

**PECE – USP**  
**Programa de Educação Continuada em Engenharia**

**UM PANORAMA DO USO DE PELLETS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA  
TÉRMICA E ELÉTRICA**

**FABIO KITAMURA**

São Paulo

2013

# **UM PANORAMA DO USO DE PELLETS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA E ELÉTRICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao PECE - Programa de educação Continuada em engenharia, Universidade de São Paulo, para obtenção do título de especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Aluno: Fabio Kitamura  
Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Suani Teixeira Coelho

São Paulo

2013

Kitamura, Fabio

Um panorama do uso de pellets para geração de energia térmica e elétrica /  
F.Kitamura – São Paulo, 2013

51 p.

Trabalho de conclusão de curso – Universidade de São Paulo, PECE – Programa  
de educação continuada em engenharia / Curso de especialização em energia  
renovável, geração distribuída e eficiência energética, 2013

1. Biomassa 2. Biocombustível 3. Pellets I. Universidade de São Paulo.  
Escola Politécnico. Programa de Educação Continuada em Engenharia. III.  
t.

KITAMURA, F. **Um panorama do uso de pellets para geração de energia térmica e elétrica**. 2013. 51 f. Trabalho de conclusão de curso (Especialização) – PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia, Curso de Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

## RESUMO

Ao contrário do mundo, a matriz energética brasileira é uma das mais limpas do mundo com 45% de fontes renováveis em contrapartida a apenas 13% podendo chegar a 8% em países ricos. Em 1997 foi assinado o protocolo de Quioto em que países desenvolvidos deverão reduzir as emissões de carbono na atmosfera em níveis abaixo de 5% do equivalente ao ano de 1990. Muitos países como Dinamarca e Alemanha já atingiram as metas, porém países como os Estados Unidos ainda estão com os níveis de emissões acima do especificado. Praticamente as emissões de toda a Europa reduziram as suas emissões em menos de 5% ao ano de 1990, mas muitos países como Finlândia, França, Holanda, entre outros ainda não atingiram as metas do protocolo. A utilização de fontes alternativas foi fundamental para países como Alemanha conseguirem controlar as suas emissões. Uma das principais fontes alternativas foi a eólica e a biomassa. A produção de energia brasileira a partir de biomassa ainda é muito pequena, mas ela possui grande potencial nos próximos anos em ser uma das principais fontes de energia. A biomassa hoje representa 10% da matriz energética mundial, ou seja, a quarta maior fonte de geração de energia ficando atrás da geração a óleo 32,4%, carvão 27,3% e gás 21,4%. Tanto no mercado internacional quanto no interno, ela é considerada uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética e a conseqüente redução da dependência dos combustíveis fósseis. As previsões indicam que para 2021 a biomassa terá como participação das fontes renováveis da matriz OIE, acima de 44%, ficando a biomassa com percentuais superiores a 30% e capacidade de geração de energia de 9,1 GW representando 5,4% da capacidade instalada total. Tecnologias para densificação de biomassa vieram para resolverem problemas de aproveitamento energético, de logística entre outros na utilização de biomassa. Atualmente existem métodos que através de processos mecânicos, alta temperatura e pressão densificam a biomassa de madeira de forma a viabilizar um transporte para que o combustível seja viável aos tradicionais combustíveis derivados de petróleo. Esse sistema é chamado de peletização que utilizam diferentes tipos de biomassa com, por exemplo, a madeira para produção de pellets de madeira. A produção de pellets de madeira na Europa está em quase 5 milhões de toneladas por ano. Boa parte da produção é utilizada para a produção de energia térmica e elétrica em diversos setores como industrial, comercial e residencial. Como pudemos ver os pellets de madeira é um importante combustível para

produção de energia térmica e o uso racional por meio de tecnologia é fundamental para a sustentabilidade. Dessa forma, neste trabalho apresentaremos o uso racional da biomassa através do uso tecnológico da peletização e um panorama na produção de energia térmica através de queimadores para produção de energia térmica elétrica.

