

# Perspectivas do setor de biomassa de madeira para a geração de energia

André Carvalho Foster Vidal e André Barros da Hora

<http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>

## Perspectivas do setor de biomassa de madeira para a geração de energia

André Carvalho Foster Vidal  
André Barros da Hora\*

### Resumo

A biomassa de madeira responde atualmente por 8,7% da matriz energética mundial e 13,9% da brasileira. A oferta de biomassa florestal se dá por resíduos (florestais, industriais ou urbanos) ou plantações de florestas energéticas. Os resíduos florestais e industriais são a maior oportunidade no curto prazo, enquanto a oferta oriunda de plantações de finalidade exclusivamente energética ainda é incipiente e está restrita a alguns países, mas tem grande potencial de desenvolvimento no longo prazo, em especial no Brasil. A peletização diminui o teor de umidade da madeira e aumenta sua densidade, ampliando as possibilidades de comércio internacional, em face das diminuições do custo relativo do frete, de forma que o *pellet* de madeira é hoje a biomassa sólida para fins energéticos mais negociada no mundo. O maior desenvolvimento desse mercado está intrinsecamente

---

\* Respectivamente, administrador e gerente do Departamento de Indústria de Papel e Celulose da Área de Insumos Básicos do BNDES. Os autores agradecem as sugestões e os comentários de Roberto Zurli Machado, superintendente do BNDES.

relacionado a possíveis adoções de metas de redução de emissão de CO<sub>2</sub> por países desenvolvidos e em desenvolvimento e deve ser impulsionado no futuro por meio do desenvolvimento de tecnologias relacionadas a gaseificação, biorrefinarias e segunda geração de biocombustíveis.

## Introdução

### Estrutura do artigo

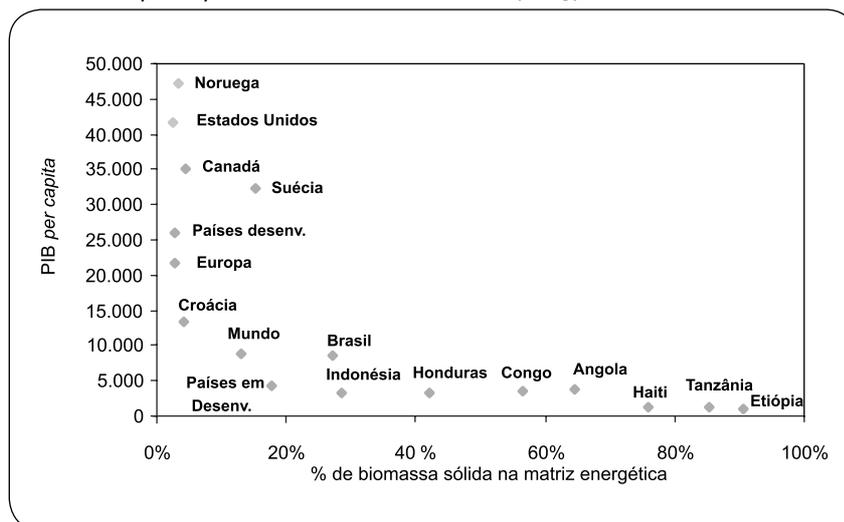
O presente artigo visa oferecer um panorama generalista sobre a utilização de biomassa de madeira para a geração de energia, abordando tanto aspectos globais quanto nacionais desse mercado. Como o tema é amplo (especialmente se forem consideradas todas as implicações relacionadas ao uso de produtos substitutos, que, nesse caso, seriam outras fontes de energias renováveis), o objetivo do artigo não é ser exaustivo em sua análise, mas sim contribuir para explicar os aspectos diretamente relacionados à utilização da madeira para a produção de energia, sobretudo em face de um mercado que tem se desenvolvido nos últimos anos: o de *pellets* de madeira.

A primeira seção apresenta um breve panorama do setor, enumerando as forças que estão dando novo impulso à utilização da madeira para a produção de energia. As principais características técnicas da biomassa de madeira, incluindo as principais rotas de conversão e de produção de bioenergia, são apresentadas na segunda seção. A seção seguinte analisa as fontes de madeira para energia segundo a origem: licor negro, resíduos florestais e industriais, florestas plantadas e resíduos urbanos. A quarta seção apresenta um panorama geral sobre o consumo de energia, segundo a fonte, apresentando o comportamento da utilização da biomassa e as diferenças entre o perfil nacional e o mundial, além de dados sobre a utilização de madeira para energia no Brasil. Na quinta seção, o mercado de *pellets* de madeira é apresentado em maiores detalhes, englobando oferta, demanda, logística e preços. A sexta seção aborda as perspectivas para o setor, inicialmente considerando todo o mercado de energia, para então analisar a biomassa de madeira e, mais especificamente, o mercado de *pellets* de madeira. Por fim, a sétima seção apresenta as principais conclusões.

## Aspectos gerais do mercado

Até o século XX, quando o petróleo se tornou disponível em larga escala, a biomassa de madeira era a fonte de energia mais importante para os seres humanos. Em meados de 1800, a biomassa (especialmente a de madeira) supriu mais de 90% da energia e do combustível dos Estados Unidos. Atualmente, em muitos dos países pobres do mundo, a madeira segue como principal fonte de energia para aquecimento e cocção. A importância da biomassa sólida dentro da matriz energética guarda forte correlação negativa com o grau de desenvolvimento do país (Gráfico 1).

Gráfico 1 | Porcentagem de biomassa sólida na matriz energética e PIB *per capita* medido em dólares PPP\* (2005)

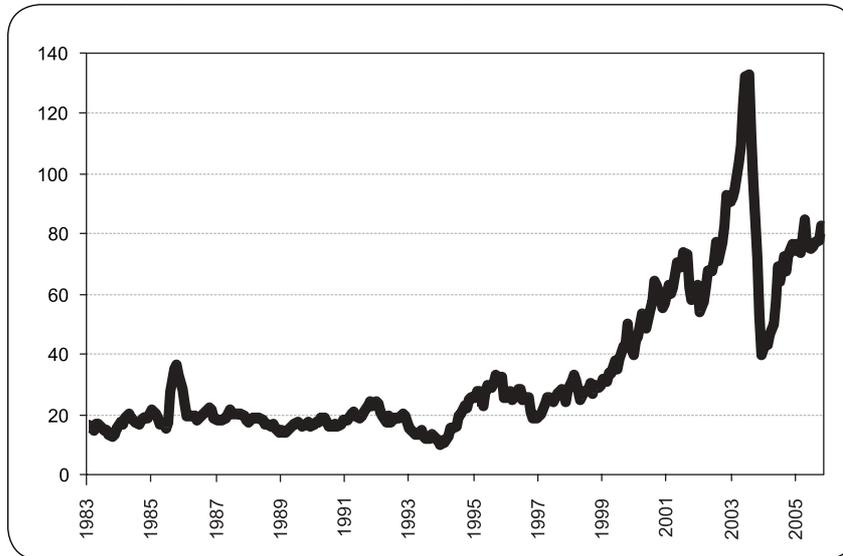


Fonte: World Resources Institute.

\* Refere-se a *purchasing power parity*, ou paridade de poder de compra. É um método alternativo à taxa de câmbio, que relaciona o poder aquisitivo com o custo de vida local.

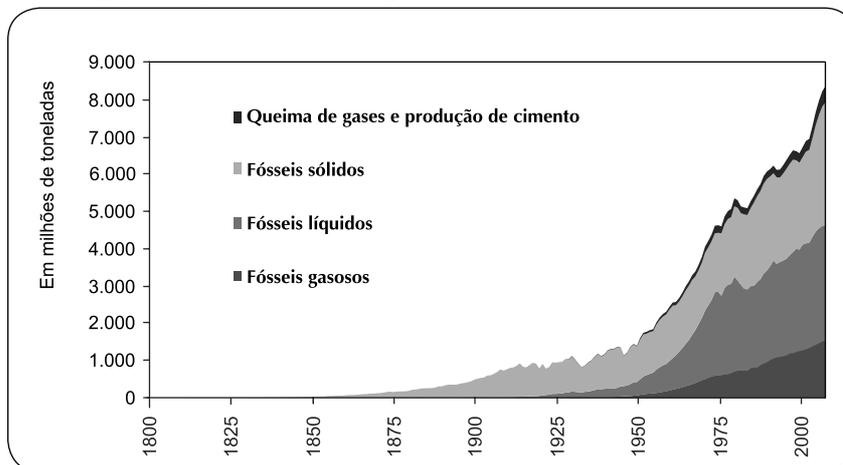
No entanto, o aumento dos preços do petróleo (Gráfico 2), a incerteza política dos principais países exportadores dessa *commodity* e o acréscimo de emissões dos gases causadores do efeito estufa (Gráfico 3) têm colocado a biomassa, incluindo a de madeira, no foco das atenções como uma importante fonte de energia. O desenvolvimento do mercado de *pellets* de

Gráfico 2 | Preço em US\$/barril do Brent spot



Fonte: U.S. Energy Information Administration.

Gráfico 3 | Evolução das emissões globais de CO<sub>2</sub>

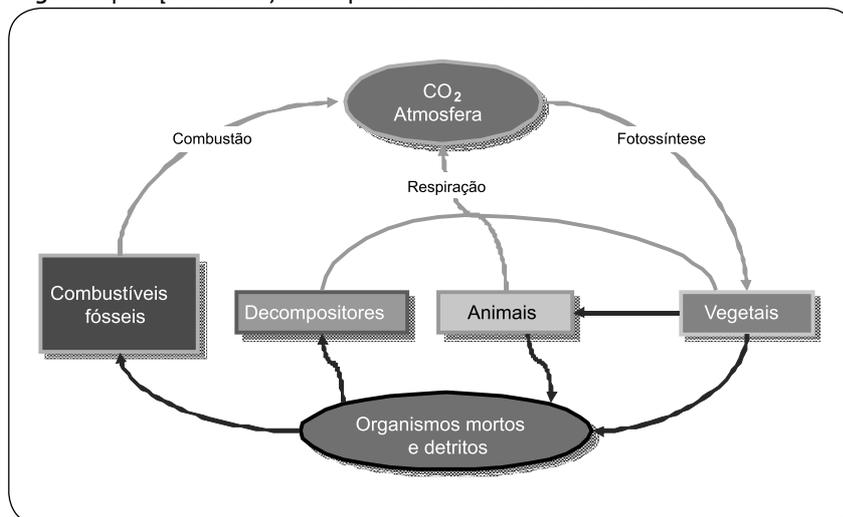


Fonte: CDIAC.

madeira está permitindo aumentar as trocas internacionais dessa biomassa, em especial em direção à Europa, o que deve ampliar sua importância na matriz energética dos países desenvolvidos. Porém, mesmo hoje, a biomassa de madeira tem um papel de destaque na oferta global de energia. Segundo a International Energy Agency (IEA), a biomassa de madeira responde por cerca de 8,7% da matriz energética mundial. É válido destacar as possíveis imprecisões ou mesmo a inexistência de dados, em função da dificuldade de contabilizar adequadamente a utilização da biomassa na obtenção de energia. Os prováveis erros estão ligados à abrangência do conceito de biomassa e à pulverização do consumo.

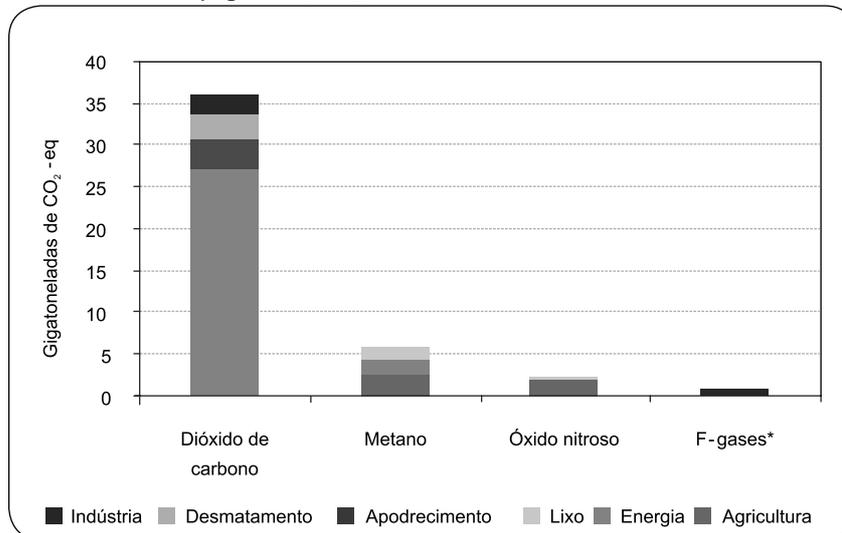
A biomassa é uma fonte de energia renovável e, se utilizada da maneira correta, pode ser também sustentável. O processo de renovação realiza-se pelo ciclo de carbono, em que as plantas capturam o  $\text{CO}_2$  da atmosfera (Figura 1). A utilização da biomassa de madeira torna-se sustentável quando a oferta do insumo se dá por meio de manejo florestal adequado ou de resíduos florestais, industriais ou urbanos. Entretanto, em muitos países em desenvolvimento, uma parcela da oferta de madeira ainda é oriunda de desmatamentos. Outro fator importante para a sustentabilidade do uso da biomassa como energia é a correta contabilização de todas as emissões de gases causadores do efeito estufa, ao longo de toda a cadeia, incluindo as rotas de conversão utilizadas.

Figura 1 | Esquematização simplificada do ciclo do carbono



Fonte: Elaboração BNDES.

**Gráfico 4 | Emissões mundiais de gases causadores do efeito estufa por fonte antropogênica (2005)**



Fonte: IEA (2008).

\*Inclui HFC, PFC e SF<sub>6</sub> de diversos setores, principalmente da indústria.

De acordo com a IEA, as emissões globais de gases causadores do efeito estufa atingiram 44,2 Gt de CO<sub>2</sub>-equivalente em 2005. Os principais gases associados ao efeito são o CO<sub>2</sub>, o CH<sub>4</sub> e o N<sub>2</sub>O, que, em termos de CO<sub>2</sub>-equivalente, são responsáveis por quase 99% dos gases antropogênicos de efeito estufa emitidos. Ainda segundo a IEA, a geração de energia, em todas as suas formas, é responsável por cerca de 64% de toda a emissão de gases do efeito estufa em termos de CO<sub>2</sub>-equivalente e por 84% do total de CO<sub>2</sub> emitido, o que pode ser atenuado pela produção de bioenergia, em especial na geração de eletricidade.

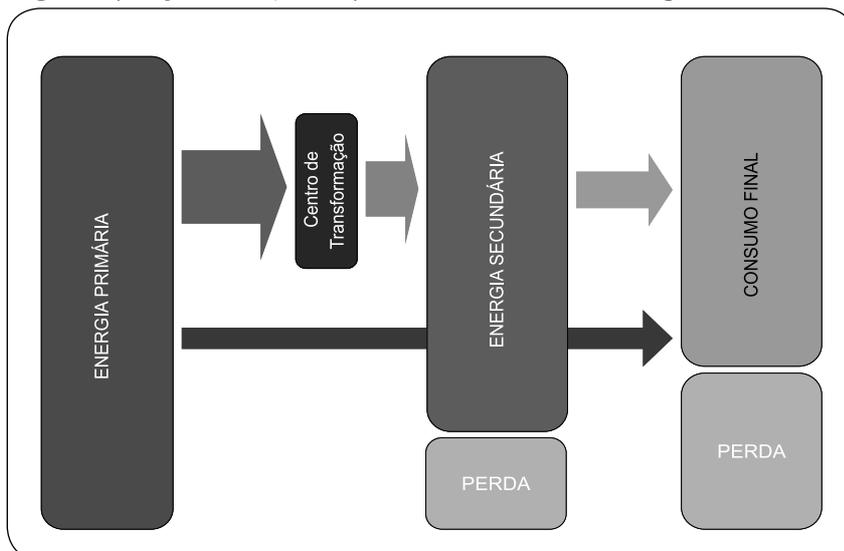
## Caracterização técnica

### Breve caracterização

Biomassa é todo material orgânico, não fóssil, que tenha conteúdo de energia química no seu interior, o que inclui todas as vegetações aquáticas ou terrestres, árvores, biomassa virgem, lixo orgânico, resíduos de agricultura, esterco de animais e outros tipos de restos industriais. A biomassa de madeira inclui todo o material da árvore: tronco, ramos, folhas, casca e raízes.

