

PIRÓLISE DA BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA: UMA REVISÃO PYROLYSIS OF LIGNOCELLULOSE BIOMASS: A REVIEW

Francisco de Assis da Silva Mota¹; Renan Alves Viegas²; Auceliane André da Silva Lima³; Francisco Francielle Pinheiro dos Santos⁴; Francisco de Tarso Ribeiro Caselli⁵;

¹Universidade Federal do Piauí – UFPI – Teresina/PI – Brasil
assismota@ufpi.edu.br

²Universidade Federal do Piauí – UFPI – Teresina/PI – Brasil
renanviegasep@hotmail.com

³Núcleo Tecnológico do Ceará - NUTEC – Fortaleza/CE – Brasil
auceliane@gmail.com

⁴Universidade Federal do Piauí – UFPI – Teresina/PI – Brasil
pinheiro@ufpi.edu.br

⁵Universidade Federal do Piauí – UFPI – Teresina/PI – Brasil
tarso.caselli@ufpi.edu.br

Resumo

Nesta breve revisão, demonstra-se a tecnologia de pirólise da biomassa lignocelulósica, apresentando seu processo, produtos e aplicações, e também alguns projetos na área em nível nacional. Utilizou-se com fonte de pesquisa as bases científicas SciELO e Periódicos da CAPES, sendo a quantidade de citações o fator decisivo para escolha dos melhores trabalhos. O que se pôde observar é que existem três processos básicos de pirólise, cada um adequado ao tipo de produto almejado, e que o principal produto da pirólise, o bio-óleo, possui uma série de aplicações. Constatou-se também a presença nacionalmente de três importantes projetos de pirólise, um pertencente a UNICAMP, outro a UFU e um terceiro da UFPI. A pirólise é uma tecnologia que precisa ser estudada e aperfeiçoada para futuramente ser utilizada em grandes projetos para produção de energia.

Palavras-chave: Biomassa, Pirólise, Bio-óleo.

Abstract

In this brief review demonstrates to pyrolysis of lignocellulosic biomass technology, with its process, products and applications, and also some projects in the area nationally. It used to supply the scientific research bases SciELO and Periodicals of CAPES, and the number of citations the deciding factor in choosing the best works. What you might notice is that there are three basic processes of pyrolysis, each suited to the type of desired product, and that the main product of pyrolysis bio-oil, has a number of applications. It was also the presence of three important nationally pyrolysis projects, one belonging to UNICAMP, another UFU and a third of UFPI. Pyrolysis is a technology that needs to be studied and improved for future use in large projects for energy production.

Key words: Biomass, Pyrolysis, Bio-oil.

1. Introdução

Existe atualmente grande esforço em nível mundial no que concerne ao futuro da energia do planeta. Muitas pesquisas com o objetivo principal de descobrir novas formas de energia e também novos modos de produção estão em realização. Por questões econômicas, políticas e ambientais, o panorama mundial está mudando (VICHI; MANSOR, 2009), e o foco central dos pesquisadores tornou-se a produção de energias renováveis, como a utilização da biomassa. Dentre as tecnologias para produção de energia a partir da biomassa, como a digestão, a fermentação e a conversão mecânica, existe a termoconversão, que transforma a biomassa em outra forma de energia, de maior densidade e qualidade. A termoconversão compreende os processos de combustão, gaseificação e pirólise.

A pirólise tem sido empregada por milhares de anos para produção de carvão (Carbonização), mas somente nos últimos 30 anos, por intermédio de equipamentos mais sofisticados onde se pôde trabalhar com moderadas temperaturas e tempos de reações muito curtos, é que o processo ganhou realmente interesse dos pesquisadores (BRIDGWATER, 2012). A pirólise surgiu conceitualmente no século passado, por volta de 1897, quando Max Planck demonstrou que há uma conexão fechada entre o conceito de irreversibilidade e a segunda lei da termodinâmica (AIRES *et al.*, 2003).

A pirólise, que utiliza a biomassa como fonte de matéria prima na produção de energia, é vista com um grande potencial mercadológico e por isso intensas pesquisas estão ocorrendo em todo o mundo como o intuito de aperfeiçoar este método. O objetivo deste trabalho é fazer uma revisão sobre a pirólise da biomassa lignocelulósica, apresentando seu processo, produtos e aplicações, também se deseja demonstrar alguns importantes projetos na área em nível nacional na atualidade.

