio-oil produced from rice husk. Energy Conversion and Management, v. 51, 2010. p. 182 – 188.