A energia com base na biomassa pode ser classificada em energia primária, existente no estado natural da biomassa, como na madeira e nos resíduos agrícolas, ou em energia secundária, existente no estado não natural da biomassa, como no carvão vegetal e na eletricidade. Em razão dos baixos níveis energéticos da biomassa em seu estado bruto, apenas pequena parte da energia primária é destinada ao consumo final. A maior parcela é consumida em centros de transformação, como refinarias e usinas, em que são convertidas em fontes secundárias e geralmente estão prontas ao consumo. Vale lembrar que, em todas as etapas de transformação, há perdas de parte do conteúdo energético existente. A perda total de energia é caracterizada pelo somatório das perdas existentes entre a forma primária e o consumo final, inclusive.

Figura 2 | Esquemática simplificada do consumo de energia



Fonte: Elaboração BNDES.

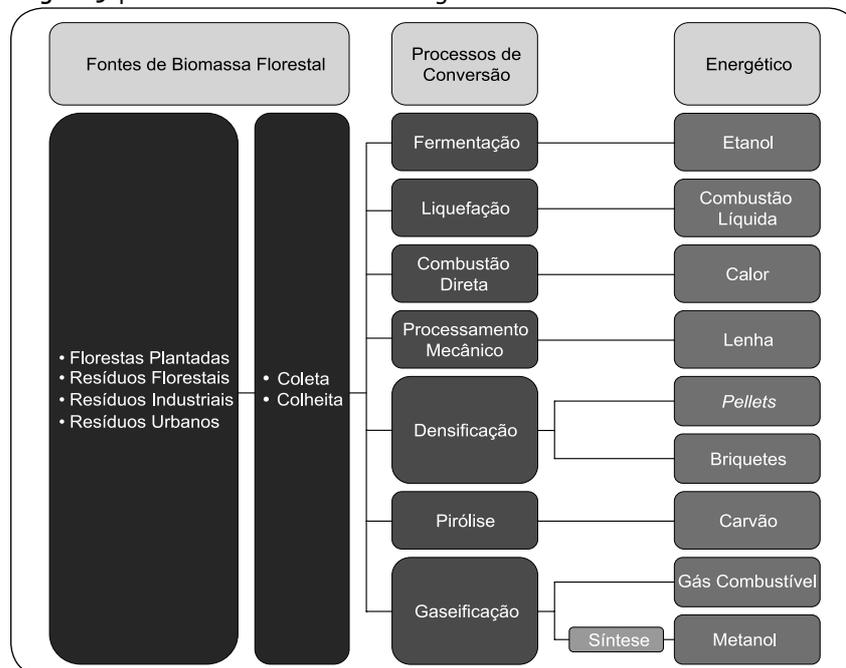
Segundo o Centro Nacional de Referência em Biomassa (Cenbio), é possível classificar a obtenção da energia da biomassa em duas categorias principais: (i) tradicional, em que é obtida por meio de combustão direta de madeira, lenha, resíduos agrícolas, resíduos de animais e urbanos, para cocção, secagem e produção de carvão; ou (ii) moderna, em que é obtida por meio de tecnologias avançadas de conversão, como na geração de eletricidade ou na produção de biocombustíveis.

### Rotas de conversão

Uma das principais vantagens técnicas da utilização da biomassa para a obtenção da energia é que, embora de eficiência reduzida, sua diversidade é grande e seu aproveitamento pode ser feito pela simples combustão em fornos e caldeiras. A transformação energética da biomassa de madeira está alicerçada nos processos físicos, químicos, termoquímicos e biológicos. A Figura 3 ilustra as possíveis vias de valorização energética da biomassa e seus principais produtos, que incluem não somente energia, mas também açúcares fermentáveis e os carburantes líquidos.

Os diferentes sistemas de conversão podem ser comparados em termos de eficiência energética, emissões de carbono e custo. A adequação de cada processo depende mais da infraestrutura existente e das condições de mercado do que das condições intrínsecas de cada processo. É importante contabilizar não somente o poder calorífico do produto final, mas também a quantidade de energia utilizada na obtenção da biomassa, no processo de conversão e no transporte do energético até sua utilização final.

Figura 3 | Processos de conversão energética da biomassa de madeira



Fonte: Elaboração BNDES, com base em Aneel (2005).

### *Fermentação*

Processo biológico anaeróbio em que os açúcares são convertidos em álcool por meio da ação de micro-organismos, usualmente leveduras. Em geral, as matérias-primas para a conversão são vegetais como a batata, o milho, a beterraba e, principalmente, a cana-de-açúcar. Em termos energéticos, o produto final é composto de etanol e, em menor proporção, de metanol, sendo utilizado como combustível (puro ou adicionado à gasolina) em motores a combustão. No caso da madeira, esse processo apresenta maior potencial na aplicação da segunda geração de biocombustíveis.

### *Liquefação*

Transformação da biomassa sob pressão e temperatura altas (entre 400°C e 600°C) em produtos majoritariamente líquidos. A liquefação pode ser feita diretamente, por meio de atmosfera redutora de hidrogênio ou mistura de hidrogênio e monóxido de carbono (espécie de pirólise), ou indiretamente, por meio da gaseificação com catalisador, obtendo-se metanol.

### *Combustão direta*

É a transformação da energia química dos combustíveis em calor por meio de reações dos elementos constituintes com o oxigênio. Para fins energéticos, a combustão direta ocorre essencialmente em fogões (cozimento de alimentos), fornos (metalurgia) e caldeiras (geração de vapor). Embora prático, o processo de combustão direta é ineficiente para os principais combustíveis, pela existência de elevada umidade intrínseca (20% ou mais no caso da lenha) e da baixa densidade energética (lenha, palha e resíduos), o que também dificulta o transporte e o armazenamento em razão da necessidade de grandes volumes para a geração contínua de energia.

### *Processamento mecânico*

Processamento mecânico é o método mais simples e o mais antigo entre os que foram apresentados. Consiste no corte ou no tritramento da madeira, com a manutenção de sua forma bruta.

### *Densificação*

Basicamente, o processo de densificação de biomassa consiste na aplicação de pressão a uma massa de partículas com ou sem a adição de ligantes ou

tratamento térmico. No caso de densificação de biomassa de madeira, muitas vezes não é necessária a adição de ligantes, pela presença da lignina. No entanto, isso depende do teor de lignina do *mix* de madeira utilizado na produção.

Entre os processos mais comuns de densificação, estão a briquetagem e a peletização. Embora o poder calorífico, a umidade e as características químicas sejam muito semelhantes entre os dois produtos, a densidade é maior nos *pellets*. Por causa de suas dimensões reduzidas (cerca de 6 mm x 25 mm, em comparação com 80 mm x 90 mm dos briquetes), os *pellets* podem ser operados em sistemas automatizados, o que constitui importante vantagem.

A densificação pode ser feita com toras de madeira, mas é mais amplamente utilizada com resíduos industriais. Se feito com toras de madeira, o processo produtivo torna-se mais complexo, pela adição de descasque, corte e secagem. Resíduos requerem menos preparação, pois são menores, livres de casca e, geralmente, estão mais secos.

Segundo o European Biomass Industry Association (Eubia), a elevada densidade energética dos *pellets* permite que os sistemas de aquecimento obtenham autonomias equivalentes a sistemas com óleo de fontes de energia fóssil, de forma que 3,5 m<sup>3</sup> de pellets de madeira substituem 1 m<sup>3</sup> de óleo. Se fosse utilizada a madeira em sua forma bruta, com 50% de teor de umidade, seriam necessários 7 m<sup>3</sup>.

#### *Pirólise*

Também chamada de carbonização, a pirólise é um dos mais antigos processos de conversão de um combustível (normalmente lenha) em outro de melhor qualidade e conteúdo energético (carvão, essencialmente). O processo consiste no aquecimento do material original (normalmente entre 300°C e 500°C) na quase ausência de oxigênio até que o material volátil seja retirado. Estima-se que o produto final tenha uma densidade energética duas vezes maior que a do material de origem, podendo ser utilizado em temperaturas muito mais elevadas. Além do gás combustível, a pirólise também produz o alcatrão e o ácido pirolenhoso.

A relação entre a quantidade de lenha e de carvão varia conforme as características do processo e o teor de umidade do material de origem. Em geral, são necessárias de quatro a 10 toneladas de lenha para a produção de uma tonelada de carvão, embora nos processos mais

sofisticados, com controle de temperatura e coleta do material volátil, a proporção chegue a 30% do material de origem.

### *Torrefação*

A torrefação é semelhante à pirólise, que produz o carvão vegetal, de modo que a madeira torrificada ou torrefeita é um produto intermediário entre a madeira seca e o carvão vegetal. É um processo termoquímico lento (30 a 90 minutos), com a temperatura variando entre 200°C e 300°C na ausência de oxigênio. A torrefação muda as propriedades da biomassa: a hemicelulose volatiliza, e a massa resultante torna-se hidrofóbica, uma importante melhora para o transporte. O processo volatiliza os compostos orgânicos da madeira, perdendo alguma energia, mas aumentando a densidade energética da massa resultante. Em uma torrefação típica, 70% da massa permanece como produto sólido, com 90% da energia inicial, e 30% é formado por gases que contêm apenas 10% do conteúdo energético da biomassa. Além da possibilidade da melhoria das propriedades energéticas, espera-se ainda que o produto da torrefação da madeira seja mais facilmente fragmentável, por causa da redução da sua resistência físico-mecânica, o que é desejável, na hipótese da transformação do material para a forma pulverizada, como na fabricação de *pellets* e briquetes.

### *Gaseificação*

A gaseificação é um processo de conversão de combustíveis sólidos ou líquidos em gasosos por meio de reações termoquímicas envolvendo vapor quente e oxigênio em quantidades inferiores ao mínimo necessário à combustão. O gás resultante é uma mistura de monóxido de carbono, hidrogênio, metano, dióxido de carbono e nitrogênio, cujas proporções variam de acordo com as condições do processo. Algumas variações produzem uma mistura gasosa conhecida como gás de síntese, rica em hidrogênio e monóxido de carbono, que pode ser usada para a obtenção de qualquer hidrocarboneto. De forma geral, o gás produzido tem várias aplicações práticas, desde a queima em motores a combustão interna e turbina a gás até a geração direta de calor. Além disso, serve também como matéria-prima na obtenção de combustíveis sintéticos, tais como diesel, gasolina, metanol, etanol, amônia e hidrogênio.

### Características da biomassa sólida florestal

A composição química da madeira varia muito, de acordo com sua espécie (Tabela 1). Os principais elementos químicos da madeira são o carbono (50%), o hidrogênio (6%), o oxigênio (45%), o nitrogênio (0,1% a 1%) e as cinzas (cálcio, potássio e magnésio). Esses componentes orgânicos da madeira formam, em grande parte, a celulose, as hemiceluloses (polioses), a lignina, pequenas quantidades de pectina e outros extrativos. A grande versatilidade de uso da biomassa de madeira no setor inclui desde a produção de energia até a fabricação de móveis, chapas, celulose e papel.

Tabela 1 | Composição química da madeira em porcentagem de seu peso seco

Tipo	Celulose	Lignina	Hemiceluloses	Outros
Conífera	40 a 44	19 a 33	25 a 29	2 a 8
Folhosa	43 a 47	13 a 31	25 a 35	1 a 5

Fonte: Elaboração BNDES, com base em ABTCP (2010).

Os avanços tecnológicos decorrentes da própria expansão do setor permitiram que, hoje, fossem utilizadas espécies para finalidades específicas. Entre os critérios técnicos considerados nesse contexto, é fundamental a classificação das espécies por sua composição química. Dessa forma, o Brasil dispõe hoje de alternativas lenhosas mais adequadas, por exemplo, para produção de carvão vegetal, que requer um teor de lignina significativamente superior à das espécies apropriadas para fabricação de celulose, dado o maior poder calorífico desse componente.

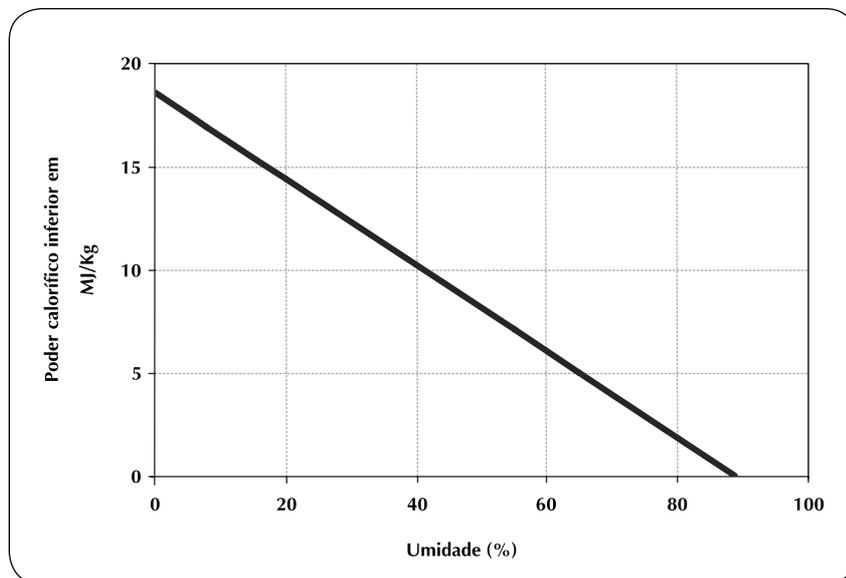
Tabela 2 | Poder calorífico de alguns combustíveis

Lenhoso	Combustível				
	kcal/kg	Fóssil	kcal/kg	Gasoso	kcal/m <sup>3</sup>
Celulose	3.300	Turfa	3.439	Gás natural	8.622
Lignina	3.797	Coque	7.308	Propano	21.997
Amido/açúcar	3.797	Óleo pesado	9.649	Butano	28.446
Carbono puro	4.394	Óleo leve	10.055		
Casca	4.991	Óleo diesel	10.750		
Madeira	5.995	Petróleo	10.800		
Lenha	6.800				
Carvão vegetal	8.049				

Fonte: Renabio (2004).

As propriedades físicas mais importantes para a biomassa sólida florestal são a umidade residual e a densidade energética. A baixa densidade energética da biomassa sólida, em comparação com o petróleo e o carvão mineral, resulta em custos elevados de transporte e armazenamento. Já o conteúdo de umidade influencia significativamente a qualidade de combustão e o poder calorífico da biomassa. Umidade pode ser definida como a medida de quantidade de água livre na biomassa, que pode ser avaliada pela diferença entre os pesos de uma amostra, antes e logo após ser submetida a secagem. A presença de água na madeira representa a redução do poder calorífico, em razão da energia necessária para evaporá-la. Além disso, se o teor de umidade for muito variável, o controle do processo de combustão pode se tornar difícil. O Gráfico 5 mostra que, para uma umidade de zero, o poder calorífico da madeira é de aproximadamente 18,5 MJ/kg. Esse valor chega a zero quando a umidade é de 88%. Normalmente, a umidade da tora de madeira após o corte é de 50% ou mais.

Gráfico 5 | Poder calorífico da biomassa de madeira como função da umidade



Fonte: Elaboração BNDES, com base em FAO (2004).

## Produção de bioenergia

A eficiência energética da queima da biomassa sólida depende do sistema de conversão empregado. Para uso residencial, segundo a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), a queima direta converte apenas 5% do potencial energético da madeira. Já sistemas de forno tradicionais elevam esse valor para 36%, e a produção de carvão vegetal tem eficiência entre 44% e 80%. Os modernos fornos de *pellet* entregam 80% de eficiência em usos residenciais.

Para escala industrial, uma ampla gama de sistemas está disponível para uso ou em fase avançada de desenvolvimento. Tais sistemas incluem caldeiras, tecnologias de cogeração e, com maior potencial no longo prazo, sistemas de gaseificação.