2. Metodologia de busca e escolha dos trabalhos analisados

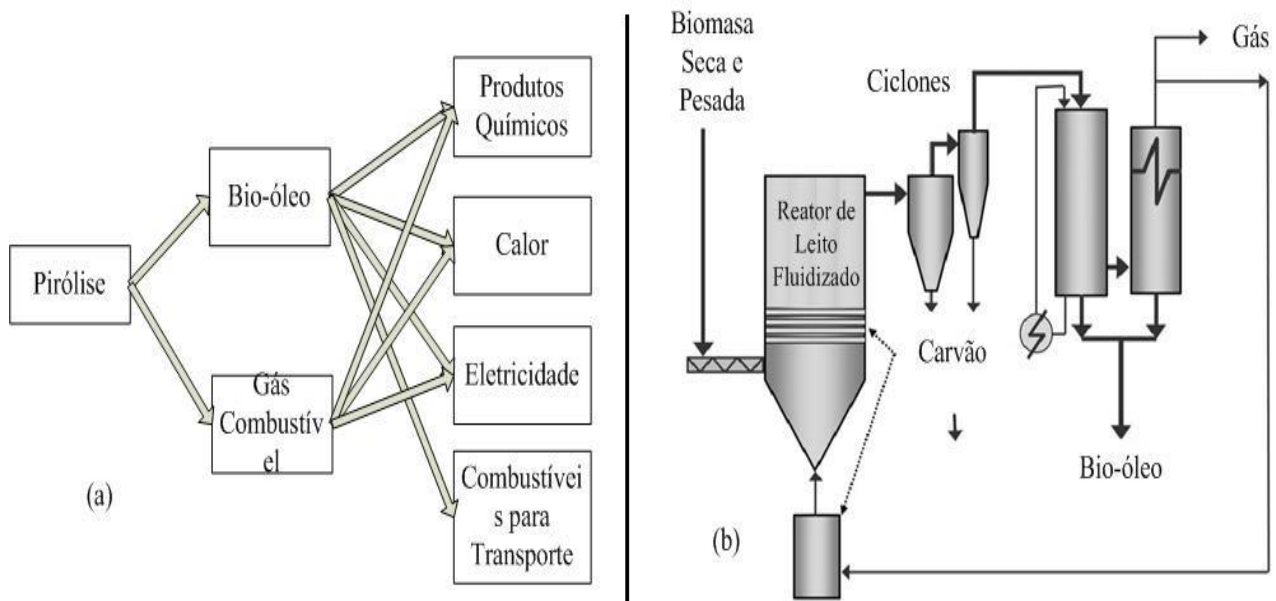
Com o objetivo de encontrar as principais publicações referentes ao tema da pesquisa, procedeu-se com a busca de artigos, teses, e livros em bases de dados com um vasto número de publicações. Assim, realizou-se uma busca completa nas bases SciELO e Periódicos da CAPES. A forma utilizada para encontrar os melhores artigos foi por intermédio da utilização de palavras-chaves, como biomassa, pirólise e bio-óleo, que foram digitadas no sistema de busca de cada uma das bases citadas. O método utilizado para escolha dos melhores trabalhos foi o número correspondente à quantidade de citações dos mesmos ou a relevância para o escopo do tema pesquisado.

3. Tecnologia de Pirólise

A tecnologia de pirólise constitui-se na decomposição da matéria orgânica aquecida na ausência de oxigênio atmosférico, onde o aquecimento é controlado por faixas de temperatura e fornece energia necessária para romper ligações nas estruturas das macromoléculas presentes na biomassa (DINIZ, 2005). No processo de pirólise ocorre a degradação da biomassa por meio do aquecimento, na qual ocorre a formação de três produtos, são eles: carvão, óleo e gás pirolítico, e dependendo das condições no reator, um destes produtos pode ser maximizado (SANTOS, 2011).

Atualmente existem basicamente três processos de pirólise no mundo, a pirólise lenta, a pirólise rápida e a pirólise ultrarrápida. No Brasil, somente a partir da década de 90 começou-se a desenvolver novas tecnologias e equipamentos mais eficientes de pirólise lenta para produção de carvão vegetal, já a pirólise rápida é bem mais atual e a única usina-piloto operacional nacional de pesquisa fica na UNICAMP (FIGUEIREDO, 2011). A Figura 1(a), retirada e adaptada de Bridgwater (2006), mostra os principais produtos da pirólise e suas aplicações. Todos os processos de pirólise possuem basicamente um reator, coletores, ciclones e condensadores. Um fluxograma simples do processo pode ser visualizado na Figura 1(b) abaixo.

Figura 1: Principais produtos da pirólise e suas aplicações (a) e fluxograma do processo de pirólise (b)



Fonte: Adaptado de Bridgwater (2006) (a), e de Bridgwater (2012) (b)

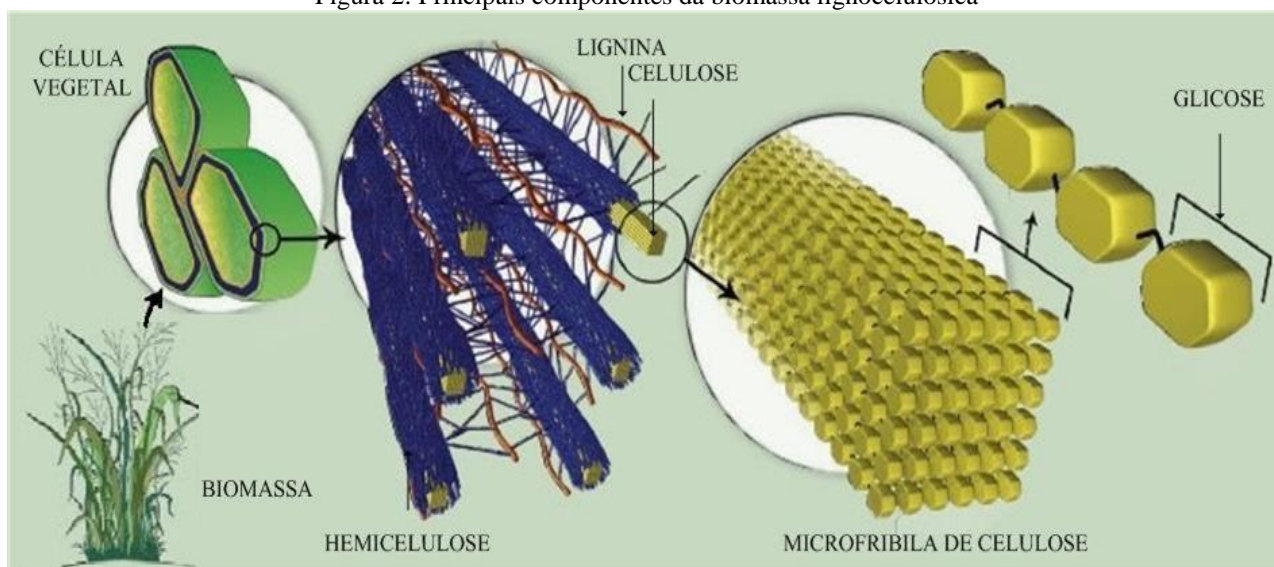
A pirólise produz como principais produtos o bio-óleo, gás combustível e carvão. Os produtos, como demonstrados pela Figura, podem ser utilizados na geração de calor e eletricidade ou passar por processos de melhoria para serem usados com combustível e/ou outros produtos químicos. O processo de produção de bio-óleo pode ser descrito da seguinte maneira, de acordo com a Figura 1(b): Biomassa seca e pesada é posta no sistema de alimentação do reator,

normalmente um parafuso de rosca sem fim, a biomassa entra no reator e então sofre a degradação térmica onde os vapores gerados seguem para os ciclones para separação do carvão e depois seguem para os condensadores para retirada do bio-óleo, o gás que não condensa e não possui fins energéticos retorna para o processo e é usado como gás de arraste no reator. Mas como ocorre o processo de degradação térmica da biomassa no reator?