**Palavras-chaves:** Biomassa. Pellets. Energia renovável. Biocombustível

Kitamura, F. **An overview of the use of pellets for power generation**. 2013. 27f. Final Work (Specialization) - PECE - Continuing Education Program in Engineering, Specialization Course in Renewable Energy, Distributed Generation and Energy Efficiency.

### **ABSTRACT**

Unlike the world, the Brazilian energy matrix is one of the cleanest in the world with 45% renewable in contrast to only 13% reaching 8% in rich countries. In 1997 was signed the Kyoto Protocol in which developed countries must reduce carbon emissions in the atmosphere at levels below 5% equivalent to 1990. Many countries such as Denmark and Germany have reached the goals, but countries like the United States are still with emission levels specified above. Virtually emissions across Europe reduced their emissions m less than 5% for 1990, but many countries such as Finland, France, the Netherlands, among others yet to reach the goals of the protocol. The use of alternative sources was crucial for countries like Germany they control their emissions. A major source alternatives was wind and biomass. The Brazilian production of energy from biomass is still very small, but it has great potential in the coming years to be one of the main sources of energy. Biomass currently represents 10% of global energy, ie, the fourth largest source of energy generation trailing generation oil 32.4%, coal 27.3% and 21.4% gas. Both in domestic and in the international market, it is considered one of the main alternatives for diversification of energy sources and the consequent reduction of dependence on fossil fuels. The forecast for twenty years is that the biomass in the global energy matrix represents 12% of global power generation. Forecasts for 2021 indicate that biomass will share of renewables matrix OIE, above 44%, leaving biomass with percentages above 30% and power generation capacity of 9.1 GW representing 5.4% of capacity total installed against 4.49 GW in 2010 and 4.1% share. At the same time that the development nature back injury, it also brings a solution. Technologies for biomass densification came to solve transportation problems in the use of biomass. Currently there are methods through mechanical processes, high temperature and pressure to densify biomass wood in order to facilitate transport to the fuel is feasible to traditional petroleum-based fuels. This system is called pelletization using biomass with different types of wood for example for the production of wood pellets. The production of wood pellets in Europe is almost 5 million tons per year. Much of the production is used for the production of thermal and electrical energy in various sectors such as industrial, commercial and residential. As we could see the wood pellets is an important fuel for thermal energy production and rational use through technology is key to sustainability. Thus, in this paper we present the rational use of biomass through the use of technological pelletization and an overview on the production of thermal energy through burners to produce electricity.

**Keywords:**Biomass,Pellets, Renewable Energy and Biofuel.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Plantas industriais de pellets na Europa e Estados Unidos. ....	13
Figura 2 - Fluxograma das fontes de biomassa, processos de conversão e energéticos produzidos. ....	19
Figura 3 - Potencial de geração de energia elétrica a partir de resíduos florestais (silvicultura) .....	21
Figura 4 - Potencial de geração de energia elétrica a partir de casca de arroz .....	22
Figura 5 - Potencial de geração de energia elétrica a partir de casca de castanha de caju .....	23
Figura 6 - Potencial de geração de energia elétrica a partir de casca de côco-da-baía	24
Figura 7 - Pellets de madeira. ....	27
Figura 8 - Pellets de casca de eucalipto e de pinus .....	27
Figura 10 - Mapa de Pellets no Brasil. ....	33
Figura 13 - Rota de conversão de energia .....	35
Figura 14 - Sistema de cogeração.....	35
Figura 11 - Maior fábrica do mundo de produção de pellets de madeira - Waycroos / Georgia - US. ....	39
Figura 12 - AMER POWER PLANT – Geertruidenberg – Holanda .....	39
Figura 15 - Queimador residencial de pellets de madeira .....	41
Figura 16 - Sistema de alimentação de Pellets .....	41
Figura 17 - Tipos de queimadores .....	42
Figura 18 - Queimador de pellets com alimentação por baixo.....	42
Figura 19 - Queimador de pellets com alimentação horizontal.....	43
Figura 20 - Queimador de pellets alimentação por cima. ....	43
Figura 21 - Queimadores de pellets com capacidade de 16, 24, 32 kW .....	43
Figura 22 - Queimadores de pellets com capacidade de 50, 100, 150 e 200 kW .....	43
Figura 23 - Queimadores instalados em caldeiras para sistema de aquecimento .....	44
Figura 24 - Queimador com integração de uma caldeira.....	44
Figura 24 - Queimadores industriais de pellets. Capacidade 700 kW .....	44
Figura 25 - Caminhão transportador de pellets de madeira .....	45

