

4. Biomassa

O termo biomassa possui diferentes conceitos – porém interligados entre si - que variam de acordo com a perspectiva utilizada (geração de energia ou ecologia). Sob a perspectiva da ecologia, biomassa é “a quantidade de matéria viva em forma de uma ou mais espécies de organismos, presente em determinado habitat” (Michaelis, 2010). Já sob a perspectiva de geração de energia, o conceito de biomassa é muito amplo, englobando qualquer recurso renovável proveniente de matéria orgânica. Como consequência, são muitas também as fontes de biomassa que podem ser utilizadas para geração de energia elétrica. Segundo o MME e a ANEEL, o termo biomassa:

“compreende a matéria vegetal gerada pela fotossíntese e seus diversos produtos e subprodutos derivados, tais como as florestas, as culturas e os resíduos agrícolas, os dejetos animais e a matéria orgânica que é contida nos rejeitos industrial e urbano. Esta matéria contém a energia química acumulada através da transformação energética da radiação solar e pode ser diretamente liberada por meio da combustão, ou ser convertida através de diferentes processos em produtos energéticos de natureza distinta, tais como: carvão vegetal, etanol, gases combustíveis e de síntese, óleos vegetais combustíveis e outros.” (MME, 2007 p. 103)

Todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizada na produção de energia. Assim como a energia hidráulica e outras fontes renováveis, a biomassa é uma forma indireta de energia solar. A energia solar é convertida em energia química, através da fotossíntese, base dos processos biológicos de todos os seres vivos. (Aneel, 2005 p. 77)

Portanto, as fontes de biomassa para a geração de energia elétrica são muito variadas, como por exemplo: lenha; resíduos agrícolas, industriais ou de parques e jardins; e; culturas energéticas dedicadas que são plantações de florestas ou gramíneas destinadas especificamente para esse fim (Mazzarella, 2007). Esta diversificação, apesar de inicialmente parecer vantajosa para a biomassa, na realidade não o é, pois dificulta o controle governamental sobre a origem dos insumos e contribui para a associação da utilização da biomassa a problemas como desflorestamento e desertificação (Aneel, 2008).

Entretanto, mesmo considerando este problema, as vantagens da utilização da biomassa para produção de energia elétrica ainda são significantes. Dentre elas podemos citar o baixo custo de produção (quando se trata de resíduos), o fato de ser uma fonte renovável e a obtenção de balanço nulo de emissões de dióxido de carbono, uma vez que apesar de sua queima provocar a liberação desse composto na atmosfera, este havia sido anteriormente absorvido pelos organismos que deram origem ao combustível.

4.1. Biomassa para fins energéticos

A biomassa para fins energéticos destaca-se como uma das fontes renováveis com maiores possibilidades em todos os aspectos, em especial, no que se refere sua utilização para geração de energia elétrica (Mme, 2007).

O crescimento da participação da biomassa na matriz energética brasileira tem sido constante nos últimos anos, o que pode ser observado no Balanço Energético Nacional de 2010 publicado pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE, no qual consta um crescimento na oferta interna de energia elétrica proveniente de biomassa de 23,3 terawatt-hora (TWh) para 27,4 TWh, perfazendo um aumento de 17,5%. É importante ressaltar que esse crescimento ocorre, principalmente, na forma de sistemas de co-geração (nos quais é possível obter energia térmica e elétrica), ou seja, em sistemas de produção de energia que são instalados em unidades que inicialmente não possuíam como finalidade a comercialização de energia elétrica (Epe, 2010).

Este fato pode ser inferido pela observação da distribuição de usinas termelétricas movidas à biomassa por tipo de insumo disposta na **tabela 4**. Percebe-se que a quantidade de unidades geradoras movidas a bagaço de cana é muito superior a das demais, pois com sua instalação em usinas produtoras de açúcar e etanol, o que antes era um resíduo, passa a gerar energia térmica e elétrica para o processo produtivo, sendo o excedente exportado para o SEB. Entretanto, esta não é a única rota tecnológica disponível para a transformação da biomassa em energia (Mme, 2007).