4. Degradação Físico-Química da Biomassa

A biomassa lignocelulósica, ou substrato celulósico, é composta basicamente da Celulose, Hemicelulose e Lignina. Estes são os três principais componentes encontrados na biomassa e são responsáveis pelas características dos produtos obtidos no processo de pirólise, Figura 2.

Figura 2: Principais componentes da biomassa lignocelulósica



Fonte: Retirado de Yarris (2014). Disponível em < <http://www2.lbl.gov/Publications/YOS/Feb/> >. Acesso em 12 de julho de 2014.

Durante a pirólise ocorrem várias reações químicas denominadas de primárias e secundárias. As que ocorrem diretamente sobre o substrato celulósico são denominadas reações primárias e aquelas que acontecem na decomposição dos produtos intermediários, tais com vapores orgânicos e levoglucosan, são denominadas reações secundárias (LUENGO *et al.*, 2008).

Em processos com baixas taxas de aquecimento e longos tempos de resistência do substrato celulósico no reator, as reações secundárias são favorecidas, já em processos onde as taxas de aquecimentos são altas e os tempos de resistência são baixos, características da pirólise rápida e ultrarrápida, as reações secundárias são desfavorecidas. As reações primárias são responsáveis pela maximização da produção de líquidos, enquanto as reações secundárias pelos produtos sólidos.

Temperaturas mais baixas de processo e longos tempos de residência de vapor favorecem a produção de carvão vegetal. As temperaturas elevadas e longos tempos de residência aumentam a

conversão de biomassa em gás, e temperaturas moderadas e curto tempo de residência do vapor são ótimas para a produção de líquidos (BRIDGWATER; PEACOCKE, 2000).

No processo pirolítico, a primeira perda de massa é devido à evaporação da umidade, que ocorre até 150 °C. No segundo momento, os voláteis leves são queimados entre 170 e 370 °C, devido à decomposição da celulose e hemicelulose. O terceiro momento ocorre entre 400 e 700 °C, onde ocorre a decomposição de lignina, na qual os voláteis mais pesados são queimados (IOANNIDOU *et al.*, 2009).

5. Processos de Pirólise

Como mencionado anteriormente, existem basicamente três processos de pirólise conhecidos, são eles a pirólise lenta ou convencional, a pirólise rápida e a ultrarrápida, esta seção descreve as particularidades de cada um deles.

5.1 Pirólise Lenta

A pirólise lenta ou convencional é composta por sistemas conhecidos como "carvoarias" ou sistemas contínuos com aquecimento lento da biomassa acima de 400 °C na ausência de oxigênio (LAIRD *et al.*, 2009). Neste processo a biomassa é pirolisada com baixas taxas de aquecimento, cerca de 5 a 7 °C/min, onde os produtos líquidos e gasosos são mínimos e a produção de carvão é maximizada (GOYAL *et al.*, 2008). A pirólise lenta de madeira, com tempo de resistência de 24 horas, foi uma tecnologia muito comum nas indústrias até o início dos anos 1900, onde eram obtidos como principais produtos o carvão, ácido acético, metanol, e etanol a partir da madeira (HUBER; IBORRA; CORMA, 2006).

A pirólise lenta caracteriza-se por taxas de aquecimentos pequenas e faixa máxima de temperatura em torno de 600 °C e tempo de permanência da biomassa no reator está entre 5-30 min, obtendo como principais produtos o bio-óleo, carvão e gases (GOMES, 2010).

5.2 Pirólise Rápida

A pirólise rápida é um dos métodos mais promissores para a conversão energética da biomassa em produto líquido. O óleo de pirólise (bio-óleo) produzido é um combustível de energia densa intermediária, que pode ser melhorado para hidrocarbonetos no diesel e gasolina (STRAHAN; MULLEN; BOATENG, 2011).

Na pirólise rápida, a biomassa é decomposta muito rapidamente, gerando principalmente vapores e aerossóis e um pouco de carvão e gás. Após o resfriamento e condensação, um líquido castanho escuro móvel homogêneo é formado e possui um poder calorífico correspondente a metade do óleo combustível convencional (BRIDGWATER, 2012). A tecnologia de pirólise rápida

é empregada mundialmente em grande escala para produção de líquidos (bio-óleos), a tecnologia é objetivo de estudo de grandes pesquisadores em biocombustíveis.

Vários reatores são utilizados no processo de pirólise rápida, dentre eles, temos o reator de fluxo arrastado, reator de forno a vácuo, reator de vórtice, reator rotativo, reator de leito fluidizado borbulhante, etc., muitos pesquisadores têm contribuído no campo da pirólise usando um desses reatores (GOYAL; SEAL; SAXENA, 2008).

5.3 Pirólise Ultrarrápida

A pirólise ultrarrápida tem como principais características altíssimas taxas de aquecimento e tempo muito baixo de resistência da biomassa no reator. Estas características favorecem a produção de vapores e torna o processo bastante parecido com a gaseificação. Devido à alta taxa de aquecimento, onde os tempos de resistência da biomassa são de apenas alguns segundos, necessita-se de reatores que atendam essas necessidades de aquecimento, segundo Goyal, Seal e Saxena (2008) esses reatores são o de leito fluidizado e de fluxo arrastado. O reator de leito fluidizado é empregado na execução de reações químicas multifásicas, onde se emprega um catalizador, geralmente areia, funcionando a mesma com um fluido dentro do processo (CIMM, 2014).