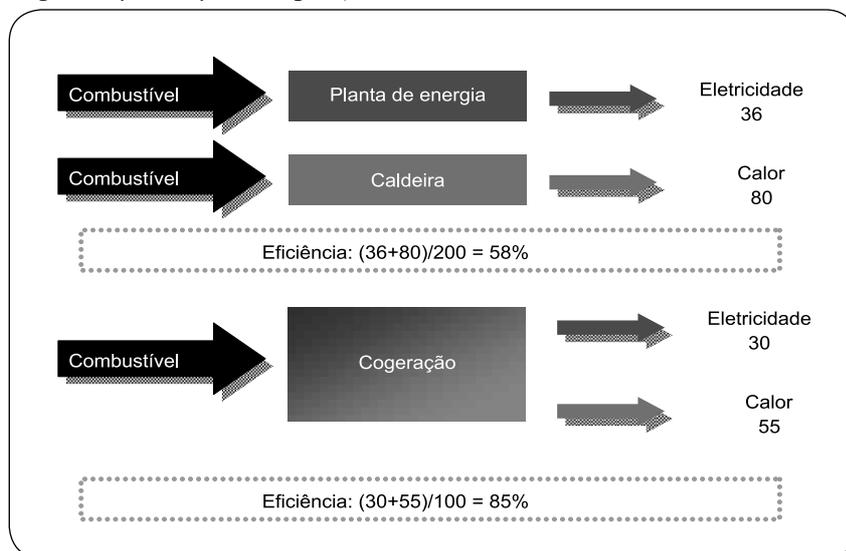
Caldeiras que geram calor podem produzir vapor, que, por sua vez, pode ser utilizado tanto na geração de energia quanto nos processos industriais. Segundo a FAO, a eficiência dos sistemas de turbina a vapor é de cerca de 40%.

É mais comum que as rotas tecnológicas estejam associadas a processos de cogeração, em que a produção mecânica é também utilizada para o acionamento de um gerador de energia elétrica, o que proporciona maior aproveitamento energético e importante estímulo econômico aos investimentos (Figura 4). Segundo a Eubia, nos mais modernos processos a eficiência energética chega a 85%.

Existe também a figura da cocombustão, em que diversos combustíveis são queimados juntos para produzir energia. Também conhecido por coqueima ou coutilização, esse processo é um meio viável e utilizado de queima de biomassa, que pode ser aplicado na infraestrutura existente de plantas de carvão mineral ou gás, com uma proporção de 3% a 20% de biomassa no total queimado.

A gaseificação, por sua vez, é a tecnologia de maior potencial, havendo alguns exemplos de plantas em atividade comercial. Embora ainda seja afetada por sua complexidade e alto custo, a expectativa é de que em 10 ou 20 anos seja a principal tecnologia para a conversão da biomassa, prometendo maior eficiência, viabilidade econômica em pequenas e grandes escalas e menor nível de emissões, em comparação com outras tecnologias.

Figura 4 | Princípio da cogeração



Fonte: Eubia.

Em outra vertente de aplicação da biomassa para a geração de energia, no setor de transporte, a primeira geração de biocombustíveis mostrou-se bem-sucedida, sendo amplamente utilizada na forma do etanol de amido e açúcar e do biodiesel de oleaginosas e gorduras animais. Apesar de ser uma rota tecnológica e economicamente viável, um dos problemas associados é a considerável variabilidade dos custos de produção, ligados à escala da planta produtiva e à grande volatilidade nos preços dos insumos. Não menos importante, a primeira geração de biocombustíveis defronta-se com questões sociais e ambientais latentes, ligadas à concorrência com culturas voltadas à produção de alimentos e a mudanças no padrão de utilização da terra, que, porém, vêm sendo mitigadas ou minimizadas por meio de regulamentos e certificações, bem como pelo desenvolvimento dos biocombustíveis de segunda geração.

Nesse sentido, a produção dos biocombustíveis de segunda geração promete ser dissociada da produção de alimentos. Originada de compostos celulósicos de resíduos orgânicos e florestais e plantios de alto rendimento, como o eucalipto, a segunda geração de biocombustíveis apresenta alto potencial na produção de etanol, diesel sintético e combustível de aviação, embora ainda seja imatura e necessite de maior desenvolvimento e

investimento para a operação comercial. Segundo a FAO, essa tecnologia só estará disponível para aplicação em escala comercial dentro de 10 a 15 anos.

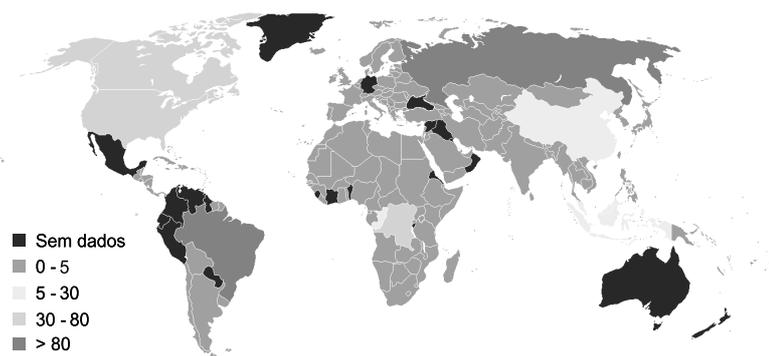
Um conceito interessante para um futuro próximo é o das biorrefinarias, em que se produzem não somente calor e energia, mas também combustíveis líquidos e produtos industriais. Em muitos casos, modernas plantas de celulose já são produtoras líquidas de calor e energia e podem ser descritas como protótipos de biorrefinarias.

## Oferta

### Aspectos gerais

A disponibilidade de madeira no mundo é desigual (Figura 5). Segundo dados da FAO, em 2005 a produção de madeira destinada a energia foi de 1,8 bilhão de m<sup>3</sup>. Os maiores produtores são a Índia (306 milhões de m<sup>3</sup>), a China (191 milhões de m<sup>3</sup>) e o Brasil (138 milhões de m<sup>3</sup>). Em países desenvolvidos, a produção de madeira destinada a energia só é relevante naqueles em que existe uma forte presença na economia de produtos de origem madeireira (em especial, pelo uso do licor negro na indústria de celulose e pelo uso de *pellets* de madeira, como resíduos da produção industrial). Os mais importantes são os Estados Unidos, o Canadá, a Suécia e a Finlândia.

Figura 5 | Volume de madeira no mundo em 2005 (em bilhões de m<sup>3</sup>)



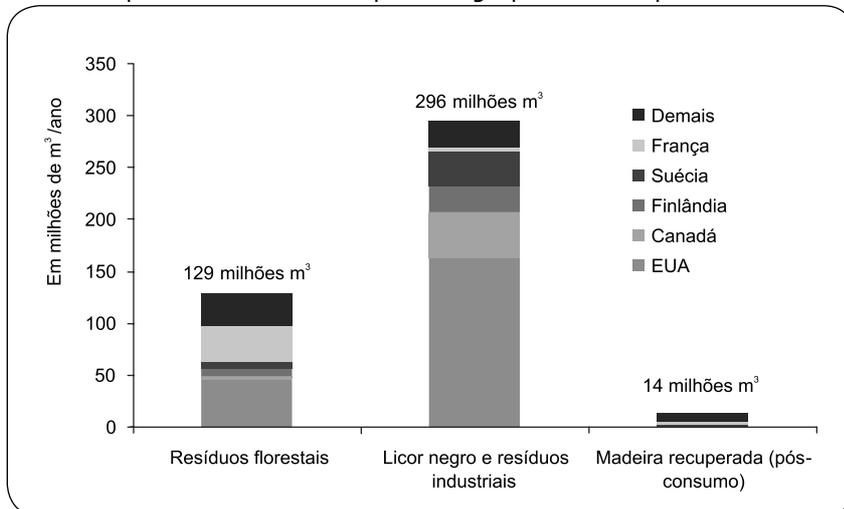
Fonte: FAO (2008a).

Nos países da OCDE,<sup>1</sup> a maior fonte de biomassa de madeira para energia é proveniente de resíduos industriais, com 67,4% do total, seguido dos resíduos florestais, com 29,4%. Os resíduos pós-consumo representam somente 3,2% do total.

No curto prazo, ainda segundo a FAO, os resíduos florestais são a maior oportunidade como insumo de biomassa de madeira no mundo, por causa de sua disponibilidade, relativo baixo custo e a proximidade de unidades produtivas das florestas plantadas. Já a oferta oriunda de plantações de finalidade exclusivamente energética ainda é incipiente e está restrita a alguns países, mas tem grande potencial de desenvolvimento no longo prazo, em especial no Brasil.

Nos últimos anos, vem ocorrendo uma crescente oferta de *pellets* de madeira oriunda de resíduos, o que será analisado com maior detalhamento no item sobre o mercado de *pellets* de madeira.

Gráfico 6 | Biomassa de madeira para energia por fonte, em países da OCDE



Fonte: FAO (2008b).

<sup>1</sup> Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico, formada, principalmente, por países com economias de alta renda e alto Índice de Desenvolvimento Humano (IDH).

## Licor negro

O principal subproduto utilizado como fonte de energia na indústria madeireira é o licor negro. Sua produção origina-se dos produtos químicos e da lignina componente da madeira no processo de polpação química, na fabricação de celulose, sendo queimado em uma caldeira de recuperação de químicos para a produção de vapor e eletricidade.

Por ser o licor negro um subproduto do setor de celulose, sua oferta está condicionada ao desempenho dessa indústria. No mundo, destacam-se como principais produtores Estados Unidos, China, Canadá, Brasil, Suécia, Finlândia e Japão.

No Brasil, segundo dados do Banco de Informações de Geração (BIG) da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), existem 14 usinas de licor negro no país, com uma capacidade instalada de 1.240.798 kW, ou 1,11% da capacidade total brasileira. Esse valor é bem superior à capacidade instalada de usinas que utilizam apenas a madeira, de 302.627 kW, ou 0,27% do total. Entre as fontes de biomassa, é válido destacar a grande utilização do bagaço de cana-de-açúcar, com 5,43% da capacidade instalada no país e 78,6% do total de biomassa.

## Resíduos florestais e industriais

É importante frisar que, pela proximidade das florestas com as indústrias de base florestal, decorrente da importância que o frete tem no custo da madeira, muitas das estatísticas e das informações a respeito da oferta de resíduos florestais e industriais se confundem.

Segundo a FAO, muitos países não têm a clara percepção da quantidade de biomassa que pode ser coletada das operações florestais em andamento. A maior parte desse material consiste de galhos deixados na floresta durante o processo de corte e colheita. A Tabela 4 mostra que, ao longo da cadeia produtiva, em florestas plantadas, somente de 30% a 40% do volume total da árvore será efetivamente processada. Do total da biomassa disponível na floresta, de 10% a 20% constituem-se de galhos, ponteiros, raízes e troncos sem valor. Das toras destinadas ao uso industrial, de 24% a 36% se transformarão em produtos comerciais, sendo o restante composto de resíduos como casca, fuligem, chips sem uso comercial e outros resíduos madeireiros.

Tabela 3 | Capacidade instalada no Brasil em dezembro de 2010, por fonte de energia

<b>Empreendimentos em operação</b>			
<b>Tipo</b>	<b>Número de usinas</b>	<b>Potência fiscalizada (kW)</b>	<b>%</b>
<b>Hidrelétrica</b>	<b>878</b>	<b>80.305.678</b>	<b>72,15</b>
<b>Termelétrica</b>	<b>1.383</b>	<b>28.161.680</b>	<b>25,3</b>
<i>Combustíveis fósseis</i>	968	19.476.499	17,5
Gás natural	93	11.050.614	9,93
Óleo diesel	829	4.003.028	3,6
Óleo combustível	28	2.392.803	2,15
Carvão mineral	9	1.594.054	1,43
Gás de refinaria	8	305.000	0,27
Óleo ultraviscoso	1	131.000	0,12
<i>Biomassa</i>	387	7.698.391	6,92
Bagaço de cana-de-açúcar	315	6.049.646	5,43
Licor negro	14	1.240.798	1,11
Resíduos de madeira	36	302.627	0,27
Biogás	11	48.712	0,04
Casca de arroz	7	31.408	0,03
Carvão vegetal	3	25.200	0,02
Capim-elefante	1	0	-
<i>Outros</i>	28	986.791	0,89
Gás de alto-forno	13	294.655	0,26
Gás siderúrgico	1	278.200	0,25
Efluente gasoso	2	211.320	0,19
Gás de processo	6	145.420	0,13
Enxofre	5	56.688	0,05
Outros	1	508	0
<b>Termonuclear</b>	<b>2</b>	<b>2.007.000</b>	<b>1,8</b>
<b>Eolielétrica</b>	<b>46</b>	<b>835.336</b>	<b>0,75</b>
<b>Solar fotovoltaica</b>	<b>4</b>	<b>86</b>	<b>0</b>
<b>Total</b>	<b>2.313</b>	<b>111.309.780</b>	<b>100</b>

Fonte: Aneel.

Tabela 4 | Operações florestais e geração de resíduos (% da tora em pé)

<b>Operação</b>	<b>Florestas nativas</b>		<b>Florestas plantadas</b>	
	<b>Produto</b>	<b>Resíduo</b>	<b>Produto</b>	<b>Resíduo</b>
Corte	30-40	60-70	80-90	10-20
Processamento primário e secundário	10-20	10-20	30-40	40-50
<b>Total</b>	<b>10-20</b>	<b>80-90</b>	<b>30-40</b>	<b>60-70</b>

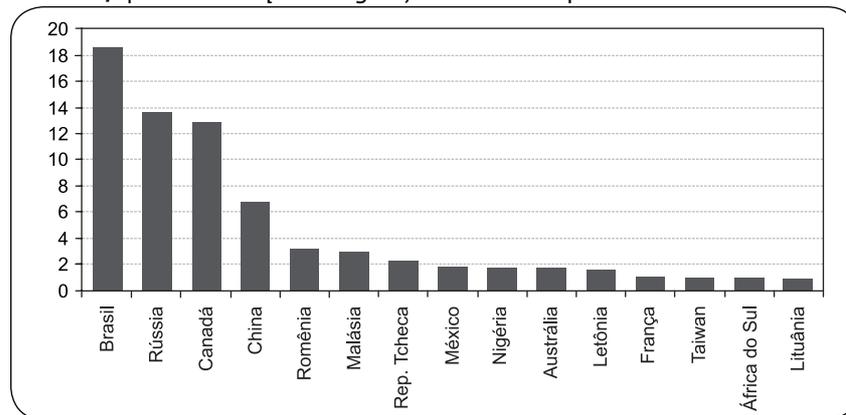
Fonte: FAO (2007).

Ainda segundo a FAO, em muitos países em desenvolvimento o excesso de resíduos de origem madeireira em plantas industriais não é utilizado, causando problemas ambientais ao afetar a qualidade da água e do ar. Em Camarões, por exemplo, somente os resíduos madeireiros de plantas industriais seriam suficientes para atender à demanda energética do país. De acordo com estimativas da FAO, ao incluir nessa conta os resíduos florestais, o país seria capaz de produzir energia suficiente para atender cinco vezes à sua demanda atual. O volume de resíduos florestais deixados nas operações de corte e colheita em florestas tropicais é de três a seis vezes o gerado na indústria.

No entanto, nem toda a biomassa disponível deve ser retirada da floresta. Como os resíduos florestais são necessários para manter o solo em condições apropriadas, é importante avaliar a relação custo-benefício do nível de extração de biomassa das florestas, frente às condições do terreno, ao custo de adubagem, ao tratamento do solo e ao valor da biomassa. O potencial de coletar biomassa durante o manejo também depende do nível de mecanização do processo e do relevo do terreno.

Segundo a IEA, o potencial de geração de resíduos de biomassa pela indústria de madeira no mundo é de cerca de 300 milhões de m<sup>3</sup> por ano. Cinco países (Estados Unidos, Canadá, China, Brasil e Rússia) concentram mais de dois terços desse total. No entanto, ao subtrair a demanda por fibra da indústria de painéis de madeira, o potencial líquido reduz-se a 80 milhões de m<sup>3</sup>. A maior parte desse potencial concentra-se no Brasil, na Rússia e no Canadá.

**Gráfico 7 | Potencial líquido de geração de resíduos pela indústria madeireira**



Fonte: IEA (2007).

