

Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”  
LEB - 244 Recursos Energéticos e Ambiente

## **Florestas Energéticas**

Piracicaba, 2013

**Conteúdo**

Introdução .....	3
1. Panorama Mundial .....	3
2. Panorama Brasileiro .....	6
3. Processos para obtenção de energia .....	10
3.1. Briquete .....	15
4. Viabilidade econômica .....	16
5. Vantagens .....	18
6. Desvantagens .....	20
7. Legislação .....	20
Conclusão .....	22
Referencial Teórico .....	24

## **Introdução**

A utilização da lenha como forma de energia foi uma das primeiras alternativas utilizada pelo homem, primeiramente pelo domínio do fogo e, posteriormente, empregada para aquecimento e cozimento de alimentos.

Com a Revolução Industrial ocorreu um avanço no uso da madeira empregada nas indústrias e nos transportes (máquinas a vapor). A partir do carvão mineral, obtido pelo processo de destilação (pirólise), foi também possível produzir gás combustível que permitiu as primeiras instalações de iluminação pública e posteriormente o seu uso nas residências em fogões e aquecedores de água. Com isso, a utilização excessiva de recursos naturais e a exploração predatória das florestas começaram a chamar a atenção para o impacto ambiental e suas consequências, e desse modo, houve a necessidade de monitorar a demanda e o suprimento da madeira. Porém, com a descoberta de novas fontes de energia, como o petróleo e a hidroeletricidade, a lenha teve uma expressiva queda no cenário energético.

Atualmente, estudos apontam um significativo aumento no uso da lenha e seus derivados. Isso se deve as facilidades de obtenção deste recurso, tanto plantado, quanto no extrativismo. Em alguns países, além da capacidade de sequestro de carbono, bem como pela alternativa à substituição do uso de petróleo e redução de gases do efeito estufa.

### **1. Panorama Mundial**

A biomassa tradicional é considerada a “energia dos pobres”, pois é de fácil acesso, não necessita de processamento para ser utilizada e a utilização da madeira como fonte de energia é mais evidenciado e países em desenvolvimento, sendo 95% da fonte de energia em diversos países e somente 4% em países industrializados, como ilustra a figura seguir, onde ela é um componente de vital importância no suprimento de energia primária, principalmente no uso doméstico e industrial.

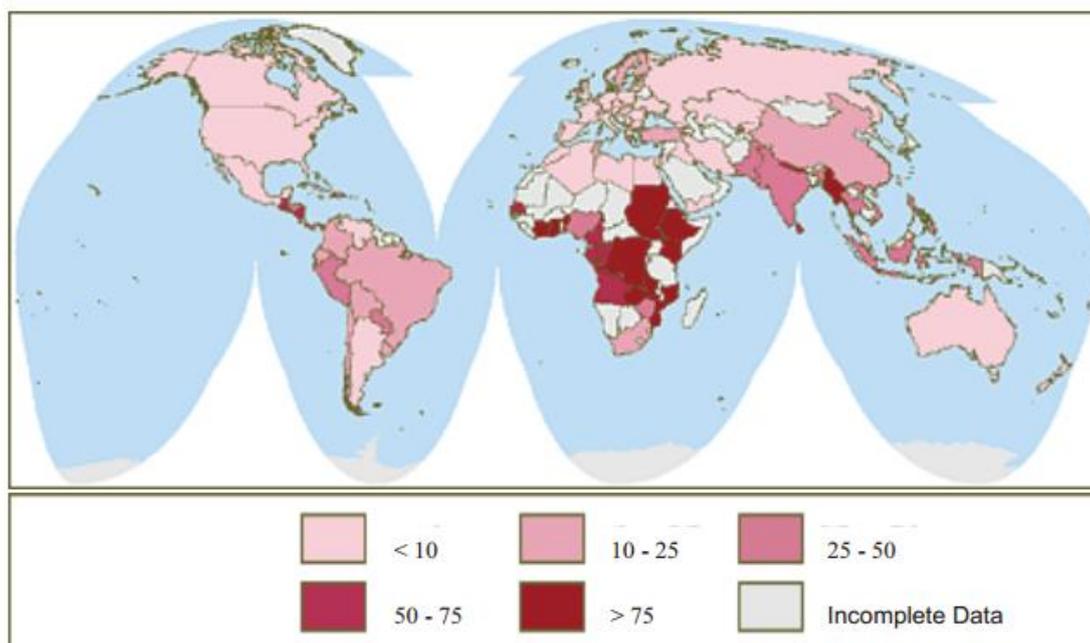
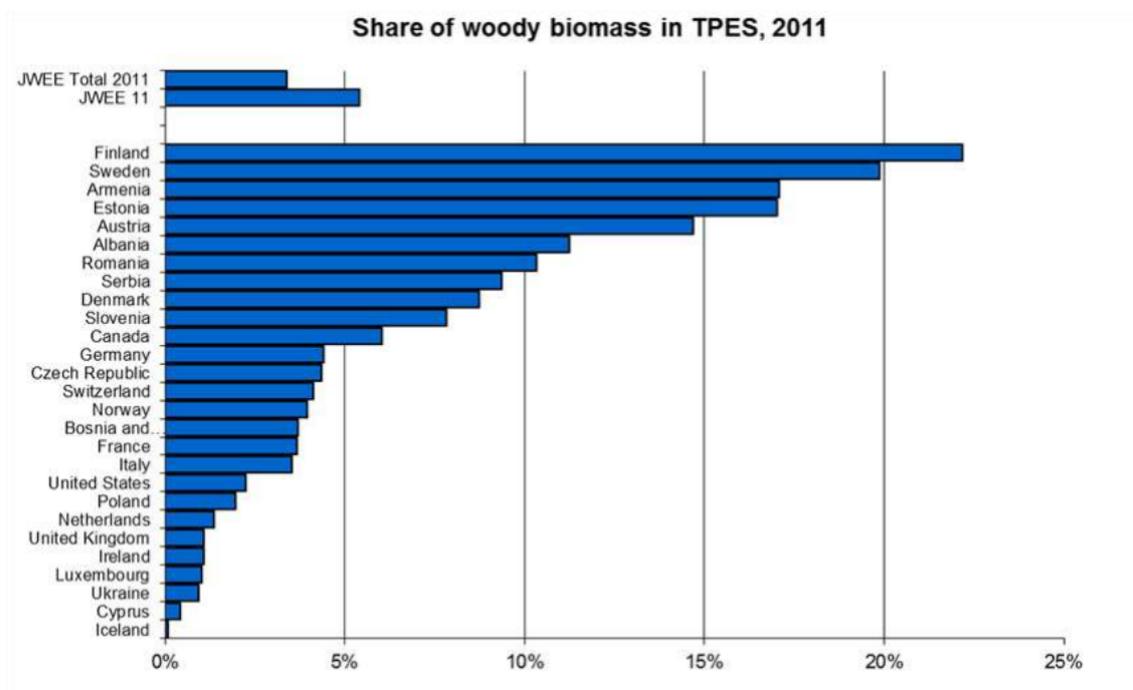


Figure 1 – Percentage of forest biomass in the national energy matrix of some countries (World Research Institute, 2007)

Segundo a UNECE/FAO Forestry & Timber Section em parceria com a Agência Internacional de Energia (IEA), a oferta interna de energia proveniente da madeira para o ano de 2011, está relacionada na imagem abaixo:

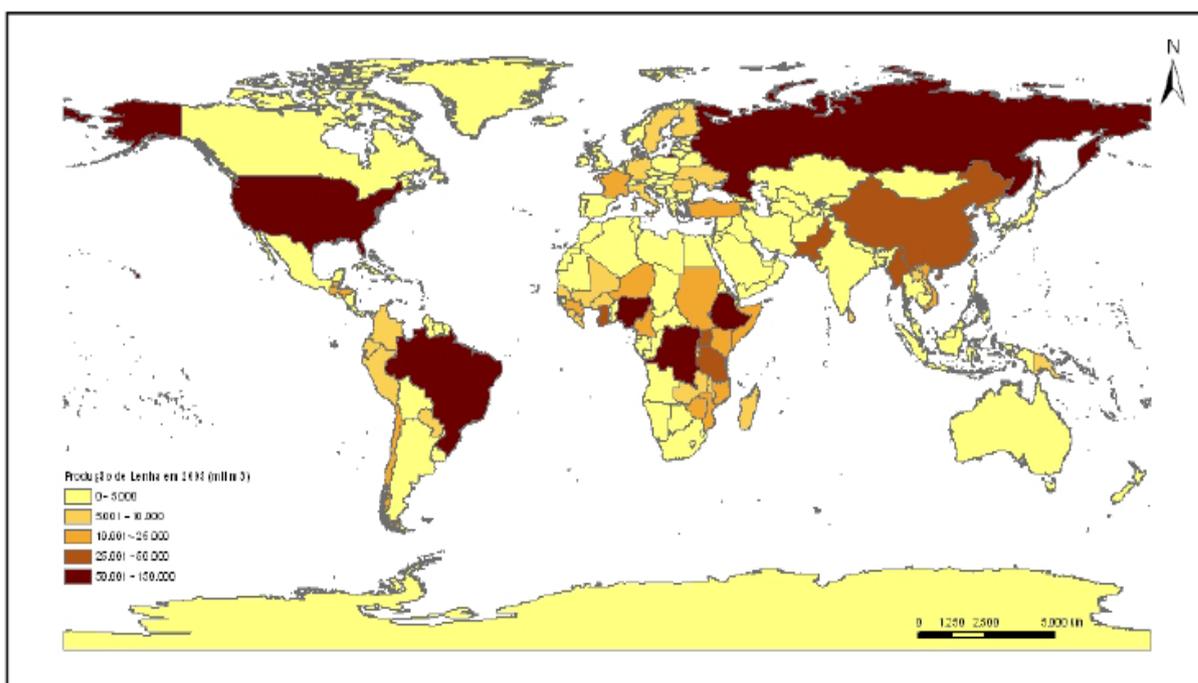


Para a IEA (2004), em 2030, estima-se que a oferta mundial de energia crescerá 46,9%, comparada à oferta de 2004, e será de 16.487 Mtep, sendo a participação da biomassa tradicional na oferta mundial de energia de 5,6%.

No setor residencial, metade das famílias do mundo ainda utiliza lenha ou carvão vegetal para cocção e aquecimento. Em 2004, isto representou 825,72 Mtep, que correspondem a 10,8% do consumo total de energia, ou ainda, a 78,8% do consumo de combustíveis renováveis e resíduos (IEA, 2006a).

Essa fonte de energia segundo Brito (et al. 2004) possui alto potencial renovável e produtivo, especialmente no caso brasileiro, pode expressar uma matriz energética socialmente mais justa e ambientalmente mais saudável , já que é uma das fontes de energia que possibilita uma das maiores taxas de geração de emprego por recurso monetário investido. Entretanto uma das críticas a esse tipo de energia é a retirada ilegal da madeira, prejudicando e inviabilizando a produção sustentável da energia. Em países desenvolvidos vem sendo usado como importante fonte de energia, pois é uma energia ambientalmente mais saudável, potencializando-se como alternativa para os combustíveis fósseis, levando à diminuição das emissões dos gases do efeito estufa.

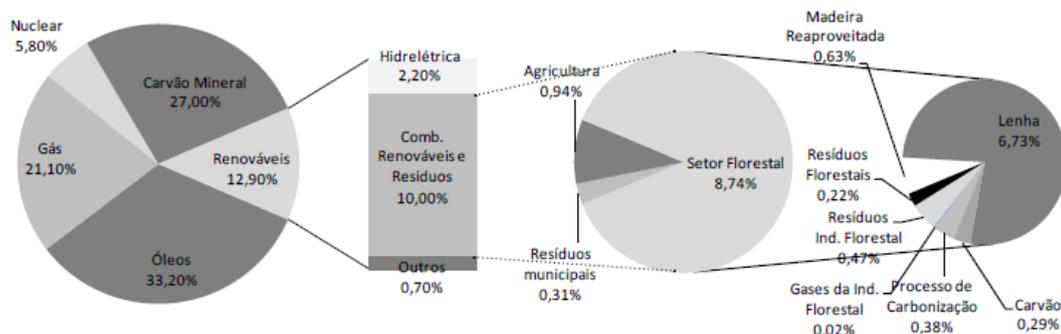
A produção dessa fonte de energia também é desigual em alguns países, em 2005, 50% da produção total de biomassa tradicional (lenha e carvão vegetal produzidos com pouca eficácia a partir de desmatamentos insustentáveis) esteve concentrada em nove países: Brasil, Etiópia, Congo, Nigéria, Estados Unidos, Rússia, China, Uganda e Myanmar (UHLIG, 2008). Conforme figura abaixo:



Produção mundial de lenha em 2005. Fonte: UHLIG, 2008

O consumo e produção de lenha e carvão vegetal está associada a disponibilidade de vegetação, e esta por sua vez está ligada a questões de

desmatamento. Estudos apontam que no período de 2000 – 2005, os países que mais desmataram foram: Brasil, Indonésia, Sudão, Rússia, México, Papua-Nova Guiné e Peru. Desse modo, destacando a necessidade de florestas plantadas para atender a demanda crescente. A imagem abaixo faz referência as fontes de energia em referência ao uso no setor florestal.



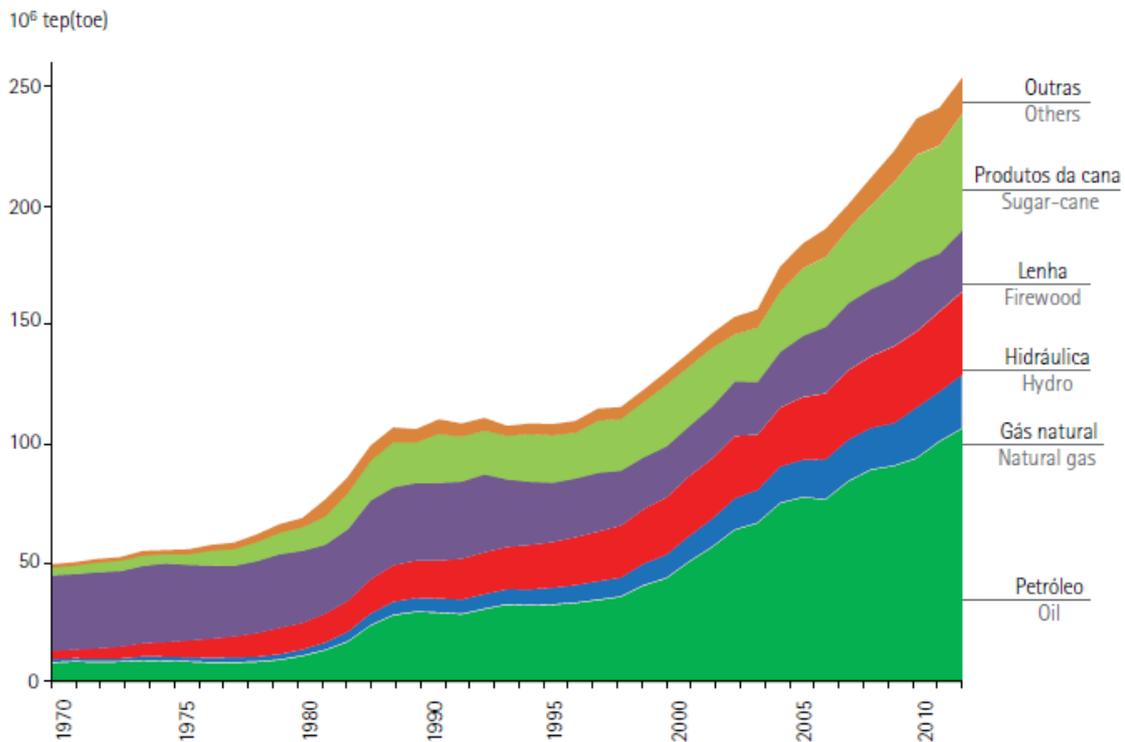
Estimativa da contribuição das fontes de energia para a matriz energética mundial em 2008. Dados obtidos em Metz et al. (2007) e International Energy Agency (2010).