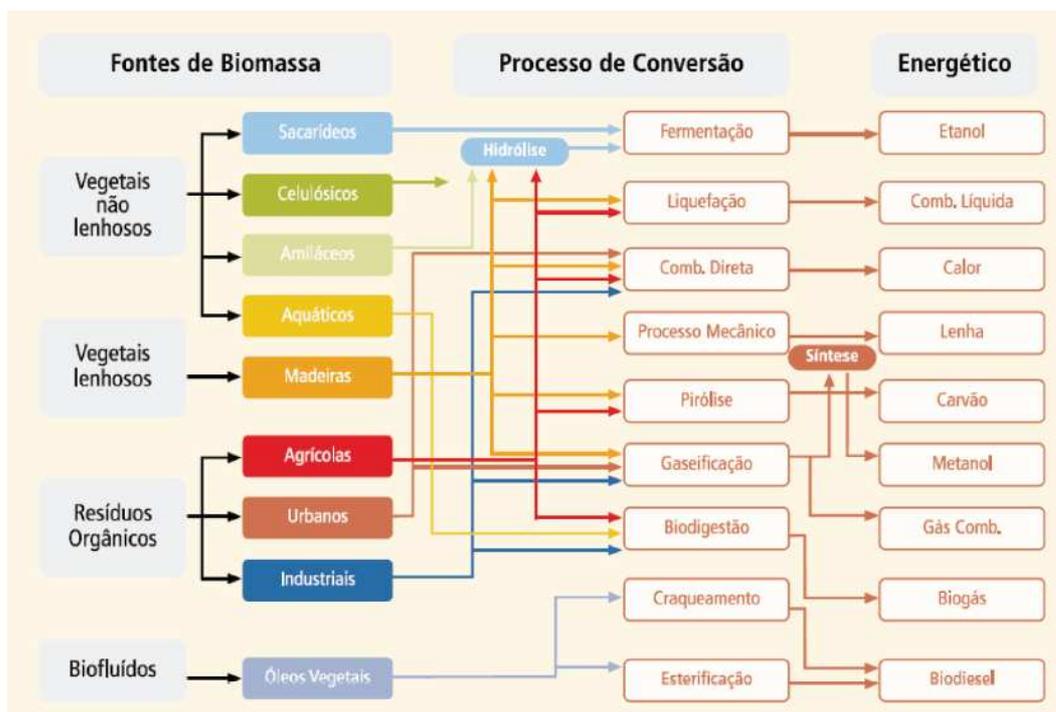
Tabela 4 – Usinas termelétricas a biomassa em operação em 2008 por insumo

Insumo	Usinas Termelétricas	Potência Total
Licor negro (resíduo da celulose)	13	944 MW
Madeira	27	232 MW
Biogás	3	45 MW
Casca de arroz	4	21 MW
Bagaço de cana de açúcar	252	4000 MW

Fonte: ANEEL (2008)

Podem-se observar na **Figura 1** que muitas são as rotas possíveis, com extensa variedade de fontes de biomassa e tecnologias para os processos de conversão. Esta diversidade torna de grande importância a verificação da rota mais eficiente a ser utilizada com a fonte escolhida. Essa eficiência baseia-se na análise de custo x benefício de cada rota. Em geral, as mais complexas são mais caras, mas apresentam maior rendimento e as mais simples são mais baratas, mas de menor rendimento.

Figura 1 - Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa



Fonte: MME (2007)

Para exemplificar essa questão podemos fazer uma comparação entre o ciclo a vapor com turbinas de contrapressão e o ciclo combinado integrado a gaseificação da biomassa. O primeiro é uma tecnologia madura cujos equipamentos necessários podem ser fornecidos por diversos fabricantes

nacionais. Seus custos são baixos, assim como seu rendimento. O segundo uma tecnologia inovadora ainda em fase de desenvolvimento com altos custos fixos e variáveis, porém alto rendimento também. Os valores de cada rota estão expostos na **tabela 5**.