Segundo a Aneel, a oferta potencial de energia oriunda de resíduos da madeira no Brasil é concentrada nas regiões Sul e Sudeste do país (considerando apenas os resíduos do preparo da madeira). Os estados brasileiros com maior potencial de aproveitamento são Paraná e São Paulo, com um potencial de geração entre 27,53 MW e 82,9 MW. No entanto, a oferta de resíduos de madeira está muito atrás da do bagaço de cana-de-açúcar, que também pode ser aproveitado na fabricação de *pellets*, bem como na geração de eletricidade, principalmente em sistemas de cogeração. Somente no estado de São Paulo, a estimativa de potencial de geração de energia elétrica é de 2.244,33 MW. Além da atividade sucroalcooleira, as demais atividades agrícolas também representam importante fonte potencial de resíduos.

Já segundo a consultoria STCP, o potencial de geração de resíduos de madeira no Brasil é de 30 milhões de m<sup>3</sup> anuais. As principais fontes geradoras são a indústria madeireira (91% ou 27 milhões de m<sup>3</sup>), a poda urbana (6% ou 2 milhões de m<sup>3</sup>) e a indústria de construção civil (3% ou 1 milhão de m<sup>3</sup>).

### Resíduos urbanos

Os resíduos urbanos são os resíduos sólidos gerados nos ambientes doméstico e comercial. Portanto, englobam domicílios, escritórios, escolas, hotéis, restaurantes, varredura e podas urbanas, entre outros. Podem ser definidos como resíduo urbano ou lixo os restos das atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis.

Esse tipo de resíduo é constituído de matéria orgânica – como restos de alimentos, galhos e folhas de árvores –, bem como material inorgânico – incluindo embalagens, vasilhames e entulhos –, todos eliminados no cotidiano. O destino desses resíduos podem ser os aterros sanitários, as usinas de reciclagem ou a incineração. O tratamento de alguns tipos de lixo permite a recuperação de materiais que podem ser reciclados e a produção de compostos fertilizantes. Em geral, os métodos de conversão energética são os seguintes: a queima, a gaseificação e a biodigestão em aterros sanitários.

Mesmo nos países desenvolvidos, é pequena a utilização de resíduos de biomassa madeireira oriundos de resíduos urbanos (Gráfico 6). Infelizmente, existem poucos dados a respeito do potencial de geração de biomassa de madeira com base em resíduos urbanos no Brasil. Por causa de dificuldades

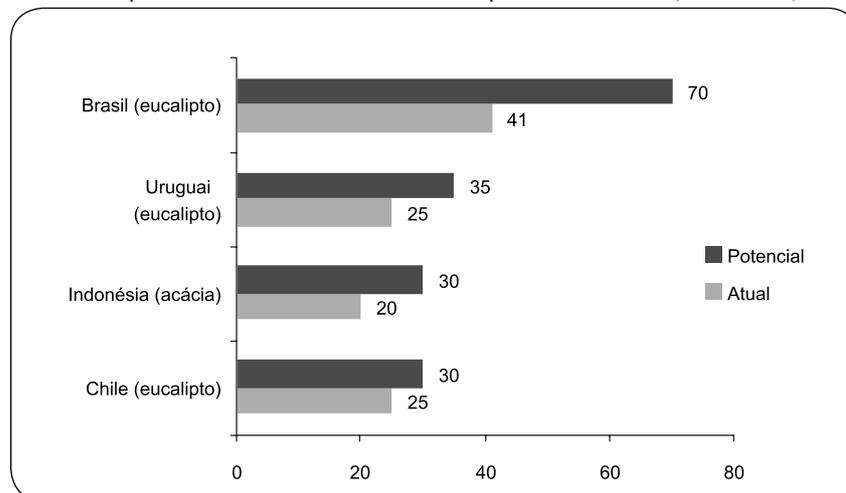
de logística reversa, os esforços no Brasil ainda se concentram na reciclagem de itens mais volumosos no montante produzido de lixo, como papel ou plástico.

### Florestas energéticas

O conceito de floresta energética não é novo. O uso de florestas plantadas dedicadas à produção de biomassa para energia existe há muito tempo em diversos países, ainda que a maior parte desses plantios seja pequena, use pouca tecnologia e tenha seu foco no atendimento à demanda local.

O Brasil é um dos poucos países em que existem florestas energéticas em larga escala, principalmente pela excepcional produtividade dessas florestas. Na última década, o setor florestal experimentou um salto tecnológico surpreendente, que resultou no aprimoramento de técnicas de implantação, manejo e exploração. O Brasil passou a ter uma das melhores produtividades do mundo com relação a florestas de eucalipto (Gráfico 8). Todo esse desenvolvimento qualifica o país para a exploração de florestas plantadas, por meio do aproveitamento da sua biomassa, sem promover o desflorestamento.

**Gráfico 8 | Produtividade das florestas de rápido crescimento (m<sup>3</sup>/ha/ano)**



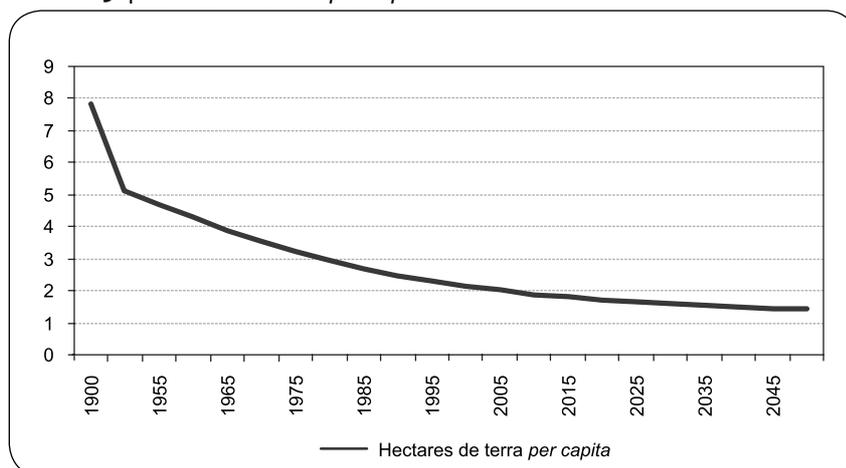
Fontes: Bracelpa (2010) e Pöyry (2010).

Uma vantagem do uso de florestas energéticas, em lugar de outra cultura, é a não obrigatoriedade de colher o produto anualmente. Assim, o corte pode ser postergado ou adiantado de acordo com as condições de mercado, reduzindo a volatilidade no preço da madeira. Outro diferencial é o múltiplo uso da madeira (como serrarias, indústria de painéis de madeira e carvão vegetal), que possibilita ao produtor vender o produto ao mercado mais atraente, quando a logística permitir, maximizando sua rentabilidade. Como desvantagem, destaca-se o grande peso relativo do frete no custo total da madeira, o que faz com que as plantas industriais de celulose ou painéis de madeira tenham de se situar a um raio médio máximo de 150 km das florestas.

No entanto, ofertar biomassa de madeira por meio de plantios energéticos implica dois custos que a oferta de resíduos não tem: custo da terra e custo de produção (mão de obra, mudas, adubos e colheita, entre outros). E o custo de aquisição de terras tem apresentado uma forte tendência de elevação no Brasil.

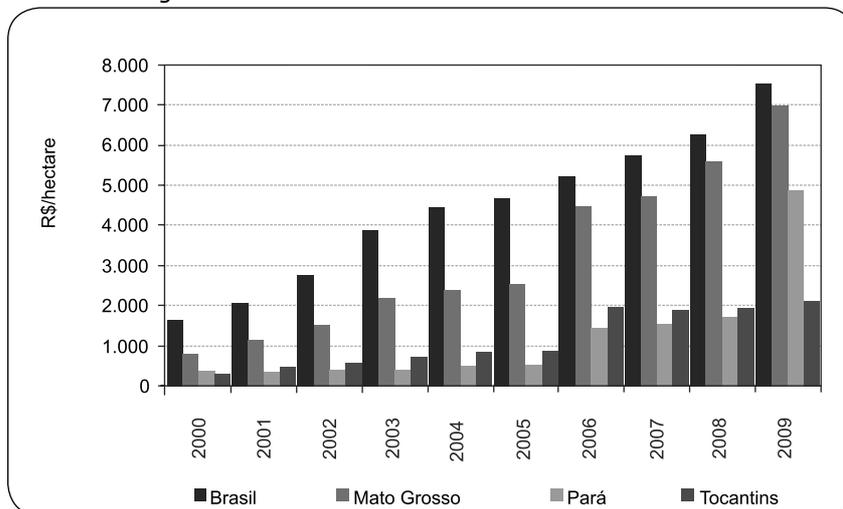
Essa é uma tendência global, deflagrada pela competição por terra para a produção de alimentos, bioenergia e madeira. O aumento da população mundial (Gráfico 9) e a melhoria de renda em países em desenvolvimento, como Brasil e China, são tendências que exacerbam esse conflito.

Gráfico 9 | Hectares de terra *per capita*



Fonte: Elaboração BNDES, com base em dados de United Nations e World Bank.

**Gráfico 10 | Evolução do preço de venda de terra de lavoura no Brasil e em alguns estados selecionados**



Fonte: Elaboração BNDES, com base em FGV Dados.

No Brasil, a inflação do preço da terra acentuou-se na última década. De acordo com a Fundação Getúlio Vargas (FGV), o preço de venda de terra no Brasil, entre 1994 e 2009, aumentou, em média, entre 10,7% e 12,7% a.a., dependendo do uso.<sup>2</sup> Entre 2000 e 2009, esse índice de inflação variou entre 17,8% a.a. e 20,7% a.a. Analisando a evolução dos preços estaduais na última década, é possível encontrar elevações ainda mais acentuadas, como no caso do Pará (32,2% a.a.), de Mato Grosso (26,8% a.a.) e de Tocantins (26,5% a.a.). No Paraná, no segundo semestre de 2009, o preço médio de venda de um hectare para lavoura foi de R\$ 14.852, o maior entre os informados.<sup>3</sup>

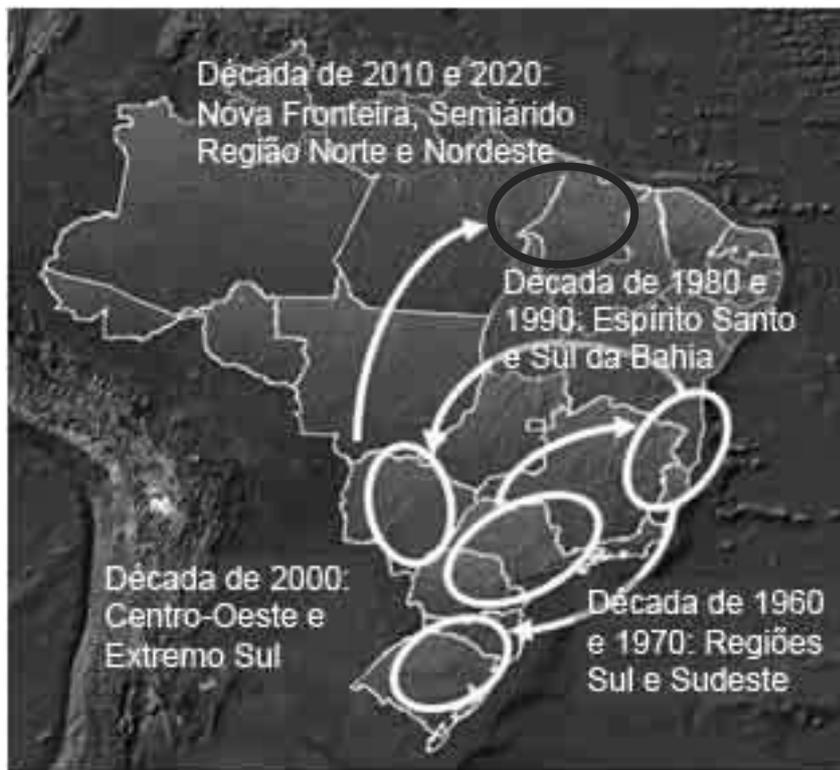
Uma consequência dessa competição por terra tem sido sentida no setor de celulose. As novas plantas, que na década de 1960 e 1970 se concentravam na Região Sul e na Região Sudeste, migraram para o Espírito Santo e para o sul da Bahia na década de 1980 e 1990. Nos anos 2000, a

<sup>2</sup> A FGV divulga os preços de terra de acordo com a forma de uso: campos, lavoura, matas e pastagem. Nesse estudo, foram desconsiderados os preços de campos, dado que a série histórica disponibilizada terminava em 2006.

<sup>3</sup> A série informada não continha os preços dos estados de São Paulo, Santa Catarina e Mato Grosso do Sul para o ano de 2009.

nova fronteira foi o Centro-Oeste. A partir de 2010, são esperados grandes projetos nas Regiões Norte e Nordeste, como as plantas anunciadas pela Suzano no Maranhão e no Piauí.

Figura 6 | Ciclos de expansão de celulose no Brasil



Fonte: Adaptado de Suzano Papel e Celulose (2010).

Para fazer frente a essas questões, o melhoramento genético busca não somente produzir melhores árvores para fins energéticos (isto é, com maior densidade, alto teor de lignina, elevado poder calorífico, baixa umidade e baixo teor de minerais), mas também árvores que cresçam mais rápido e em menor espaço, para otimizar o uso da terra.

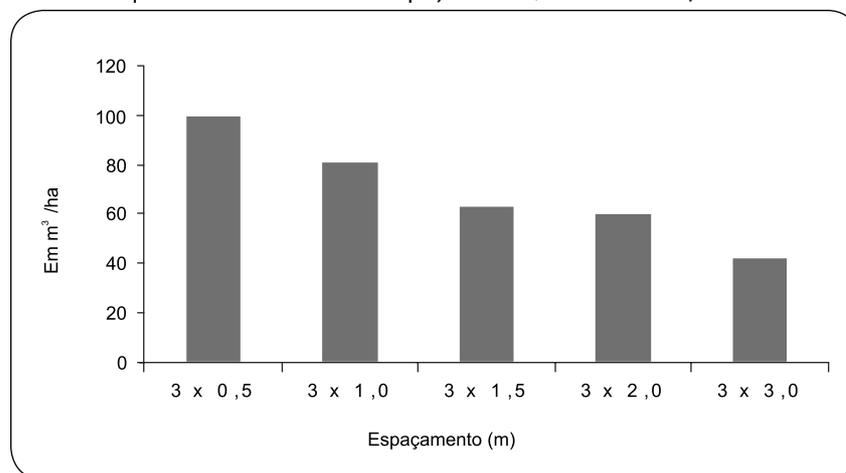
Hoje, no Brasil, o ciclo médio de corte de árvores de eucalipto gira em torno de sete anos, com espaçamento de plantio entre as árvores de 3 m x 3 m. Diversas pesquisas e estudos têm sido realizados para reduzir o período de corte e o espaçamento do plantio.

Em um estudo de 2006 publicado pela Renabio, foram feitos plantios de eucalipto variando o espaçamento em 3 m x 0,5 m, 3 m x 1 m, 3 m x 1,5 m, 3 m x 2 m e 3 m x 3 m, na região de Itamarandiba (MG), com medição em 7, 12, 18 e 24 meses após o plantio. A maior produtividade encontrada foi no menor espaçamento, de 3 m x 0,5m, que chegou a 50 m<sup>3</sup>/ha/ano (Gráfico 11).

Em outro estudo de 2010, disponível no *site* da *Revista da Madeira – Remade*, foram feitos plantios de eucalipto variando a dose de adubação e o espaçamento (2,8 m x 0,5m, 2,8 m x 1 m e 2,8 m x 1,5 m), na região de Botucatu (SP), com medição 15 meses após o plantio. Novamente, verificou-se que a maior produtividade (medida em m<sup>3</sup>/ha) ocorreu no menor espaçamento (2,8 m x 0,5m), que variou entre 84 e 120, dependendo da adubagem, o que equivale a um IMA,<sup>4</sup> medido em m<sup>3</sup>/ha/ano, de 67 a 96.

No entanto, a maior competição por nutrientes em plantios mais adensados e de ciclo curto levantam questões como o desgaste do solo e a disponibilidade de recursos hídricos. Além disso, como tais resultados ocorreram em pequenos e controlados plantios é necessário acompanhar como irão evoluir as aplicações de larga escala.

