

**FERTILIZANTES E SUSTENTABILIDADE NA AGROINDÚSTRIA:
UMA ABORDAGEM MÍNERO-QUÍMICA E METALÚRGICA**

***Aplicação dos Produtos da Pirólise Rápida de Biomassa como Fertilizante
Natural.***

José Dilcio Rocha, Juan Miguel Mesa Pérez (Bioware Tecnologia,
www.bioware.com.br)

Luís Augusto Barbosa Cortez (UNICAMP/FEAGRI – Faculdade de Engenharia
Agrícola)

RESUMO

A pirólise é um processo de degradação térmica de matéria orgânica na ausência de oxigênio. A pirólise de biomassa gera como produto carvão, bio-óleo (biomassa líquida) e extrato ácido (ácido pirolenhoso). Esse processo é chamado de pirólise lenta quando a biomassa é de grande tamanho (maior de 1 cm), como é o caso da carbonização de madeira que precisa de várias horas para se transformar em carvão. Nesse processo se otimiza a produção de carvão. A pirólise rápida acontece durante alguns segundos (2-4 s) e as partículas são de pequeno tamanho (1-4 mm), maximizando a produção do bio-óleo. Quando o processo de pirólise é lento são usados fornos retangulares, raios quentes, etc, que trabalham de forma intermitente. A tecnologia de leito fluidizado é a mais usada quando o processo de pirólise é rápido. Essa tecnologia consiste em um reator metálico que usa um material inerte (areia) que quando misturada com biomassa, provoca a sua imediata devolatilização, formando o carvão, o bio-óleo e o extrato ácido. No Brasil, a Bioware Tecnologia (empresa graduada da Incubadora de Empresa da Unicamp-INCAMP) em parceria com grupos de pesquisa da Unicamp desenvolveram essa tecnologia a qual se encontra em processo de comercialização. Neste capítulo, se apresenta as principais aplicações dos produtos da pirólise rápida na agricultura. A demanda por solos férteis para a produção de alimentos e biocombustíveis como o biodiesel, álcool, etc. é crescente, porém os recursos do solo não são renováveis, motivo pelo qual existe a necessidade de repor os minerais e a matéria orgânica visando melhorar a sua produtividade. A reposição da matéria orgânica e inorgânica resultante da transformação via pirólise rápida da biomassa é uma alternativa que poderá trazer grandes benefícios para produção de biocombustíveis e alimentos.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por biocombustíveis com a finalidade de substituição dos combustíveis fósseis levará ao uso exaustivo dos recursos hídricos e dos solos, recursos esses não-renováveis. A reposição de nutrientes é mais do que desejável nos solos agriculturáveis, ela é necessária e fundamental para a manutenção da produtividade.

A redução das emissões de gases de efeito estufa tem mobilizado os governos na busca de alternativas sustentáveis, já que é quase um consenso que a queima de combustíveis fósseis é uma das principais causas antropogênicas do significativo aumento da temperatura da terra e outros fenômenos climáticos a ele relacionados.

Também é desejável que ao agricultor seja dada a alternativa de produzir alimentos e combustíveis, duas fontes de energia vitais para a manutenção da vida e suas atividades no planeta. Sendo o solo a fonte primária dessas matérias-primas, conjuntamente com a água e a luz solar, os cuidados devem ser redobrados para manter os recursos naturais.

No tocante as emissões de gases de efeito estufa, o setor energético é um grande emissor seguido também pelo setor siderúrgico e pelo setor de fertilizantes minerais. Esse último, além de energético está diretamente ligado ao setor de mineração, atividade essa capaz de modificar e degradar rapidamente o meio ambiente. A substituição desses fertilizantes por insumos derivados da biomassa contribuirá enormemente para a mitigação das emissões.

O crescimento da agricultura orgânica é significativo no Brasil e mundialmente também vem alcançando altos níveis de crescimento. Ou seja, a sociedade atual deseja alcançar qualidade na produção de alimentos de há 50 anos atrás, quando o consumo de pesticidas, herbicidas e fertilizantes minerais era inexistente, porém lançando mão de novas tecnologias que garantam também alta produção e produtividade, uma vez que a população mundial continua aumentando. A solução para isso está no emprego de tecnologias que sejam compatíveis com as condições ambientais como o controle biológico de pragas, o plantio direto, o uso de adubação orgânica, etc. Nesse contexto, o aprendizado com as práticas ancestrais de cultivo da terra é um caminho que se abre a

humanidade. No Brasil a descoberta arqueológica da Terra Preta de Índio (TPI) ou também conhecida como Terra Preta Arqueológica (TPA), faixas bem definidas de terras agriculturáveis ao longo de rios amazônicos, desvendaram aos estudiosos do tema um exemplo de tecnologia que os índios daquela região usavam na agricultura. Prática agrícola similar foi também encontrado em outras regiões d planeta como na África Central. Ou seja, a biomassa florestal era parcialmente degradada com o uso de calor e o carvão vegetal resultante era incorporado ao solo como fonte de nutrientes e retentor de umidade e proliferador de microorganismos benéficos a atividade agrícola (LIMA, 2001).

Os processos de conversão termoquímica de biomassa é um conjunto de processos cuja principal característica é a elevada temperatura na qual eles acontecem. Os processos biológicos são de baixa temperatura quando comparados aos processos térmicos. Cada processo ainda tem associado a ele diferentes tecnologias de conversão. Assim sendo, o processo é a concepção que explica o mecanismo de funcionamento do fenômeno e a tecnologia é o instrumento que o realizada dentro das condições operacionais indicadas e com determinados rendimentos e qualidade dos produtos gerados. Os principais processos termoquímicos de transformação de biomassa são: combustão, gaseificação, pirólise rápida, liquefação, carbonização e torrefação. Cada um deles têm produtos e rendimentos diferentes e acontecem em determinadas condições operacionais, conforme mostrado na Tabela 1. Nesse capítulo será tratada apenas a pirólise rápida como fonte viável de insumos para uma prática agrícola sustentável e renovável.