Segundo LAIRD *et al* (2009), a pirólise ultrarrápida para produção de carvão envolve o aquecimento da biomassa sob moderada a alta pressão numa retorta, neste caso particular, o rendimento de carvão chega a 60% e voláteis (bio-óleo e gás de síntese) a 40 %, esta tecnologia é mais propensa a utilizar equipamentos de recuperação de calor.

As tabela 1 e tabela 2 abaixo, demonstram algumas características dos três tipos de pirólises apresentados anteriormente. A tabela 1 relaciona características do processo enquanto a tabela 2 mostra as características dos principais produtos obtidos pelos processos.

Tabela 1: Características dos processos para diferentes tipos de pirólises

	Taxa de Aquecimento	Tempo de Resistência da Biomassa	Produtos Característicos
Pirólise Lenta	Lenta	Alto	Carvão
Pirólise Rápida	Rápida	Baixo	Bio-óleo
Pirólise Ultrarrápida	Muito Rápida	Muito Baixo	Gases

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 2: Relação das quantidades obtidas dos produtos pirolíticos para os diferentes processos

	QUANTIDADE PRODUZIDA		
	Carvão	Bio-óleo	Gases
Pirólise Lenta	Alto	Médio	Baixo
Pirólise Rápida	Baixo	Alto	Médio
Pirólise Ultrarrápida	Muito Baixo	Baixo	Alto

Fonte: Elaborado pelo autor

Na tabela 1 pode-se visualizar que a pirólise lenta produz como principal produto o carvão, já a pirólise rápida produz bio-óleo enquanto a pirólise ultrarrápida, gases. Os produtos característicos de cada processo são alcançados mediante diferentes taxas de aquecimento e tempos de resistência da biomassa no reator. A tabela 2 demonstra a relação quantitativa dos produtos gerados em cada processo.

6. Reatores Empregados no Processo de Pirólise

O reator pirolítico é sem dúvida o equipamento de maior importância dentro do processo de pirólise. Atualmente vários tipos de reatores foram projetados, a maioria com o objetivo de maximização do principal produto da pirólise, o bio-óleo. Existem muitos reatores pirolíticos empregados ultimamente, os principais são os de leito fluidizados (borbulhante e circulante), além desses também encontramos os de leito fixo, leito de jorro, cilindro rotativo, reator ciclônico, cone rotativo e outros.

Os reatores podem ser classificados em dois sistemas gerais, são eles:

- **Sistema em Batelada:** Onde não ocorre um fluxo contínuo de biomassa. Nesse sistema a biomassa é carregada no início e a partir dela são coletados os produtos.
- **Sistema Contínuo:** ocorre o fluxo contínuo de biomassa e a coleta contínua dos produtos gerados.

O Reator de leito fixo é considerado simples e inclui as seguintes unidades básicas: secagem, granulação, aquecimento e resfriamento. No processo de pirólise realizado em leito fixo, a "temperatura assegura que as variáveis como: programa de temperaturas, taxas de aquecimento e tempo de permanência nas temperaturas, permaneçam nos limites estabelecidos pelo operador e temperaturas finais de pirólise entre 450-750 °C, com taxas de aquecimento que flutuam entre 5 e 100 °C min./min" (MARTINI, 2009).

Os reatores em leito fluidizado (borbulhante e circulante) possuem uma tecnologia bastante conhecida e possuem uma série de aplicações industriais, onde se apresentam como vantagem no emprego em escala comercial, diferentemente de outras tecnologias que ainda estão em fase de aprimoramento (BERTON, 2012). Existem vários reatores que empregam o princípio de leito fluidizado, dentre eles o reator vortex e o reator abrasivo (MARTINI, 2009). Os reatores em leito fluidizado são empregados em muitos projetos para maximização do produto líquido (bio-óleo) produzido, vários projetos demonstram sua real capacidade de produção de bio-óleo com boa qualidade. Como a biomassa tem uma densidade muito baixa, é comum nos reatores em leito fluidizado o emprego de um elemento inerte, geralmente areia, para dar estabilidade fluidodinâmica ao processo e ajudar no aquecimento da biomassa (SANTOS, 2011).

No Brasil, o primeiro reator em leito fluidizado para produção de bio-óleo foi desenvolvido por pesquisadores da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) em parceria com a empresa Bioware, onde foi montado nas instalações do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) tendo a capacidade de processamento de 200 kg/h de biomassa seca (JORDAN *et al.*, 2010).

O reator de leito fluidizado borbulhante possui algumas vantagens, como flexibilidade com referência ao tamanho da partícula e teor de umidade e possibilidade de usar diferentes misturas de biocombustíveis e co-combustão, e também o reator de leito fluidizado circulante, como aplicação em grande escala e produção de gás de síntese (FIGUEIREDO, 2011).

7. Produto Bio-óleo

O bio-óleo caracteriza-se como o principal produto oriundo do processo de pirólise. Várias pesquisas ao redor do mundo, com o intuito de maximizar e melhorar a quantidade e qualidade do bio-óleo produzido estão sendo realizadas atualmente. Projetos de reatores são o principal alvo dos pesquisadores para alcançar um bio-óleo de melhor qualidade.

O bio-óleo distingue-se dos demais produtos por apresentar características comparáveis ao petróleo. Conhecido também como licor pirolenhoso, o bio-óleo é obtido por meio da degradação térmica dos elementos lignocelulósicos presentes na biomassa. O líquido apresenta-se com cor marrom escuro sendo composto por uma mistura complexa de hidrocarbonetos oxigenados com moléculas de vários tamanhos (FIGUEIREDO, 2011).

