



Combustão e Gasificação de Biomassa Sólida

Soluções Energéticas para a Amazônia



Eduardo José Fagundes Barreto
(Coordenador)

Gonçalo Rendeiro
Manoel Nogueira



Gonçalo Rendeiro
Manoel Fernandes Martins Nogueira
Augusto César de Mendonça Brasil
Daniel Onofre de Almeida Cruz
Danielle Regina da Silva Guerra
Emanuel Negrão Macêdo
Jorge de Araújo Ichihara

COMBUSTÃO E GASIFICAÇÃO DE BIOMASSA SÓLIDA
Soluções Energéticas para a Amazônia

1ª Edição
Brasília
Ministério de Minas e Energia
2008

4 Pré-tratamento da biomassa

Gonçalo Rendeiro

A biomassa a ser utilizada como combustível, tanto na combustão direta como na gasificação, normalmente não pode ser utilizada na forma em que se encontra disponível, necessitando de algum tratamento termo-mecânico para seu uso eficaz. Dentre os tratamentos termo-mecânicos disponíveis os mais usuais são a secagem, torrefação, briquetes, péletes e trituração.

4.1 SECAGEM

O processo de secagem remove a água contida na biomassa promovendo a sua evaporação por transferência de calor, diminuindo o teor de umidade contido na biomassa. Ar é utilizado para transferir o calor da fonte quente para a biomassa úmida. O calor é transferido do ar para a biomassa por diferença de temperatura. O calor transferido para a biomassa é utilizado para vaporizar a água e a diferença de pressão parcial de vapor d'água existente entre o ar e a superfície da biomassa determina uma transferência de água para o ar. Define-se velocidade de secagem (v_{secagem}) como a redução de pontos percentuais do teor de umidade (ω) na unidade de tempo.

$$v_{\text{secagem}} \equiv \frac{\omega_{\text{inicial}} - \omega_{\text{final}}}{t}$$

A velocidade de secagem depende da temperatura, da umidade relativa e do fluxo de ar, do tempo de exposição a estas condições, do teor de água inicial e final e das características do material a secar.

A evolução destas transferências simultâneas de calor e de massa no decorrer da operação de secagem faz com que esta seja dividida esquematicamente em três períodos.

Período 0: é o período de indução ou o tempo para a secagem entrar em regime permanente. No começo, a biomassa é geralmente mais fria do que o ar, a pressão parcial de vapor de água na sua superfície é pequena e, por consequência, a transferência de massa e a velocidade de secagem também são pequenas. O calor chegando à alta taxa acarreta na elevação da temperatura da biomassa, vaporizando a água que migra para a superfície, provocando o aumento de pressão parcial do vapor de água e da velocidade de secagem. Este fenômeno continua até que a energia que entra na biomassa por transferência de calor seja igualada à energia que sai da biomassa pela perda de massa (vapor de água). A duração deste período é muito pequena quando comparada ao período total de secagem.

Período 1: consiste no período de velocidade de secagem constante. Durante este período, como no anterior, a quantidade de água disponível dentro da biomassa é bem grande. A água evapora e sai do interior da biomassa pelos seus poros. A pressão de vapor de água na superfície é constante e é igual à pressão de vapor de água pura à temperatura da biomassa. A temperatura

da biomassa, por sua vez, é também constante. Este período continua enquanto a migração de água do interior até a superfície da biomassa seja suficiente para acompanhar a perda por evaporação na superfície.

Período 2: consiste no período de velocidade de secagem decrescente. Inicia quando o fluxo para a superfície é inferior à taxa de evaporação da água da superfície. A velocidade de secagem diminui.

4.2 TORREFAÇÃO

A torrefação pode ser definida como um processo de pré-carbonização, o qual se desenvolve justamente na fase endotérmica da pirólise, entre 250 e 300°C. Nestas condições, a hemicelulose é degradada, sendo removida a umidade, o ácido acético, frações de fenol e outros compostos de baixo poder calorífico. Deste processo, resulta um material intermediário entre a biomassa e o carvão. O objetivo fundamental da torrefação é concentrar a energia da biomassa em um produto formado em curto tempo, baixas taxas de aquecimento e temperaturas moderadas, permitindo reter os voláteis de maior poder calorífico no próprio produto.

