



FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TÉRMICA E DE FLUIDOS

TECNOLOGIA DA GASEIFICAÇÃO

Prof. Dr. Caio Glauco Sánchez

Índice do Capítulo 5

5.	Pirólise de Biomassa	5-2
5.1	Introdução	5-2
5.2	Produtos da pirólise:	5-3
5.3	Tipos de pirólise:	5-4
5.4	Etapas da decomposição térmica da biomassa.	5-5
5.5	Variáveis do processo de pirólise:	5-5
5.6	Distribuição dos produtos da pirólise	5-7
5.7	Composição	5-8
5.8	Temperatura no reator e tamanho de partícula:	5-8
5.9	Tempo de residência e temperatura.	5-8
5.10	Impurezas, cinzas, catalisadores.	5-9
5.11	Fatores relativos ao gás e voláteis de pirólise.	5-9
5.12	Classificação dos reatores de pirólise.	5-10
5.13	Aplicação destas tecnologias:	5-11
5.14	Impactos de diferentes combinações de tecnologia de conversão floresta/energia.	5-16
5.15	Bibliografia suplementar:	5-17

5. Pirólise de Biomassa

Caio Glauco Sánchez
Eduardo Rafael Barreda del Campo

5.1 Introdução

Até finais do século passado e início deste, a biomassa vegetal e o carvão mineral eram as matérias-primas fundamentais para a obtenção de energia e produtos químicos. No referente à biomassa, o homem já desde tempos remotos dominou a técnica da termo-conversão ao realizar a carbonização da madeira. Deste modo a pirólise lenta, que foi o método empregado, é a forma mais antiga de aproveitamento da biomassa vegetal.

O processo consiste na degradação térmica de materiais orgânicos em ausência total ou quase total de um agente de oxidação como o oxigênio do ar. Em seus primórdios a pirólise tinha como principal objetivo a obtenção de carvão vegetal e é por isso que o processo era feito a baixas velocidades de aquecimento e a relativas baixas temperaturas finais. Estes conhecimentos foram adquiridos, sem duvida, através do método de tentativa e erro. Hoje existem técnicas analíticas, como a análise termo-diferencial que demonstram esta afirmação, além de permitir conhecer o rumo que tomará o processo ao variar-se seus parâmetros operacionais.

A primeira variante do processo industrial de pirólise foi a chamada “destilação seca”, ou “destilação destrutiva” da madeira, praticada desde o século passado e cujos objetivos eram a obtenção de carvão vegetal como combustível doméstico e como agente redutor em processos siderúrgicos. Como subprodutos aproveitava-se o metanol (conhecido como álcool de madeira), o ácido acético (proveniente do ácido pirolenhoso) além dos aldeídos e cetonas. De fato, o conjunto destas últimas substâncias passou a ser o produto principal do processo.

Após várias décadas de esquecimento, a destilação seca e outras formas de pirólise e termo-conversão, revitalizaram-se diante das crises do petróleo.

Hoje a termo-conversão da biomassa vegetal e dos resíduos sólidos urbanos tem um lugar importante no suprimento energético e de materiais alternativos, considerando-se um fator de natureza estratégica.

A projeção do consumo de diferentes fontes de energia é mostrado na tabela 5.1 a seguir. Pode-se verificar que embora se espere uma pequena diminuição do consumo de petróleo para 2010 - 2020, este será compensado por um aumento discreto do consumo do carvão fóssil, gás natural e da energia atômica.

É importante apontar que a energia renovável deverá estacionar, pelo menos enquanto não surjam novas tecnologias que modifiquem este panorama.

Tabela 5.1: Evolução do Consumo de Energia como % da Energia Total. Strehler A. (1987)

Combustível	1990	2010 - 2020
Petróleo	31,8	26,7
Gás Natural	19,3	20,9
Energia Hidráulica	5,7	5,8
Carvão (Fóssil)	26,1	28,5
Energia Atômica	4,5	5,8
Energia Renovável	12,5	12,2

Para ilustrar mostra-se na tabela 5.2 os níveis de consumo de energia per capita. Ficando em evidência que os países com menor consumo energético, possuem amplas disponibilidades de biomassa, e que realizar seu aproveitamento poderia modificar sua situação em relação ao quadro.

Tabela 5.2 Máximos e Mínimos Consumos de energia per capita (1991) em kg equivalentes de petróleo. Strehler A. (1987)

Maiores Consumidores		Menores Consumidores	
Canada	9390	Mali	23
Noruega	9130	Nepal	22
Estados Unidos	7680	Etiópia	20
Suécia	5900	Chad	17

5.2 Produtos da pirólise:

Três são os produtos obtidos através da pirólise de materiais ligno-celulósicos.