## 2. Panorama Brasileiro

A madeira como fonte de energia no Brasil tem um papel importante desde o período colonial. Até 1972 ela foi a fonte de energia mais consumida no País, sendo superada apenas em 1973 pela energia derivada do petróleo e somente em 1978 foi suplantada pela hidroeletricidade (BRITO,1990).

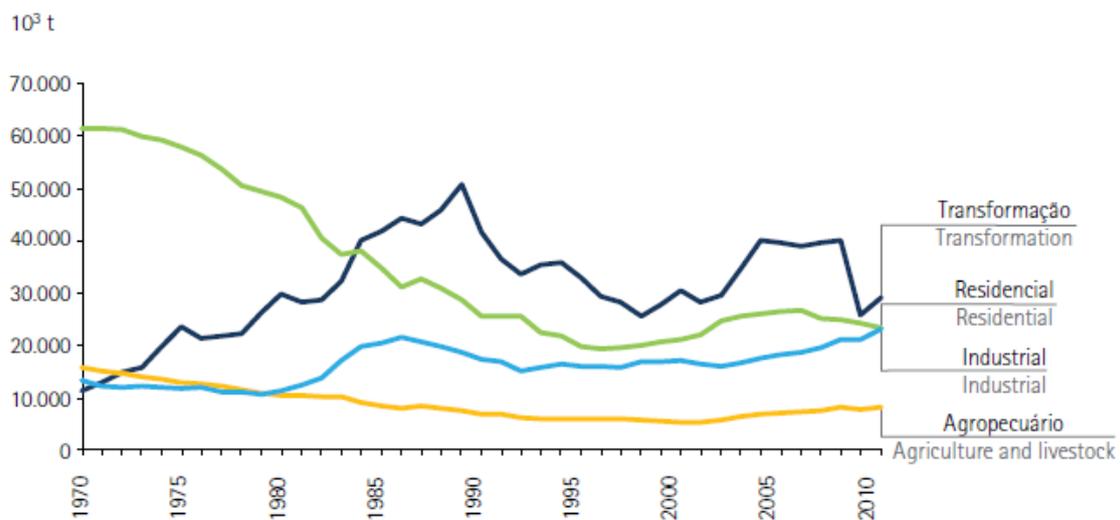
Seguinte o Balanço Energético Nacional (BEN) do ano de 2012, com base no ano de 2011, a produção primária de energia no Brasil teve em primeiro lugar o petróleo, seguido pelos produtos da cana-de-açúcar, pela hidroeletricidade e em quarto lugar pela produção de lenha. Isto reflete a importância que a produção de lenha ainda tem na matriz energética do País, ainda que muitos a considerem algo “atrasado e primitivo”, ela ainda é muito presente na nossa realidade.

## Produção de Energia Primária Primary Energy Production



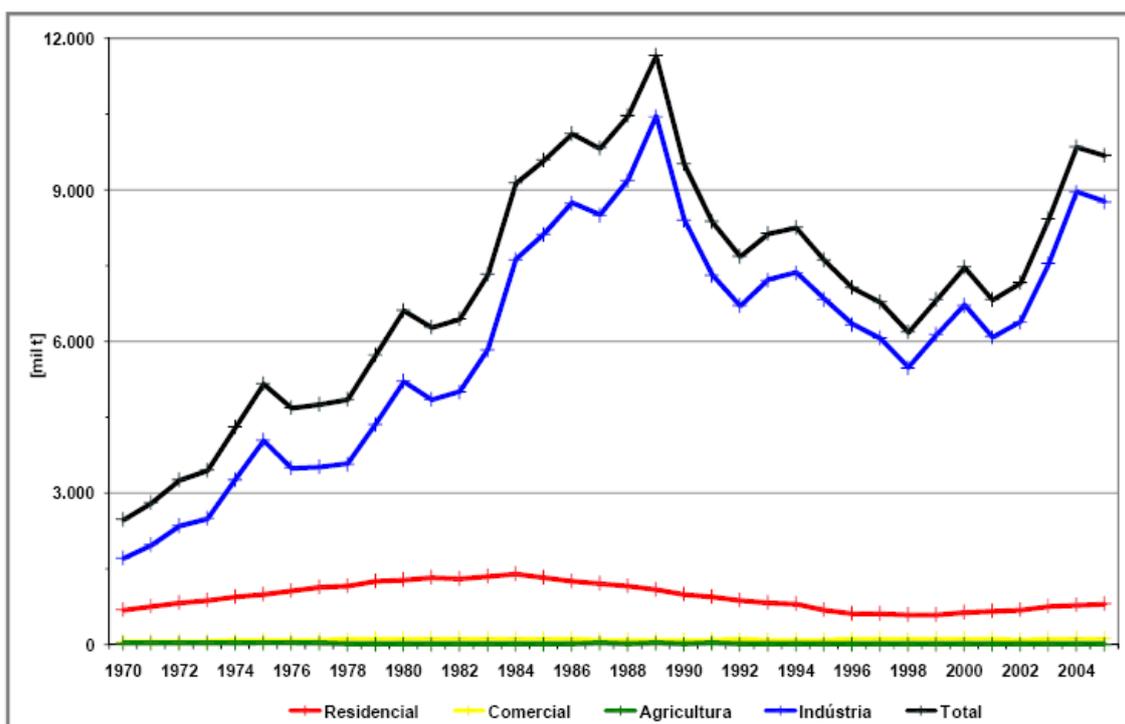
Atualmente o setor que mais consome lenha no Brasil é o de Transformação, responsável pela produção do carvão vegetal e geração de energia, seguido respectivamente pelo setor Residencial, Industrial e Agropecuário.

## Lenha



Quanto a produção de carvão vegetal brasileira, ela é destinada basicamente para utilização residencial urbana e rural e, sobretudo, ao atendimento da demanda das indústria e seus diversos segmentos (siderurgia, metalurgia, cimento, etc.). Como

um indicador da demanda do setor Industrial, só nos últimos 20 anos, apenas o seguimento de siderurgia tem consumido mais de 84% da produção nacional. E a perspectiva de substituição, pelas grandes agroindústrias, dos combustíveis fósseis por carvão vegetal deve incrementar o consumo e a produção (DUBOC, 2008). O Brasil é o maior produtor mundial de aço, tendo como base o carvão vegetal para fins de redução do minério de ferro (BRITO et al, 2004).