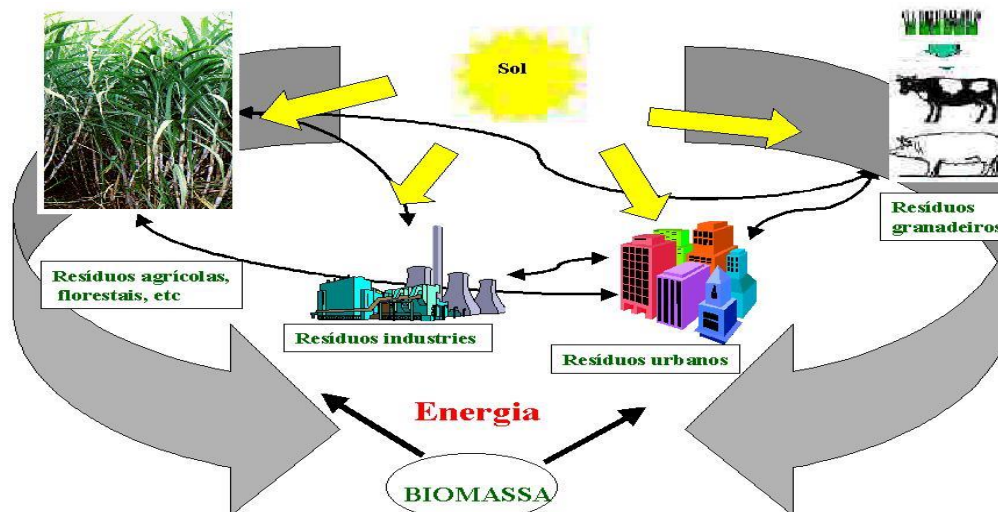
Tabela 1.1- Rendimentos dos produtos típicos obtidos por meio de diferentes formas de pirólise de biomassa (BRIDGWATER, 2001).

Processo	Características	Líquido	Carvão	Gás
Pirólise rápida	Temperaturas moderadas (450-550°C), curtos tempos de residência dos vapores e biomassa com pequeno tamanho de partícula.	75%	12%	13%
Carbonização	Baixas temperaturas (350-450°C), longos tempos de residência (pode ser de dias), partículas grandes.	30%	35%	35%
Gaseificação	Alta temperatura (900°C), longos tempos de residência, partículas de tamanho variado.	5%	10%	85%

2. A BIOMASSA COMO FONTE DE ENERGIA E INSUMOS RENOVÁVEIS

O termo biomassa foi inventado por volta de 1975, para descrever os materiais naturais que podem ser utilizados como combustível. Inclui toda matéria orgânica de origem vegetal ou animal, inclusive os materiais procedentes de sua transformação natural ou artificial. Em seu conceito mais amplo, abrange toda a matéria viva existente num dado momento na Terra. Qualquer tipo de biomassa provém, em última instância, do processo de conversão fotossintética. A biomassa energética engloba todos aqueles materiais que, por serem biomassa, são passíveis de serem utilizados para fins energéticos.

A biomassa é uma fonte de energia renovável, resultante do armazenamento da energia solar nas plantas. Por meio da fotossíntese, as plantas convertem o CO₂ (dióxido de carbono) da atmosfera nos compostos orgânicos usados em seu crescimento. A energia química armazenada nas plantas e nos animais (que se alimentam de plantas e outros animais), ou em seus resíduos, é chamada bioenergia. Essa energia contida na planta pode ser recuperada mediante vários processos, dos quais o mais simples é a combustão, como se vê na Figura 2.1.



Fonte: Elaborado por W.A . Pippo, ref. Mesa-Pérez , 2003.

Figura 2.1 - Biomassa e energia solar

Durante a combustão, a biomassa libera sua energia em forma de calor, e o carbono é reoxidado, ou seja, transformando em CO_2 , restituindo-se, desta forma, à atmosfera o CO_2 absorvido pela planta durante seu crescimento. Assim, o CO_2 liberado na combustão não contribui para o efeito estufa, uma vez que o ciclo de crescimento e combustão é auto-sustentável. No ciclo natural da vida, a biomassa morre e se decompõe em suas moléculas elementares, liberando também calor. A liberação de energia pela conversão de biomassa reproduz a decomposição natural, mas de um modo mais rápido, e essa energia é formada de energia renovável. Utilizando-se a biomassa, recicla-se o carbono e não se adiciona CO_2 à atmosfera, ao contrário do que acontece com os combustíveis fósseis. De todas as formas de energia renovável, a biomassa é a única que efetivamente armazena a energia solar. Além disso, é a única fonte renovável de carbono e pode ser empregada na produção de combustíveis sólidos, líquidos e gasosos (PINHEIRO *et al.*, 2001).

3. OS CONSTITUINTES DA BIOMASSA VEGETAL

A biomassa lignocelulósica é uma mistura complexa de polímeros naturais de carboidratos conhecidos como celulose, hemicelulose, além de lignina e

pequenas quantidades de outras substâncias, como extrativos e cinzas, os quais estão contidos na parede celular das plantas.

A parte correspondente às cinzas nos materiais lignocelulósicos é constituída por óxidos de cálcio, potássio, sódio, magnésio, silício, ferro e fósforo, e seu conteúdo é menor que um 1% em massa na maioria desses materiais. Os teores de extrativos, como terpenos, resinas, ácidos graxos, taninos, pigmentos e carboidratos ficam entre 2 e 5 % em massa. Na Tabela 3.1, mostra-se a composição química elementar de diferentes materiais lignocelulósicos e, na Tabela 3.2 , a composição média de diferentes tipos de materiais lignocelulósicos (JENKINS, 1990).

Tabela 3.1- Composição química elementar de materiais lignocelulósicos.

Biomassa	C	H	O	N
Bagaço de cana-de-açúcar	43,82	5,85	47,10	0,35
Fibra de coco	47,65	5,67	45,61	0,19
Casca de coco	50,22	5,70	43,40	0,00
Sabugo de milho	47,57	5,00	44,60	0,00
Pé de milho	41,92	5,29	45,95	0,00
Resíduo de algodão	42,66	6,05	49,50	0,12
Casca de amendoim	48,26	5,66	39,39	0,81
Casca de painço	42,66	6,05	33,07	0,12
Casca de arroz	38,92	5,12	31,95	0,55
Palha de arroz	36,89	5,05	37,89	0,39
Madeira (Subadul, Índia)	48,15	5,87	45,09	0,03
Palha de Trigo	47,47	5,42	35,79	0,13

Fonte: Jenkis, 1990

Tabela 3.2 - Composição média de diferentes tipos de materiais lignocelulósicos.