- Carvão Vegetal (Charcoal)
- Líquidos pirolenhosos (mistura heterogênea de solução aquosa ácida e material oleoso insolúvel de cor escura)
- Gases não condensáveis.

O líquido pirolenhoso contém uma fração aquosa denominada ácido pirolenhoso, e uma fração líquida oleosa que recebe o nome de alcatrão.

As proporções e a composição destes três produtos dependem do método de pirólise empregado e da natureza da biomassa original.

Em um dos trabalhos considerados clássicos no estudo da pirólise de madeira, Klason apresenta os produtos obtidos para dois tipos de madeiras, tabela 5.3.

Tabela 5.3 Produtos da carbonização lenta da madeira. Tempo de pirólise 8 horas, temperatura final de carbonização: 400 °C. Petersen R.

	Abedul	Pinus
Carvão	33,66	36,40
Fração líquida	-	-
Alcatrão Insolúvel	3,75	10,81
Alcatrão Solúvel	10,42	5,90
Ácido (calc.como Acético)	7,66	3,7
Álcool(calc.como Metanol)	1,83	0,89
Aldeídos(calc. como Formaldeídos)	0,50	0,19
Ésteres (calc. como Acetato de Metila)	1,63	-
Cetonas (calc. como Acetonas)	1,13	0,26
Água	21,42	22,61
Total	48,34	44,36
Gases		
CO ₂	11,19	11,17
CO	4,12	4,10
CH ₄	1,51	1,49
C ₂ H ₄	0,21	0,14
H ₂	0,03	0,03
Total	17,06	16,93
Perdas(por diferença)	0,94	1,09

5.3 Tipos de pirólise:

Estritamente falando, a pirólise é um processo de termo-conversão de biomassa que antecede à gaseificação. De modo geral as etapas do processo são:

Biomassa ---calor-----> Pirólise -----> Gaseificação ----->Combustão

Independentemente do tipo de matéria-prima empregada, os processos de pirólise dividem-se em dois grandes grupos, de acordo com velocidade de aquecimento utilizada:

- 1. Pirólise lenta**
- 2. Pirólise rápida**

A pirólise lenta, ou convencional e também conhecida como carbonização, tem como objetivo maximizar a produção de carvão vegetal em detrimento dos produtos líquidos e gasosos.

A pirólise rápida (da qual existem várias versões) é dirigida à obtenção principalmente de gases e líquidos.

A pirólise rápida também é conhecida pelos nomes de ***Flash*** ou ***Ultra***.

Na tabela 5.4 apresentam-se os principais parâmetros dos distintos processos de pirólise.

Tabela 5.4 Parâmetros operacionais dos processos de pirólise.

	Convencional	Rápida	Flash
Temperatura de Operação (°C)	300 - 700	600 - 1000	800 - 1000
Taxa de Aquecimento (°C/s)	0,1 - 1	10 - 200	≥ 1000
Tempo de residência do sólido (s)	600 - 6000	0,5 - 5	< 0,5
Tamanho da Partícula (mm)	5 - 50	< 1	< 0,5

5.4 Etapas da decomposição térmica da biomassa.

Quando a madeira é pirolisada à baixa velocidade de aquecimento, pode se distinguir a seguinte sequência de fenômenos:

1. A 160 °C aproximadamente toma lugar a eliminação quase total da umidade, que tem um máximo à 130 °C ;
2. Entre 200 e 280 °C decompõem-se a maior parte das hemiceluloses, dando predominantemente produtos voláteis (CO , CO₂ e vapores condensáveis).
3. Na faixa de 280 - a 500 °C, a celulose que já experimentou algumas transformações químicas, decompõe-se a uma velocidade maior atingindo o máximo em torno dos 320 °C. Os produtos de decomposição são principalmente vapores condensáveis. Neste intervalo de temperatura, a lignina, que sofreu mudanças em sua estrutura (perdeu o grupo -OCH₃) começa a emitir quantidades significativas de vapores condensáveis a temperaturas superiores a 320 °C.

A primeira e segunda etapas são endotérmicas e a terceira é exotérmica. Nesta última etapa não é preciso aquecimento exterior adicional e a temperatura eleva-se até alcançar uma estabilidade na faixa de 400 e 450 °C.