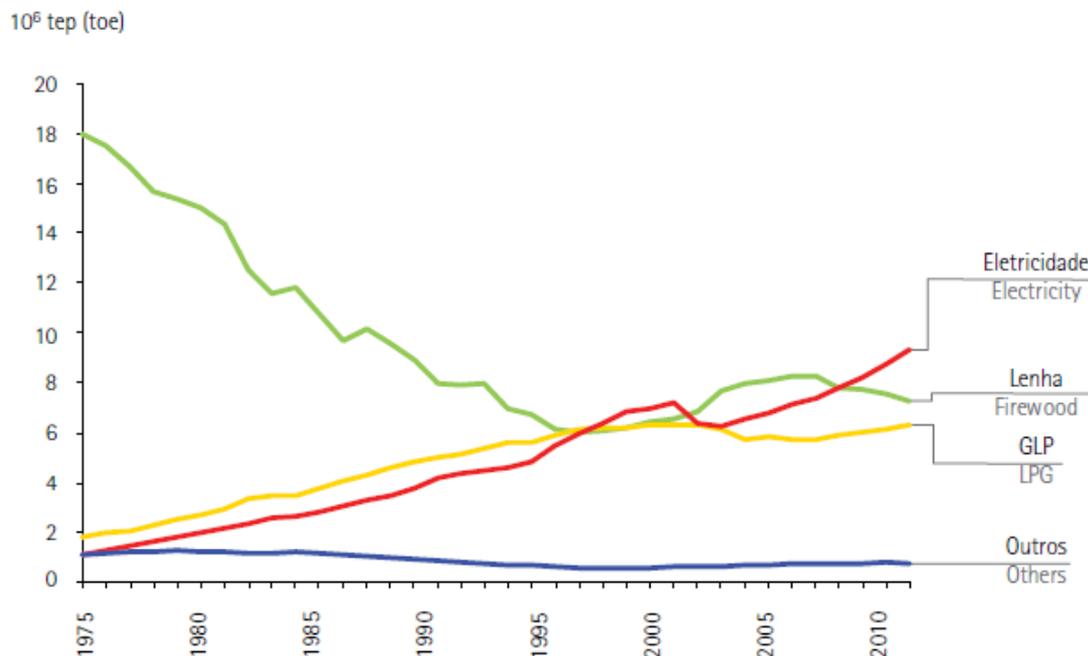


Consumo de carvão vegetal por setor, em milhares de toneladas. Fonte: ULHIG, 2008

No caso da energia usada para fins domiciliares destaca-se as pessoas vinculadas às camadas mais pobres da população, que possuem dificuldades de acesso a outras fontes energéticas, por razões econômicas ou estruturais. Um exemplo sensível disso é o que podemos notar no gráfico abaixo: até pouquíssimo tempo, mais precisamente até 1995, a lenha era a fonte de energia mais consumida no Brasil, sendo posteriormente superada pela energia elétrica a partir de então, porém de 2001 à 2007, quando o país sentia os efeitos do “Racionamento de Energia Elétrica”, automaticamente a população, sobretudo a de renda mais baixa, recorreu ao uso de lenha para obter energia. Outra coisa que também podemos verificar é a considerável adesão de moradores de comunidades carentes à soluções como fornos a lenha, o que muitas vezes lhes oferecem riscos quanto a incêndios.

## Consumo Final no Setor Residencial

### Residential Sector Energy Consumption



Fonte: BEN 2011

A produção de carvão vegetal no Brasil continua em boa parte vinda de florestas nativas, ainda que este percentual em 2006 tenha diminuído para menos da metade, totalizando 48,98%, o que é uma significativa queda em relação aos anos 80, porém ainda é um índice elevado. A insuficiência de carvão vegetal proveniente de reflorestamento tem levado ao aproveitamento de resíduos lenhosos resultantes da expansão da fronteira agrícola, intensificando a pressão sobre os remanescentes florestais, em especial do Cerrado (DUBOC, 2008).

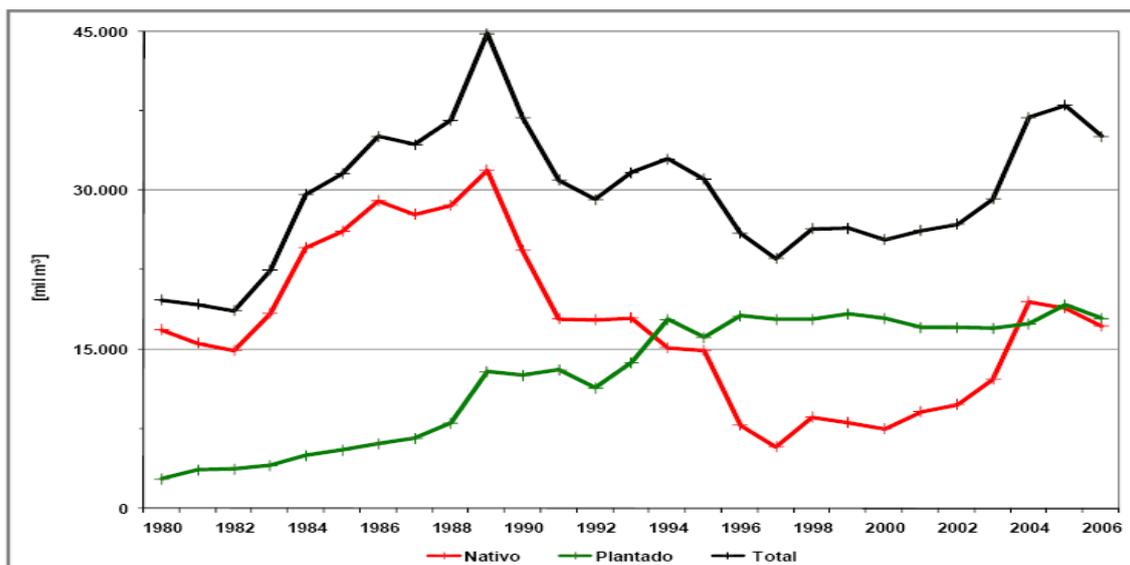


Figura - Evolução da produção de carvão vegetal segundo a origem, em milhares de

metros cúbicos. Fonte: ULHIG, 2008

O Brasil apresenta grande competitividade no mercado de produtos florestais, devido as suas características edafoclimáticas e do desenvolvimento tecnológico obtido na área de silvicultura (MATTOS et al, 2002); entretanto é necessário desenvolver tecnologias para a produção de carvão vegetal. O potencial de crescimento é grande, podendo relacionar-se com outros fatores como a complementação da geração hidrelétrica através de usinas termelétricas, queimando madeira produzida pelo manejo sustentado de florestas; a utilização, em áreas distantes dos campos de petróleo e das refinarias de óleos vegetais, combustíveis extraídos de plantas florestais substituindo o óleo diesel.

As formas renováveis de energia só se tornam viáveis, em larga escala, se puderem evoluir gradativamente de uma situação de base tecnológica mais primitiva e rudimentar para a incorporação de tecnologias avançadas, de forma a assegurar maior eficiência energética e a se tornarem ecológica e economicamente compatíveis.

### **3. Processos para obtenção de energia**

Uma das várias definições que são encontradas para designar o que é biomassa é: “A quantidade total de matéria orgânica viva em nosso sistema ecológico”. Recentemente uma definição diferente foi sugerida para definir a biomassa no contexto de sua utilização pela indústria, é a “biomassa industrial”. O termo é usado para designar qualquer matéria orgânica disponível capaz de ser utilizada para produção de energia, combustível químico e materiais, incluindo resíduos agrícolas, madeira e resíduos de madeira, plantas, plantas aquáticas, resíduos urbanos, dejetos de animais, entre outros (KAMM et al., 2006).

Em geral, a biomassa é composta por Celulose, Hemicelulose, Lignina, Extrativos e Minerais. Esses polímeros são armazenados na plantas como produto da fotossíntese. O principal componente presente na biomassa é a celulose (40-80%), um polímero cristalino de alta massa molecular. Em segundo lugar está a Hemicelulose com (15-40%), que é um polímero amorfo composto de açúcares com 5 ou 6 átomos de carbono, e ácido glucônico. Possui menor peso molecular e menor grau de polimerização que a celulose. A lignina é o terceiro componente em maior proporção (10-30%), é uma substância polifenólica de estrutura tridimensional altamente ramificada e funciona como um ligante para aglomeração da celulose e Hemicelulose protegendo-as contra a destruição de microorganismos (HUBER et al., 2006; (MOHAN

et al., 2006).