Biomassa	Cinza	Celulose	Hemicelulose	Lignina
Bagaço de cana-de-açúcar	2,88	41,3	22,64	18,26
Fibra de coco	0,88	47,74	25,89	17,78
Casca de coco	0,68	36,28	25,06	28,73
Sabugo de milho	2,83	40,32	28,66	16,57
Pé de milho	6,84	42,71	23,61	17,50
Resíduo de algodão	5,36	77,79	15,96	0,00
Casca de amendoim	5,88	35,68	18,67	30,22
Casca de milho	18,10	33,28	26,94	13,97
Casca de arroz	23,46	31,29	24,32	14,30
Palha de arroz	19,78	37,04	22,67	13,64
Madeira (Subadul, Índia)	0,86	39,75	23,98	24,68
Palha de Trigo	11,19	30,52	28,90	16,38

Fonte: Jenkis, 1990

4. PRODUTOS FORMADOS DURANTE A PIROLISE DOS COMPONENTES DA BIOMASSA

A Figura 4.1 resume os tipos de produtos líquidos e sólido (carvão) formados durante a pirólise dos três principais componentes da biomassa. Essa mistura de compostos líquidos, com diferentes graus de polaridade e solubilidade, não apresenta produto principal nenhum e, por isso, só é possível seu aproveitamento na forma de famílias de compostos (por exemplo, ácidos carboxílicos, fenóis, compostos neutrais, etc.). A família de compostos mostrados na Figura 4.1 pode ser separada do bio-óleo de acordo com a seqüência representada na Figura 4.2.

A proporção de substâncias com maior ou menor peso molecular está condicionada ao tipo de pirólise: lenta no primeiro caso e rápida no segundo. As moléculas grandes causam a alta viscosidade do bio-óleo, o que dificulta seu uso como combustível e como matéria-prima para a formulação de resinas fenol-formaldeído. Por outro lado, essa característica pode ser útil para outros fins (por exemplo, para substâncias com atividade superficial). Os óleos leves da pirólise rápida têm muitas oportunidades de aplicação, podendo ser separados em frações

prontas para a obtenção de diversos produtos de interesse comercial (Figura 4.3)
(BRIDGWATER, 2002).

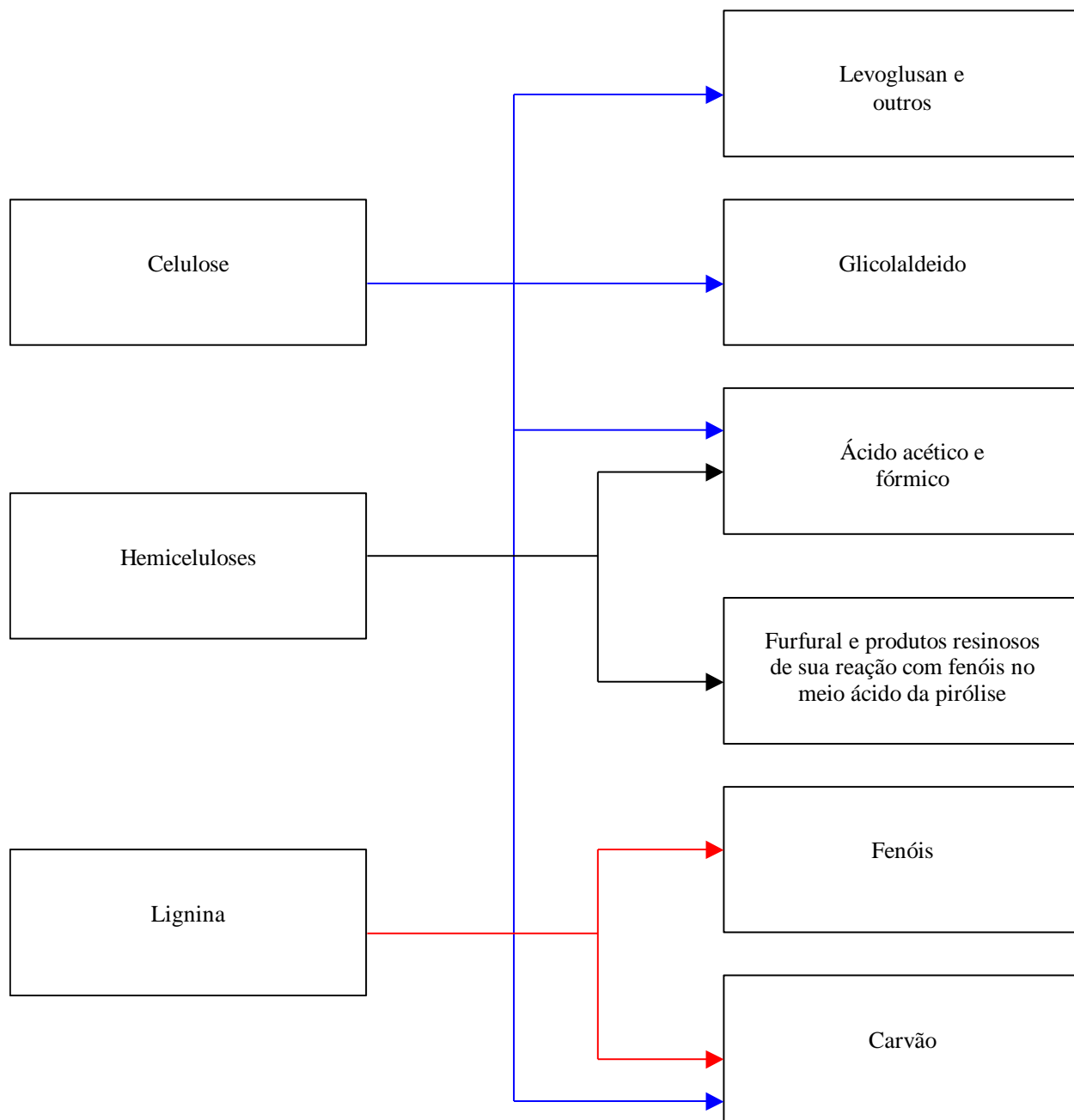


Figura 4.1- Produtos da pirólise dos principais componentes da biomassa.