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Consumo Mundial de Biomassa .....	18
Tabela 2- Características energéticas entre cavaco e pellets. ....	27
Tabela 3 - Normas de padronização austríaca e sueca para os pellets. ....	28
Tabela 4 - Normas de padronização alemã e americana para os pellets.....	29
Tabela 5 - Produção atual global e perspectiva para a produção no ano de 2020. ....	32
Tabela 6 - Características físico e químico dos pellets de Madeira .....	34

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 - Oferta Mundial de Energia Elétrica por Fonte.....	14
Gráfico 2 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte .....	15
Gráfico 3 - Uso de pellets em cada setor econômico nos países europeus.....	38



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVO .....	10
3. JUSTIFICATIVA.....	11
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	12
4.1. MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL.....	14
4.2. MATRIZ ENERGÉTICA NACIONAL .....	14
4.3. ENERGIAS RENOVÁVEIS .....	16
4.4. BIOMASSA.....	17
4.5. DISPONIBILIDADE NACIONAL DE RECURSOS .....	24
4.6. CARACTERÍSTICAS DOS PELLETS DE MADEIRA .....	26
4.7. NORMAS E PADRÕES.....	27
5. PRODUÇÃO DE PELLETS .....	30
5.1. CARACTERÍSTICA DA PRODUÇÃO DE PELLETS .....	30
6. MERCADO DE PELLETS .....	31
6.1. MERCADO EXTERNO DE PELLETS.....	31
6.2. MERCADO NACIONAL DE PELLETS.....	32
7. PROCESSO DE GERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA E ELÉTRICA .....	33
8. USO DOS PELLETS DE MADEIRA COMO FONTE DE ENERGIA TÉRMICA E ELÉTRICA .....	37
9. EQUIPAMENTOS.....	40
9.1. QUEIMADORES.....	40
9.2. CALDEIRAS, TURBINAS E GERADORES .....	45
10. CONCLUSÃO .....	46
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	48

## **1. INTRODUÇÃO**

Os pellets de madeira muito utilizados em países europeus estão cada vez mais ocupando espaço e já substituindo os tradicionais combustíveis derivados de petróleo como o gás GLP em comércios e residências, o gás natural de poços de petróleo em indústrias de fundição, papel e celulose, mas principalmente em termelétricas que utilizam o carvão como principal combustível para produção de energia.

Com a necessidade e apelos ambientais, a busca por tecnologias ou combustíveis alternativos que consigam amenizar as emissões de carbono, que nos dias de hoje se encontram em níveis elevados e preocupantes fizeram com que os países como Alemanha, Estados Unidos, Finlândia entre outros em investissem em novas tecnologias como os pellets de madeira.

A peletização é uma tecnologia que concentra a energia através da densificação da biomassa e de processos que utilizam calor e vapor em alta pressão.

Por ser um combustível renovável, ou seja, o ciclo de emissão e consumo de carbono através da biomassa vegetal faz com os pellets de madeira sejam um combustível viável para produção de energia térmica e elétrica. A densificação de energia resolve problemas de viabilidade logística em que a fonte de biomassa se encontra distante ao consumo. Podemos exemplificar a grande quantidade de pellets hoje produzida nos Estados Unidos e que são exportadas por grandes navios aos consumidores Europeus.

Os pellets de madeira não são muito conhecidos no Brasil. Existe uma quantidade de fábricas de pellets de madeira, mas nenhuma em grande escala. Investimentos estão sendo programados para a produção de pellets de madeira por empresas relacionadas a indústria de papel e celulose. Mas problemas logísticos estão encarecendo ainda a exportação necessitando grande investimento em infra-estrutura. O Brasil ainda utiliza muita madeira nativa para fornos e enquanto os investimentos não apresentarem estratégias que resolvam esses problemas de matéria prima e transporte os pellets continuarão sendo uma promessa para o futuro.