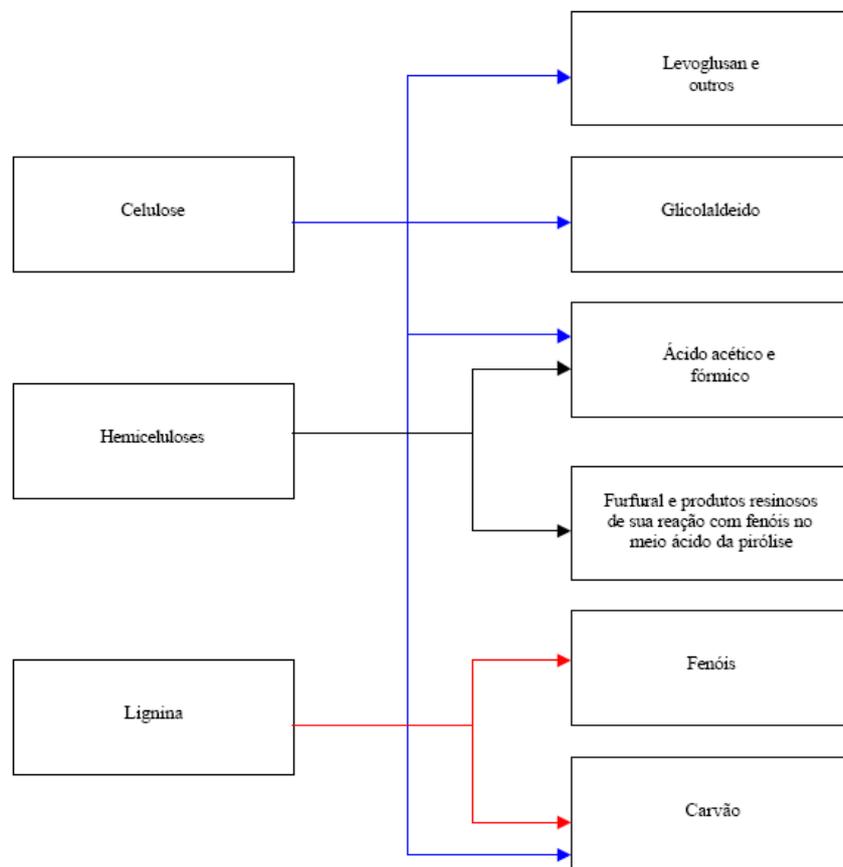


Figura - Produtos Gerados a partir das diferentes partes que formam a biomassa.

Fonte: Rocha et.al., 2004

Os extrativos, como terpenos, alcalóides, compostos fenólicos, açúcares, óleos essenciais, etc., são compostos que podem ser extraídos usando solventes polares ou apolares. A biomassa também contém compostos inorgânicos que aparecem na forma de cinzas após a pirólise. Os principais elementos encontrados nas cinzas são: Si, Ca, K, Fe, P, Al, Na e Mg (ROCHA, 1977). Cada resíduo apresentará uma proporção diferente de cada um dos compostos citados acima, sendo assim, originará um produto que é característico dessa composição (Tabela 1).

	Celulose	Hemicelulose	Lignina	Extrativos
Bagaço de cana	41,3	22,6	18,3	13,7
Fibra de coco	47,7	25,9	17,8	6,8
Casca de coco	36,3	25,1	28,7	8,3
Sabugo de milho	40,3	28,7	16,6	15,4
Pé de milho	42,7	23,6	17,5	9,8
Resíduo de algodão	77,8	16,0	0,0	1,1
Casca de amendoim	35,7	18,7	30,2	10,3
Casca de painço	33,3	26,9	14,0	10,8
Casca de arroz	31,3	24,3	14,3	8,4
Palha de arroz	37,0	22,7	13,6	13,1
Madeira (subabul)	39,8	24,0	24,7	9,7
Palha de trigo	30,5	28,9	16,4	13,4

Tabela - Composição da biomassa em % de Celulose, Hemicelulose, Lignina e Extrativos

A quantidade desses compostos será importante devido a quantidade de elementos como Carbono, Hidrogênio, Oxigênio e Nitrogênio, que se combinarão no processo de decomposição da biomassa gerando os compostos que formarão, por exemplo, o Carvão Vegetal, o bio-óleo e o bio-gás, como demonstrado na tabela abaixo.

	<b>C</b>	<b>H</b>	<b>N</b>	<b>O</b>
<b>Bagaco de cana</b>	43,8	5,8	0,4	47,1
<b>Fibra de coco</b>	47,6	5,7	0,2	45,6
<b>Casca de coco</b>	50,2	5,7	0,0	43,4
<b>Sabugo de milho</b>	47,6	5,0	0,0	44,6
<b>Pé de milho</b>	41,9	5,3	0,0	46,0
<b>Resíduo de algodão</b>	42,7	6,0	0,1	49,5
<b>Casca de amendoim</b>	48,3	5,7	0,8	39,4
<b>Casca de painço</b>	42,7	6,0	0,1	33,0
<b>Casca de arroz</b>	38,9	5,1	0,6	32,0
<b>Palha de arroz</b>	36,9	5,0	0,4	37,9
<b>Madeira (subabul)</b>	48,2	5,9	0,0	45,1
<b>Palha de trigo</b>	47,5	5,4	0,1	35,8

Tabela - Composição da biomassa em % de Carbono, Hidrogênio, Nitrogênio e Oxigênio.

O tipo de processo utilizado para obtenção de energia também influenciara na qualidade e quantidade de produto gerado. Dentre os processos existentes, os que serão aqui estudados são: a Pirólise Rápida, a Gaseificação e a Carbonização, que produzirão três parcelas distintas: a sólida (carvão), a líquida (chamado de líquido pirolítico ou bio-óleo, ou ácido pirolenhoso) e a gasosa. Esses três processos são métodos de conversão termoquímica da biomassa, originados de um mesmo processo, a Pirólise, que ocorrerá dentro de um reator; sendo que cada um favorecerá a formação de uma parcela diferente pela diferença na temperatura e residência dos gases no reator.

<b>Processo</b>	<b>Condições operacionais</b>	<b>Líquido (%p/p)</b>	<b>Sólido (%p/p)</b>	<b>Gás (%p/p)</b>
Pirólise lenta (Carbonização)	Temperatura baixa ~ 400°C Tempo de residência - horas/dias	30	35	35
Pirólise rápida	Temperatura moderada ~ 500°C Tempo de residência dos vapores baixo ~ 1s	75	12	13
Pirólise tipo Gaseificação	Temperatura elevada ~ 800°C Tempo de residência dos vapores longo	5	10	85

Tabela - Rendimento típico para diversos tipo de Pirólise

A pirólise acontece na ausência total ou parcial de oxigênio, é um processo de oxidação-redução na qual uma parte da biomassa é reduzida a carbono e a outra oxidada e hidrolisada, Sendo assim, o oxigênio é o fator controlador desse processo, sendo utilizado no controle da temperatura do sistema. Após a combustão inicial, o oxigênio irá determinar a temperatura: quanto mais oxigênio presente, maior será a temperatura dentro do reator. Estas reações dão origem a fenóis, carboidratos, álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos, que combinam-se entre si para dar moléculas mais complexas como ésteres, produtos poliméricos, etc.

O gás gerado na Pirólise é formado basicamente por monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrogênio e, dependendo das condições, metano, hidrocarbonetos leves, nitrogênio e vapor de água em diferentes proporções. Já o carvão é um agregado forte de carbono oriundo da biomassa. O processo de Pirólise rápida favorece ainda a formação de líquido e gera o que chamamos de bio-óleo.

Processo	Tempo de residência	Temperatura (°C)	Taxa de aquecimento	Produto principal
Pirólise lenta (Carbonização)	horas/dias	300-500	Muito baixa	Carvão vegetal
Pirólise convencional	5-30min	400-600	Baixa	Bio-óleo, Carvão e gases
Pirólise rápida	0,5 – 5s	400-650	Alta	Bio-óleo
<b>Pirólise flash</b>				
- Líquidos	< 1s	400-650	Alta	Bio-óleo
- Gases	< 1s	> 650	Alta	Químicos e gás comb.
Ultra-rápida	< 0,5s	1000	Muito alta	Químicos e gás comb.

Tabela - Produtos típicos obtidos pelos diferentes tipos de pirólise.