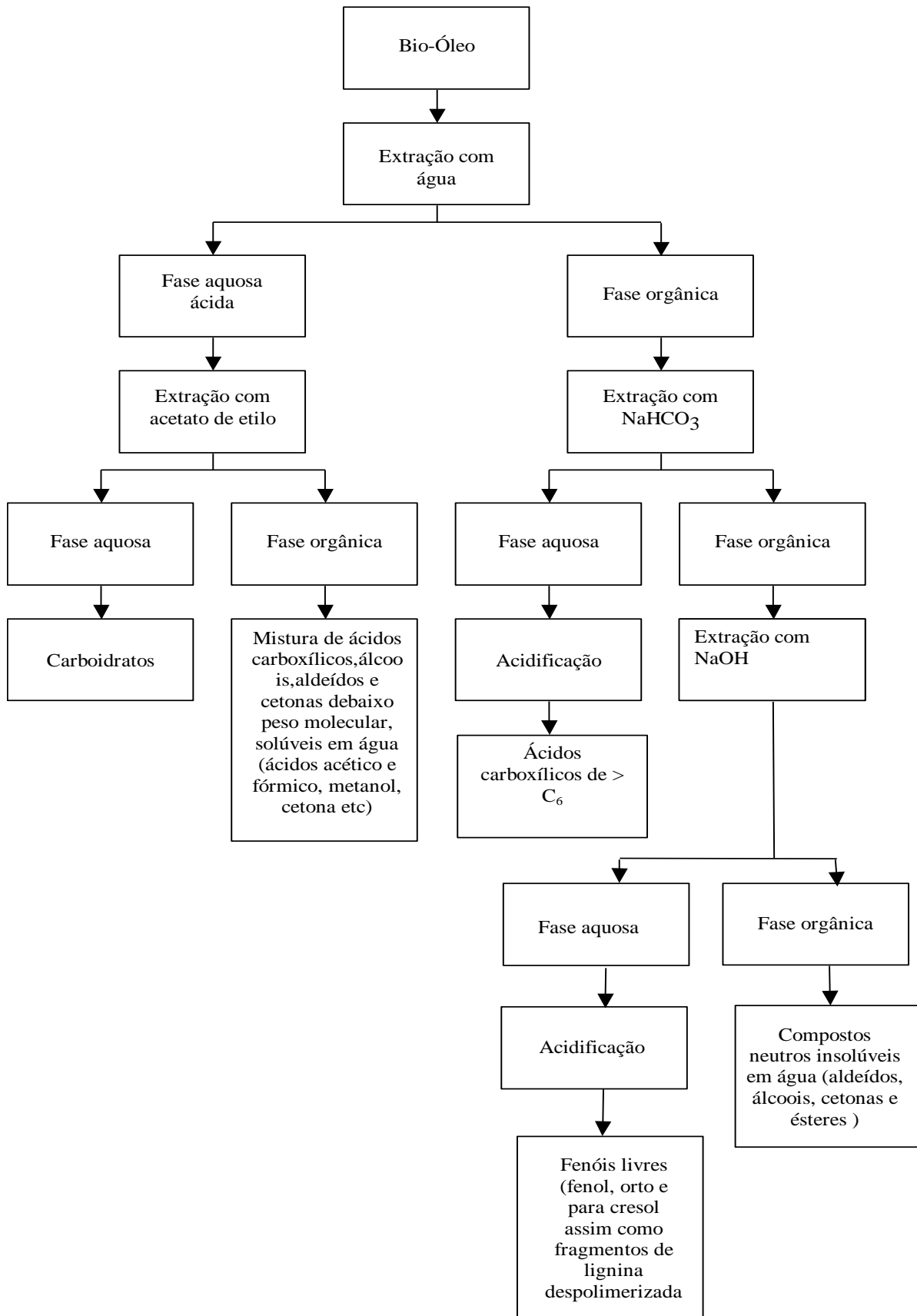


Figura 4.2- Esquema de separação do bio-óleo em diferentes frações.