O bio-óleo produzido a partir da pirólise apresenta uma série de características que o configura com baixa qualidade se comparado ao petróleo, assim torna-se necessário submetê-lo a processos de melhoramento para sua utilização como substituto do diesel ou gasolina. O bio-óleo possui elevada quantidade de oxigênio, uma característica indesejável, dessa forma é necessário reduzir essa quantidade e manter ou elevar a razão hidrogênio/carbono, para que se possa utilizá-lo como substituto do diesel de petróleo (VIEIRA; ALEXANDRE, 2014). Dentre os processos de melhoramento do bio-óleo encontrados na literatura, pode-se destacar a hidro desoxigenação, o craqueamento com zeolitas, a mistura com biodiesel, a reforma com vapor para produzir hidrogênio ou gás de síntese (ALMEIDA, 2008).

O bio-óleo contém várias características indesejáveis que o torna impróprio para uso com fins energéticos, entre elas (RADLEIN; QUIGNARD, 2013):

- número elevado de acidez e alta corrosividade;
- risco de deterioração por polimerização ou mudança de fase quando armazenado por longo tempo e exposto ao ar;
- presença de partículas microscópicas;

- incompatibilidade com combustíveis derivados do petróleo que restringem a flexibilidade de uso, transporte e manuseio;
- baixa estabilidade térmica;

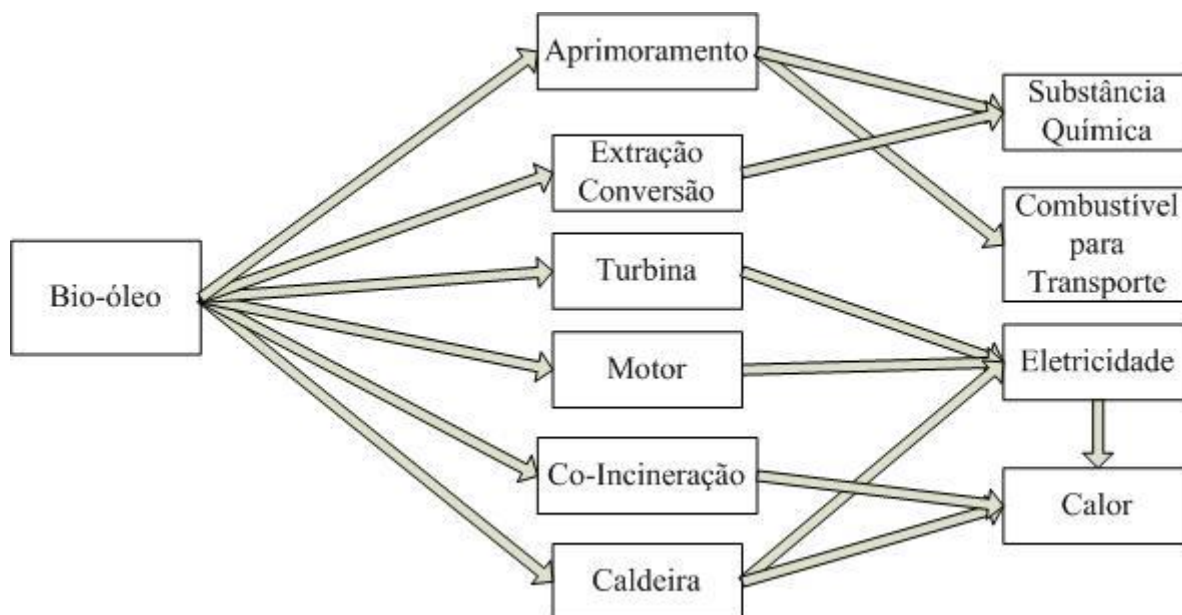
A hidrodessoxigenação é usada para reduzir a quantidade de oxigênio do bio-óleo por meio da conversão com hidrogênio em água. A hidrodessoxigenação é parte integrante do processo de refino do petróleo, cujo objetivo é remover compostos orgânicos oxigenados, a mesma faz parte das reações de hidrotratamento (SOUZA, 2009).

Também com o intuito de diminuir a quantidade de oxigênio no bio-óleo, é empregado o craqueamento com zeolitas. O método também ajuda a incrementar a estabilidade térmica e alguns dos produtos da reação são: hidrocarbonetos aromáticos e alifáticos, compostos orgânicos solúveis em água e em óleo, água, gases (CO, CO₂) e coque (ALMEIDA, 2008). As zeolitas tem mostrado grande aplicação quando utilizado no refino do petróleo e na indústria petroquímica, elas correspondem a um grande número de minerais naturais e sintéticos com características comuns, são aluminossilicatos hidratados de metais alcalinos ou alcalinos terrosos (SILVESTRE, 2012). As zeolitas ajudam na síntese de produtos com temperaturas e pressões mais amenas, logo reduzem os custos operacionais, também são utilizadas para o controle da seletividade da reação o que reduz os custos com suprimentos das cargas, os fluxos de resíduos e os custos de tratamento (SILVESTRE, 2012).

Huber, Iborra e Corma (2006) reforçam os argumentos acima, mencionando que o bio-óleo possui problemas que limitam suas aplicações, dentre elas, como já mencionado, pobre volatidade, alta viscosidade, coque, corrosividade e problemas de escoamento em ambientes frios.

Mesmo com vários problemas o bio-óleo tem várias aplicações, podendo substituir o combustível ou diesel em várias aplicações como caldeiras, fornos, motores e turbinas para geração de energia (BRIDGWATER, 2006). A Figura 3 abaixo exemplifica as principais aplicações para o bio-óleo.