Neste trabalho iremos mostrar um panorama dos pellets no Brasil e no exterior e a utilização dos pellets de madeira como fonte de energia térmica e elétrica.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo deste trabalho é mostrar um panorama nacional e internacional dos pellets de madeira, também conhecido como “Wood Pellets”, biocombustível sólido muito usado em países europeus de clima temperado na produção de energia térmica e elétrica, mas que ainda é muito pouco conhecido no Brasil.

### **3. JUSTIFICATIVA**

Em 1997 foi criado o Protocolo de Quioto com metas de redução de emissões de carbono para os países desenvolvidos em reduzir as emissões totais de gases de efeito estufa em no mínimo 5% abaixo dos níveis de 1990. Para os países subdesenvolvidos como o Brasil, foram estabelecidas medidas para que o crescimento necessário de suas emissões fosse limitada pela introdução de medidas apropriadas para controle das emissões. O Brasil ratificou o documento em 23 de agosto de 2002, tendo sua aprovação interna se dado por meio do Decreto Legislativo nº 144 de 2002. Dentre os principais emissores de gases de efeito estufa, somente os EUA não ratificou o Protocolo

O Protocolo entrou em vigor no dia 16 de fevereiro de 2005. Em 2012, termina o primeiro período de compromisso do Protocolo de Quioto. Os dados até então levantados revelam que é pouco provável que os países desenvolvidos consigam atingir a meta acordada. Essa expectativa é reforçada pelo fato de esses países terem aumentado as emissões em 11% de 1990 a 2005, com destaque para o setor energético, o grande emissor de GEE, que também apresenta emissões crescentes. (MMA, 2013)

Em virtude de a matriz energética nacional ser praticamente renovável com forte participação da energia hidráulica, a biomassa tem um papel importante para o complemento energético que o Brasil necessita. (MMA, 2013)

Praticamente é o bagaço da cana de açúcar que representa a maior parte da geração térmica na produção de energia através do uso da biomassa, porém o Brasil possui grande potencial para o desenvolvimento de outros produtos para serem utilizados como biocombustíveis como os pellets de madeira.

A divulgação de um produto que o Brasil possui grande vocação é de fundamental importância na participação de matriz energética mais limpa e renovável. Especialmente o Brasil, tem potencial para produzir quantidades expressivas de pellets de biomassa e ter um papel significativo no mercado mundial desse combustível, cuja demanda mundial, em 2020, poderá

alcançar quantidades da ordem de 50 Mt. Considerando sua cotação atual no mercado europeu, de 130 euros por tonelada, seria um mercado de cerca de U\$9 bilhões anuais. Como ressalta The Economist (2013), em artigo recente sobre o emprego energético da biomassa na Europa, esta constitui cerca de metade das energias renováveis (excluída a hidrelétrica) utilizada naqueles países, superando amplamente o papel da energia eólica e solar. Pellets de biomassa vêm sendo utilizados tanto no aquecimento ambiente quanto na substituição parcial do carvão, em usinas termelétricas. Nestas, pellets de madeira podem substituir pelo menos 10% do carvão; quando forem de torrefados, a proporção pode ser muito superior. Esta queima conjunta oferece grande vantagem à penetração da biomassa no mercado energético, em relação ao aproveitamento de outras fontes renováveis, porque sua utilização é feita em usinas já existentes, dispensando investimentos em geração e transmissão. (ABIPEL, 2013)

No Brasil existem poucos estudos para o desenvolvimento dos pellets de madeira como biomassa para geração de energia, a falta de referências nacionais sobre a produção de pellets bicomcombustível serviu como motivação para a elaboração deste estudo.