Ganesh,1910, fez a seguinte divisão:

- **Zona I (Umidade) < 473 K**
- **Zona II (Hemiceluloses) = 473 - 553 K**
- **Zona III (Hemiceluloses) = 553 - 593 K**
- **Zona IV (Celulose) = 593 - 773 K**
- **Zona V (Lignina) > 773 K**

5.5 Variáveis do processo de pirólise:

Partindo de um tamanho de partícula para a biomassa, pode-se identificar três dos mais importantes fatores em qualquer processo de pirólise:

- Tempo de residência do sólido a ser pirolisado, assim como de seus produtos de decomposição.
- Velocidade de aquecimento
- Temperatura final do processo.

Na figura 5.1 apresenta-se um esquema que ilustra o anterior:

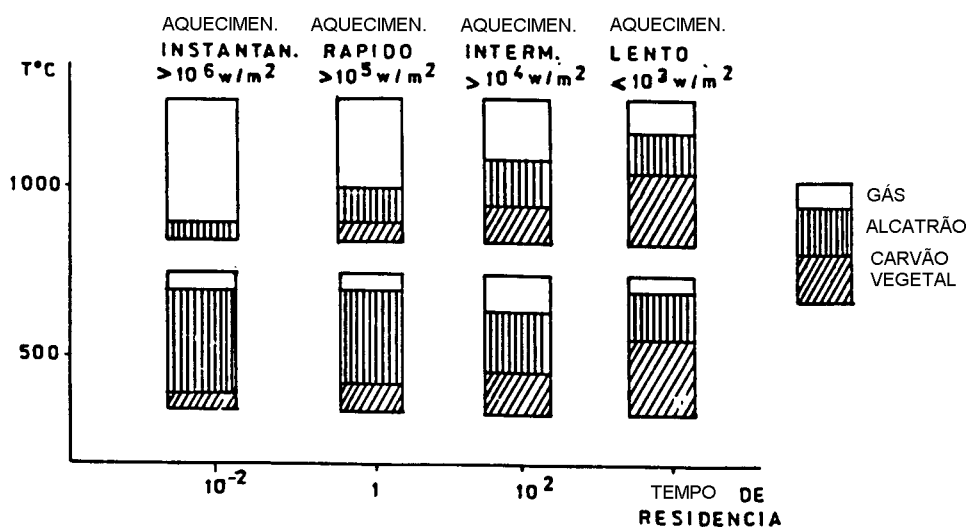


Figura 5.1. Fatores que influenciam o processo de pirólise. Distribuição dos produtos de pirólise em função da velocidade de aquecimento, tempo de residência e temperatura final.

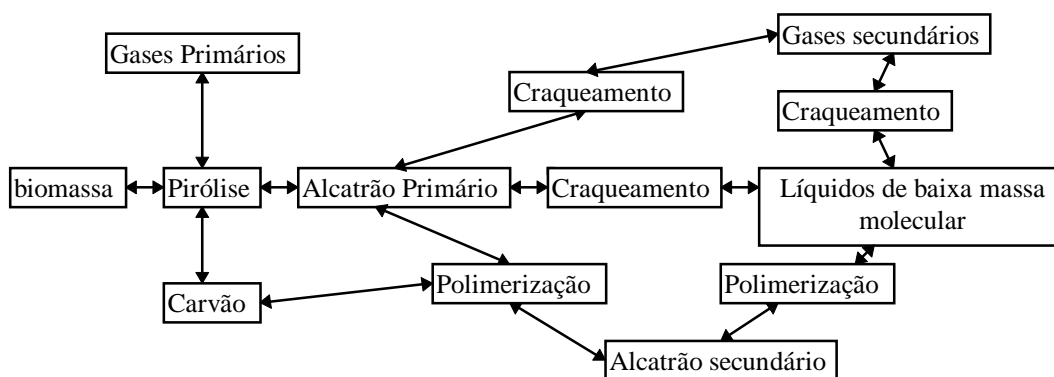
Observa-se que temperaturas finais menores (aproximadamente 500°C como máximo), e baixas velocidades de processo são apropriadas para a obtenção de carvão vegetal.

Nestas condições, a produção de gás estará limitada e as vezes minimizada.

A produção de alcatrão, na pirólise a baixa temperatura é favorecido para altas velocidades de aquecimento e tempos de residência muito baixos.

Na faixa de temperaturas finais (700 - 900 °C) predominam os gases não condensáveis, a velocidades de aquecimento muito altas e baixos tempos de residência.

Em geral durante a pirólise de biomassa vegetal ocorrem as seguintes etapas:



Como pode ser observado, uma vez que são obtidos os produtos Primários as condições de temperatura e tempo de residência predominantes são as variáveis que determinam as características dos produtos finais.