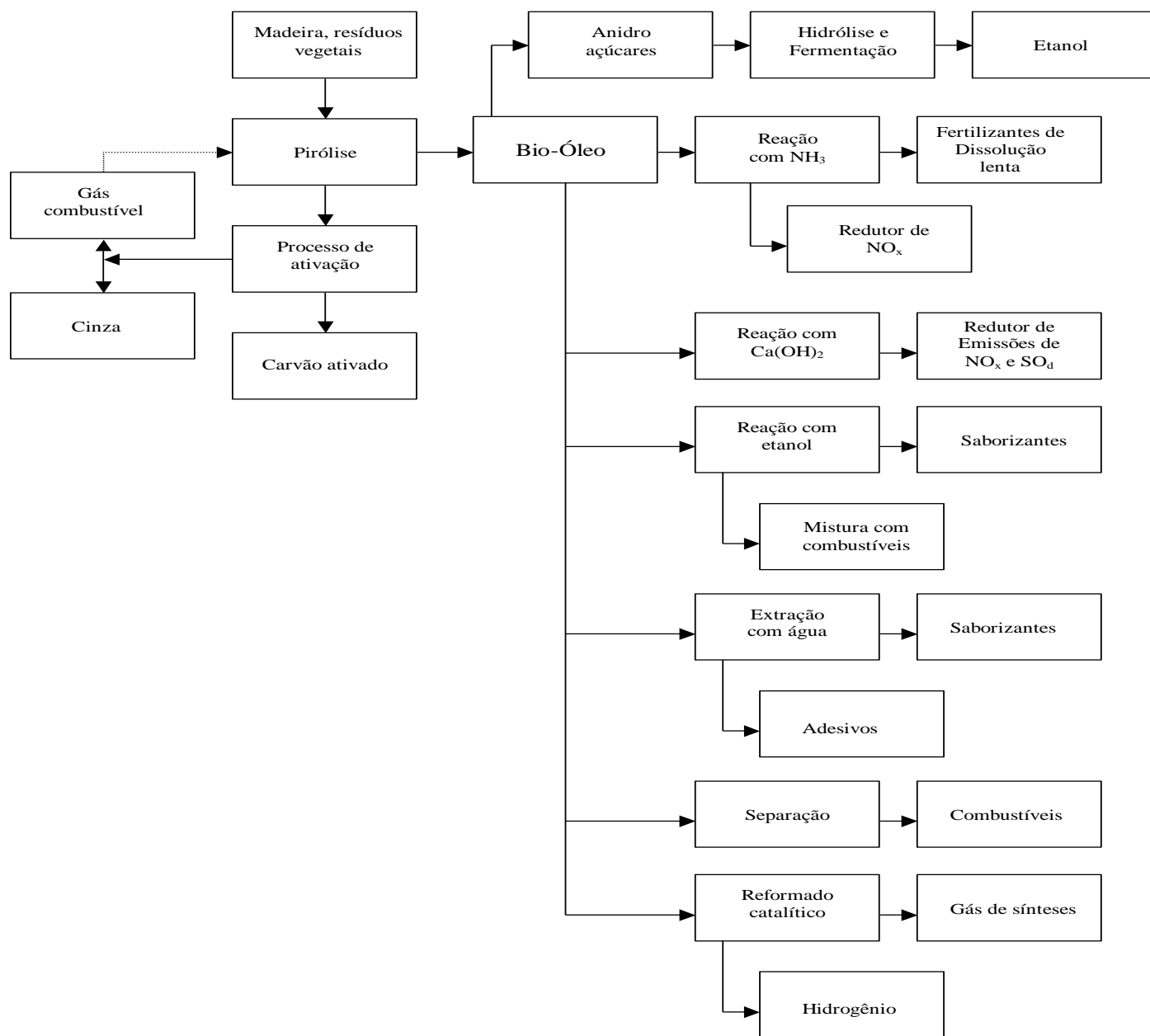


Figura 4.3- Concepção de uma refinaria de bio-óleo

5. PROCESSOS DE TERMOCONVERSÃO DE BIOMASSA

Os principais métodos de conversão termoquímica da biomassa são: a pirólise, a liquefação, a gaseificação e a combustão. A gaseificação, a pirólise e a carbonização, essa última conhecida como pirólise lenta, podem ser consideradas variações de um mesmo processo, conforme mostrado na Tabela 1.1.

A **pirólise rápida** é um conceito relativamente inovador, porém a carbonização, também denominada **pirólise lenta**, para a produção de carvão vegetal, é conhecida e usada pelo homem há mais de 35 milhões de anos (ANTAL e GRØNLI, 2003). Ainda hoje o carvoejamento é praticado em larga escala no Brasil e em outros países. No Brasil são produzidos anualmente cerca de 10 milhões de toneladas de carvão vegetal, principalmente para uso siderúrgico, segundo dados do Balanço Energético Nacional, uma publicação oficial do Governo Federal. As principais características dessa atividade econômica é a pouca agregação tecnológica, a desatenção dada a mão-de-obra e ao meio ambiente. Essas características se traduzem no desperdício de até 75% da matéria-prima, que é perdida na forma de fumaça poluente, a não recuperação de subprodutos de alto valor agregado, devastação de florestas nativas para transformar em carvão, condições de trabalho inadequadas sem uso de EPI's, baixos salários e muitas vezes mão-de-obra não remunerada. A introdução de tecnologias industriais nesse setor é necessária para alterar esse quadro degradante. A proposta da tecnologia de leito fluidizado de pirólise rápida de resíduos agro-industriais atende essa necessidade. Tecnologias inovadoras de pirólise lenta também são necessárias para partículas de grande tamanho como troncos de árvores (ROCHA *et al.*, 2002; STAMATOV e ROCHA, 2007).

Apesar da variedade de tecnologias de pirólise rápida, o leito fluidizado borbulhante é uma das simples e eficientes. Os estudos relacionados ao campo da pirólise rápida de biomassa começou há alguns anos com o objetivo de desenvolver a tecnologia em escala de bancada e em escala piloto e desenvolver e propor aplicações para seus co-produtos, quais sejam: o carvão vegetal fino, o bioóleo, o extrato ácido, e os gases pirolíticos. A pirólise rápida em leito fluidizado borbulhante acontece em condições moderadas de temperatura, em torno de 500°C, pressão atmosférica e curto tempo de residência da ordem de segundos. O processo acontece na ausência total ou parcial de oxigênio. Em sistemas auto-

térmicos, a presença de oxigênio em quantidades de até 10% do estioquiométrico deve ser usada para que a energia necessária ao processo seja produzido com a combustão de parte da matéria-prima. Em sistemas com aquecimento indireto a atmosfera dentro do reator de pirólise deve ser mantida isenta de qualquer gás oxidante, em se tratando de leito fluidizado, a fluidização deverá ser feita com gases de combustão predominantemente CO₂. As principais exigências do processo em termos de matéria-prima é pequeno tamanho de partícula, ao redor de 1 mm e baixa umidade, na faixa de 10-15%.

O princípio da pirólise rápida é a volatilização instantânea da matéria-prima e sua rápida recuperação na forma de líquido. Devido ao tamanho de partícula ser pequeno, a volatilização é beneficiada e a formação de líquidos, tanto extrato ácido quanto bio-óleo, têm rendimentos altos. Como o tempo de residência dos vapores no interior do reator é curto, esses vapores não têm o tempo necessário para se combinarem e formarem moléculas mais complexas do que aquelas formadas no início do processo. Comparativamente a gaseificação, que acontece a temperaturas em torno de 900°C, os vapores na pirólise rápida não sofrem craqueamento ostensivo a ponto de formarem gases como monóxido de carbono, hidrogênio, etc., que são os constituintes do gás de síntese, embora parte da matéria-prima seja craqueada a esse estado. A água recuperada no extrato ácido e a água contida no bio-óleo, nesse último na forma emulsionada e na concentração de aproximadamente 30% em peso, é proveniente da umidade residual da matéria-prima, que entra no processo e é evaporada pela secagem drástica que antecede a degradação térmica dos polímeros naturais da planta. Outra parte dessa água é formada nas reações de pirólise, a Figura 5.1 é uma visão geral da planta-piloto de pirólise rápida desenvolvida pela UNICAMP-BIOWARE (MESA *et al.* 2002; ROCHA *et al.*, 2002; ROCHA *et al.*, 2002; MESA-PEREZ *et al.*, 2003).



Fonte : Cortesia BLOWARE Tecnologia.

FIGURA 5.1 – Vista da planta de pirólise rápida.

6. USO DO CARVÃO VEGETAL NA AGRICULTURA

Os efeitos benéficos da agregação de matéria orgânica ao solo são conhecidos desde o início da humanidade. A matéria orgânica quando degradada termicamente na forma de carvão vegetal finamente subdividido pode atuar como condicionador do solo e auxiliar do crescimento das plantas oferecendo de forma contínua e dosada os nutrientes, aumentando a capacidade do solo de reter umidade e melhorar a sua capacidade de troca de cátions metálicos (LIMA, 2001).