Tabela 5 - Tecnologias de geração térmica a biomassa

Tecnologias de geração termelétrica	Característica de Co-geração	Processo	Rendimento kWh/ton.Biomassa	Custos US\$/kW
Ciclo a vapor com turbinas de contrapressão	Somente co-geração	A biomassa é queimada diretamente em caldeiras e a energia térmica resultante é utilizada na produção do vapor que pode acionar turbinas de trabalho mecânico do processo e turbinas para geração de energia elétrica. Ao final do processo, o vapor pode ser encaminhado para atender as necessidades térmicas do processo produtivo.	215 (co-geração)	Instalação - 830 Fixo anual - 20 Variável - 0,0015 US\$/kW
Ciclo a vapor com turbinas de condensação e extração	Geração pura e co-geração	Similar ao processo anterior, porém ao final do processo o vapor é total ou parcialmente condensado e a parcela de vapor necessária ao atendimento dos requisitos mecânicos e térmicos do processo produtivo, quando integrado em co-geração, é fornecida por extração de vapor em um ponto intermediário da expansão na turbina.	340 (co-geração) 530 (geração pura)	Instalação - 1.100 Fixo anual - 20 Variável - 0,002 US\$/kW
Ciclo combinado integrado a gaseificação da biomassa	Geração pura e co-geração	Utiliza um gás combustível proveniente da gaseificação da biomassa. Assim, a tecnologia de gaseificação aplicada em maior escala transforma a biomassa em importante fonte primária de centrais de geração termelétrica de elevada potência, inclusive aquelas de ciclo combinado, cuja produção é baseada na utilização do vapor e do gás, o que aumenta o rendimento das máquinas.	1.050 (co-geração) 1.150 (geração pura)	Instalação - 1.500 Fixo anual - 55 Variável - 0,006 US\$/kW

Fonte: MME (2007)

Cabe ao empreendedor verificar qual das tecnologias destacadas na **tabela 5** é a mais adequada, dentro das rotas tecnológicas possíveis para cada tipo de biomassa (**figura 1**).

Mesmo considerando o crescimento dos últimos anos, a biomassa ainda possui uma participação marginal de 5,4% na oferta interna de energia elétrica do SEB. Entretanto, devido à importância dada ao investimento em energia de fontes renováveis presente no Plano de Desenvolvimento Energético 2010–2019, espera-se um crescimento cada vez maior da capacidade instalada com fonte de geração em biomassa, porém sem resultar em um crescimento efetivo do percentual de participação da biomassa na oferta total de energia brasileira, como pode ser observado na **tabela 6**.

Tabela 6 - Capacidade instalada com fonte de geração em biomassa

Fonte	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Biomassa (MW)	5.380	6.083	6.321	6.671	7.071	7.421	7.621	7.771	8.121	8.521
Participação	4,78%	5,14%	5,15%	5,10%	5,30%	5,27%	5,16%	5,11%	5,15%	5,10%

Fonte: MME (2010)

O Brasil, com sua extensa área propícia a agricultura e com sua experiência de grande produtor e exportador de produtos agrícolas, está em uma posição privilegiada no que se refere à geração de energia elétrica por biomassa em larga escala. Atualmente, a fonte mais explorada no país é o bagaço de cana-de-açúcar, principalmente devido à alta produtividade das lavouras canavieiras, associada à instalação de sistemas de co-geração nas usinas e destilarias destinadas a produção de açúcar e etanol. Outras vantagens importantes desta cultura são: a grande quantidade de resíduos gerados pela atividade principal (produção de açúcar e etanol) que podem ser aproveitados para geração de energia; a coincidência entre o período de colheita e o período de estiagem das principais bacias hidrográficas brasileiras que são a principal fonte de energia do SEB; e por fim; a proximidade dos grandes centros consumidores como São Paulo e as capitais do nordeste (Mme, 2007).

4.2. Fontes de Biomassa energética

Muitas são as fontes de biomassa, cada uma com seu conjunto de vantagens e desvantagens. Entretanto, observa-se que as variáveis são usualmente as mesmas, só alterando a intensidade de sua presença. Estas variáveis são custo (alto ou baixo), homogeneidade (homogênea ou heterogênea), localização da produção da biomassa (dispersa ou localizada) e sazonalidade.

Na **tabela 7** encontram-se listadas as principais fontes de biomassa, bem como suas vantagens e desvantagens.