Antes de continuar é conveniente fazer uma classificação mais detalhada dos processos de pirólise de acordo com as suas condições de operação:

- Pirólise convencional: é realizada, geralmente, à pressão atmosférica e temperaturas finais máximas de 500 °C, com taxas de aquecimento baixas (0,1 - 1 °C/s) e tempos de residência grandes Normalmente são tratados pedaços maiores de biomassa.
- Pirólise rápida: as condições de operação são variadas, caracterizando-se por uma alta velocidade de aquecimento (10 - 200 °C/s), um tempo de residência de 0,5 - 5 segundos e tratamento de partículas de tamanho pequenos (< 1mm)
- Pirólise flash: do mesmo modo que a pirólise rápida as condições de pressão são variáveis e a faixa de temperatura de trabalho é mais restrita (800 - 1000 °C) e tempos de residência muito baixos (<0,5 segundos) São tratados partículas na forma de pó.

5.6 Distribuição dos produtos da pirólise

As proporções relativas dos diferentes produtos obtidos em qualquer processo de pirólise estão estreitamente vinculados com as condições nas quais efetua-se a transformação e com as características químicas e físicas da matéria-prima.

Devido a este fato deve-se levar em conta diversos fatores relativos ao sólido (biomassa) e também aos produtos obtidos .

- Fatores que afetam o sólido a ser pirolisar
 - Composição química
 - Temperatura
 - Tamanho de Partícula
 - Impurezas e Catalisadores
 - Teor de Umidade
 - Tempo de Residência
- Fatores relativos aos produtos de pirólise
 - Composição
 - Temperatura
 - Tempo de Residência
 - Pressão.

5.7 Composição

Pode-se observar que biomassa como a madeira, o bagaço de cana de açúcar e a palha de cana os quais tem altos conteúdos de celulose volatilizam-se em maior velocidade e produzem menores quantidades de carvão. As biomassas com alto conteúdo de lignina como a noz de côco, tem um rendimento superior de carvão vegetal.

A seguinte tabela 5.5 citada por Raveendran et al. apresenta os rendimentos em produtos voláteis e carvão vegetal na pirólise dos componentes da biomassa.

Tabela 5.5 Rendimentos de Carvão e Voláteis para os diferentes componentes da biomassa. Rendimentos em % em peso

Componente	Voláteis	Carvão Vegetal
Celulose	97,54	2,46
Lignina	59,37	40,63
Hemicelulose	68,04	31,96

5.8 Temperatura no reator e tamanho de partícula:

Estes dois fatores juntos, determinam a temperatura de reação em cada ponto do sólido.

Com partículas de diâmetro superior a 10 mm, sempre haverá aumento não desprezível de resistência para a transmissão de calor e para a elevação da temperatura.

Como resultado disto, as partículas grandes pirolisam-se abaixo de 400°C (pirólise lenta).

Para que as partículas possam ter em seu interior altas temperaturas, é necessário que tenham dimensões muito reduzidas.

De fato este fator (tamanho de partícula) define se a biomassa pode ser submetida ou não à pirólise rápida. Evidentemente, o Tamanho da Partícula também afeta o rendimento do carvão: quanto maior for a Partícula, maior será o tempo de Residência dos voláteis dentro da zona de calor e em conseqüência ocorrerão reações secundárias de polimerização e posterior carbonização, o que contribue para elevar o rendimento de carvão vegetal.

5.9 Tempo de residência e temperatura.

Todas as investigações sobre termo-conversão em geral e pirólise em particular assinalam o fator tempo de residência como o mais importante em relação a distribuição e características dos produtos obtidos. Isto é válido tanto para o sólido inicial como para o material carbonáceo resultante e os produtos voláteis formados.

Uma combinação de altos tempos de residência e temperaturas não tão altas, como acontece na gaseificação, conduz a uma progressiva grafitização do carvão obtido, diminuindo sua relação H/C (hidrogênio/carbono) e fazendo este menos reativo perante à gaseificação.

Pequenos tempos de residência como os empregados na pirólise rápida, não permitem a efetivação das reações secundárias, o que em geral produz aumentos no rendimento de carvão ou aumento em viscosidade da fração de alcatrão.

O tempo de residência e a temperatura no reator determinam em maior grau os resultados do processo de pirólise.

Quando se quer obter altos rendimentos de alcatrão recomenda-se pequenos tempos de residência .

Se os gases não condensáveis são o objetivo principal, então o adequado é aumentar o tempo de residência, fixando temperaturas suficientemente altas que permitam o craqueamento do alcatrão e sua conversão em gases não condensáveis.

Para aumentar os rendimentos de carvão, a receita é aumentar o tempo de residência em temperaturas baixas, para permitir que as reações secundárias de polimerização do alcatrão aumentem a quantidade de material carbonáceo.