#### **4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Os pellets surgiram no final da década de 70 com o aumento dos preços do petróleo e a necessidade de substituir os combustíveis fósseis por fontes alternativas. Em novembro de 1982 na cidade de Mora na Suécia foi iniciada a primeira fábrica de pellets na Europa. (ABIPEL, 2013)

Neste período o governo incentivou fontes alternativas para substituição do petróleo, mas a base florestal estava protegida, ou seja, apenas resíduos florestais poderiam ser utilizados para a produção dos pellets. Em 1986, quase todas as plantas de pellets da Suécia fecharam devido ao alto custo de produção e baixo valor de energia das usinas nucleares. Somente uma indústria no sul do país sobreviveu graças a um contrato longo que uma termoelétrica de Gotemburgo mantinha. Em 1988, uma nova indústria foi criada na cidade de Kil, com produção de três mil toneladas por ano, que ainda está em operação, sendo considerada uma das mais antigas daquele país. (LJUNGBLOM, 2005)

Em 1992, o governo sueco aumentou os impostos dos combustíveis fósseis na tentativa de incentivar o uso dos pellets em aquecimento de residências. Dessa forma a produção saltou de 80.000 t em 1995 para 1.000.000 t em 2000. (INTERNATIONAL, 2006)

A Suécia foi o maior produtor de pellets em 2009 na Europa. O uso intenso desse material fez com que houvesse a necessidade importação desses produtos principalmente do Canadá e Estado Unidos. (NYSTROM, 2010)

O consumo de pellets na Europa cresceu de 3,8 milhões de toneladas em 2005 para 9,8 milhões de toneladas em 2010. A expectativa é dobrar a produção em 2020 para 22,4 milhões de toneladas.

Atualmente, no cenário mundial, a maior demanda e produção de pellets situam-se no Hemisfério Norte. O investimento neste segmento industrial vem crescendo significativamente nos últimos anos nesta região, como podemos observar na figura abaixo que mostra a evolução do número de indústrias na Europa e Estados Unidos. Em um período de 10 anos o total de plantas industriais cresceu cerca de seis vezes. Além destes locais outra região do mundo tem investido no setor.(SILVA, et al., 2013)

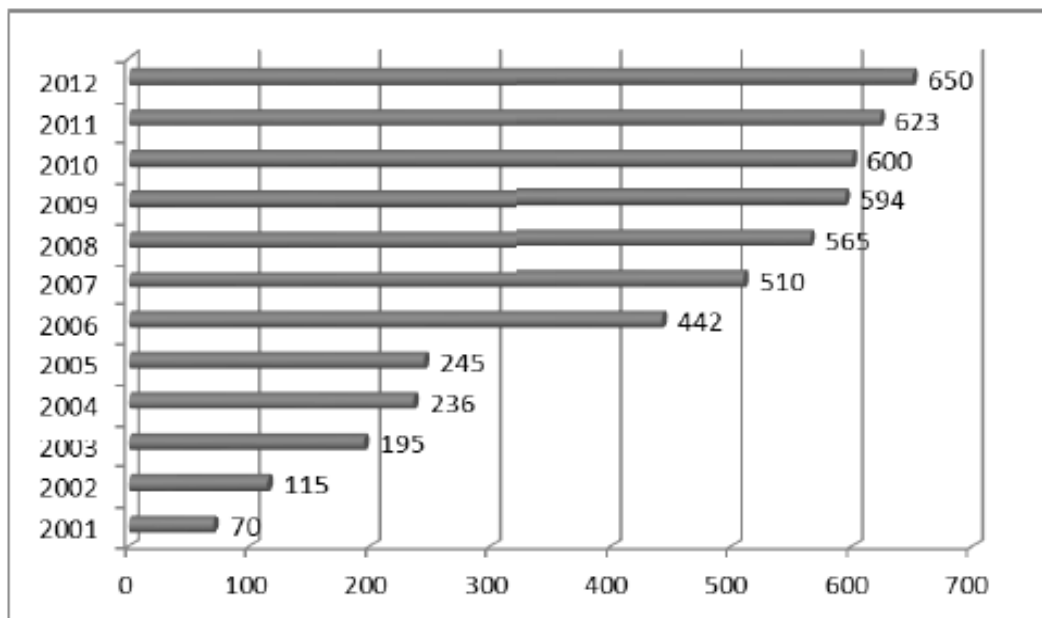


Figura 1 - Plantas industriais de pellets na Europa e Estados Unidos.