As propriedades físicas e químicas da biomassa torrada variam com o incremento da temperatura. Por exemplo, ao aumentar a temperatura do processo, a biomassa se torna mais friável e menos higroscópica. Para cada combinação de temperatura e tempo de processamento, podem-se obter produtos de diferentes propriedades que podem ser reproduzidos com alta precisão. A densidade energética (energia por unidade de volume) e os teores de carbono fixo aumentam com o aumento da temperatura e do tempo do processo de torrefação. O rendimento energético do processo decresce com o aumento da temperatura e o poder calorífico inferior aumenta. A madeira torrada possui qualidades difíceis de encontrar em madeiras comuns: impermeabilidade, resistência mecânica e resistência às pragas.

Resultados da torrefação de várias espécies de madeira demonstram que o poder calorífico inferior da madeira torrada depende do teor final de voláteis e cinzas, variando entre 22 e 23 MJ/kg. Foi demonstrado ainda que, para a madeira processada a 280°C, o poder calorífico teve um comportamento assintótico com relação ao tempo, portanto, prolongar o tempo de residência indiscriminadamente com objetivo de melhorar as características do produto final não oferece resultados favoráveis. Para obter resultados aceitáveis a 280°C, basta processar a madeira em torno de duas horas.

A torrefação também pode ser aplicada a briquetes de resíduos de madeira ou agroindustriais como casca de arroz, café, bagaço e outros. Experimentos de torrefação realizados com briquetes de resíduos de madeira demonstram a factibilidade deste procedimento para melhorar as características dos briquetes de biomassa. Entre outras características dos briquetes torrados pode-se mencionar a baixa umidade (de 2% a 6%) e pouca diminuição da resistência mecânica, fatores importantes na conservação dos briquetes durante a armazenagem.

Se comparada a torrefação à carbonização em termos de rendimento energético, a torrefação possui vantagens, pois a biomassa torrada possui em torno de 80% da energia inicial, enquanto que o carvão possui apenas 50%.

4.2.1 Tecnologias de Torrefação

O processo de torrefação é realizado à pressão atmosférica, portanto, os equipamentos empregados geralmente não são muito complexos. As tecnologias para a torrefação podem ser classificadas

segundo o método de transferência de calor (direto ou indireto) e o tipo de processo (contínuo ou em bateladas).

4.2.2 Aplicações da Torrefação

O processo de torrefação permite a produção de multi-produtos com grande padronização, ou seja, produz combustíveis para diferentes propósitos.

Combustível industrial e doméstico: pelas características da biomassa torrada, esta se apresenta como um ótimo combustível, tanto em nível industrial como doméstico. O fato de possuir baixas emissões de fumaças durante a combustão, além de poder ser estocada por longos períodos, facilita o uso em churrasqueiras e fornos a lenha. Em nível industrial, a biomassa torrada pode ser utilizada em grande escala para a produção de eletricidade na queima em caldeiras para a produção de vapor. Outra alternativa é o uso na co-combustão com carvão mineral, o que proporcionaria benefícios ambientais pela redução de emissões de dióxido de enxofre.

Gasificação: devido ao alto grau de padronização da madeira torrada, o uso desta nos gasificadores facilita a regulação e otimização destes. Apesar de a madeira torrada possuir menor valor energético específico que o carvão, seu uso é mais conveniente, pois a madeira torrada é menos friável, o que evita a formação de pó e, portanto, o gás obtido é mais limpo.

Retificação: o processo de torrefação é um meio para a retificação ou melhoramento das características energéticas dos briquetes de resíduos agrícolas e vegetais, pois não somente melhora significativamente a densidade energética destes, assim como também confere características impermeáveis sem perder a resistência mecânica. Os briquetes torrados (ou retificados) podem ser aplicados nos processos acima descritos.