Estudos sistemáticos sobre o tema têm sido conduzido em várias partes do mundo. Muitos deles são baseados nas experiências ancestrais dos índios amazônicos. A recente conferência internacional intitulada *International Agrichar Initiative 2007 Conference*, que aconteceu na Austrália de 29 de abril a 2 de maio de 2007, contou com a participação de delegados do Brasil, Austrália, União Européia, EUA, Japão, Nova Zelândia, Índia, Canadá e Filipinas (<http://www.iaiconference.org/home.html>).

No Brasil, a Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), para estudar essa aplicação formou uma rede entre várias de suas unidades de pesquisa, que envolve: a unidade de Solos, sediada no Rio de Janeiro, RJ, a Amazonia Ocidental sediada em Manaus, AM, Agrobiologia de Seropédica-RJ, Florestas de Colombo-PR, Pecuária Sudeste e Instrumentação Agropecuária, ambas em São Carlos-SP, Rondônia de Porto Velho-RO, Amazônia Oriental de Belém-PA e Embrapa Suínos e Aves de Concórdia-SC. Esta rede também tem um representante na *International Agrichar Initiative*, uma organização internacional recém-criada para desenvolver o tema e que conta com representantes de 13 países. As pesquisas objetivam: a caracterização da agrobiodiversidade; e o uso e fertilidade do solo; o manejo de nutrientes em solos como a Terra Preta de Índio (TPI; o uso de resíduos agro-industriais para produzir novos solos do tipo TPI; o carvão vegetal como agregado em solos para culturas perenes; estudos da economicidade e externalidades do uso dos produtos da pirólise de biomassa na agricultura; propriedades químicas dos solos contendo carvão vegetal, como a capacidade de troca iônica e a atividade microbiana; propriedades físicas e hidráulicas da TPI e da Terra Mulata de Índio (TMI). As concentrações minerais nesse tipo de solo são muito mais elevadas do que nos solos vizinhos sem a adição de carvão vegetal. Para o nitrogênio e o fósforo foram reportadas concentrações três vezes superiores (TROMPOWSKY *et al*, 2005; NOVOTNY *et al*, 2007; CUNHA *et al*, 2007; LEHMANN *et al.*, 2004).

O Museu Paraense Emílio Goeldi, de Belém-PA, tem um Grupo de Pesquisa para o Estudo de Terra Preta Arqueológica na Amazônia. Formado em 1997 conta com cerca de 20 pesquisadores. Esse grupo tem vasta publicação sobre o tema e organiza e participa de eventos para discutir os diversos aspectos arqueológicos, econômicos e ambientais envolvidos. Vários dos principais sítios arqueológicos da TPI encontram-se em território do Pará (Caxiuanã e Quatipuru) e do Amazonas (como Manaus entre outros). Esses solos contêm coloração escura e restos de material arqueológico como fragmentos cerâmicos, carvão e artefatos líticos. Sua composição elementar apresenta cálcio, carbono, magnésio, manganês, fósforo e zinco, o que os caracterizam como solos bastante férteis, segundo pesquisadores. Devido a sua alta fertilidade, essas terras são usadas pelos moradores ribeirinhos para o cultivo de agricultura de subsistência. A

camada de TPA tem em média 40 a 50 cm, mas pode atingir até 2 m de profundidade em alguns sítios arqueológicos. A área desses sítios é, em geral, de 2 a 3 ha de extensão, mas sítios com dimensões superiores a 100 ha foram encontrados, como no caso de Caxiuanã-PA. A *webpage* do Museu tem a lista de toda a literatura sobre o tema.

Atualmente, várias organizações têm se ocupado em difundir o uso de carvão vegetal no solo. A Associação dos Produtores de Agricultura Natural, com sede em São Paulo-SP, tem manuais de como usar o carvão vegetal moído em conjunto com o extrato pirolenhoso na cultura de diversas plantas, como hortaliças, cereais (como arroz, milho, soja) e em plantas perenes adultas como fruteiras, café etc. Essas técnicas são milenares e foram desenvolvidas e praticadas pelos japoneses. Elas são eficientes no controle de males e na melhoria do solo, pois controla os nematóides, fusarium, aumenta a concentração de microorganismos benéficos, como o trichoderma, penicillium, etc., proporciona ambiente favorável para a multiplicação de micorrizas e outros microorganismos.

7. USO DO BIO-ÓLEO NA AGRICULTURA

Segundo Radlein *et al.*, 1997, a produção de fertilizantes orgânicos nitrogenados é conhecida há muito tempo, usando fontes fósseis de carbono. Podem ser produzidos pela reação de amônia com ácidos húmicos naturalmente presentes na turfa e nos carvões minerais do tipo lignito, pelo processo conhecido como amonoxidação. Por esse processo, o carvão mineral e outros materiais carbonosos sofrem uma oxidação parcial com ar atmosférico para aumentar a concentração de ácidos húmicos e, subsequentemente ou mesmo simultaneamente, reagem com amônia. As primeiras publicações sobre esse processo foram feitas na forma de patentes nos anos de 1929 e 1931, por N. Caro e A.R. Frank, como patentes britânicas números 347.641 (1929) e 349.001 (1931), seguidos por Walton e Gardiner, com sua patente dos EUA número 1.858.230 (1932). As primeiras publicações usando biomassa e seus subprodutos são de M.I. Chudakov *et al.*, com a patente soviética número 223.823 (1968); Y.K. Kim *et al.*, no *Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev.*, 23 (1984) 620 e a partir de resíduos de lignina do processo de pulpação de madeira de W.J. Detroit, patente dos EUA número 4.846.871 (1989) e o trabalho de D.Meier *et al.*, no *Proc. Second*

Brazilian Symposium of the Chemistry of Lignins and other Wood Components, São Paulo, 1992, página 178.