Fonte: (MALISIUS, et al., 2010)

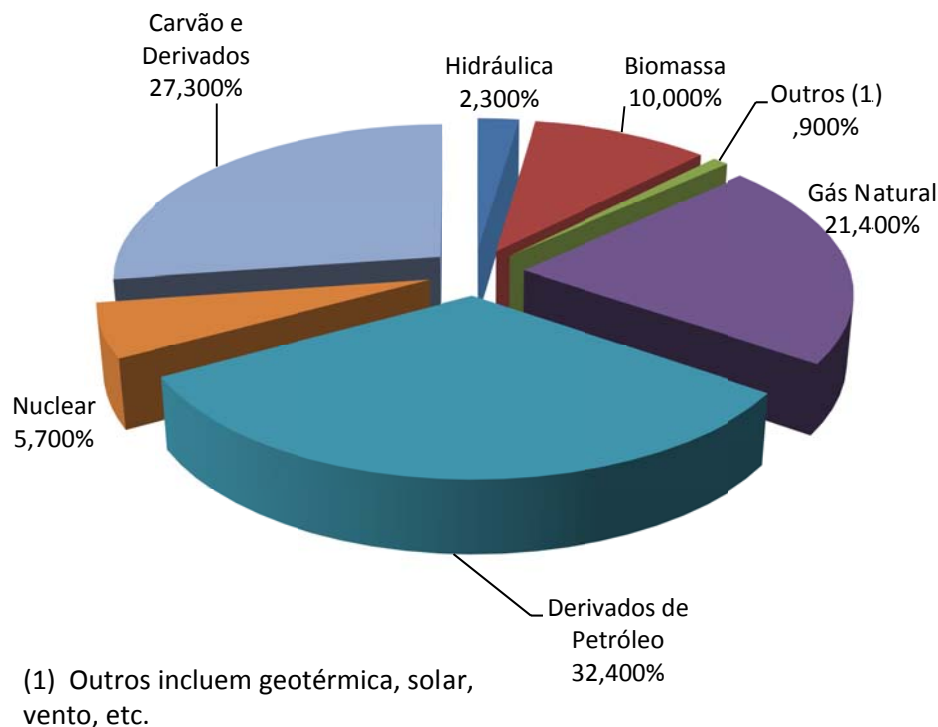
Os pellets de madeira, cuja produção começou para aproveitar a serragem e outros resíduos de serrarias e moveleiros, são hoje um produto cuja demanda mundial atingiu 19 milhões de toneladas em 2010. Seus principais produtores são América do Norte e a Europa que em 2010 foi responsável por 84% do consumo mundial e vem importando quantidades crescentes, principalmente dos EUA, Canadá e Rússia.

#### 4.1. MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL

Observando o gráfico seguinte a seguir podemos observar que a matriz energética mundial tem como principal fonte de geração de energia os derivados de petróleo que correspondem a 32,4% da oferta seguido do carvão vegetal com 27,3% e gás natural com 21,4%.

Gráfico 1 - Oferta Mundial de Energia Elétrica por Fonte.