4.2.3 Perspectivas

Analisando as características do processo de torrefação, as propriedades e aplicações da biomassa torrada, pode concluir-se que a torrefação apresenta boas perspectivas como processo alternativo para a produção de combustível para plantas térmicas. Em termos gerais a torrefação é um processo que não requer tecnologias muito complexas, pois é desenvolvido a temperaturas relativamente baixas e à pressão atmosférica. Portanto, os custos dos equipamentos geralmente não são muito elevados, e as técnicas utilizadas são bem conhecidas. Este fato contribui para tornar a torrefação atrativa em termos econômicos quando comparadas a outras tecnologias de conversão que são mais complexas, custosas e pouco exploradas. A biomassa torrada tem capacidade e flexibilidade suficiente de adaptar-se aos requerimentos técnicos do setor energético.

4.3 BRIQUETES

Quando pequenas partículas de material sólido são prensadas para formar blocos de forma definidas e de maior tamanho, o processo é denominado de briquetagem. Através deste processo, os finos de materiais diversos, subprodutos do beneficiamento industrial, são convertidos em produtos de maior valor comercial.

A briquetagem é uma forma eficiente de concentrar energia disponível na biomassa, levando-se em consideração a densidade a granel e o poder calorífico obtido após o processo de briquetagem. Da compactação de resíduos de base ligno-celulósicos obtém-se briquetes com qualidade superior a qualquer espécie de lenha, com 2 a 5 vezes mais densidade energética.

Também conhecida como densificação, esta é realizada a elevadas pressões e temperatura, onde provoca a plastificação da lignina que atua como elemento aglomerante das partículas, portanto, sem necessidade de uso de aglomerantes em seu processo de fabricação.

Como combustível, pode ser usado diretamente em caldeiras e queimadores industriais e fornos, com uma variedade de aplicações tanto industrial como doméstico.

Além dos resíduos de madeira, pode ser utilizado o bagaço de cana de açúcar, palha de milho e casca de arroz, entre outros.

As características termofísicas típica dos briquetes são:

- ♦ Poder calorífico superior a 19,2 MJ/kg
- ♦ Umidade: 12%
- ♦ Carbono fixo: 14%
- ♦ Voláteis: 84%
- ♦ Cinzas: 2%
- ♦ Densidade: 1200 kg/m³

4.3.1 Vantagens da utilização de briquetes

- ♦ Podem ser usados diretamente em caldeiras, lareiras, padarias, pizzarias, cerâmicas, etc, sem que seja necessária nenhuma adaptação na fornalha;
- ♦ São produzidos em tamanhos padrões: no formato de cilindros ou bolachas;
- ♦ Fornecidos em embalagens padronizadas;
- ♦ Produto higiênico sem os inconvenientes da lenha;
- ♦ Espaço de armazenagem reduzido, possibilitando assim a manutenção de estoques reguladores e de emergência;
- ♦ Sua combustão propicia uma regularidade térmica na fornalha.

4.3.2 Sistema de produção de briquetes

A seqüência de fabricação de briquetes segue a seguinte rotina:

- a) Recebimento dos resíduos no pátio da fábrica(estocagem em silos);
- b) Padronização das dimensões (picador);
- c) Secagem;
- d) Alimentação da máquina;
- e) Briquetagem: feito por uma prensa (mecânica, hidráulica ou de rolos) onde a pressão exercida entre os componentes causa uma força de fricção que aquece e força o material a passar pela boquilha com diâmetro desde 20mm até 105mm e massa específica variando entre 1000 e 1300 kg/m³. Existem dois tipos de equipamentos para produção de briquetes: tipo prensa com sistema de pistão (mecânico ou hidráulico) e por processo de extrusão;



Figura 4.1 – Briquetes em forma de bolacha e em tarugos



Figura 4.2 – Briquetadeira mecânica tipo biela-manivela



Figura 4.3 – Briquetadeira hidráulica



Figura 4.4 – Briquetadeira de extrusão por rolos

- f) Embalagem;
- g) Comercialização.

A estrutura de custos de produção é dividida da seguinte maneira: matéria-prima: 26%; energia elétrica: 5%; pessoal: 15%; despesas administrativas: 5%; peças de reposição: 5%; comercialização: 24%; e custo com financiamento: 20%.