5.10 Impurezas, cinzas,catalisadores.

Além dos principais componentes, a biomassa contém Umidade, substâncias extratíveis e cinzas, assim como eventuais impurezas de natureza inorgânica (por exemplo, terra).

A presença de água na matéria-prima não permite que o sólido alcance temperaturas altas e cria as condições propícias para que o alcatrão inicialmente formado permaneça em estreito contato com a biomassa carbonizada, polimerizando-se e carbonizando-se. Deste modo aumenta-se o rendimento de carvão.

A presença de vapor de água, em altas temperaturas, conduz à gaseificação do carvão vegetal.

O papel das cinzas é mais complexo, embora tenham um notável efeito sobre o processo da pirólise.

Ganesh et al. (1994) estabeleceram que a desmineralização da biomassa conduz a um aumento da formação de voláteis, assim como da velocidade de decomposição e da temperatura inicial de decomposição. Além disso, sugere que este aumento é proporcional ao conteúdo de cinzas da biomassa.

A desmineralização (eliminação de cinzas) provoca um aumento da área superficial do carvão vegetal.

Os catalisadores (básicos e ácidos) tendem à aumentar a geração de gases.

De modo similar comportam-se as impurezas (terra) presentes.

5.11 Fatores relativos ao gás e voláteis de pirólise.

A composição da atmosfera gasosa na qual originam-se os produtos voláteis da pirólise, encontram-se estreitamente ligados com a natureza e rendimento dos mesmos.

Como no caso já visto da pirólise de celulose em presença de ar ou de N₂, os gases emanados durante a decomposição térmica dos materiais lignocelulosicos, é

afetada em maior parte por atmosferas reativas (presença de O_2) de tal forma que possa provocar a combustão parcial dos voláteis formados e acelerar as reações de craqueamento em fase gasosa.

A presença de ar dilui os gases não condensáveis com N_2 e diminui seu valor calórico.

O vapor de água e o dióxido de carbono, a temperaturas suficientemente altas, gaseificam o carvão vegetal e deslocam o equilíbrio da reação de formação de gás de água.

A pressão também provoca mudanças na distribuição dos produtos da pirólise. Assim a utilização de baixa pressão conduz a maiores rendimentos de alcatrão, em detrimento do carvão vegetal e o gás.

Embora um aumento de pressão dirija o processo para a produção de carvão vegetal.

Este efeito da pressão encontra-se grandemente relacionado com o aumento ou diminuição dos tempos de residência dos produtos voláteis nas zonas de reação.

Outro fator deve ser levado em conta é a temperatura. Uma combinação de tempos de residência e temperaturas no reator são os fatores que determinam a distribuição de produtos na fase final da pirólise e na gaseificação .

Para craquear as substâncias orgânicas que compõem o alcatrão, utilizam-se altas temperaturas ($\approx 900\text{ }^{\circ}\text{C}$) e altos tempos de residência.

Quando quer-se obter altos rendimentos de alcatrão é conveniente remover e resfriar os voláteis o mais rápido possível. Para maximizar a obtenção de gás, os voláteis devem ter um tempo de residência de modo que possa efetivar-se seu craqueamento em temperaturas altas.

Se o produto principal é o carvão vegetal é necessário trabalhar tanto com altos tempos de residência de voláteis e de biomassa sólida, como em temperaturas entre 300 e $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ e preferencialmente com matéria-prima de alta umidade.

A presença de água na matéria-prima não permite que o sólido alcance temperaturas altas já que sua evaporação diminui a temperatura do sólido.

5.12 Classificação dos reatores de pirólise.

Conforme figura 5.2.

- **Segundo o movimento dos sólidos**

- _Leito Fixo
- _Leito Gravitacionais Empacotados
- _Leitos movidos Mecanicamente
- _Leitos Fluidizados
- _Leitos Pneumaticos

- **De acordo com o caráter da operação**

- _Descontínuos (fornos de alvenaria)
- _Contínuos (retortas metálicas)
- _Semi contínuos (fornos tipo túnel)

- **De acordo com à forma de fornecimento da energia**

- _Aquecimento Direto
- _Aquecimento Indireto

- **De acordo com o tamanho de partícula empregada**

- Fornos de alvenaria : Produção de carvão vegetal a partir de madeira
- Retortas: Produção de carvão vegetal e eventualmente efluentes. Utiliza-se pedaços de 30 cm de largura e aproximadamente 20 cm de comprimento.
- Convertedores: Pirólise de partículas pequenas

O tipo de reator a ser utilizado depende em grande parte do tamanho de partícula do material lignoceluloso. Os chamados Leitos gravitacionais são movidos por à ação de gravidade e com ajuda de um dispositivo mecânico, assim como os leitos movidos mecanicamente utilizam-se para grandes partículas e em regime de pirólise lenta (taxa de aquecimento na faixa de 5 e 20 °C/min)Para a utilização de reatores de leito fluidizado e para os de transporte pneumáticos requer-se partículas pequenas.