Gráfico 11 | Volume em diferentes espaçamentos, na idade de 24 meses



Fonte: Renabio (2006).

<sup>4</sup> Incremento médio anual.

## Demanda

### Aspectos gerais

Segundo a IEA, a utilização da biomassa e de resíduos na geração de energia representou cerca de 10% da demanda mundial primária de energia em 2006, ou 1.186 milhões de Mtep,<sup>5</sup> tendo aumentado cerca de 2% a.a. no mundo entre 1980 e 2006 (Tabela 5).

Apesar do baixo percentual de crescimento, existe diferença fundamental de desempenho quando considerado o tipo de utilização da biomassa, se tradicional ou moderna. Enquanto o uso em aplicações modernas, como nos biocombustíveis e na geração de energia, apresentou um crescimento acelerado, a aplicação tradicional, sobretudo na cocção em países periféricos, apresentou crescimento apenas vegetativo. Exemplo prático disso pode ser verificado no desempenho da taxa de crescimento de utilização da biomassa e de resíduos para geração de energia nos países da OCDE, que, segundo a IEA, atingiu cerca de 5% a.a. entre 1980 e 2006, três pontos percentuais acima da média.

Tabela 5 | Demanda energética primária por combustível no mundo ( em Mtep)

Fonte Primária	Mtep					
	1980	1990	2000	2006	Part. (%) 2006	Δ % 1980/ 2006
Petróleo	3.107	3.218	3.649	4.029	34,3	1,0
Carvão mineral	1.788	2.219	2.295	3.053	26,0	2,1
Gás natural	1.235	1.673	2.088	2.407	20,5	2,6
<b>Subtotal fósseis</b>	<b>6.130</b>	<b>7.110</b>	<b>8.032</b>	<b>9.489</b>	<b>80,9</b>	<b>1,7</b>
Biomassa e resíduos*	748	902	1.045	1.186	10,1	1,8
Hidráulica	148	185	225	261	2,2	2,2
Outros renováveis**	12	36	55	66	0,6	6,8
<b>Subtotal renováveis</b>	<b>908</b>	<b>1.123</b>	<b>1.325</b>	<b>1.513</b>	<b>12,9</b>	<b>2,0</b>
Nuclear	186	525	675	728	6,2	5,4
<b>Subtotal nuclear</b>	<b>186</b>	<b>525</b>	<b>675</b>	<b>728</b>	<b>6,2</b>	<b>5,4</b>
<b>Total</b>	<b>7.224</b>	<b>8.758</b>	<b>10.032</b>	<b>11.730</b>	<b>100,0</b>	<b>1,9</b>

Fonte: IEA (2008).

\*Inclui biomassa tradicional e moderna.

\*\*Inclui fontes como eólica, solar, geotérmica e oceânica.

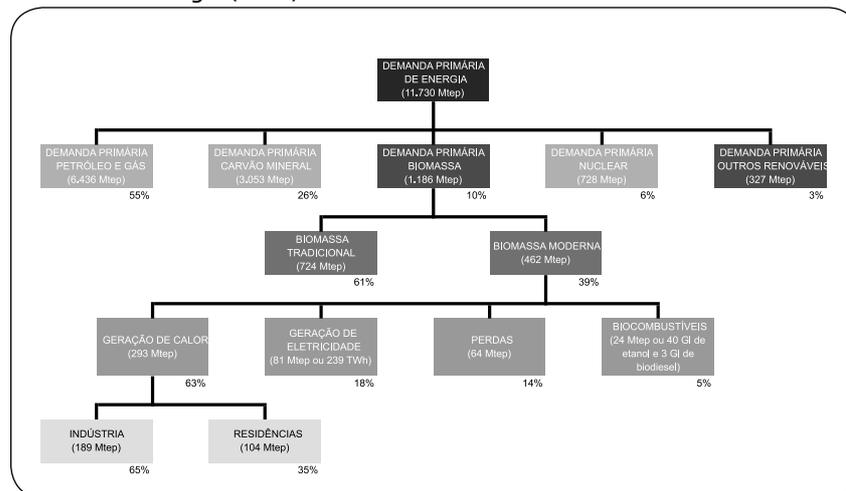
<sup>5</sup> Milhões de toneladas equivalentes de petróleo.

De acordo com a IEA, das 1.186 Mtep demandadas em energia primária com base na biomassa, cerca de 724 Mtep foram demandadas na forma tradicional, como lenha, esterco animal e resíduos agrícolas utilizados em lareiras, fogões de baixa eficiência para cocção e aquecimento, enquanto 462 Mtep vieram da forma moderna, cuja utilização foi concentrada na geração de calor, sobretudo na indústria (Figura 7).

Em relação às principais fontes de suprimento da biomassa e baseado em dados de 2007 do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) em relatório do IEA Bioenergy, pode-se perceber a ampla utilização da madeira como fonte de energia no mundo, sobretudo na forma de lenha (Gráfico 12). O total das fontes de biomassa de origem madeireira é de 87%.

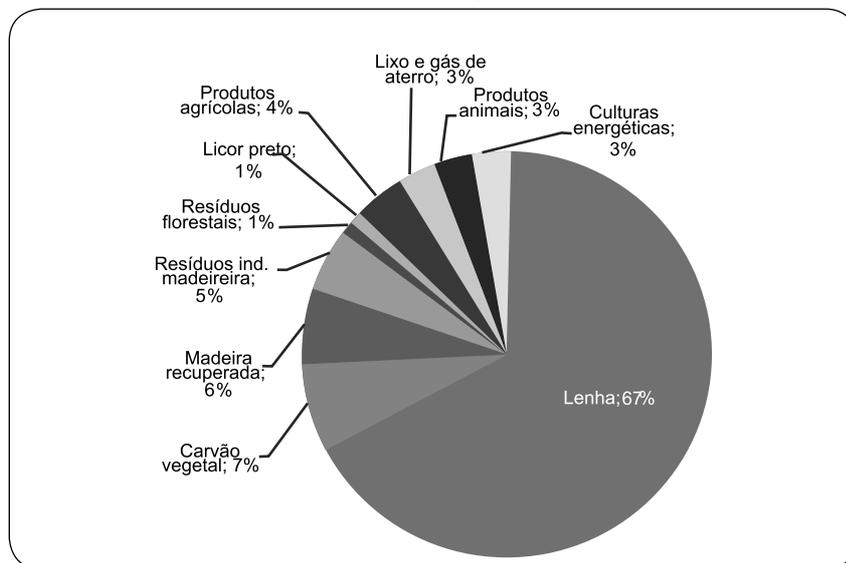
No entanto, a utilização maciça da lenha como principal combustível madeireiro não é um padrão em todas as regiões do mundo. Analisando a abertura do consumo de combustíveis do setor florestal por continente, pode-se observar que o peso da lenha é maior em regiões menos desenvolvidas, como África, Ásia, América Latina e Caribe, ao passo que o licor negro tem uma participação mais acentuada na América do Norte e na Europa.

**Figura 7 | Participação da biomassa na demanda primária mundial de energia (2006)**



Fonte: IEA (2008).

Gráfico 12 | Composição das fontes de energia de biomassa no mundo (2007)



Fonte: IEA Bioenergy (2009).

Tabela 6 | Consumo de combustíveis do setor florestal – 2005 (em PJ)

Região	Lenha	Carvão vegetal	Licor negro	Total
Ásia	7.795	135	463	8.393
África	5.633	688	33	6.354
América Latina e Caribe	2.378	485	288	3.151
América do Norte	852	40	1.284	2.176
Europa	1.173	14	644	1.831
Oceania	90	1	22	113
<b>Total</b>	<b>17.921</b>	<b>1.363</b>	<b>2.734</b>	<b>22.018</b>

Fonte: WEC (2007).

Obs.: 1 PJ (petajoule) = 1.000.000.000.000 joules.

No Brasil, a biomassa foi responsável por cerca de 76,9 Mtep ou 30,4% da demanda primária total em 2008, que atingiu 252,6 Mtep (Tabela 7). Em 2006, como forma de comparação com o mundo, a participação da biomassa na demanda primária de energia do Brasil foi de 29%, enquanto o mundo tinha participação de pouco mais de 10% dessa fonte (Tabela 5). Ainda em 2006, a biomassa foi a segunda principal fonte de energia na matriz energética brasileira, abaixo apenas da fonte “petróleo”.

Tabela 7 | Demanda energética primária por combustível no Brasil (em Mtep)

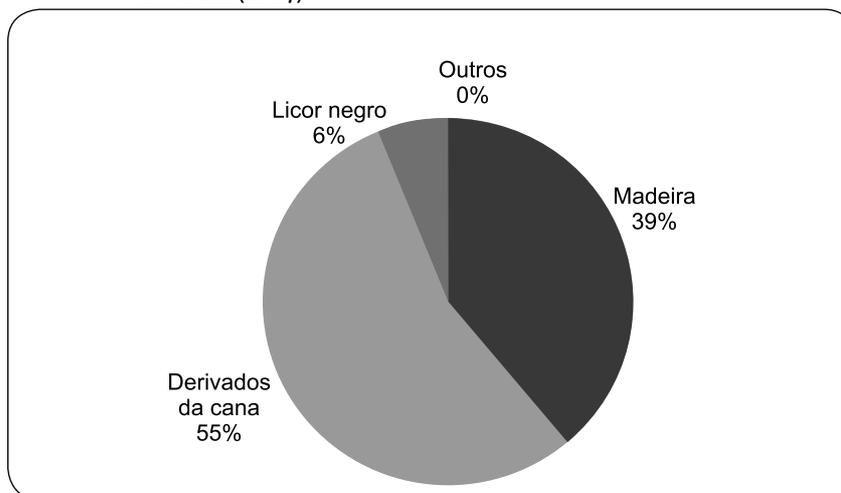
Fonte primária	2006	2007	2008	Part. (%) - 2006	Part. (%) - 2008
Petróleo	86	89	92	37,8	36,6
Carvão mineral	14	14	15	6,0	5,8
Gás natural	22	22	26	9,6	10,3
<b>Subtotal fósseis</b>	<b>121</b>	<b>126</b>	<b>133</b>	<b>53,4</b>	<b>52,6</b>
Biomassa e resíduos**	66	71	77	29,1	30,5
Hidráulica	34	36	35	14,8	14,0
Outros renováveis**	2	3	4	1,1	1,4
<b>Subtotal renováveis</b>	<b>102</b>	<b>109</b>	<b>116</b>	<b>45,0</b>	<b>45,9</b>
Nuclear	4	3	4	1,6	1,5
<b>Subtotal nuclear</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>1,6</b>	<b>1,5</b>
<b>Total</b>	<b>226</b>	<b>239</b>	<b>253</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

Fonte: EPE (2009).

\*Inclui biomassa tradicional e moderna.

\*\*Inclui fontes como eólica, solar, geotérmica e oceânica.

Gráfico 13 | Composição das fontes de energia com base na biomassa no Brasil (2007)



Fonte: EPE (2009).

Existe uma importante distinção entre o perfil nacional e o perfil mundial de utilização da biomassa. Enquanto a madeira é a fonte de biomassa mais relevante no mundo, com cerca de 87% do total (Gráfico 12), no Brasil tem importância secundária, com 45%<sup>6</sup> (Gráfico 13), menor do que

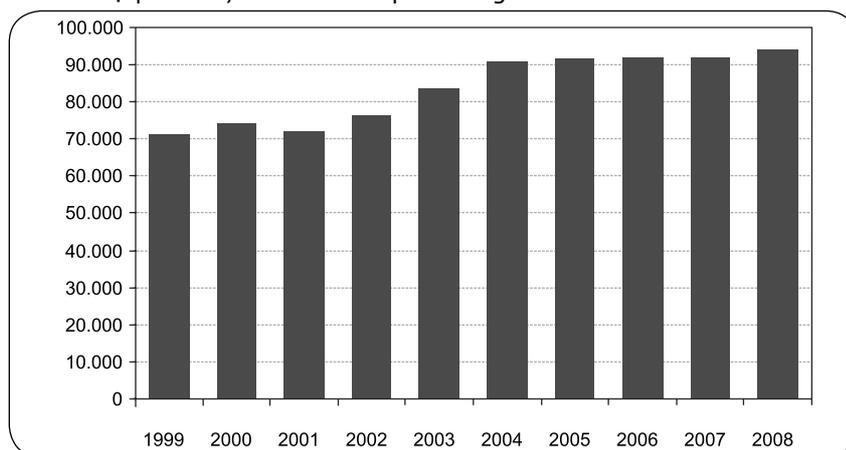
<sup>6</sup> Considera a madeira destinada à produção de carvão vegetal.

os produtos derivados da cana (com 55%). A maior participação do licor negro na composição das fontes no Brasil, cerca de seis vezes superior à média mundial, também merece destaque e está relacionada ao fato de o país ser o quarto maior produtor de celulose no mundo. A participação da biomassa de madeira na matriz energética brasileira foi de cerca de 13,9% em 2007.

De 1999 a 2008, a utilização de madeira para geração de energia no Brasil cresceu a uma taxa média anual de 3,1%, chegando a 94 milhões de toneladas (Gráfico 14). Em 2008, apenas 1,1% desse total foi dedicado à transformação em energia elétrica. A maior parte foi dedicada a transformação em carvão vegetal (41,3%) e para uso residencial (26,4%). Nas indústrias, o maior uso se deu em cerâmica (7,3%) e papel e celulose (4,7%). Já o uso agropecuário foi responsável por 8,7% do consumo total. Essa distribuição não apresentou variações significativas desde 1999 (Gráfico 15).

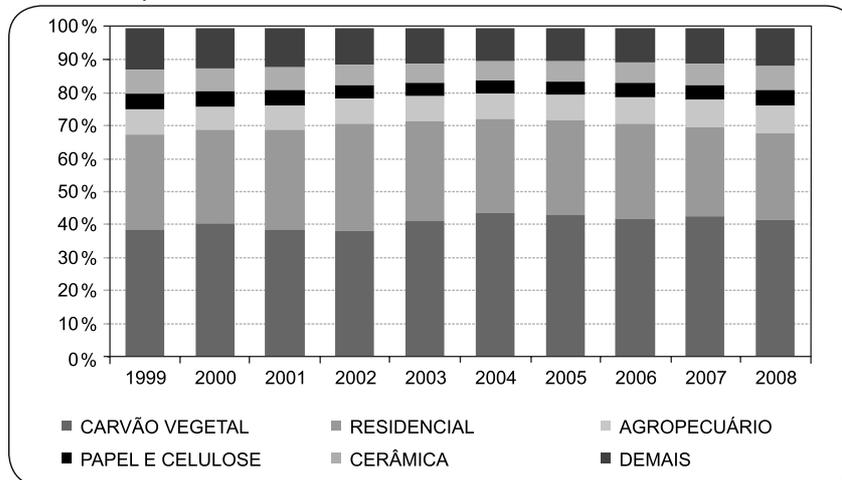
Vale dizer, porém, que o grande direcionamento da madeira para a produção de carvão vegetal não está intimamente ligado à produção de energia. Segundo a FAO, o setor industrial consome 90% da produção de carvão vegetal do Brasil, sendo que dois terços desse total são direcionados à fabricação de ferro-gusa.

Gráfico 14 | Utilização de madeira para energia no Brasil



Fonte: EPE (2009).

Gráfico 15 | Distribuição da demanda por madeira para fins energéticos, por setor



Fonte: EPE (2009).

## O mercado de *pellets* de madeira

### Aspectos gerais do mercado

Os primeiros processos de peletização de madeira ocorreram nos Estados Unidos, provavelmente nos anos 1930. No entanto, sua utilização moderna começou a surgir na década de 1970, também nos Estados Unidos, em resposta à crise de energia. Um produto chamado Woodex, feito de resíduos de serrarias, foi vendido como combustível intercambiável com carvão mineral, sendo, no entanto, menos poluente. A companhia que vendia o produto faliu, mas outras seguiram no mercado, que apresentou baixo crescimento até 2000, quando o acréscimo contínuo no preço dos combustíveis fósseis deu novo fôlego ao setor. Na Europa, a produção de *pellets* de madeira começou na década de 1980, na Suécia. O mercado desenvolveu-se na esteira do aumento dos preços do petróleo e dos impostos incidentes sobre os combustíveis fósseis.