Tabela 7 - Fontes de biomassa e suas vantagens e desvantagens

Fonte	Vantagens	Desvantagens
Resíduo Agrícola	Baixo custo	Dispersão geográfica e sazonal Logística duvidosa
Resíduo Industrial	Baixo Custo	Dispersão geográfica Logística duvidosa Heterogeneidade
Resíduos de parques e jardins	Baixo Custo	Dispersão geográfica e sazonal Logística problemática Heterogeneidade
Cultura energética dedicada	Produção localizada Homogeneidade Rastreabilidade Logística racional	Custo de obtenção Certa sazonalidade

Fonte: Mazzarella (2007)

Este estudo optou por utilizar uma cultura energética dedicada, pois ela apresentava algumas vantagens para o projeto em questão. Entre elas podemos citar: a racionalização do custo de transporte, pois seria muito custoso transportar grandes volumes de resíduos agrícolas até a usina; a homogeneidade da biomassa que é um fator importante para fabricação de briquetes; e; o controle sobre o fornecimento de biomassa. O cultivar escolhido para o projeto foi o capim-elefante cujas características serão bem detalhadas no próximo item.

4.3. Capim-elefante

O capim-elefante, cujo nome científico é *Pennisetum purpureum*, é uma gramínea forrageira descoberta em 1905 pelo coronel Napier na África Tropical que foi introduzida no Brasil em 1920, estando hoje difundida por todo o território

nacional (Lopes, 2004). Por ser uma gramínea perene, não precisa ser replantada após cada colheita e atinge de 3 a 5 metros de altura chegando a 2 cm de diâmetro. Suas principais características estão listadas na **tabela 8**. Sua utilização está muito associada com pastagem para gado, sendo sua utilização como forrageira para gado leiteiro objeto de extensos estudos da Embrapa.

Os primeiros estudos sobre sua utilização como fonte de biomassa energética datam de meados da década de 90 e tratavam inicialmente de sua utilização no setor siderúrgico e posteriormente no setor de geração de energia elétrica. Tal interesse é justificado por sua grande produtividade de biomassa decorrente de sua alta eficiência fotossintética. Esta produtividade fica aparente quando realizamos algumas comparações com outras fontes já consolidadas de biomassa conforme exposto na **tabela 9**.

Tabela 8 - Características agrônômicas do capim-elefante

Característica	Limites
Altitude	Desde o nível do mar até 2.200m (ideal limitar a 1.500m)
Temperatura	De 18° a 30 °C, sendo 24 °C uma boa temperatura. Alguns cultivares suportam temperaturas mais baixas e até geadas.
Precipitação	De 800 a 4.000mm anuais. A distribuição é importante, pois possui baixa tolerância a seca e 70 a 80% da produção de matéria ocorre na época das chuvas.
Radiação	Difícil de se saturar, mesmo em ambientes com elevada radiação. Possui alta eficiência fotossintética.
Solo	Adapta-se a diferentes tipos de solo não sujeitos a inundações.
Topografia	Cultivo possível em terrenos com declives de até 25% devido ao seu baixo controle da erosão do solo e a necessidade de mecanização da lavoura.
Produção	De 20 a 40 toneladas de matéria seca por hectare, podendo obter produtividades maiores com o aumento da adubação nitrogenada.
Fertilidade	Exigente em relação aos nutrientes e não tolera baixo pH e alumínio no solo.
Propagação	Poucas sementes são viáveis, portanto ela se dá por via vegetativa, utilizando-se colmos; possui valor cultural próximo a 30%.
Consórcio	Cultivo agressivo e de difícil consórcio com outras leguminosas; quando mantida a uma distância de 60cm, é possível o cultivo de outras leguminosas como soja, siratro, kudzu, etc.

Fonte: Elaborado pelo autor desta dissertação e adaptada de Lopes (2004).