O bio-óleo é uma mistura complexa de compostos oxigenados (despolimerização e da fragmentação dos componentes principais: celulose, hemicelulose e lignina) com uma quantidade significativa de água, originada da umidade da biomassa e das reações, podendo conter ainda pequenas partículas de carvão e metais alcalinos dissolvidos oriundos das cinzas.

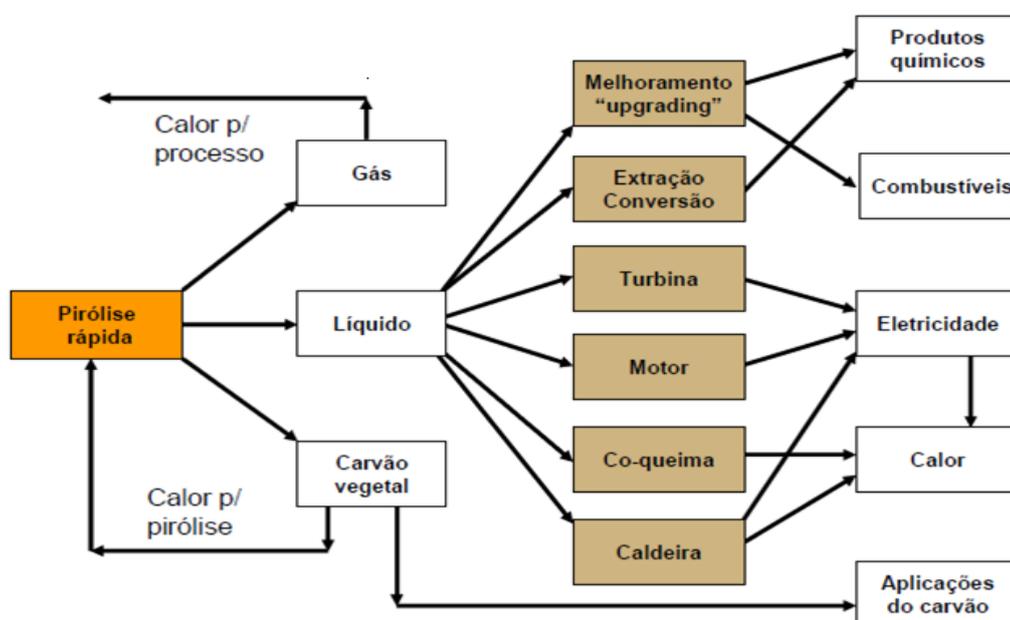


Figura - Aplicações do bio-óleo.

A composição e o rendimento do líquido pirolítico são dependentes das características do processo utilizado, além disso, o tipo e as características físico-químicas da biomassa também interferem nas características do produto.

Contudo o bio-óleo apresenta algumas características indesejáveis como, teor

de água e oxigênio elevados, instabilidade química, acidez alta e menor poder calorífico (17 MJ/kg) quando comparado com o óleo combustível convencional (43 MJ/kg). Portanto, para o bio-óleo ser usado como substituto do diesel ou gasolina ele deve ser melhorado. Para isso são utilizados processos de “upgrading” (melhoramento) como hidroxidação utilizando catalisadores típicos de hidrotratamento (CoMo, NiMo), o craqueamento com zeólitas, a mistura com o diesel formando uma emulsão e a reforma com vapor para produzir hidrogênio ou gás de síntese (BRIDGWATER, 2007; HUBER et. al, 2006).

No processo de gaseificação as parcelas líquidas e sólidas reagem com o ar, oxigênio puro ou vapor, favorecendo a formação da fase gasosa com a produção de monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrogênio, metano e nitrogênio

A gaseificação de biomassa compreende as seguintes etapas:

- sequenciais: secagem para evaporação da umidade;
- pirólise para obtenção de gases
- vapores do alcatrão e carvão;
- gaseificação ou oxidação parcial do carvão, alcatrão e gases gerados

na pirólise.

A gaseificação com o ar produz um gás com baixo poder, sendo mais vantajoso fazê-la com oxigênio puro ou com vapor, que produz um gás com médio poder calorífico, 10-12 MJ/m<sup>3</sup> e 15- 20MJ/m<sup>3</sup>, respectivamente. As tecnologias de gaseificação de biomassa têm sido demonstradas com sucesso nas escalas industriais, porém seu custo ainda é elevado quando comparado com a energia produzida a partir dos combustíveis fósseis.

A carbonização é o processo que visa aumentar a concentração de Carbono na biomassa favorecendo a formação da parcela sólida, chamada de carvão vegetal.

A lignina é o composto que mais contribui para a formação do resíduo carbonífero, pois ao contrário da celulose e da hemicelulose que apresentam degradação mais lenta, a lignina continua perdendo peso em temperaturas superiores a 500°C, e devido ao processo ocorrer a temperatura acima de 300°C, a lignina proporciona rendimentos de aproximadamente 55% de resíduo carbonífero.

### **3.1. Briquete**

Nos últimos anos, muitas empresas têm demonstrado interesse nos resíduos de biomassa para produção de energia. Esta técnica recebeu a denominação de briquetagem. Os briquetes são compensados de madeira ou outros tipos de matéria prima, como palha de arroz, por exemplo; que possuem grande potencial energético

se comparado com a lenha.

Estudos apresentam que para  $1\text{m}^3$  de lenha =  $\pm 330\text{ Kg}$ ,  $330\text{Kg} \times 2400\text{Kcal/Kg}$  =  $792.000\text{ Kcal/m}^3$  , enquanto que para o briquete  $1.000\text{ Kg} \times 4600\text{Kcal/Kg}$  =  $4.600.000\text{Kcal/Kg}$ . Portanto o Briquete é até 06 vezes mais eficiente que a lenha na relação  $\text{Kg/m}^3$ , pois para cada tonelada de briquete, é necessário  $5,8\text{m}^3$  de lenha. Além disso, o briquete é limpo, isento de insetos e muito fácil de armazenar.

Sua produção apresenta as seguintes etapas: Processo de secagem, processo de moagem e processo que briquetagem, dependendo do tipo de resíduo.



Figura – Briquetes e sua confecção.

#### 4. Viabilidade econômica

O Brasil reúne condições agrícolas e econômicas ideais para desenvolver e se beneficiar das tecnologias de utilização de lenha e outras biomassas para fins energéticos, por ser privilegiado em termos de extensão territorial, insolação e água, fatores essenciais para produção de biomassa em grande escala. Neste mesmo sentido, uma grande quantidade e variedade de resíduos florestais são geradas

anualmente pelas diversas indústrias de base florestal, por exemplo, a geração de resíduos na cadeia produtiva de serrados de Pinus é da ordem de 75%, ou seja, apenas 25% do volume total de uma árvore é colocado no mercado na forma de tábuas, caibros, ripas, etc.

Portanto o uso de processos e aparelhos de gaseificação, para geração de energia em pequena escala e outros usos, constitui uma alternativa econômica e socialmente viável para o País, principalmente pelo fato de que apenas 25% das 5167 milhões de propriedades rurais possuem eletrificação rural, ou seja, mais de 23 milhões de pessoas no meio rural, não dispõem de energia elétrica. Além de outros fatores:

- a madeira é um recurso natural renovável;
- pode-se usar os resíduos da indústria madeireira, no caso das serrarias, por exemplo. Estes resíduos constituem um problema para o empresário, que não conhece uma tecnologia definida para o aproveitamento destas sobras;
- o combustível pode ser produzido na própria propriedade rural, através de pequenos reflorestamentos em áreas inadequadas para culturas agrícolas ou em consórcio - sistema agrossilvicultural;
- estes reflorestamentos podem ser de eucalipto, que apresenta excelente produtividade de biomassa, e por ser uma madeira exótica, evita a derrubada das madeiras nativas;
- o processo de gaseificação não polui o ambiente;
- não causa nenhum impacto a fauna e a flora da região, bem como problemas sociais;
- a não dependência de tecnologia e recursos importados para implantação dos conjuntos gaseificador-gerador de energia (REMADE, 2004).