A seguir, na tabela 5.6, mostra-se o tipo de reator de pirólise utilizado em função do produto principal desejado

Tabela 5.6 Tipos de reatores de pirólise em função do produto desejado.

Para Líquidos	Tipo de reator	Organização, País
convencional (liq.)	Leito agitado	Alten, Italia
ciclonico (liq .+gas)	ciclone	Ensgn Eng, Canada
fluxo de arraste rápido(liq)	arraste com fluxo ascendente	Georgia Inst. Tech. USA
a vacuo (liq.)	fornalha multipla	Laval univ, Canada
Ablativo (liq.)	vortex	Seri, USA
fluidizado (liq.)	leito fluidizado	Waterloo univ. Canada
Sólido		
Leito movente (sol,liq,gas)	Parafuso sem-fim Aq. indireto	Univ de Ote. Stgo de Cuba
Leito fluidizado (sol.)	Leito fluidizado	Univ. Camaguey, Cuba
convencional (sol. e gas)	tiragem descendente	Bio alternative ,Suiza
Gases		
Pirólise rápida	leito fluidizado duplo	TNEE, França
Leito fluidizado	leito fluidizado	univ. Zaragoza, Espana.

5.13 Aplicação destas tecnologias:

A Universidade de Oriente em Santiago de Cuba realizou estudos de pirólise em nível de laboratório e posteriormente em escala piloto, Atualmente conta com uma

instalação contínua para a pirólise de bagaço, palha, serragem, etc, com 40 Kg/h de capacidade de processamento de materia-prima com 10 - 30 % de umidade. A instalação foi concebida para a obtenção de carvão vegetal (25 - 30 % rendimento) e o aproveitamento do alcatrão vegetal (5 - 10 % de rendimento), figura 5.3.

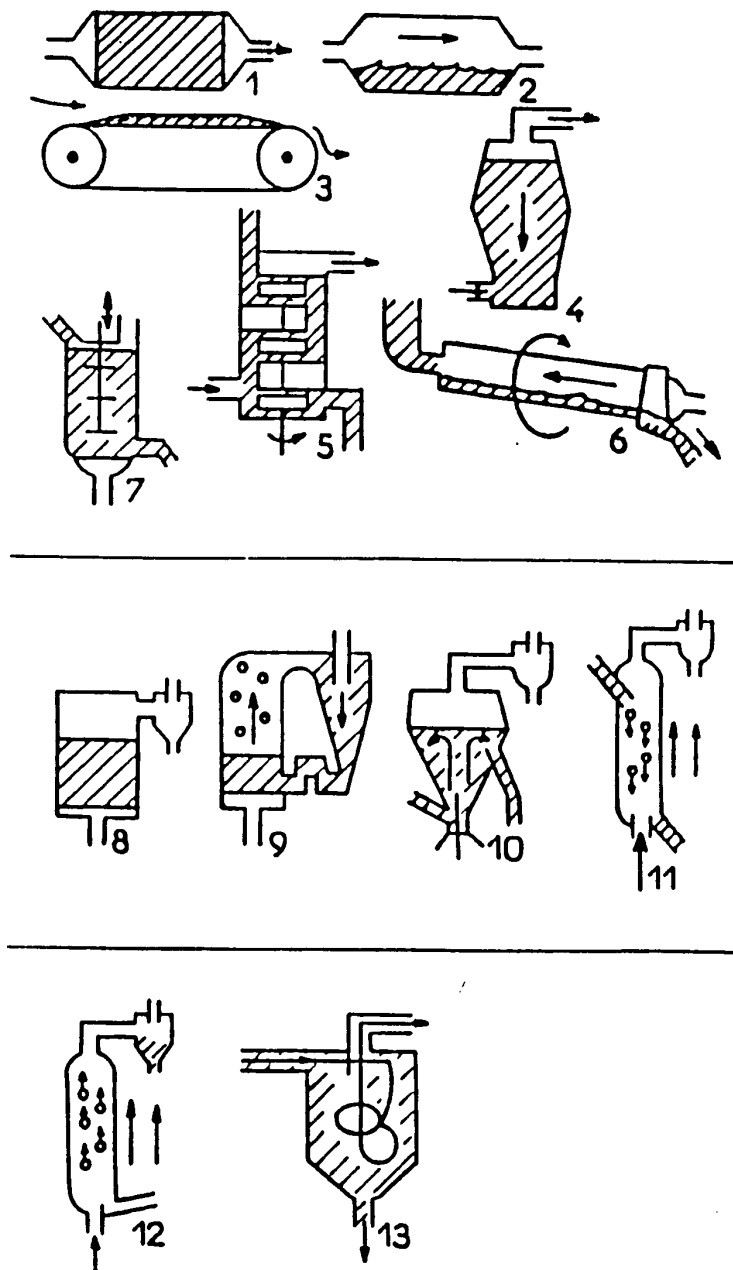


Figura 5. 2 Classificação dos reatores de pirólise.