Tabela 9 – Comparação de produtividade de energia por hectare

Fontes de Energia	Energia Produzida	Energia Produzida
	kcal/Kg	kcal/kg.ha por ano
Capim-elefante Carajás (Ex. Paraíso)	4.200	189.000.000
Capim <i>Brachiaria brizantha</i>	3.900	97.500.000
<i>Eucalyptus grandis</i>	4.641	92.820.000
Bagaço de cana	3.700	29.600.000

Fonte: Vilela e Cerize (2010)

Comparando com a produtividade de outras fontes de biomassa, como bagaço de cana-de-açúcar e o eucalipto, percebe-se que o capim-elefante é uma das fontes de mais alto potencial produtivo, e, além disso, se adapta muito bem às condições de cultivo existentes no Brasil. Como pode ser observado na **tabela 9**, a energia produzida por quilo de capim-elefante é pouco superior à do capim *Brachiaria* e à do Bagaço de cana, e chega até a ser inferior à do eucalipto (principal fonte atual de celulose e carvão vegetal). Contudo, quando analisamos a energia gerada por hectare (ha) anualmente, percebemos que ela é muito superior as demais. Isto se deve ao fato de que, enquanto o eucalipto produz até 20 toneladas de matéria seca por hectare por ano, estudos demonstram que o capim-elefante pode produzir entre 20 e 60 toneladas. Além disso, uma floresta de eucalipto necessita de sete anos para crescer até um nível em que seja possível utilizá-la como fonte de biomassa, enquanto a primeira colheita de capim-elefante pode ser feita após cento e oitenta dias (Vilela e Cerize, 2010).

Tais fatores fazem com que seja possível produzir uma grande quantidade de biomassa utilizando-se uma área menor, reduzindo os custos de plantio e formação (limpeza da área, conservação do solo, correção da acidez, preparo do solo e adubação). Esta redução é crucial para a viabilidade de expansão do cultivo do capim-elefante, pois atualmente um dos maiores empecilhos é justamente o custo de formação da área a ser plantada e a execução do plantio em si que utiliza técnicas mais dispendiosas (Vilela e Cerize, 2010).

4.4. Capim-elefante para fins energéticos

O capim-elefante como biomassa energética pode ser utilizado tanto para a geração de energia elétrica quanto para produção de briquetes, bastando para isso o gestor da usina termelétrica definir o destino da biomassa: enviá-la para a combustão para geração de energia elétrica, ou para a briquetadeira para produzir os briquetes. Identifica-se, portanto, uma opção de *switch output* muito importante na análise do projeto, pois a usina pode optar por vender o subproduto que estiver apresentando valor mais vantajoso no momento.

4.5. Capim-elefante para produção de energia elétrica

O processo de produção de energia elétrica a partir do capim-elefante pode ser resumido de forma bastante simplista na queima da biomassa em caldeiras, com conseqüente geração de energia térmica e produção de vapor que irá movimentar turbinas de geração elétrica. Entretanto existem algumas opções tanto na definição da biomassa que será comburida quanto no destino a ser dado à energia térmica gerada, sendo mister analisar a relação custo x benefício de cada opção, de forma a obter a combinação mais vantajosa para o projeto.

Analisando a **tabela 5** percebe-se uma vantagem quanto ao rendimento do Ciclo Combinado Integrado a Gaseificação da Biomassa, contudo, deve-se considerar que os custos deste processo, tanto de investimento quanto operacional, também são bastante superiores aos dos demais processos. A análise do custo-benefício de cada tecnologia passível de adoção faz essa escolha ser determinante para a rentabilidade do projeto.

4.6. Capim-elefante para produção de briquetes

Os briquetes são resultado de um processo de compactação de biomassa picada (maior que 50mm) na qual a elasticidade natural das fibras é destruída por meio da utilização de alta pressão e/ou alta temperatura. Com a destruição da elasticidade, a lignina atua como ligante das partículas da biomassa vegetal tornando o briquete próprio para estocagem e transporte (Vilela, 2010).

A queima de biomassa em forma de briquetes é um processo muito promissor, pois, segundo Vilela (2010), os briquetes possuem diversas vantagens frente à biomassa não compactada, dentre as quais podem ser destacadas:

- Homogeneização dos resíduos vegetais;
- Secagem e condensação da energia;
- Formas e granulometria mais adequadas ao processo térmico;
- Menor conteúdo de pó e menor geração de cinzas;
- Reduzido risco de explosão;
- Transporte e estocagem da biomassa mais fáceis;

Quanto à transformação da biomassa em briquetes, os fatores determinantes para escolha do equipamento a ser utilizado são o formato (cilíndrico ou quadrado) e o diâmetro final do produto, bem como a produtividade do equipamento (toneladas/hora).