Atualmente, uma acentuada expansão da atividade florestal vem ocorrendo, incentivada pelo Programa de Incentivos Fiscais que trouxe muitas mudanças para a estrutura social e econômica do país.

Dentre tais mudanças podemos citar as mudanças bruscas na estrutura fundiária, como a diminuição de pequenas propriedades rurais.

O investimento em Projetos Florestais destinados a geração de energia elevam a receita municipal, devido aos impostos que devem ser pagos, melhoria da infraestrutura rural, pela construção de um maior número de estradas de rodagem destinadas ao transporte da madeira, melhoria do sistema de comunicação e o favorecimento da dinâmica da economia regional.

O setor florestal destinado à fins energéticos contribui com uma receita entorno

de U\$ 40,2 bilhões, ou aproximadamente 5% do PIB brasileiro, além disso a energia proveniente da madeira supera 10% da energia primária brasileira, mesmo número que as hidrelétricas são responsáveis. Entretanto, este importante insumo energético ainda não é considerado uma energia comercial e é utilizado de maneira extremamente ineficiente no Brasil, acarretando prejuízos econômicos e ambientais.

Quanto à produtividade do carvão e da lenha, em média são produzidos 165 kg de carvão vegetal para cada m<sup>3</sup> st de lenha. No entanto, com o aperfeiçoamento do processo é possível de se obter 200 kg para cada m<sup>3</sup> st de lenha.

Em 2010, a utilização da madeira para lenha e carvão foi de quase 30 milhões de toneladas, equivalente a 12% da oferta de energia proveniente da biomassa florestal. O consumo anual de carvão vegetal nas indústrias de aço e de outras ligas metálicas, de baixo custo de produção e processamento, é estimado em seis milhões de toneladas por ano. A preferência pelo carvão deve-se à facilidade de transporte e combustão.

Assim sendo, a viabilidade econômica da utilização do carvão vegetal e da lenha como recursos energéticos é um conceito dúbio. A avaliação econômica de tal atividade florestal, com extração de recursos de matas nativas, por exemplo, é no que tange a parte financeira, extremamente vantajosa, dados: o baixo investimento na construção de fornos de alvenaria, a mão-de-obra tradicionalmente de baixíssimo custo com salários de R\$100,00 a R\$230,00 e jornadas de trabalho nunca inferiores a 8 horas diárias e o baixo investimento na obtenção de matéria-prima. Contudo, deve-se questionar os critérios para tal avaliação se na mesma não forem quantificados também os prejuízos relacionados com a degradação do ambiente natural. Ou seja, quais são os serviços ecossistêmicos prestados pelo ambiente explorado, quais os interessados na sociedade que se beneficiam desses serviços e por fim, qual o valor financeiro dos mesmos.

## **5. Vantagens**

O uso da lenha e carvão vegetal são fontes de energia renováveis, sendo esta a primeira característica que torna interessante a inserção deles na matriz energética de um país.

Em relação à lenha, ela é apelidada de “energia dos pobres”, visto que para seus usos mais comuns como o aquecimento e cocção de alimentos, dispensa-se o uso de tecnologias sofisticadas para sua produção, além do fácil acesso para

obtenção da matéria-prima.

No Brasil, a maior parte da energia da madeira é usada pela indústria para produzir calor pela queima direta (indústrias cerâmicas, papel, gesso), ou para converter em carvão vegetal, usado como fonte de energia e redutor na produção de ferro-gusa. A substituição do carvão mineral pelo vegetal nos altos-fornos das siderúrgicas ocorre devido à maior pureza deste último item necessário para a produção de aços especiais.

A utilização do carvão vegetal é também vantajosa financeiramente, tendo em vista a sua maior facilidade de obtenção, pois a produção de carvão mineral no Brasil é muito pequena e este é de baixa qualidade. A maioria das indústrias siderúrgicas que utilizam o carvão mineral em sua produção dependem da importação dessa matéria prima.

Num estudo comparando as emissões de CO<sub>2</sub> para produção de aço à coque e à carvão vegetal, concluiu-se que a rota coque libera 1,65t de CO<sub>2</sub> e fixa 1,536 t de O<sub>2</sub> por tonelada de aço produzido, ao passo que a rota a carvão vegetal sequestra 16,336 t de CO<sub>2</sub> e regenera 1,536 t de O<sub>2</sub> por tonelada de aço produzido, no ciclo completo desde a plantação do eucalipto até a produção do aço. Em adição, a rota a coque libera 7 kg de óxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), emissão esta praticamente ausente na rota a carvão vegetal. (Ferreira, 2000).

No processo de produção do carvão vegetal, há grande eliminação de gases condensáveis como ácido acético, metano, acetona, fenóis e aldeídos, hidrocarbonetos e alcatrões, sendo que estes podem ser usados amplamente na indústria química, como combustível ou insumo agrícola.

Em relação ao cultivo da matéria- prima, o Brasil possui características edafoclimáticas desejáveis ao plantio de culturas florestais. Muitas siderúrgicas têm preferido utilizar florestas plantadas para obtenção de matéria prima, visando maior sustentabilidade de seus negócios.

A extração de madeira de florestas nativas para produção de carvão vegetal tem diminuído em função da utilização das florestas plantadas, devido principalmente a facilidades no transporte da madeira.

Com isso, projetos florestais de implantação e manejo podem ser caracterizados e formatados como Mecanismos de Desenvolvimento Limpo – MDL, preconizados no Protocolo de Kyoto, gerando negócios já existentes no mercado mundial de carbono, o que pode ser uma opção viável economicamente para a indústria siderúrgica, grande consumidora de carvão vegetal no Brasil.

## 6. Desvantagens

Dada a facilidade para produzir carvão vegetal com tecnologias primitivas em áreas isoladas, de difícil acesso e em um ambiente desprovido de qualquer norma, a demanda da bioenergia cria um mercado caótico com diversas consequências ambientais.

Dentre estas, está o desmatamento sobre áreas de florestas nativas, resultando em alterações no solo, nas águas, na fauna e flora, ou seja, na biodiversidade como um todo. Além disso, a sustentação de uma monocultura exige a utilização intensiva de defensivos agrícolas que poluem o solo e a água.

O ciclo de produção das florestas energéticas é relativamente curto se comparado ao plantio para outros fins, como por exemplo, para celulose e madeira serrada. A utilização intensiva de adubos, maquinário e combustível, necessários para manter a produtividade alta, culmina em gastos energéticos a serem contabilizados no balanço energético da produção.

O segundo grande problema do carvão vegetal diz respeito à tecnologia empregada na sua produção. Atualmente, o carvão vegetal é produzido, em sua maioria, da mesma forma que há um século. A tecnologia é primitiva, o controle operacional dos fornos de carbonização é pequeno, e não se pratica o controle qualitativo e quantitativo da produção, o que resulta em baixa eficiência do processo. Ainda nos dias de hoje, 60% do carvão vegetal é produzido em “fornos rabo quente”, forma bem precária de produção.

Além desses aspectos, a tecnologia empregada atualmente, descarta, pela emissão de gases, milhares de toneladas de componentes químicos. Somente de 30% a 40 % da madeira é aproveitada na forma de carvão vegetal, sendo o restante simplesmente lançado na forma de gases.

## 7. Legislação

O primeiro marco legislativo nacional que trata do uso de lenha e carvão vegetal foi o Código Florestal Brasileiro (Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965), em seu artigo 21. Que estabelece que as empresas siderúrgicas, de transporte e outras, à base de carvão vegetal, lenha ou outra matéria prima florestal, são obrigadas a manter florestas próprias para exploração racional ou a formar, diretamente ou por intermédio

de empreendimentos dos quais participem, florestas destinadas ao seu suprimento.