- Leitos Densos (atravessados por gases)
- 1, 2 - leito fixo
- 3 - transportador
- 4 - forno de injeção
- 5 - forno de fornalha múltipla
- 6 - forno rotativo
- 7 - leito vibratório

Figura 5.4 Esquema do processo do forno de carbonização contínua da ACESITA (Rezende, 1992)

Tabela 5.7 Dados de processo do forno de carbonização contínua da ACESITA (Rezende, 1992)

Capacidade de Produção de carvão vegetal	1.800 t/ano
Capacidade de produção de alcatrão	450 t/ano
Tempo de operação	4.500 horas/ano
Produtividade	0.4 - 0.6 t/hora
Rendimento de carvão vegetal (b.s)	30 - 36 %
Rendimento de alcatrão	10 - 12 %
Carbono Fixo - carvão	78 - 86 %

A empresa Portuguesa Carbotécnica desenvolveu um carbonizador contínuo de fornalha inclinada que é mostrado em seguida, na figura 5.5.

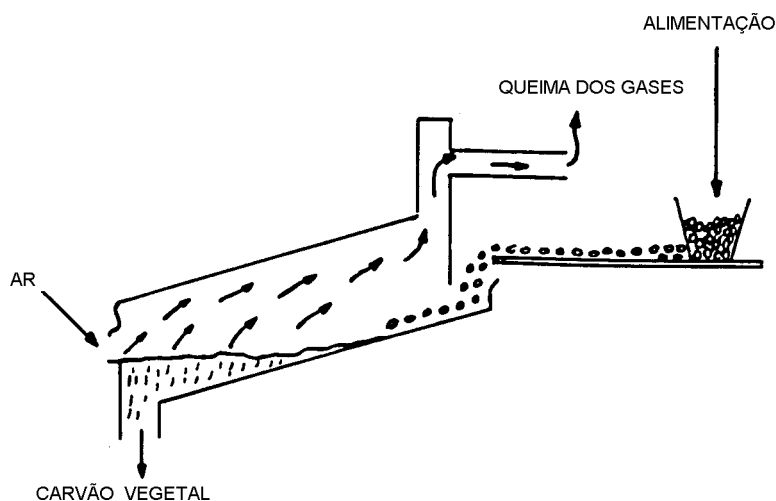


Figura 5.5 Reator de fornalha inclinada.

A companhia Bio-Alternative S. A, da Suíça possui uma unidade piloto de pirólise convencional com 50 Kg/h de capacidade que utiliza biomassa com 5 a 500 mm e umidade de 10 - 15 %. Seu esquema é mostrado na figura 5.6.

Rendimento em % de massa seca original:

Carvão : 30 %

Bio-óleo : 15 %

$PCI_{gás} : 3,8 - 5,5 \text{ MJ/Nm}^3$

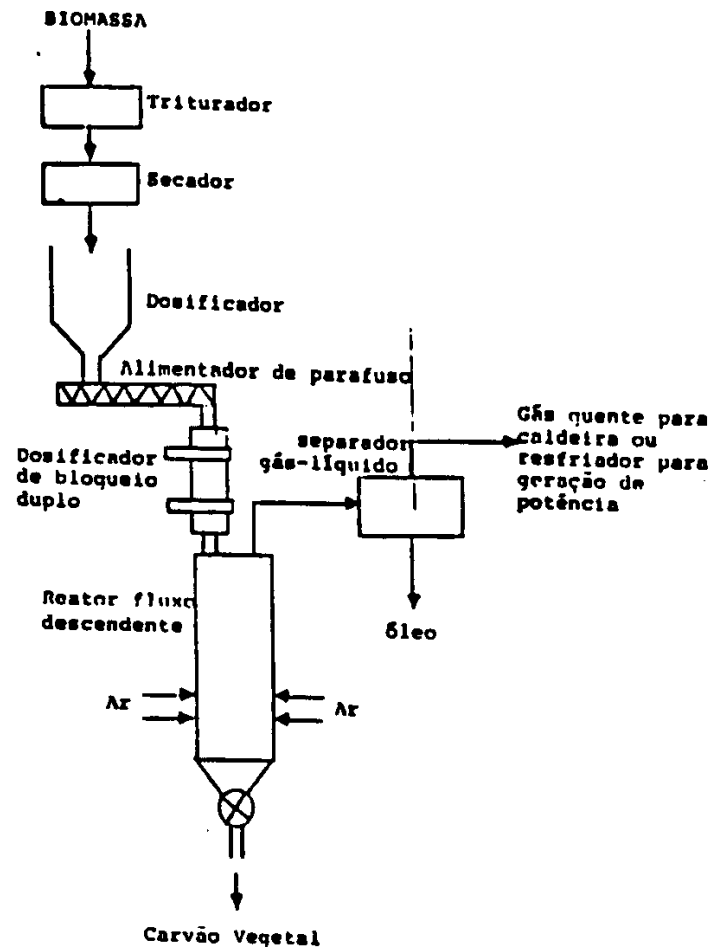


Figura 5.6 Diagrama de fluxo do processo de produção de carvão vegetal (BASA)(Bio-Alternative S.A., 1991.

O aquecimento é direto, obtido mediante a combustão de parte da biomassa, regulada por um sistema de injeção de ar dentro do reator, a pressão interna é menor que a atmosférica.

A temperatura de saída do carvão, depois de passar por um sistema de resfriamento à água, é de 40 - 50 °C.

Os gases produzidos à temperatura de 120°C são depurados para a retirada do alcatrão a 110 - 120 °C, embora os gases não condensáveis e o vapor de água possam ser utilizados como fonte de energia. O carvão vegetal obtido corresponde a 30 % da biomassa inicial, com 12 - 18 % de voláteis e poder calorífico de 30 MJ/ kg . O rendimento do alcatrão é de 15 % e os gases não condensáveis tem um poder calorífico de 4 - 6 MJ/ Nm³ com um 16 % de CO e quase 8 % de H₂.

5.14 Impactos de diferentes combinações de tecnologia de conversão floresta/energia.

Nível de tecnologia	Eficiência do processo (%)	Eficiência de utilização da floresta (%)
Fornos de alvenaria, sem recuperação de subprodutos e resíduos florestais com a utilização de 50 % dos finos gerados (12 mm)	53	42
Fornos de alvenaria com câmara de combustão	58	46
Fornos de alvenaria com recuperação de alcatrão	59	47
Fornos de alvenaria com câmara de combustão, recuperação de alcatrão e utilização de 100 % dos finos gerados.	71	56
Mesma configuração anterior, associada a fornos pequenos para conversão dos resíduos florestais em carvão	--	66
Retorta de carbonização contínua, c/ recuperação de alcatrão, sem recuperação dos resíduos florestais e com 100 % de utilização de finos.	78	62
Retortas contínuas, c/ recuperação completa de subprodutos (metanol, ácido acético e alcatrão solúvel), associada a fornos pequenos para conversão de 80 % dos resíduos e com utilização de 100 % dos finos gerados.	>78	>72

Fonte : ACESITA Energética, citado por Camargos et al. (1993) e Medeiros.

5.15 Bibliografia suplementar:

Brossard, L.F. “Pirólise de Biomassa”, curso de pós graduação, notas de aula, DCR, FEAGRI, 1996.

Ganesh A., Raveendran, K, Khilar K.C. “Influence of Ash on Pyrolysis Characteristics of Biomass. ASAE Summer Meeting (1994) Kansas City , USA. June 19 - 22 , 1994.

Ganesh A. (1990) “Studies on Characterization of Biomassa for Gasification”Ph ,D. Thesis Indian Institute of Technology, New ,Delhi in “Purolysis Characteristics of Biomass and Biomass Components”K. Raveendran et.al ASAE Summer Meeting , Kansas, USA. June 19 -22, 1994.

Klason P. et. al., Z. Angew. Chem vol 23, 1253 (1910) em Nikitin N. I. “The Chemistry of Cellulose and Wood” 1966

Petersen R. “The Chemical Composition of Wood”(ed) Rowell R. M. “Advances in Chemistry “Series 207,pp 57 - 125.

Richard J. R., Antal M. J. “thermogravimetric studies of charcoal formation from cellulose at elevated pressures”. Advances in Thermochemical Biomass Conversion(ed) A. V. Bridgwater. London 1994, vol 2.

Shafizadeh F. “Chemistry of Pyrolysis and Combustion of Wood “Progress in Biomass Conversion 3, 51 (1982)

Strehler A. “Biomass residues” in Biomass Regenerable Energy , Jod Sons, !987.