4.3.3 Perspectivas

Pela análise da cadeia produtiva desse sistema, pode-se depreender os seguintes problemas para implementação de uma planta de produção de briquetes:

- ♦ Transporte da matéria-prima (resíduos) até a fábrica: em função da baixa massa específica aparente, portanto baixa densidade energética, tornando o transporte da matéria-prima (resíduos) oneroso.
- ♦ Heterogeneidade da matéria-prima: apresentam grande heterogeneidade (forma, teor de umidade, granulometria etc.). Conseqüentemente, o processo produtivo pode se tornar oneroso, uma vez que é necessária a padronização desse material, bem como o ajuste dos equipamentos envolvidos na produção, a fim de se obter um produto mais homogêneo e de qualidade.

A viabilidade econômica de instalação de uma planta de briquetagem está bastante relacionada com a disponibilidade de matéria-prima, a qualidade desse material, as distâncias de transporte, as tarifas de energia elétrica e, principalmente, a capacidade instalada da fábrica. Alguns estudos apontam para valores em torno de 25 a 30% de taxa interna de retorno com um *pay-back* entre três e cinco anos, o que torna bastante atrativa sua implantação.

4.3.4 Comercialização

Os briquetes têm sido comercializados das seguintes maneiras:

Sacos de ráfia de 10 a 40 kg

Caixas com 6 ou 25 unidades

Embalagens para exportação com 500 a 1000 kg

Granel

4.3.5 Fornecedores Nacionais

BIOMACHINE

Rua Independência, 105 – Itaqui – RS

<http://www.biomachine.com.br>

BIOMAX

Rua Constelação, 46 – Vila Tereza – São Leopoldo – RS

<http://www.biomaxind.com.br>

IRMÃOS LIPPEL

Rua Pitangueira, 733 – Bairro Siegel – Agrolândia – Santa Catarina

<http://www.lippel.com.br>

Fornecedores Internacionais:

HAMMEL – <http://www.hammel.de>

KAHL – <http://www.akahl.de>

AMIS – <http://www.amis-gmbh.de>

RUF – <http://www.brikettieren.de>

MILLER – <http://www.millersrl.it>

BOGMA – <http://www.bogma.com>

C.F. NIELSEN – <http://www.cfnielsen.com>

EUROBLOCK – <http://www.euroblock.com>

FASALEX – <http://www.fasalex.com>

SALMATEC – <http://www.salmatec.com>

4.4 PÉLETES

Os péletes são bastante similares aos briquetes, de mesmo formato se diferenciando apenas nas dimensões. Também são produzidos a partir de resíduos florestais e agroindustriais, com processo de fabricação semelhante ao dos briquetes.

4.4.1 Sistema de produção de péletes

A cadeia produtiva da peletização é simples: inicia-se com a coleta de resíduos, seguida da homogeneização por trituração, secagem, “peletização” e embalagem.

A seqüência geral de fabricação de péletes é muito semelhante à fabricação de briquetes, seguindo a seguinte rotina:

- a) Recebimento dos resíduos no pátio da fábrica;
- b) Padronização das dimensões (picador);
- c) Secagem;
- d) Misturador;
- e) Alimentação da máquina;
- f) Peletização: feito por uma prensa de peletização que consiste de um rolo e uma matriz. A pressão exercida entre os componentes causa uma força de fricção que aquece e força o material através de uma das perfurações da matriz. Existem dois tipos de equipamentos para produção de péletes: peletização com matriz de disco e peletização com matriz de anel. Normalmente, os péletes têm diâmetro variando entre 5 e 15 mm, 30 mm e massa específica variando entre 1000 e 1300 kg/m³;



Figura 4.5 – Péletes de bagaço de cana de açúcar



Figura 4.6 – Peletizadora

- g) Péletes;
- h) Embalagem;
- i) Comercialização.

Semelhante à indústria de briquetes, a indústria de péletes tem uma estrutura de custos de produção dividida da seguinte maneira: matéria-prima: 27%; energia elétrica: 5%; pessoal: 15%; despesas administrativas: 5%; peças de reposição: 5%; comercialização: 25%; e custo com financiamento: 20%.