Figura 3: Principais aplicabilidades para o produto bio-óleo



Fonte: Adaptado de Bridgwater (2006)

Como mostra a Figura 3, o produto bio-óleo possui uma série de aplicações, o mesmo pode ser aprimorado com o intuito de ser utilizado como combustível para transporte ou usado como substância química, também pode ser utilizado em turbinas e motores de geração de eletricidade ou em caldeiras pra gerar calor. Em resumo, o produto bio-óleo é de grande aplicação de merece grandes investimentos em pesquisa.

8. Projetos e Pesquisas de Pirólise Conduzidos no Brasil

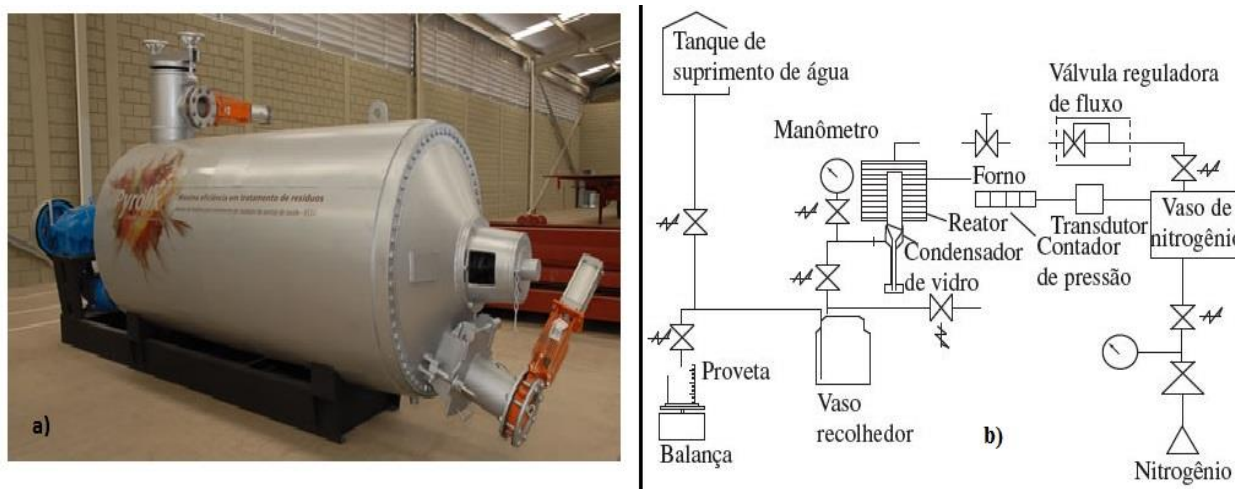
É notável que a grande quantidade de trabalhos, se não todos, retratam problemas relacionados com questões ambientais. Ocorre atualmente uma pressão, por parte da população e do governo, com respeito aos processos industriais e sua relação ao meio ambiente. A solução para problemas como o aquecimento global, produção de lixo urbano, redução nas reservas de combustíveis fósseis, são e continuaram a ser o principal alvo de estudo dos pesquisadores. Esse tópico tem como objetivo apresentar alguns trabalhos e projetos em nível nacional no que concerne a técnica de pirólise de biomassa e os fatores ambientais.

Em seu estudo Filho *et al* (2014), por exemplo, utilizou a pirólise para o tratamento de Resíduos de Serviços de Saúde RSS. A unidade de pirólise empregada em seu trabalho pertence a Universidade Federal de Minas Gerais UFMG. A tecnologia emprega um reator da Ecobrás, patenteado como o nome Pyrolix, tendo a capacidade de reduzir em até 90% o RSS, Figura 4(a) (FRANÇA, 2014).

O reator utiliza o mesmo princípio da pirólise, submetendo os materiais a temperaturas superiores a 400°C na ausência de oxigênio, o resíduo se transforma em carvão, com redução de até 90% do seu volume (FRANÇA, 2014).

Já Oliveira *et al* (2009) utilizou a pirólise em seu trabalho para caracterizar os resíduos sólidos plásticos da indústria *offshore*, e também avaliar a natureza química do bio-óleo gerado pelo processo. Para isso utilizou-se da seguinte unidade de pirólise, Figura 4(b).

Figura 4: Reator da Ecobrás (a), e Reator para tratar resíduos das atividades offshore (b)



Fonte: França (2014) & Oliveira *et al* (2009)

Existe uma empresa no Brasil que contribui bastante no estudo da pirólise, a Bioware. A empresa fica próxima a UNICAMP, e possui uma equipe com *know how* acumulado de 10 anos nas áreas de combustão, gaseificação e pirólise. A Bioware utiliza uma planta de pirólise com capacidade de processar 200 Kg/h de biomassa, sendo esta tecnologia produzida em parceria com a Unicamp (BIOWARE, 2014). Em seu trabalho, cujos objetivos eram o co-processamento do gasóleo com bio-óleo, oriundo da pirólise rápida da palha da cana, no processo de craqueamento catalítico e o estudo de diferentes catalizadores no processo de pirólise da biomassa visando a obtenção de um bio-óleo de melhor qualidade, Almeida (2008), utilizou-se da mesma unidade piloto pertencente a empresa Bioware. Mediante seus estudos, pôde-se contatar que a desoxigenação via descarboxilação é a rota mais indicada para produzir biocombustíveis a partir do bio-óleo e o co-processamento de bio-óleo, obtido via pirólise catalítica, com uma carga oriunda de petróleo no processo de craqueamento catalítico (FCC) é uma rota com potencial para obtenção de biocombustíveis.