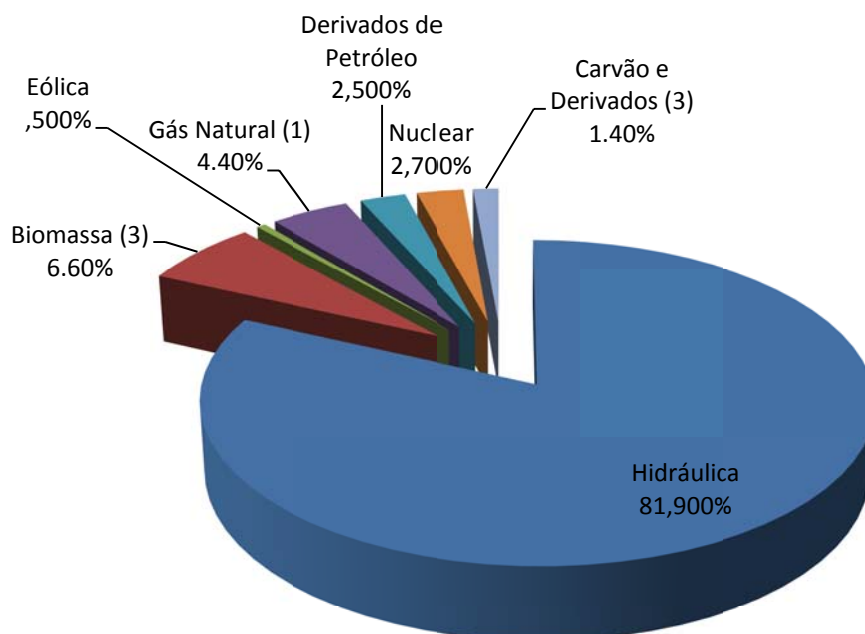
Fonte: (IEA, 2012)



#### 4.2. MATRIZ ENERGÉTICA NACIONAL

Observando o gráfico 2 a seguir podemos observar que o Brasil apresenta uma matriz energética de origem predominantemente renovável, tendo como principal a geração hidráulica correspondente a 74% da oferta. Somando as importações, que essencialmente também são de origem renovável, pode-se afirmar que 89% da eletricidade no Brasil são originadas de fontes renováveis. (MME, 2004)

Gráfico 2 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte  
 Fonte: (MME, 2010)



- (1) Inclui gás de coqueria  
 (2) Inclui importação de eletricidade  
 (3) Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações

Como pudemos observar no gráfico anterior a matriz energética brasileira é ímpar em comparação com a mundial. O grande problema brasileiro são as queimadas principalmente na Região Amazônica que vem crescendo gradativamente ao longo dos anos. O desmatamento tem grande impacto no meio ambiente alterando significativamente a biodiversidade da região.

A contribuição do uso de energia no Brasil para o aumento do efeito estufa é significativamente baixa. Considerando apenas as emissões de CO<sub>2</sub> em 1990 foram de 73 Mt C/ano, o que corresponde a 1% das emissões globais contra 4,7 a 6,6% do desmatamento da Amazônica (ROSA, 2002).

Por outro lado o Brasil é um dos maiores emissores de gases de efeito estufa do mundo. Neste sentido é fundamental que o Brasil mantenha uma matriz limpa para que as emissões brasileiras não atinjam níveis insustentáveis. A queima de combustíveis fóssil adiciona alguns bilhões de toneladas por ano de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, quantidade aproximada igual é gerada pela destruição de vegetação e solo. (GATTO, 2010)

O baixo valor das emissões de CO<sub>2</sub> por causa do uso de energia se explica pela grande participação da hidroelétrica e de biomassa renovável na matriz energética brasileira. Porém, além da contaminação conhecida de mercúrio

em peixes, causada pelas atividades das hidrelétricas, os reservatórios de hidrelétricas podem aumentar o fluxo de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

Em geral a quantidade de metano emitido, por causa das represas é muito inferior ao do dióxido de carbono equivalente que seria emitido por termelétricas, levando em conta três opções tecnológicas: carvão-convencional, óleo-convencional e gás natural ciclo combinado.

A questão a ser discutida é a forma mais sustentável ambientalmente da expansão da oferta de geração de energia. O caráter limpo da matriz elétrica brasileira se deve a predominância da hidroeletricidade em sua composição. Contudo, o Brasil tem explorado apenas 30% do seu potencial hídrico contrastando com os países desenvolvidos que já exploram todo seu potencial. O parque gerador hídrico brasileiro, com capacidade instalada em torno de 80 mil MW, encontra-se localizado essencialmente na região Centro-Sul do território brasileiro, entretanto, a maior parte do potencial a ser explorado localiza-se na Região Norte e construção de grandes hidrelétricas na Região Amazônica é uma questão controversa. (CARBONOBASIL, 2008)

O desenvolvimento do Brasil requer uma grande expansão e diversificação da oferta de energia nos próximos anos e é necessário se discutir a forma mais adequada ambientalmente desta expansão levando-se em conta a sustentabilidade.