Segundo o European Pellet Centre, o *pellet* de madeira é hoje a biomassa sólida para fins energéticos mais negociada no mundo. A primeira

exportação de longa distância ocorreu em 1998, do Canadá para a Suécia. Desde então, o comércio internacional tem crescido de forma exponencial. O racional por trás do comércio de longa distância é a abundância de insumos em algumas regiões frente a outras, bem como a presença de uma logística eficiente, que garante a entrega do insumo nas regiões mais demandantes a preços competitivos.

Vale destacar que, pelo seu estado inicial de desenvolvimento, bem como pela pulverização tanto na oferta quanto na demanda, as fontes de informação sobre o mercado de *pellets* de madeira ainda são escassas e pouco precisas.

De acordo com informações agrupadas do Wood Pellet Association of Canada, do European Pellet Centre, do United States Department of Agriculture (USDA) e da Consufor, o consumo de *pellets* de madeira no mundo, em 2008, foi de 10,7 milhões de toneladas. Cerca de 76% desse consumo concentrou-se no mercado europeu. No entanto, o maior consumidor individual, bem como o maior produtor, foram os Estados Unidos. Notadamente, esse é um mercado muito pulverizado, com cerca de 821 produtores entre os países analisados.

Enquanto alguns mercados, como Alemanha e Áustria, são autossuficientes, outros dependem, em grande parte, da importação, como Holanda, Bélgica, Dinamarca e Itália, ou da exportação, notadamente o Canadá, que exporta 90% da sua produção (sendo 60% para a Europa). Recentemente, alguns produtores americanos passaram a exportar para a Europa, de modo que, em 2008, 20% da produção americana teve essa finalidade.

## Oferta

A maior parte das plantas produtoras de *pellets* tem uma escala muito reduzida, consequência de um modelo de negócio baseado majoritariamente em resíduos de plantas industriais de produtos florestais. Em alguns casos, existe a figura dos produtores integrados diretamente a serrarias, mas, mesmo quando não há tal integração, os produtores de *pellets* localizam-se perto de plantas industriais de produtos florestais, por causa da importância relativa do custo do frete desse insumo.

Tabela 8 | Mercado global de *pellets* de madeira em 2008 (em toneladas)

Países	Produtores	Capacidade instalada	Utilização da capacidade	Produção	Ranking de produção mundial	Consumo	Ranking de consumo mundial	Saldo comercial líquido
<b>Europa</b>								
Alemanha	50	2.400.000	60,8%	1.460.000	2	900.000	6	560.000
Áustria	25	1.006.000	62,2%	626.000	6	509.000	8	117.000
Bélgica	10	450.000	72,2%	325.000	12	920.000	4	(595.000)
Bulgária	17	62.000	43,9%	27.200	29	3.000	35	24.200
Dinamarca	12	313.000	42,8%	134.000	15	1.060.000	3	(926.000)
Eslováquia	14	142.000	82,4%	117.000	19	18.000	27	99.000
Eslovênia	4	185.000	83,2%	154.000	14	112.000	14	42.000
Espanha	17	250.000	40,0%	100.000	21	10.000	29	90.000
Estônia	6	485.000	69,7%	338.000	11	0	38	338.000
Finlândia	19	680.000	54,9%	373.000	9	149.200	12	223.800
França	54	350.000	68,6%	240.000	13	200.000	9	40.000
Grécia	5	87.000	32,2%	28.000	28	11.100	28	16.900
Holanda	2	130.000	92,3%	120.000	17	913.500	5	(793.500)
Hungria	7	5.000	100,0%	5.000	37	1.000	37	4.000
Irlanda	2	78.000	21,8%	17.000	34	30.000	21	(13.000)
Itália	75	750.000	86,7%	650.000	5	850.000	7	(200.000)
Letônia	15	744.000	50,9%	379.000	8	39.000	20	340.000
Lituânia	6	153.000	78,4%	120.000	17	20.000	24	100.000
Luxemburgo	0	0	n.a.	0	n.a.	5.000	34	(5.000)
Noruega	8	164.000	21,3%	35.000	27	40.000	19	(5.000)
Polônia	21	665.000	52,6%	350.000	10	120.000	13	230.000
Portugal	6	400.000	25,0%	100.000	21	10.000	29	90.000
Reino Unido	15	218.000	57,3%	125.000	16	176.000	11	(51.000)
República Tcheca	12	260.000	10,4%	27.000	30	3.000	35	24.000

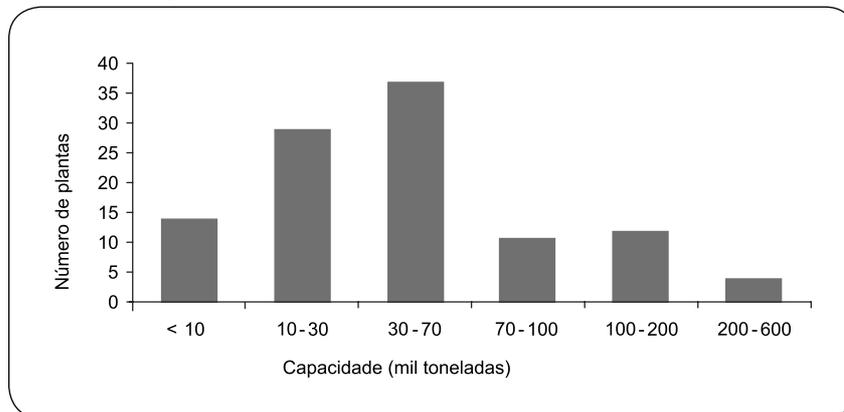
*Continua*

Continuação

Países	Produtores	Capacidade instalada	Utilização da capacidade	Produção	Ranking de produção mundial	Consumo	Ranking de consumo mundial	Saldo comercial líquido
Romênia	21	260.000	43,8%	114.000	20	25.000	22	89.000
Rússia	77	1.200.000	45,8%	550.000	7	100.000	16	450.000
Suécia	94	2.200.000	63,9%	1.405.000	3	1.850.000	2	(445.000)
Suíça	14	171.000	40,9%	70.000	23	90.000	17	(20.000)
Ucrânia	15	140.000	42,9%	60.000	24	10.000	29	50.000
	623	13.948.000	57,7%	8.049.200		8.174.800		(125.600)
<b>América do Norte</b>								
Canadá	33	1.750.000	80,0%	1.400.000	4	200.000	9	1.200.000
Estados Unidos	97	2.932.000	61,4%	1.800.000	1	2.096.150	1	(296.150)
	130	4.682.000	68,3%	3.200.000		2.296.150		903.850
<b>Àsia e América Latina</b>								
Argentina	1	n.d.	n.d.	7.000	36	7.000	33	0
Brasil	4	50.000	50,0%	25.000	31	25.000	22	0
Chile	1	n.d.	n.d.	20.000	32	20.000	24	0
China	1	n.d.	n.d.	50.000	26	50.000	18	0
Coreia	1	n.d.	n.d.	10.000	35	10.000	29	0
Japão	55	n.d.	n.d.	60.000	24	109.000	15	(49.000)
Nova Zelândia	5	n.d.	n.d.	20.000	32	20.000	24	0
	68	n.d.	n.d.	192.000		241.000		(49.000)
<b>Mundo</b>	<b>821</b>	<b>n.d.</b>	<b>n.d.</b>	<b>11.441.200</b>		<b>10.711.950</b>		<b>729.250</b>

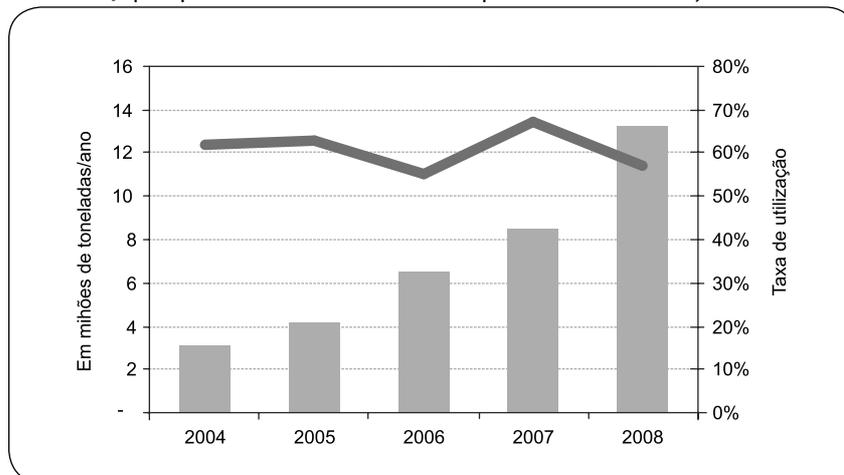
Fonte: Elaboração BNDES, com base em dados de Wood Pellet Association of Canada, European Pellet Centre, USDA e Consufor.

Gráfico 16 | Distribuição das plantas de *pellets* nos Estados Unidos por capacidade (2009)



Fonte: USDA (2009).

Gráfico 17 | Capacidade instalada na Europa e taxa de utilização



Fonte: European Pellet Centre.

Assim, a escala é limitada pela oferta de insumo local. Segundo dados do European Pellet Centre, 41% das plantas nos Estados Unidos (Gráfico 16) e 52% das plantas na Europa têm capacidade instalada de menos de 30 mil toneladas por ano. No Brasil, segundo a Consufor, a capacidade instalada é

de cerca de 50 mil toneladas por ano, sendo que duas empresas respondem por 80% desse volume.

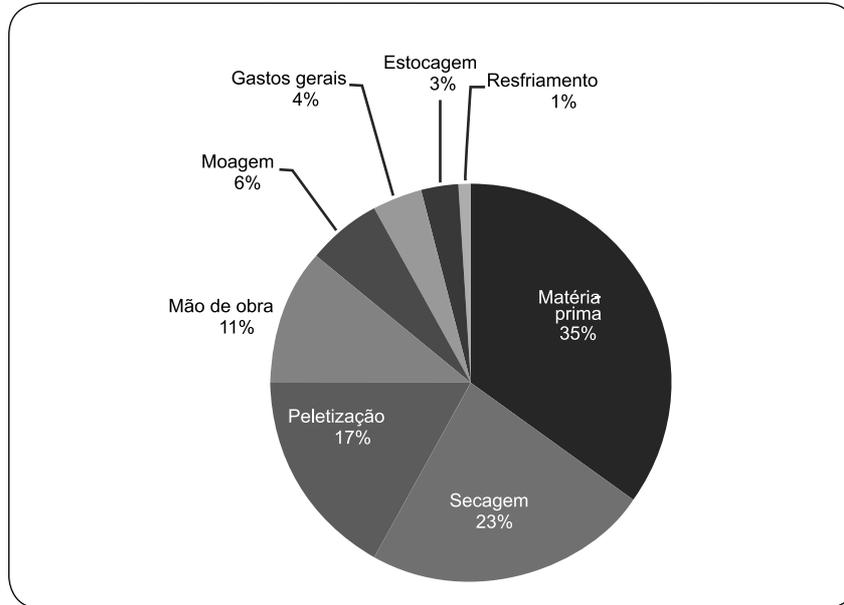
Atualmente, existe excesso de capacidade no mundo. Em 2008, a taxa de utilização da capacidade instalada foi de 61% nos Estados Unidos, 80% no Canadá e 57% na Europa. A taxa de utilização de capacidade instalada na Europa (Gráfico 17) tem se situado ao redor de 60%, apesar da crescente expansão da oferta, que cresceu a uma taxa média anual de 43% a.a., entre 2004 e 2008.

Segundo o USDA, 69% da oferta de insumos nos Estados Unidos se deu por resíduos de serraria e 14% por resíduos da indústria moveleira, uma prova de que os resíduos industriais são a grande fonte de suprimento nesse mercado. Houve ainda uma participação relevante de oferta oriunda de resíduos florestais, representando 16% do total. Apenas 1% foi oriundo de resíduos urbanos e madeira reciclada. Os resíduos de serraria foram os mais utilizados como insumos para o mercado de *pellets* não somente por seu baixo custo de aquisição, mas também pelo reduzido custo de processamento frente a outras fontes.

Segundo a Eubia, com base em análise de plantas na Áustria e na Suécia em 2002, o custo total de produção de *pellets* variou entre € 60 e € 110 por tonelada. Os resultados indicaram que os custos mais relevantes foram os insumos e o processo de secagem, responsáveis por até dois terços do custo total. A influência do nível de umidade do insumo é tão grande, que a faixa de custo de produção quando o material apresenta alta umidade é de € 79 a € 101 por tonelada, ao passo que, quando o material está seco, essa faixa oscila entre € 52 e € 81 por tonelada.

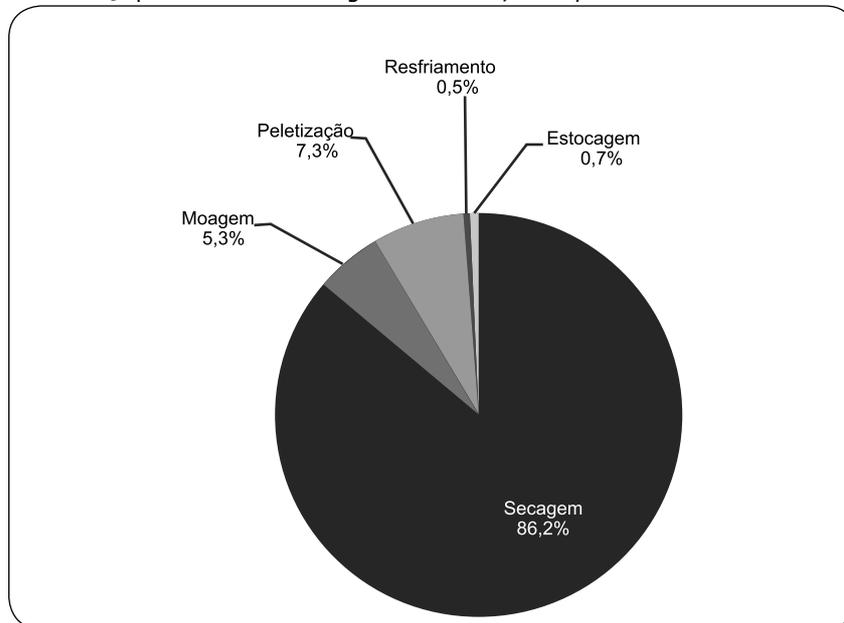
O consumo de energia na produção (incluindo todos os estágios, da recepção do insumo até a embalagem) varia entre 80 kWh/t e 150 kWh/t de eletricidade e cerca de 950 kWh de calor por tonelada de água para ser vaporizada. Portanto, a demanda exata de energia depende das condições de produção: tamanho das partículas do insumo, teor de umidade, tecnologia e escala da planta. Segundo a Eubia, a demanda de energia para produção de *pellets* pode ser estimada em 1.140 kWh/tonelada, sendo 86% desse total direcionado à secagem.

Gráfico 18 | Custos de produção de *pellets* de madeira na Europa (2002)



Fonte: Eubia.

Gráfico 19 | Consumo de energia na fabricação de *pellets* de madeira



Fonte: Eubia.

## Logística

*Pellets* são, geralmente, armazenados em silos e, pelo seu formato, podem ser transportados quase como líquidos, a exemplo do que é feito com óleo. Os *pellets* podem ser supridos por tanques próprios para essa finalidade, chamados *blower lorry*, que direcionam o material para os silos, ou tanques, por uma mangueira. Do tanque, o *pellet* pode ser automaticamente levado à combustão. O abastecimento para pequenos consumidores também é feito em sacos, geralmente entre 15 kg e 25 kg.

Os estoques tendem a se concentrar nos centros consumidores no inverno e nos produtores, durante o verão. No caso de intermediários, o estoque tende a crescer/diminuir quando o preço de mercado está baixo/alto, e essas flutuações ajustam a relação oferta/demanda e diminuem o risco de desabastecimento e de volatilidade no preço. Uma característica importante, que influencia diretamente esse balanço entre oferta e demanda, é que *pellets* de madeira não se degradam com o tempo, desde que armazenados em locais secos.