Outro estudo foi desenvolvido pela Universidade Federal de Uberlândia UFU, onde a mesma adquiriu da empresa Bioware, uma unidade piloto de pirólise, a PPR-10, Figura 5. A planta

foi projetada para produzir bio-óleo, carvão e extrato ácido, tendo a capacidade de processar 10 kg/h de biomassa, alguns componentes da unidade são (SANTANA, 2010):

- Reator de pirólise modular com sistema de alimentação contínuo e silo;
- Sistema de recuperação de bio-óleo e extrato ácido;
- Sistema de aquisição de dados com computador incluso;
- Sistema de recuperação de carvão;
- Triturador de biomassa seca;
- Sistema de controle automático de vazão de ar e temperatura de agente de fluidização;
- Quadro de comando elétrico com inversores para os motores de acionamentos;

Figura 5: Unidade de pirólise (a); Reator (b) e Ciclonos (c)



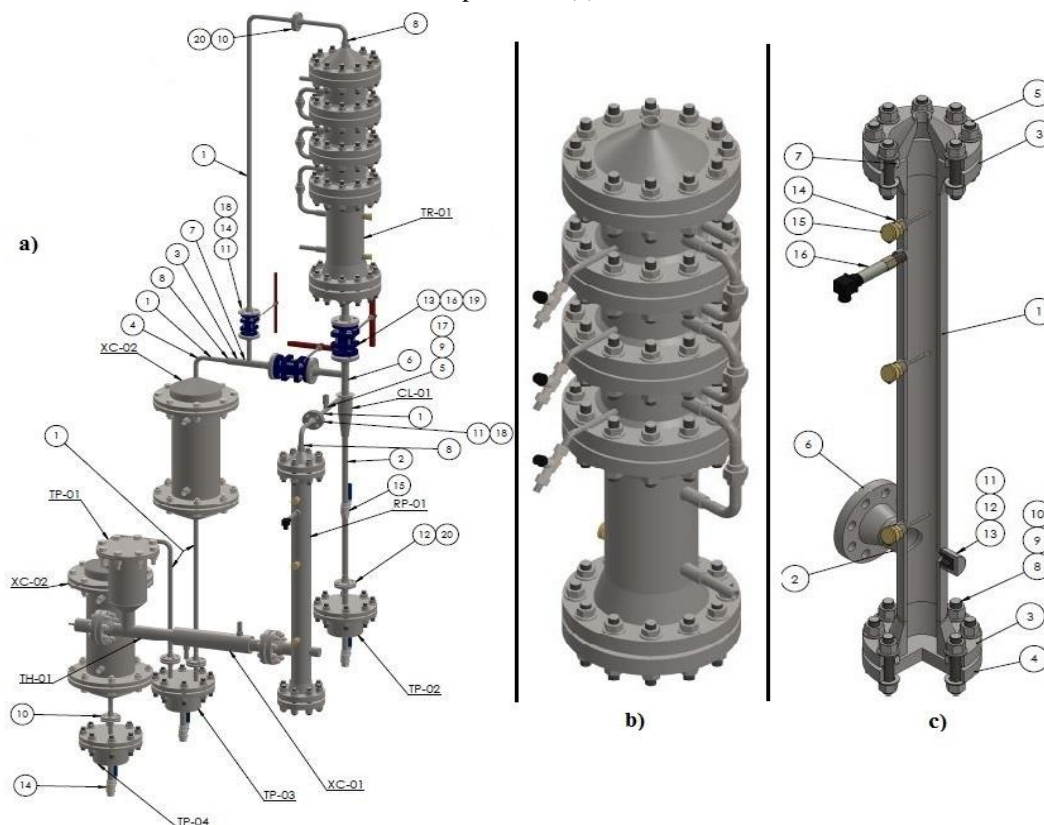
Fonte: Retirado de Santana (2010)

Recentemente foi aprovado um projeto, junto a Universidade Federal do Piauí, para construção e operação de uma unidade piloto de pirólise para produção de bio-óleo a partir da casca do coco babaçu e coco verde. O projeto tem os seguintes objetivos:

- Obter melhorias em termos de preparação de material a ser pirolizado;
- Obter fluxogramas de processo de um sistema a ser construído;
- Participação e publicação de trabalhos em congressos nacionais e internacionais;
- Confeccionar os procedimentos operacionais padrão do sistema de pirólise (POP);
- Desenvolver a engenharia básica e detalhada de um sistema de pirólise;

O projeto pertence ao curso de Engenharia de Produção e conta com o apoio do CNPQ e da empresa Ekipar. A planta piloto tem capacidade para processar dois quilogramas de biomassa por hora e atualmente o projeto está em fase de planejamento, Figura 6.

Figura 6: Esquema da unidade piloto para processamento de pirólise da UFPI (a), torre de fracionamento (b) e reator pirolítico (c).



Fonte: Própria

9. Conclusões

Existem muitos estudos e projetos de pirólise em todo o mundo, inclusive no Brasil. Essa realidade demonstra a grande importância desse processo de termo conversão para superar a grande necessidade de energia e também para diminuição da utilização dos combustíveis fósseis. A tecnologia de pirólise também se torna prestigiada pelo motivo de utilizar rejeitos das mais variadas atividade e por produzir soluções renováveis de energia.

Por esses e por outros muitos motivos a pirólise está crescendo e ganhando maiores investimento, a pirólise é uma tecnologia que precisa ser estudada e aperfeiçoada para futuramente ser utilizada em grandes projetos para produção de energia. Espera-se que com este trabalho possa-se disseminar o conhecimento sobre o processo e também esclarecer dúvidas sobre ele no Brasil, onde o tema não é muito conhecido.

Bibliografia.

AIRES, R. D.; LOPES, T. A.; BARROS, R. M.; CONEGLIAN, C. M. R.; SOBRINHO, G. D.; TONSO, S.; PELEGRINI, R. **Pirólise**. III Fórum de estudos Contábeis, Rio Claro SP, 2003.
 ALMEIDA, M. B. B. **Bio-óleo da peroles rápida, térmica ou catalítica, da palha da cana-de-açúcar e seu co-processamento com gasóleo em craqueamento catalítico**. 167 f. Teses (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - UFRJ, 2008.

BERTON, R. P. **Análise teórica comparativa de eficiência energética de sistemas integrados para pirólise rápida de biomassa**. 2012. 109 f. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, SP, 2012.