Para ser usado como fertilizante de liberação lenta, o bio-óleo proveniente da pirólise rápida de biomassa necessita de uma etapa de reação química com um composto que contenha o grupo funcional NH_2 . A mistura de reagentes é aquecida para formar compostos nitrogenados. Várias fontes de biomassa podem ser usadas para a produção do bio-óleo. O aquecimento a 110°C elimina a água e provoca a polimerização e solidificação do fertilizante. Também pode ser adicionado a massa reacional um substrato ou absorvente, como o próprio carvão vegetal na forma de pequenas partículas ou pó. Entre os principais macronutrientes: N, P, K, o nitrogênio é o mais volátil e rapidamente se perde antes de ser fixado pela planta. Na forma combinada com o bio-óleo e o carvão, o nitrogênio tem uma vida média prolongada no solo (RADLEIN *et al.*, 1997).

Um projeto da União Européia, *Recycling of agricultural materials as a novel slow release fertiliser*, testou o bio-óleo de pirólise rápida na produção de fertilizante de liberação lenta. Três rotas foram exploradas: a reação de compostos nitrogenados com o bio-óleo, a adição de compostos nitrogenados a biomassa antes de ser pirolisada e a reação direta de compostos nitrogenados durante a pirólise. Os resultados foram muito satisfatórios. O projeto custou cerca de um milhão e meio de euros e durou 36 meses com início em 1999 e teve a participação de 4 instituições do Reino Unido, Alemanha e Dinamarca (BRIDGWATER *et al.*, 2000).

8. USO DO EXTRATO ACIDO NA AGRICULTURA

O extrato ácido, também conhecido como licor ou extrato pirolenhoso, quando proveniente da carbonização de lenha, é uma mistura aquosa de compostos solúveis derivados da degradação térmica da biomassa que têm efeito inseticida na agricultura. O pH dessa fração aquosa é muito baixo, cerca de 2, o que confere alto teor ácido provocado pela presença de ácidos carboxílicos de baixo peso molecular, além da presença de fragmentos pequenos da lignina. A lignina quando fragmentada origina compostos fenólicos que também têm caráter ácido com propriedade fungicidas e bactericidas como os cresóis, produtos muito usados na preservação de madeira antigamente. A degradação térmica da

celulose e da hemicelulose originam açúcares que são hidrosolúveis e fixam esses constituintes do extrato ácido diluído nas folhas e caules das plantas, funcionando como repelente a pragas. Adicionalmente, o odor de fumaça que esses materiais carregam funciona como fumaça artificial para afugentar os parasitas vegetais (MAEKAWA, 2002; APAN, 2002).

O extrato pirolenhoso e seu uso agrícola é do conhecimento humano desde do século XVII, na Europa, quando se praticava a destilação seca da madeira, uma forma antiga de carbonização, que já naquela época recuperava os voláteis na forma de extrato pirolenhoso e alcatrão. Porém, as práticas e relatos mais amplos dessa aplicação vêm do Japão, que em 1874, já desenvolvia técnicas construtivas de fornos de carbonização, obtinha produtos a base do extrato ácido e fazia testes experimentais na lavoura. No pós-guerra, em 1947, foi editado o livro *Fabricação e Utilização do Extrato Pirolenhoso*, de autoria de T. Fukuda, que teve ampla aceitação e divulgou resultados na cultura do arroz. Desde então, as publicações na área vêm aumentando e a Associação Japonesa da Indústria Carvoeira e Extrato Pirolenhoso aglutina muitos estudiosos sobre o assunto. No Brasil, principalmente a comunidade japonesa tem sido grande usuária e propagadora dessas técnicas (MAEKAWA, 2002; APAN, 2002).

Um produto denominado Biopirol[®], da empresa Biocarbo de Belo Horizonte-MG é comercializado no Brasil há 10 anos. Ele é produzido pela destilação do alcatrão recuperado nos fornos de carbonização de lenha para uso siderúrgico na empresa V&M Tubes, também de Minas Gerais. É um produto natural com componentes da degradação térmica da lignina e das celuloses em solução aquosa e enriquecido com micronutrientes na seguinte composição e concentração em peso: Zn-1,8%, B-0,4%, Mn-0,5%, Cu-0,3%, Mg-0,3%, Fe-0,2% e S-1,8%. Desta forma, o registro no MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Agronegócios) foi permitido como um fertilizante organo-metálico. Ele funciona como um agrofertilizante e bio-estimulante natural na formação da massa celular, defesa contra pragas e doenças e aumenta a qualidade, sabor e aroma. Seu uso reduz ou elimina a aplicação de defensivos e agrotóxicos e frutos mais duráveis, viçosos e saborosos. Esse produto deve ser usado de forma diluída em água em diversas proporções, dependendo da cultura na qual se deseja aplicar, variando

de 1:50, para regar plantas adultas, até 1:500, na pulverização de hortaliças de folhas tenras. Existem dosagens adequadas por hectare e por período de aplicação.

9. CONCLUSÕES

Os derivados da pirólise rápida de biomassa podem contribuir decisivamente para o aumento da sustentabilidade e para o renovamento da agricultura, uma vez que são capazes de reciclar os nutrientes. Eles não substituem na totalidade a aplicação de micro e macronutrientes, mas podem diminuir o uso desses materiais. As cinzas contidas na biomassa, que variam muito de concentração e composição, dependendo do tipo de biomassa, são também fontes de nutrientes e ânions metálicos. A lixiviação, erosão e desertificação dos solos poderão ser minimizadas pela retenção de água e a proliferação da vida microbiana nas áreas aplicadas.

O ciclo do carbono agregado ao solo na forma de carvão vegetal e bio-óleo é muito mais longo do que o ciclo do carbono nos biocombustíveis. Não existe ainda uma avaliação quantitativa conclusiva sobre a fixação de carbono para o uso dos produtos derivados da pirólise rápida de biomassa como fertilizante. Os aspectos econômicos também necessitam ser aclarados, isso demandará testes demonstrativos no campo e envolverá equipes multidisciplinares.

Também é claro que os biocombustíveis não são capazes de substituir os combustíveis fósseis na escala atual de consumo e serão necessárias mudanças profundas no modelo atual de desenvolvimento, além da substituição dos não-renováveis pelos renováveis. O padrão de consumo terá que admitir o uso racional e eficiente dos recursos naturais, sejam eles quais forem. Assim, a questão das emissões serão afetadas positivamente e as mudanças no uso dos fertilizantes renováveis em conjunto com essas medidas farão sentido e seus benefícios serão percebidos.

Conforme exposto aqui, não será por falta de conhecimento que a humanidade não tomará medidas positivas na direção da conservação do solo, melhoria da qualidade dos alimentos e na produtividade dos biocombustíveis. À luz de técnicas ancestrais e sua adaptação ao desenvolvimento tecnológico alcançado atualmente isso é possível.