A resolução CONAMA nº 379 de 2006 regulamenta sistema de dados e informações sobre a gestão florestal no âmbito do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA. Ela obriga a integração dos sistemas de controle do uso de floresta pública e obriga transparência das informações no Portal da Gestão Florestal. Para o caso do carvão vegetal, as unidades consumidoras deste recurso devem informar ao IBAMA e ao público sobre as origens deste produto, se é de floresta nativa ou não e se é corte legal ou não.

A Lei de Crimes Ambientais nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 em seus artigos 45 e 46, também trata sobre o uso de florestas para produção e comercialização do carvão vegetal:

- Art. 45. Cortar ou transformar em carvão madeira de lei, assim classificada por ato do Poder Público, para fins industriais, energéticos ou para qualquer outra exploração, econômica ou não, em desacordo com as determinações legais.

- Art. 46. Receber ou adquirir, para fins comerciais ou industriais, madeira, lenha, carvão e outros produtos de origem vegetal, sem exigir a exibição de licença do vendedor, outorgada pela autoridade competente, e sem munir-se da via que deverá acompanhar o produto até final beneficiamento.

Para a padronização dos veículos que fazem o transporte de materiais de origem vegetal, foi estabelecida a Lei nº 682, de 17 de setembro de 1975 de São Paulo - Artigo 1º.

Para o incentivo do uso de carvão vegetal, foi estabelecida a Política Energética Nacional em 1997 pela Lei 9.478/97 de 1997 e foi modificada em 2005 pela Lei 11.097 para incluir a biomassa na matriz energética brasileira.

Em 2006, o deputado estadual do Mato Grosso do Sul, Amarildo Cruz (PT), redigiu um Projeto de Lei que proíbe a produção, transporte e uso de carvão fabricado com lenha de matas nativas do estado, porém este PDL encontra-se em trâmite.

A Lei nº 2230 de 10 de maio de 2007 da cidade de Rolante, dispõe de alguns critérios sobre a instalação de fornos de carvão vegetal no seu artigo 6º.

- Art. 6º Os empreendimentos de produção de carvão vegetal, em qualquer escala, deverão possuir Alvará da Prefeitura Municipal organizado e concedido de forma a atender aos requisitos ambientais, fiscais e tributários pertinentes.

- § 1º Os produtores/fornecedores de madeira para uso em fornos de carvão vegetal deverão estar devidamente cadastrados junto ao Departamento de

Florestas e Áreas Protegidas - DEFAP/SEMA.

- § 2º Os produtores de carvão vegetal somente poderão receber madeira para uso nos fornos oriunda de fornecedores devidamente cadastrados no DEFAP/SEMA.

### **Conclusão**

A lenha e o carvão vegetal constituem uma parcela importante da matriz energética nacional. O Brasil além de grande produtor de biomassa tradicional é também um grande consumidor, principalmente para suprir o setor de siderurgia. Porém a alta demanda desse recurso energético pressiona as reservas florestais nativas, também prejudicadas com o avanço da agropecuária. Além do papel fundamental que desempenham como fonte de energia primária superando 10%, mesmo número que as hidrelétricas são responsáveis.

São distribuídas em vários setores, tendo como principal demanda o setor residencial, seguido do industrial, agropecuário e comercial. Outro fator importante é o fato é que com a crescente preocupação ambiental, muitos trabalhos evidenciam a madeira como fonte segura e menos prejudicial para a humanidade.

No entanto, o uso da madeira pode ocasionar problemas ambientais tais como:

Emissão de CO<sub>2</sub> e de material particulado responsáveis pela poluição atmosférica, aumento do efeito estufa e por causar problemas respiratórios em diversas pessoas;

Desmatamento para a extração da madeira resultando na formação de desertos, destruição do solo, perda de habitat por espécies nativas e perda de diversidade de espécies arbóreas.

Uma alternativa a ser usada para diminuição dos impactos causados por tais problemas seria o reflorestamento que se bem planejado pode atenuar o desmatamento para consumo de lenha, além de ajudar a compensar o CO<sub>2</sub> liberado com a queima (através de sua assimilação pelas plantas, especialmente durante o período de crescimento).

Faz-se necessário também o desenvolvimento de uma consciência ambiental da parte do consumidor, que ainda, não faz questão de saber a procedência do carvão vegetal: se ilegal, de floresta insustentável ou nativa, ou ainda, se utiliza de mão-de-obra em condições desumanas. Existem leis para regular esse mercado, mas falta a fiscalização e punição para os produtores que na



## Referencial Teórico

ALMEIDA, M.B.B. Bio-óleo a partir da pirólise rápida, térmica ou catalítica, da palha da cana-de-açúcar e seu co-processamento com gasóleo em craqueamento catalítico. Rio de Janeiro, 2008. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA – AMS. Anuário Estatístico 2006. Belo horizonte, 2007. Disponível em: <http://www.showsite.com.br/silvimiras/html/anexocampo/anuariosite.pdf>. Acesso em 14 de abril, 2010.

BRIDGWATER, A.V., 2007. "Biomass Pyrolysis - an overview prepared by Task 34". In: TUSTIN, J., IEA Bioenergy Annual Report 2006, Disponível em: [www.ieabioenergy.com](http://www.ieabioenergy.com). Acesso em 19 de junho de 2011.

BRITO, J.O, 1990. Carvão vegetal no Brasil: gestões econômicas e ambientais. Estudos Avançados, v. 4, n. 9, p. 221-227.

BRITO, J.O.; CINTRA, T.C, 2004. Madeira para energia no Brasil: Realidade e visão de demanda de ações. Biomassa & Energia, v. 1, n. 2, p. 157-163.

DUBOC, E.; COSTA, C.J. PANORAMA ATUAL DA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL NO BRASIL E NO CERRADO.<[www.cpac.embrapa.br/download/472/t](http://www.cpac.embrapa.br/download/472/t) > Acesso em 6 de Junho, 2011

FERREIRA, C.O. O Futuro do Carvão Vegetal na Siderurgia Emissão de Gases de Efeito Estufa na Produção e Consumo do Carvão Vegetal. Economia & Energia nº 21 - Julho - Agosto 2000. Disponível em: <http://ecen.com/eee21/emiscar2.html>. Acesso em 13 de junho de 2011.

HUBER, G. W.; IBORRA, S.; CORMA, A., 2006. "Synthesis of transportation fuels from biomass: Chemistry, catalysts, and engineering". Chemical Reviews, v. 106, n. 9, p. 4044-4098

KAMM, B.; KAMM, M.; GRUBER, P. R., 2006. "Biorefineries Systems – Na Overview". In: KAMM, B.; GRUBER, P. R.; KAMM, M. Biorefineries – Industrial Processes and Products. v.1. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weiheim, Germany.

MATTOS, R. L.G; JUVENAL, T. L. SETOR FLORESTAL NO BRASIL E A IMPORTÂNCIA DO REFLORESTAMENTO BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 16, p. 3-30, set. 2002

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Balanço Energético Nacional, 2010. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/BEN/2\\_-\\_BEN\\_-\\_Ano\\_Base/1\\_-\\_BEN\\_2010\\_Portugues\\_-\\_Inglxs\\_-\\_Completo.pdf](http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/BEN/2_-_BEN_-_Ano_Base/1_-_BEN_2010_Portugues_-_Inglxs_-_Completo.pdf). Acesso em 03 de junho, 2011.

MOHAN, D.; PITTMAN, C.U.; STEELE, P.H. Pyrolysis of Wood/Biomass for Biooil: A Critical Review. 20: 848-889, p. 2006.

REMADE - REVISTA DA MADEIRA. Edição n. 85. Novembro de 2004.

ROCHA, J.D. 1997, Bio-óleo por hidropirólise de biomassa como precursor de materiais carbonosos. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP, Brasil

UHLIG, A., Lenha e carvão vegetal no Brasil: balanço oferta demanda e métodos para a estimativa do consumo Orientador: José Goldemberg São Paulo, 124p. 2008.