BIOWARE. **A Bioware**. Disponível em < <http://www.bioware.com.br/conteudo/1/bioware.aspx> >. Acesso em 2 de Outubro de 2014.

BRIDGWATER, T. **Review biomass for energy**. Journal of the science of food and agriculture, v. 86, p. 1755-1768, 2006.

BRIDGWATER, T. **Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading**. Biomass and bioenergy, v. 38, p. 68-94, 2012.

BRIDGWATER, A. V.; PEACOCKE, G. V. C. **Fast pyrolysis processes for biomass**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 4, p. 1-73, 2000.

CIMM. CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA. **Como funciona um reator de leito fluidizado**. Disponível em < http://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir_noticia/7812-como-funciona-um-reator-de-leito-fluidizado >. Acesso em 13 de novembro de 2014.

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

FIGUEIREDO, A. L. **Pirólise termoquímica de pós de fibra de coco seco em um reator de cilindro rotativo para produção de bio-óleo**. 2011. 127 f. Tese (Mestrado em Engenharia de Petróleo) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, RN, 2011.

FILHO, A. T.; FERREIRA, A. F. M.; MELO, G. C. B.; LANGE, L. C. **Tratamento de resíduos de serviços de saúde pelo processo de pirólise**. Eng. Sanit. Ambient, v. 19, n. 2, p. 187-194, 2014.

FRANÇA, B. X. **O lixo que vira carvão**. Disponível em < <https://www.ufmg.br/boletim/bol1677/3.shtml> >. Acesso em 20 de Setembro de 2014.

GOMES, M. S. **Produção de bio-óleo através do processo termoquímico de pirólise**. 2010. 53 f. TCC (Graduação em Tecnologia em Biocombustíveis) - Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, SP, 2010.

GOYAL, H. B.; SEAL, D.; SAXENA, R. C. **Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources: a review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 12, p. 504-517, 2008.

HUBER, G. W.; IBORRA, S.; CORMA, A. **Synthesis of transportation fuels from biomass: chemistry, catalysts, and engineering**. Chem. Rev., v. 106, p. 4044-4098, 2006.

IOANNIDOU, O.; ZABANIOTOU, A.; ANTONAKOU, E. V.; PAPZISI, K. M.; LAPPAS, A. A.; ATHANASSIOU, C. **Investigating the potential for energy, fuel, materials and chemicals production from corn residues (cobs and stalks) by non-catalytic and catalytic pyrolysis in two reactor configurations**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 13, p. 750-762, 2009.

JORDAN, R. A.; CORTEZ, L. A. B.; PEREZ, J. M. M.; MESA, H. R. M.; ROCHA, J. D. **Operacionalização de uma planta de pirólise rápida de biomassa com reator de leito fluidizado**. Reveng, 18 (2010) 472-479.

LAIRD, D. A.; BROWN, R. C.; AMONETTE, J. E.; LEHMANN, J. **Review of the pyrolysis platform for coproducing bio-oil and biochar**. Biofuels, Bioprod. Bioref., v. 3, p. 547-562, 2009.

LUENGO, C. A.; FELFLI, F. E. F.; BEZZON, G. **Pirólise e torrefação de biomassa**. In: CORTEZ, L. A. B.; GÓMEZ, E. O.; LORA, E. E. S. Biomassa para energia. Campinas: Ed. Unicamp, 2008. Cap. 5, p. 333-351.

MARTINI, P. R. R. **Coversão pirolítica de bagaço residual da indústria de suco de laranja e caracterização química dos produtos**. 2009. 136 f. Tese (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2009.

OLIVEIRA, M. L.; CABRAL, L. L.; LEITE, M. C. A.; MARQUES, M. R. C. **Pirólise de resíduos poliméricos gerados por atividades offshore**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 19, n. 4, p. 297-304, 2009.

- RADLEIN, D.; QUIGNARD, A. **A short historical review of fast pyrolysis of biomass**. IFP Energies nouvelles, v. 68, fls. 4, p. 765-783, 2013.
- SANTANA, L. N. S. **Planta piloto de pirólise da UFU – Descrição, funcionamento, melhorias e processo de hidropirólise como otimização**. 33 f.. Monografia de graduação em Eng. Química UFU, 2010.
- SANTOS, K. G. **Aspectos fundamentais da pirólise de biomassa em leito de jorro: fluidodinâmica e cinética do processo**. 2011. 261 f. Tese (Doutorado em engenharia química) - Universidade Federal de Uberlândia, MG, 2011.
- SILVESTRE, A. H. O.; VIEIRA, E. B.; BARRETO, L. S. **Importância das zeólitas na indústria do petróleo e no craqueamento em leito fluidizado (fcc)**. Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobrás e Fluminense. V. 2, n. 1, p. 62 – 75, 2012.
- SOUZA, A. G. F. **Hidrodessoxigenação (HDO) do anexou em catalisadores de Ni-Mo suportados**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - UFRJ, 2009.
- STRAHAN, G. D.; MULLEN, C. A.; BOATENG, A. A. **Characterizing biomass fast pyrolysis oils by ¹³C NMR and chemometric analysis**. Energy Fuels, v. 25, p. 5452-5461, 2011.
- VICHI, F. M.; MANSOR, M. T. C. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. Quím. Nova, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 757-767, 2009.
- VIEIRA, G. E. G.; ALEXANDRE, G. P. **Tratamento, caracterização e obtenção de bio-óleo combustível a partir da pirólise termocatalítica de lodo de esgoto doméstico - uma revisão**. Revista Liberato, Novo Hamburgo, v. 15, n. 23, p. 01-104, 2014.
- YARRIS, L. **The Evolutionary Roat to Biofuels**. Disponível em < <http://www2.lbl.gov/Publications/YOS/Feb/> >. Acesso em 12 de julho de 2014.

Recebido: 04/12/2014

Aprovado: 11/11/2015