4.4.2 Perspectivas

Pela análise da cadeia produtiva desse sistema, podem-se depreender os seguintes problemas para implementação de uma planta de produção de péletes. Transporte da matéria-prima (resíduos) até a fábrica: em função da baixa massa específica aparente, e portanto baixa densidade energética, tornando o transporte da matéria-prima oneroso.

- ♦ Heterogeneidade da matéria-prima: resíduos lignocelulósicos são caracterizados por apresentar grande heterogeneidade (forma, teor de umidade, granulometria)

etc.). Conseqüentemente, o processo produtivo pode se tornar oneroso, uma vez que é necessária a padronização desse material, bem como o ajuste dos equipamentos envolvidos na produção, a fim de se obter um produto mais homogêneo e de qualidade.

Como similar aos briquetes, sua viabilidade econômica de está relacionada com a disponibilidade de matéria-prima, a qualidade desse material, as distâncias de transporte, as tarifas de energia elétrica e, principalmente, a capacidade instalada da fábrica. Alguns estudos apontam para valores em torno de 25 a 30% de taxa interna de retorno com um *pay-back* entre três e cinco anos, o que torna bastante atrativa sua implantação.

4.4.3 Fabricantes Internacionais

RUF – <http://www.brikettieren.de>

FULPOW – <http://www.woodpower.com.tw>

MILLER – <http://www.millersrl.it>

BOGMA – <http://www.bogma.com>

4.5 TRITURAÇÃO

A trituração é um pré-requisito para vários processos de reaproveitamento de produtos, dentre os quais se destaca a utilização da biomassa para fins energéticos. Este processo torna-se necessário quando se visa à redução de tamanho a dimensões abaixo de 5–20 mm, proporcionando uma melhor alimentação na fornalha com aumento significativo da área do combustível.

O processo de trituração pode ser feito de diversas maneiras: compressão, impacto por compressão, desgastes nas arestas (“nibbling”), impacto, abrasão, raspagem (“shredding”), sendo que a forma e distribuição do produto variam com o tipo de biomassa e o tipo de equipamento utilizado. A energia necessária para o processamento de uma trituração é proporcional à nova superfície específica obtida, portanto, quando se deseja dimensões reduzidas, há aumento considerável de tempo e da potência gastos, o que influi nos custos.

Geralmente no processamento de trituração, os equipamentos estão distribuídos na seqüência de diminuição do tamanho de partículas. Alguns equipamentos mais utilizados para trituração de biomassa são mostrados a seguir:



Figura 4.7 – Moinho de martelos



Figura 4.8 – Moinho de bolas

Os moinhos de martelos são usados no processamento por via seca, enquanto que os de bola são comuns no processo de moagem por via úmida, porém também podem ser usados para moagem a seco. No processo via seca são usados também moinhos do tipo pendulares (figura 4.9), em associação com os moinhos de martelo.



Figura 4.9 – Moinho pendular

A granulometria do material moído nos sistemas via seca com martelos e pendulares são, via de regra, mais grossa que a atingida pelos sistemas em via úmida, seja de bolas ou de barras (figura 4.10).

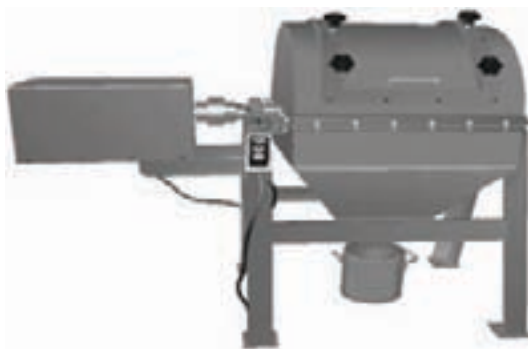


Figura 4.10 – Moinho de barras

Ao se realizar uma moagem é essencial e de suma importância a escolha adequada do tipo e forma de moagem a ser realizado, o que implica em se analisar todos os fatores, de operacionais a econômicos.