Entretanto, é importante frisar que, dado seu baixo teor de umidade, *pellets* de madeira são um material inflamável e, portanto, o transporte e a estocagem representam riscos de explosões e incêndios. Na Europa, os portos não podem estocar *pellets* de madeira em temperaturas superiores a 30°C, o que pode ampliar os custos de frete.

## Demanda

O mercado de maior potencial é o europeu. Em janeiro de 2007, a Comissão Europeia lançou um plano de uma política mais integrada e ambiciosa para a Europa, frente aos desafios das mudanças climáticas e do suprimento de energia. Endossado em março de 2007, o plano estabeleceu as seguintes metas, entre outras:

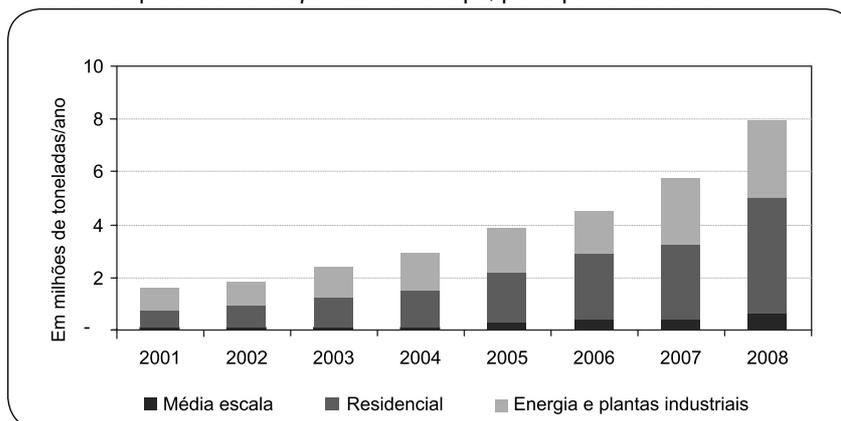
- 20% de participação de combustíveis renováveis no consumo de energia europeu, até 2020; e
- 20% de redução das emissões de gases causadores do efeito estufa.

O uso de *pellets* de madeira contribui tanto para a primeira meta, por ser um combustível renovável, quanto para a segunda, por causa do sequestro de carbono e da substituição de queima de combustíveis fósseis.

Os consumidores de *pellets* podem ser classificados em dois grandes grupos: residenciais e comerciais. Segundo o European Pellet Centre, os consumidores europeus podem ser definidos da seguinte maneira:

- **Pequena escala e residencial:** demanda menor do que 10 toneladas por ano. Dividem-se entre os que consomem *pellets* para aquecimento individual de suas residências usando fornos e os que usam caldeiras. A entrega é feita em sacos, no caso dos fornos, ou a granel, no caso das caldeiras, em que o caminhão deposita a quantidade necessária para um ano de uso dentro de um local de armazenamento. Em geral, a venda é feita por intermédio de varejistas, e o suprimento se dá pelo mercado local.
- **Média escala:** demanda entre 10 e 1.000 toneladas por ano. Consumidores típicos são empresas, hotéis, setor de serviços ou grandes unidades residenciais. É um mercado que cresce rapidamente, em função do aumento dos preços de óleo para aquecimento.
- **Larga escala:** demanda superior a 1.000 toneladas por ano. Termelétricas e plantas industriais podem consumir centenas de milhares de toneladas ao ano. A venda pode ser feita diretamente ou por intermédio de grandes *traders* globais.

Gráfico 20 | Consumo de *pellets* na Europa, por tipo de usuário



Fonte: European Pellet Centre.

O consumo de *pellets* de madeira na Europa cresceu a uma taxa média de 29% a.a. entre 2001 e 2008. Até 2005, o mercado dividia-se, basicamente, entre os consumidores residenciais e os de larga escala. No entanto, a participação dos consumidores de média escala, que era de 2,5%, em 2005, saltou para 7,3%, em 2008, o que representou uma taxa média de crescimento do consumo desse tipo de participante de 68%.

No caso americano, segundo o USDA, o consumo se dá majoritariamente em pequena escala, em especial para aquecimento de uso residencial, com venda de *pellets* em sacos. Em alguns poucos casos ocorre o transporte a granel, como no mercado europeu.

Um problema do mercado é que a demanda é relativamente estável, ao passo que a oferta depende de resíduos gerados pela indústria madeireira, que é um mercado cíclico, o que ajuda a explicar o baixo nível de utilização das plantas americanas em 2008 (61%), em função da crise que afetou a indústria imobiliária e, em consequência, a indústria da madeira.

## Preços

O preço de *pellet* varia de acordo com o tipo de mercado. Segundo o European Pellet Centre, o preço a granel destinado a plantas de energia, para entrega em Roterdã, variou de pouco mais de € 110 até cerca de € 140 a tonelada, durante o período 2007-2009.

Já a diferença de preço entre os mercados *spot* e contratos de longo prazo chega a € 10 a tonelada ou mais. A maior diferença ocorre durante o verão: o preço de mercado *spot* cai quando a demanda se retrai, em função da menor demanda por energia. Nesse momento, muitos compradores aproveitam para repor seus estoques para o inverno. Grandes plantas de energia baseiam seu fornecimento em um *mix* de contratos de fornecimento de longo prazo e compras no mercado *spot*.

No setor residencial, os preços são mais instáveis e apresentam maior variação de um país para outro, além de serem maiores do que os destinados aos grandes consumidores. Por exemplo, durante o período 2007-2009 a faixa de preço da tonelada de *pellet* de madeira na Polônia foi de € 120 a € 170, enquanto na Suíça foi de € 220 a € 270. As flutuações de preço intra e entre países são um reflexo dos diferentes perfis econômicos, da oferta de insumo, do saldo comercial e de variações cambiais, o que demonstra o forte componente local do preço do *pellet* de madeira.

## Perspectivas

### Aspectos gerais

Na versão de 2009 do panorama global sobre o mercado de energia da IEA, o *World energy outlook*, foram apresentados dois cenários distintos para previsão de energia: o cenário de referência e o cenário 450. O primeiro cenário, o mesmo utilizado pela agência em anos anteriores, baseia-se em um modelo matemático que prevê o mercado de energia de acordo com as variações esperadas de fatores como crescimento econômico, crescimento populacional e custos das diferentes energias, sem considerar qualquer mudança nas políticas públicas relacionadas a emissões de CO<sub>2</sub>.<sup>7</sup> Em consequência, os percentuais de participação das fontes de energia na matriz energética sofrem pouca variação, incluindo a biomassa.

A agência considera tal cenário improvável, por causa de sua insustentabilidade. O aumento das emissões de CO<sub>2</sub> oriundo de queima de combustíveis fósseis em 2030 seria de 40,2 Gt, volume 40% superior ao registrado em 2007 (Tabela 10), o que causaria um aumento médio de 6°C na temperatura global e a diminuição da qualidade do ar, implicando sérios problemas ambientais e de saúde pública, em especial nos países em desenvolvimento. Nesse cenário, apesar das metas agressivas de redução de CO<sub>2</sub> da União Europeia e de outros países desenvolvidos, como Austrália e Japão,<sup>8</sup> a redução de emissões dos países da OCDE em 2030, em relação a 2007, seria de apenas 3%. Esse pequeno ganho seria sobreposto pelo largo crescimento (77%) das emissões dos demais países.

No cenário 450,<sup>9</sup> a agência trabalha com a perspectiva de adoção de políticas públicas voltadas cada vez mais para a sustentabilidade energética, com a adoção de metas agressivas de redução de emissões, não somente dos países ricos, mas também dos países em desenvolvimento e, mais especificamente, da China. Políticas de redução de emissão de CO<sub>2</sub> em estudos pelo governo chinês poderiam reduzir as emissões em 1 Gt/ano, em 2020.

<sup>7</sup> No entanto, considera a manutenção das metas públicas anunciadas até setembro de 2009.

<sup>8</sup> O Japão definiu uma meta de redução de 25% em suas emissões em relação ao ano de 1990, até 2020. A meta da Austrália é de uma redução de 5% em relação a 2000, até 2020, o que representa uma redução de 3% frente aos níveis de 1990. No entanto, no cenário de referência, essas e outras metas nem sempre são consideradas atingidas em sua totalidade.

<sup>9</sup> O cenário 450 refere-se a ppm, ou partes por milhão, de CO<sub>2</sub> equivalentes, na atmosfera, em 2030. De acordo com o IPCC, uma estabilização da concentração nesses níveis (450 partes por milhão de CO<sub>2</sub> equivalente) representaria 50% de probabilidade de restringir o aumento de temperatura global em 2°C. No cenário de referência, esse indicador atingiria 1.000 ppm em 2030.

Tabela 9 | Demanda energética primária por combustível no mundo: cenário de referência (em Mtep)

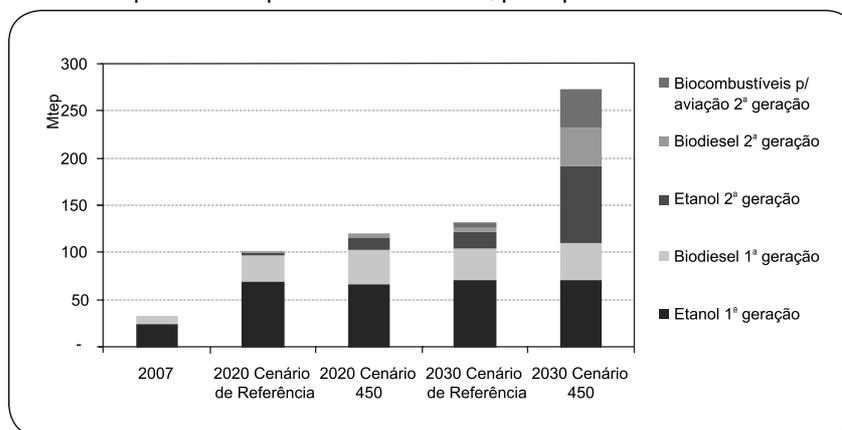
Fonte primária	1980	2000	2007	2015 (E)	2030 (E)	Part. (%) 2007	Part. (%) 2030	Crescimento médio 2007/2030
Petróleo	3.107	3.655	4.093	4.234	5.009	34,1	29,8	0,9% a.a.
Carvão mineral	1.792	2.292	3.184	3.828	4.887	26,5	29,1	1,9% a.a.
Gás natural	1.234	2.085	2.512	2.801	3.561	20,9	21,2	1,5% a.a.
<b>Subtotal fósseis</b>	<b>6.133</b>	<b>8.032</b>	<b>9.789</b>	<b>10.863</b>	<b>13.457</b>	<b>81,5</b>	<b>80,2</b>	<b>1,4% a.a.</b>
Biomassa e resíduos*	749	1.031	1.176	1.338	1.604	9,8	9,6	1,4% a.a.
Hidráulica	148	225	265	317	402	2,2	2,4	1,8% a.a.
Outros renováveis**	12	55	74	160	370	0,6	2,2	7,2% a.a.
<b>Subtotal renováveis</b>	<b>909</b>	<b>1.311</b>	<b>1.515</b>	<b>1.815</b>	<b>2.376</b>	<b>12,6</b>	<b>14,2</b>	<b>2,0% a.a.</b>
Nuclear	186	676	709	810	956	5,9	5,7	1,3% a.a.
<b>Subtotal nuclear</b>	<b>186</b>	<b>676</b>	<b>709</b>	<b>810</b>	<b>956</b>	<b>5,9</b>	<b>5,7</b>	<b>1,3% a.a.</b>
<b>Total</b>	<b>7.228</b>	<b>10.019</b>	<b>12.013</b>	<b>13.488</b>	<b>16.789</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>1,5% a.a.</b>

Fonte: IEA (2009).

\*Inclui biomassa tradicional e moderna.

\*\*Inclui fontes como eólica, solar, geotérmica e oceânica.

Gráfico 21 | Demanda por biocombustíveis, por tipo e cenário



Fonte: IEA (2009).

Em relação ao consumo de biomassa, a agência prevê uma diminuição do uso em sua forma tradicional, para aquecimento e cocção nos países em desenvolvimento, em função da melhoria de renda. Tal diminuição da demanda é quase compensada pela ampliação da demanda de biomassa moderna nos países da OCDE. O uso de biomassa em plantas de cogeração atingiria 172 milhões de toneladas equivalentes de petróleo no cenário 450, volume 67% maior do que no cenário de referência. Outra premissa relevante no cenário 450, que impacta diretamente a projeção da demanda por biomassa, refere-se aos biocombustíveis. Para a agência, a competição com culturas voltadas para alimentação deve restringir o crescimento dos biocombustíveis de primeira geração, o que deve impulsionar o uso da segunda geração de biocombustíveis, de origem lignocelulósica. Nesse cenário, a IEA credita todo o crescimento dos biocombustíveis entre 2020 e 2030 a essa fonte.

Assim, segundo a agência, o crescimento médio da fonte “biomassa e resíduos” seria de 2,2% a.a. até 2030, no cenário 450 (Tabela 11). O maior destaque entre as fontes de energia caberá a “outras fontes renováveis”, que devem crescer cerca de 10,4% a.a., reflexo da redução dos custos das tecnologias (maior amadurecimento) e do apelo político crescente. A IEA espera que os custos de investimento e manutenção (medidos em US\$/kW) das fontes solar e oceânica diminuam 50% até 2030, acirrando a competição entre as fontes de energia renováveis.

Tabela 10 | Emissões de CO2 oriunda da queima de combustíveis fósseis, cenário de referência

Região / País	Emissões em Gt				Emissões em % do total				Crescimento médio	
	1990	2007	2015(E)	2030(E)	1990	2007	2015	2030	1990 a 2007	2007 a 2030
<b>Mundo</b>	<b>20,9</b>	<b>28,8</b>	<b>32,3</b>	<b>40,2</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>1,9% a.a.</b>	<b>1,5% a.a.</b>
<b>OCDE</b>	<b>11,0</b>	<b>12,9</b>	<b>12,4</b>	<b>12,5</b>	<b>52,7</b>	<b>44,8</b>	<b>38,3</b>	<b>31,1</b>	<b>0,9% a.a.</b>	<b>-0,1% a.a.</b>
EUA	4,8	5,7	5,5	5,5	23,1	19,9	17,0	13,8	1,0% a.a.	-0,2% a.a.
União Europeia	4,0	3,9	3,6	3,5	19,3	13,5	11,1	8,7	-0,2% a.a.	-0,4% a.a.
Japão	1,1	1,2	1,1	1,0	5,1	4,3	3,4	2,4	0,9% a.a.	-1,0% a.a.
Demais OCDE	1,1	2,1	2,2	2,5	5,2	7,1	6,7	6,1	3,9% a.a.	0,8% a.a.
<b>Não OCDE</b>	<b>9,3</b>	<b>14,9</b>	<b>18,9</b>	<b>26,4</b>	<b>44,4</b>	<b>51,7</b>	<b>58,4</b>	<b>65,5</b>	<b>2,8% a.a.</b>	<b>2,5% a.a.</b>
Rússia	2,2	1,6	1,6	1,9	10,4	5,5	5,1	4,8	-1,9% a.a.	0,9% a.a.
China	2,2	6,1	8,6	11,6	10,7	21,1	26,7	28,9	6,0% a.a.	2,9% a.a.
Índia	0,6	1,3	1,8	3,4	2,8	4,6	5,4	8,4	4,9% a.a.	4,1% a.a.
América Latina	0,6	1,0	1,2	1,5	2,9	3,5	3,6	3,8	3,1% a.a.	1,8% a.a.
África	0,5	0,9	1,0	1,2	2,6	3,1	3,1	3,1	2,9% a.a.	1,5% a.a.
Demais não OCDE	3,1	4,0	4,7	6,7	15,0	14,0	14,5	16,6	1,5% a.a.	2,2% a.a.
<b>Transporte Internacional</b>	<b>0,6</b>	<b>1,0</b>	<b>1,1</b>	<b>1,4</b>	<b>2,9</b>	<b>3,5</b>	<b>3,4</b>	<b>3,4</b>	<b>3,0% a.a.</b>	<b>1,3% a.a.</b>

Fonte: EIA, World Energy Outlook, 2009

Ainda de acordo com a IEA, para maior fomento da bioenergia, as políticas governamentais e os esforços industriais deveriam ser direcionados para o aumento da modernização da agricultura em regiões como a África e a América Latina, para expandir a produção global de alimentos e, conseqüentemente, o volume de biomassa disponível, sem grande risco ambiental.