Finalmente, a literatura citada nesse capítulo é apenas uma pequena amostra do enorme conjunto de publicações sobre o tema. Os interessados

poderão ter como referência muitos livros e artigos científicos para aprofundar em cada um dos assuntos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTAL, M.J.Jr. e GRØNLI M. (2003) The Art, Science, and Technology of Charcoal Production, *Ind. Eng. Chem. Res.* 2003, 42, 1619-1640.

APAN- Associação dos Produtores de Agricultura Natural. (2002). O que é a APAN e o que ela faz ?. Manual de Agricultura Natural da APAN, São Paulo-SP, 10 páginas.

BRIDGWATER, A.V. (2001) Towards the 'bio-refinery' fast pyrolysis of biomass. *Renewable Energy World*, James x James Editores, Londres, vol. 4, No.1, Jan-Fev 2001, p. 66-83.

BRIDGWATER, A.V. (2002) Fast pyrolysis of biomass: a handbook. [S.I.]: Aston University, Bio-energy research group, UK. V.2.

BRIDGWATER, A.V. *et al.* Slow release fertilisers by pyrolytic recycling of agricultural waste. *PyNE Newsletter* No. 10, dezembro de 2000, p.9.

CUNHA, T.J.F.; MADARI, B.E.; BENITES, V.M.; CANELLAS, L.P.; NOVOTNY, E.H.; MOUTTA, R.O.; TROMPOWSKY, P.M.; SANTOS, G.A.. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte A antrópico da Amazônia (Terra Preta). *Acta Amazonica*, v. 37, p. 91-98, 2007.

JENKINS, B.M. (1990). Fuel properties for biomass materials. In: *International Symposium On Application And Management of Energy in Agriculture: The Role of Biomass Fuels*. May, Delhi, India, p. 21-23.

LEHMANN J, ; Campos, CV, Macedo , JLV Macedo e German, L. (2004). Sequential fractionation and source of P in Amazonian Dark Earths. In: Glaser B and Woods WI (eds.) *Amazonian Dark Earths: Explorations in Time and Space*, Springer, Berlin, Germany. pp. 113-123.

LIMA, H.N. 2001. Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais. 176pp.

MAEKAWA, K. (2002).Curso sobre Produção de Carvão, Extrato Pirolenhoso e seu uso na Agricultura, ministrado em Jacareí, SP, 02/02/2002 pelo Professor Kazuhico Maekawa, membro da Associação Japonesa de Processos de Carbonização e Extrato Pirolenhoso, 16 páginas, editado e traduzido pela APAN (Associação dos Produtores de agricultura Natural, São Paulo-SP).

MESA-PÉREZ J.M. (2004) Testes em uma planta de pirólise rápida de biomassa em leito fluidizado: critérios para sua otimização. Tese (Doutorado) - FEAGRI, Universidade Estadual de Campinas.

MESA J.M.P., OLIVARES E.G., ROCHA J.D., CORTEZ L.A.B., BROSSARD L.E.P, SEYE O., GONZALEZ L.E.B.(2002). Tecnología de lecho fluidizado para pirólisis de biomasa vegetal. *Anales del VII Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados de la Cana - DIVERSIFICACIÓN 2002*, junho de 2002, Havana, Cuba, CD-ROM, 6 páginas. ISBN 959-7165-11-2.

MESA-PEREZ J.M., ROCHA J.D., OLIVARES-GOMEZ, E., CORTEZ L.A.B., BROSSARD-PEREZ L.E. (2003). Pirólise rápida em leito fluidizado: uma opção para transformar biomassa em energia limpa. *Revista Analytical*, p.32-36.

NOVOTNY, E.H.; AZEVEDO, E.R.; BONAGAMBA, T.J.; CUNHA, T.J.F.; MADARI, B.E.; BENITES, V.M.; Hayes, M.H.B. (2007). Studies of the Compositions of Humic Acids from Amazonian Dark Earth Soils. *Environmental Science and Technology Library*, v. 41, p. 400-405.

PINHEIRO, P.C.C. et al.(2001). Fundamentos e Prática da Carbonização da Biomassa. In: 1^o Congresso Internacional de Uso da Biomassa Plantada para Produção de Metais e Geração de Eletricidade. Belo Horizonte, MG, Brasil.

RADLEIN,D.; PISKORZ, J.; MAJERSKI, P. (1997). Method of Producing Slow-Release Nitrogenous Organic Fertilizer from Biomass US Patent 5,676,727.

ROCHA, J.D. ; OLIVARES-GÓMEZ, E. ; MESA-PÉREZ, J.M. ; CORTEZ, L.A.B. ; SEYE, O., e BROSSARD-GONZÁLEZ, L.E. (2002). Produção de bio-óleo combustível a partir de pirólise rápida de biomassa, IX Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro, vol. 4, p.1896-1901.

ROCHA, J.D.; OLIVARES GOMEZ E.; MESA PEREZ J. M.; CORTEZ L. A. B., SEYE, O. E BROSSARD GONZALEZ, L. E. (2002). The demonstration fast pyrolysis plant to biomass conversion in Brazil. *Proceedings of the VII World Renewable Energy Congress*, junho/julho de 2002, Colônia, Alemanha, CD-ROM, 5 pág. ISBN 008 0440 79 7

ROCHA, J.D. ; OLIVARES GOMEZ, E. ; MESA PEREZ, J. M. ; BROSSARD GONZALEZ, L. E ; SEYE, O. E. CORTEZ L. A. B. (2002). Biomass Pyrolysis in Brazil - a Source of Biofuels. *The Tenth Biennial Bioenergy Conference - BIOENERGY'2002*, setembro de 2002, Boise, EUA, 10 páginas, CD-ROM.

STAMATOV, V. e ROCHA, J.D. (2007). Bio-char refineries: an accessible approach for the development of biomass-based industry, *International Journal of Global Energy Issues*, (27), p.217-230.

TROMPOWSKY, P.M.; BENITES, V.M.; MADARI, B.E.; PIMENTA, A.S.; HOCKADAY, W.; HATCHER, P.(2005). Characterization of humic like substances obtained by chemical oxidation of Eucalyptus charcoal. *Organic Geochemistry*, v. 36, p. 1480-1489.