O maior consumo de biomassa ainda deve depender dos seguintes fatores: (i) disponibilidade de matéria-prima; (ii) custos de produção da energia com base na biomassa; (iii) logística de fornecimento, uma vez que as *commodities* agrícolas, as culturas energéticas e os resíduos em geral exigem adequada infraestrutura de abastecimento; e (iv) aspectos ambientais, como a disponibilidade e a qualidade da água, a qualidade do solo e a biodiversidade, que poderiam resultar em regulamentações restritivas ao uso.

A maior parte da biomassa consumida em 2030 ainda virá de resíduos agrícolas e florestais, com parcela crescente originada de culturas energéticas para a produção de biocombustíveis. A tendência é que, de forma crescente, a produção de energia com base em biomassa ocorra em biorrefinarias, nas quais os biocombustíveis para transporte, energia elétrica, calor, químicos e outros produtos de mercado serão coproduzidos por meio de diferentes tipos de biomassa, extraindo o máximo aproveitamento dos insumos utilizados.

Segundo a FAO, outro aspecto positivo que pode impulsionar o consumo de biomassa é o crescimento de renda e emprego em regiões agrárias. Enquanto as fontes fósseis de energia, como o petróleo e o gás, costumam ter sua oferta concentrada, as fontes de biomassa, incluindo a florestal, estão espalhadas pelo globo, o que pode permitir maior desenvolvimento local nas economias.

Finalmente, as incertezas relativas a qualquer previsão acerca da biomassa devem levar em consideração não somente os custos da bioenergia e o futuro quadro político acerca das metas de redução das emissões de gases de efeito estufa, mas também a competição pelo uso da terra, a melhora da produtividade de culturas energéticas, a disponibilidade de água para produção agrícola, os efeitos das alterações climáticas e o desenvolvimento de tecnologias avançadas de conversão.

Também residem questionamentos sobre os impactos que essa eventual ampliação traria nas demais indústrias florestais. Para 2020, a consultoria Pöyry projeta que a demanda da União Europeia por madeira para energia será entre 340 milhões e 420 milhões de m<sup>3</sup>, o que, somado à demanda das indústrias de madeira tradicionais (como celulose e painéis de madeira), levaria a demanda total a um patamar entre 740 milhões e 820 milhões de m<sup>3</sup>. A oferta estimada é projetada entre 520 milhões e 560 milhões de m<sup>3</sup>, o que implicaria a necessidade de 200 milhões de m<sup>3</sup> de madeira de outras regiões. Tal desequilíbrio de mercado pode implicar maiores custos de produtos como celulose e painéis de madeira. No entanto, ao passo que culturas exclusivamente energéticas aumentam esse conflito, a utilização maior de resíduos pode significar um aumento de rentabilidade por meio de subprodutos, ampliando a atratividade das indústrias tradicionais de madeira.

### **Mercado de *pellets* de madeira**

Apesar de ainda se encontrar no seu estágio inicial, o mercado de *pellets* de madeira apresenta imenso potencial. Segundo a USDA, no mercado americano apenas uma pequena fração das residências utiliza *pellets* de madeira como fonte de aquecimento. O aquecimento elétrico, uma das maneiras menos eficientes de aquecimento residencial, é a fonte primária de calor nos mais de 30 milhões de lares americanos. Lareiras convencionais são outro mercado potencial por sua pequena comodidade, por serem mais poluentes e pelo fato de seu uso ser proibitivo quando as condições atmosféricas são menos favoráveis. Por queimar a temperaturas mais elevadas, os fornos *pellet* emitem menos partículas, sendo a opção natural se os fornos tradicionais forem banidos.

Tal como nos mercados europeus mais maduros, outro potencial mercado norte-americano são as unidades centrais de aquecimento movidas a *pellets*, embora haja entraves logísticos para a expansão desse mercado (por exemplo, entrega a granel em veículos especializados, ainda não disponíveis em número suficiente no país). Ainda segundo o USDA, um futuro aprimoramento do mercado de *pellets* seria a utilização de madeira torrificada, particularmente quando a utilização do *pellet* for em plantas de energia.

Tabela 11 | Consumo global de pellets de madeira (em milhões de toneladas)

Região	2008	2015(E)	% 08	% 15(E)
Europa Ocidental	9,0	15,5	76,9	66,2
América do Norte	2,0	5,3	17,1	22,6
Leste Europeu	0,3	0,9	2,6	3,8
Japão e Oceania	0,2	0,9	1,7	3,8
China	0,1	0,4	0,9	1,7
América do Sul	<0,1	0,3	0,4	1,3
Rússia	<0,1	0,1	0,4	0,4
<b>Mundo</b>	<b>11,7</b>	<b>23,4</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

Fonte: Pöyry (2010).

Entretanto, o mercado de *pellets* de madeira sofre um limite de oferta, representado pelo volume disponível de resíduos, embora a utilização de florestas plantadas possa significar um acréscimo relevante nos custos de produção. Contudo, existe um lado positivo nessa mudança, que é a possibilidade de ampliar a escala de produção, bem como de garantir uma oferta firme e constante.

Nesse âmbito, um dos maiores destaques na oferta global ocorreu no Brasil, pelo anúncio do grupo Suzano da criação de uma subsidiária, a Suzano Energias Renováveis, voltada à produção de *pellets* de madeira oriundos de florestas plantadas, com a finalidade de exportação.

Segundo informações divulgadas a mercado, a empresa vai operar com plantio adensado e corte esperado de dois a três anos após o plantio. A Suzano pretende atingir um IMA superior aos 45 m<sup>3</sup>/ha/ano obtidos pelas florestas atuais, dedicadas à produção de celulose. Em um primeiro momento, a empresa investirá cerca de US\$ 800 milhões para a produção de três plantas industriais com capacidade de produção de 1 milhão de toneladas/ano cada e expectativa de operar a plena capacidade em 2014. Num segundo momento, serão investidos US\$ 500 milhões para a instalação de outras duas plantas com capacidade de 1 milhão de toneladas/ano cada, com previsão de operação a plena capacidade entre 2018 e 2019. Se essas cinco plantas entrassem hoje em operação, seriam responsáveis por um acréscimo de cerca de 25% na oferta global desse mercado. Como exercício, se o mercado crescer a uma taxa média de 10% a.a., em 2019 serão consumidos 30 milhões de toneladas de *pellets* de madeira, o que implicaria um *market-share* de 16%, caso as plantas da Suzano operassem a plena capacidade, o que a tornaria líder global nesse mercado.

Como vantagem do modelo de negócio adotado pela Suzano, está a possibilidade de estabelecimento de contratos de venda de longo prazo (a empresa já assinou acordos de entendimentos com empresas de energia inglesas), visto que a garantia de oferta de insumo e o acordo de fornecimento de longo prazo podem gerar maior previsibilidade no fluxo de caixa da companhia, reduzindo a incerteza do negócio. Esse pode ser o início de um novo destaque brasileiro no setor de bioenergia, assim como ocorreu com o etanol oriundo da cana-de-açúcar.

No lado da demanda, segundo a consultoria Pöyry, o grande destaque em 2015 ainda será a Europa Ocidental, com um *market-share* de 66,2%, impulsionado por um crescimento médio no período 2008-2015 de 8,1% a.a. A expectativa da consultoria é de que em 2015 sejam consumidos 23,4 milhões de toneladas de *pellet* de madeira no mundo.

Ainda segundo a Pöyry, as perspectivas são muito favoráveis a esse mercado, em especial na União Europeia. Considerando somente o potencial de cocombustão, se as plantas operadas a carvão mineral queimassem com 5% de *pellets* de madeira, seriam demandados 41 milhões de toneladas por ano, algo como 3,5 vezes a produção mundial de 2008.

## Conclusão

A biomassa de madeira apresenta-se, definitivamente, como uma alternativa viável à utilização dos combustíveis não renováveis na produção de energia. A vantagem dessa utilização, contudo, está longe de ser absoluta, pois necessita da reunião de condições específicas ou de incentivos governamentais para se materializar. O impacto das recentes metas anunciadas pela União Europeia prova esse ponto. O maior desenvolvimento desse mercado está intrinsecamente relacionado à possível adoção de metas de redução de emissão de CO<sub>2</sub>, tanto por países desenvolvidos quanto por países em desenvolvimento.

Do lado da oferta, os resíduos florestais e industriais são a maior oportunidade no curto prazo. No entanto, é necessário maior desenvolvimento de infraestrutura logística para aproveitamento desses resíduos, em especial nos países em desenvolvimento. No Brasil, já existe ampla utilização da madeira como energia no setor de celulose, por meio do licor negro, mas

ainda reside um imenso potencial de exploração de resíduos em outras indústrias madeireiras. É importante salientar que no país existe grande competição com a biomassa de bagaço de cana, que pode absorver maior parcela de investimento no aproveitamento de resíduos.

Já as florestas energéticas ainda são incipientes e restritas a países de alta produtividade, como o Brasil, em face do recente anúncio da criação da Suzano Energias Renováveis, que pode colocar o país novamente como destaque global na bioenergia, assim como ocorreu com o etanol oriundo de cana-de-açúcar. Entretanto, a competição pela terra para o cultivo de alimentos, madeira para fins industriais e outras culturas energéticas pode reduzir o ritmo dessa expansão, além de questões como o uso de recursos hídricos e desgaste do solo.

Também permanecem dúvidas sobre qual será o impacto, nos setores tradicionais de uso da madeira, da ampliação do uso desse insumo para fins energéticos. Se, de um lado, a utilização de subprodutos pode ampliar as receitas, de outro, a competição pelo insumo pode levar a uma alta dos custos, prejudicando a rentabilidade se as indústrias não forem capazes de elevar seus preços aos consumidores.

O desequilíbrio global entre oferta e demanda local por madeira para energia começa a ser minimizado com a produção de *pellets* de madeira. A densificação reduz o custo do frete, ampliando as possibilidades de comércio internacional. Novamente, o peso das metas governamentais se faz presente, colocando o mercado europeu como destaque no âmbito global. O Canadá já dedica grande parte da produção a esse mercado, os Estados Unidos parecem ter descoberto o filão recentemente e o Brasil deve ser o próximo a oferecer *pellets* de madeira para o continente europeu.

Do lado das rotas de conversão, a tendência é que, de forma crescente, a produção de energia de biomassa ocorra em biorrefinarias, nas quais os biocombustíveis para transporte, energia elétrica, calor, químicos e outros produtos de mercado serão produzidos por meio de diferentes tipos de biomassa, extraindo o máximo aproveitamento dos insumos utilizados. Outras promessas no médio e longo prazos residem na gaseificação e na segunda geração de biocombustíveis, originados de plantações celulósicas e dissociados da produção de alimentos.

Finalmente, há a questão da grande competição entre as fontes de energia renováveis, sobretudo na geração de eletricidade. Em termos gerais, é difícil aferir a competitividade das diversas utilizações, o que depende da localização, dos custos de transporte, da escala, do custo de produção, bem como do desenvolvimento tecnológico das rotas de conversão existentes para as fontes renováveis. Nesse sentido, a viabilidade do tipo de energia a ser empregada é determinada em cada caso particular, de acordo com tais fatores.

## Referências

- ABTCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. *A fabricação de papel*, 2010.
- ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Atlas de energia elétrica do Brasil*. 2ª ed. Brasília, 2005.
- \_\_\_\_\_. *Atlas de energia elétrica do Brasil*. 3ª ed. Brasília, 2008.
- BRACELPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. *Panorama da indústria brasileira de celulose e papel*, 2010.
- CONSUFOR. *Produção de pellets no Brasil*, 2010.
- COUTO, Luiz Carlos *et. al.* *Vias de valorização energética da biomassa. Biomassa & Energia*, v. 1, n. 1, p.71-92, 2004.
- EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Balanço energético nacional*. Rio de Janeiro, 2009.
- European Pellet Centre. *Final Report on producers, traders and consumers of wood pellets*, 2009.
- FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *Unified bioenergy terminology*. Roma, 2004.
- \_\_\_\_\_. *Forest and Energy in Emerging Countries*, 2007.
- \_\_\_\_\_. *Forest and Energy*, 2008a.
- \_\_\_\_\_. *Forest and Energy in OECD Countries*, 2008b.
- GARCIA, Éder Aparecido *et al.* Eucalipto adensado para a produção de bioenergia, Curitiba, 2009. *Remade – Revista da Madeira*. Curitiba, 2010.
- HANSEN, Morten Tony. *English handbook for wood pellet combustion*. European Pellet Centre, 2002.

- IEA – INTERNACIONAL ENERGY AGENCY. *Global Wood Pellets Markets and Industry: Policy Drivers, Market Status and Raw Material Potential*, 2007.
- \_\_\_\_\_. *World energy outlook*. Paris, 2008.
- \_\_\_\_\_. *World energy outlook*. Paris, 2009.
- IEA BIOENERGY. *Annual report*. Paris, 2009.
- MABEE, Warren E.; SADDLER, JOHN N. *Forest and energy in OECD countries. Forests and energy working paper 2*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2007.
- MÜLLER, Marcelo Dias. *Avaliação de um clone de eucalipto estabelecido em diferentes densidades de plantio para produção de biomassa e energia*, *Biomassa & Energia*, v.2, n.3, p.177-186, 2005.
- PEKSA-BCANCHARD, Malgorzata *et al.* Global wood pellets markets and industry: policy drivers, market status and raw material potential. *IEA Bioenergy Task 40*. IEA Bioenergy, nov. 2007.
- PÖYRY. *Wood supply and demand in Europe – A delicate balance*, 2010.
- RENABIO. *Vias de Valorização Energética da Biomassa*, 2004.
- \_\_\_\_\_. *Avaliação de um clone de eucalipto estabelecido em diferentes densidades de plantio para produção de biomassa e energia*, 2006.
- SANTOS, Juliana R. Siviero dos *et al.* Efeito da torrefação na redução granulométrica de resíduos de eucalipto. *Remade – Revista da Madeira*. Curitiba, 2010.
- SIKKEMA, Richard *et al.* *Final report on producers, traders and consumers of wood pellets*. Viena: Intelligent Energy Europe, 2009.
- SUZANO PAPEL E CELULOSE. *Apresentação institucional*, 2010.
- TOMASELLI, Ivan. Forest and energy in emerging countries. *Forests and energy working paper 2*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2007.
- USDA. *North America's Wood Pellet Sector*, 2009.
- WEC. *Survey of Energy Resources*, 2007.

**Sites consultados**

Aebiom – European Biomass Association. Disponível em: <<http://www.aebiom.org>>. Acesso em: dezembro de 2010.

Aneel – Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: dezembro de 2010.

CDIAC – Carbon Dioxide Information Analysis Center. Disponível em: <<http://cdiac.ornl.gov>>. Acesso em: dezembro de 2010.

Cenbio – Centro Nacional de Referência em Biomassa. Disponível em: <<http://cenbio.iee.usp.br/>>. Acesso em: dezembro de 2010.

EIA – U.S. Energy Information Administration. Disponível em: <<http://www.eia.doe.gov>>. Acesso em: dezembro de 2010.

Eubia – European Biomass Industry Association. Disponível em: <<http://www.eubia.org>>. Acesso em: dezembro de 2010.

European Pellet Centre. Disponível em: <<http://www.pelletsatlas.info>>. Acesso em: dezembro de 2010.

European Union – Eurostat. Disponível em: <<http://epp.eurostat.ec.europa.eu>>. Acesso em: dezembro de 2010.

FGV Dados – Fundação Getúlio Vargas. Disponível em: <<http://portalibre.fgv.br>>. Acesso em: dezembro de 2010.

United Nations. Disponível em: <<http://www.un.org/>>. Acesso em: dezembro de 2010.

Wood Pellet Association of Canadá. Disponível em: <<http://www.pellet.org>>. Acesso em: dezembro de 2010.

World Bank. Disponível em: <<http://www.worldbank.org>>. Acesso em: dezembro de 2010.

World Resources Institute. Disponível em: <<http://earthtrends.wri.org>>. Acesso em: dezembro de 2010.