#### **4.3. ENERGIAS RENOVÁVEIS**

Energias renováveis são energias provenientes de fontes renováveis cujos recursos naturais se regeneram. As principais energias renováveis são provenientes de fontes limpas como o sol, o vento, os rios, as mares, matéria orgânica e o calor geotérmico da terra.

As principais energias provenientes de fontes renováveis são:

- a) Sol: energia solar
- b) Vento: energia eólica
- c) Rios: energia hidráulica
- d) Matéria orgânica: biomassa
- e) Calor da terra: energia geotérmica



A demanda global de energias renováveis continua crescendo durante os anos de 2011 e 2012 suprimindo cerca de 19% do consumo final em 2011. A capacidade total de energia renovável excedeu 1470 GW em 2012, 8,5% a mais do que em 2011. A fonte hidráulica cresceu 3% estimada em 990GW enquanto outras fontes renováveis cresceram em 21,5% estimado em 480 GW. Mundialmente a energia eólica representou 39% da capacidade adicional adicionada em 2012 seguida da hidráulica e solar em 26%. (REN21, 2013)

O potencial de energia renovável inexplorada do planeta, particularmente, é enorme e está amplamente distribuído em países desenvolvidos e em desenvolvimento da mesma forma. A energia renovável, em suas muitas formas, oferece imensas oportunidades para progresso tecnológico e inovação. (FAPESP, 2010)

A demanda de energia em setores de aquecimento e resfriamento continua crescendo. O uso de energias renováveis nesse campo cresce cada vez mais necessitando tecnologias novas e em desenvolvimento. Para aquecimento já são usadas fontes como os pellets de madeira representando uma parcela grande em fontes renováveis de energia. (FAPESP, 2010)

Os combustíveis à base de biomassa, por exemplo, os pellets de madeira representam uma área importante de oportunidade para substituir os combustíveis convencionais para geração de energia elétrica e térmica. Os pellets de madeira já são uma entre muitas opções aumentando ainda mais o potencial de biocombustíveis no mundo. (FAPESP, 2010)

Nos próximos 30 a 60 anos, esforços sustentados devem ser dirigidos para realizar essas oportunidades como parte de uma estratégia abrangente para apoiar a diversidade de opções de recursos durante o próximo século. **(FAPESP, 2007)**. O desafio fundamental para a maioria das opções renováveis envolve selecionar, de forma custo-efetivo, recursos inerentemente difusos e em alguns casos, intermitentes. (FAPESP, 2007).

É necessário apoio sustentado e de longo prazo, sob várias formas, para superar essas dificuldades. O desenvolvimento de energias renováveis a partir dos pellets de madeira pode fornecer importantes benefícios a países subdesenvolvidos e em desenvolvimento.

#### **4.4. BIOMASSA**

A quantidade estimada de biomassa na Terra é da ordem de 1,8 trilhões de toneladas. Estima-se que a biomassa representa cerca de 14% de todo o

consumo mundial de energia primária. Para países em desenvolvimento essa parcela pode chegar a 34% como no caso da África que pode chegar a 60% como podemos observar na tabela (IEA, 2012)

Tabela 1 - Consumo Mundial de Biomassa

País ou Região	Biomassa(1)	Outros	Total (2)	[1/2]%
Mundial	930	5713	6643	14
China	206	649	855	24
Leste Asiático	106	316	422	25
Sul da Ásia	235	188	423	56
América Latina	73	342	415	18
África	205	136	341	60
Países em desenvolvimento	825	1632	2457	34
Países da OCDE	81	3044	3125	3

Fonte: Agência Internacional de Energia – AIE

A biomassa compreende diversos produtos e subprodutos derivados de florestas, culturas e resíduos agrícolas, dejetos animais e matéria orgânica contida nos rejeitos industriais e urbanos. (ANEEL, 2000)

Uma das principais vantagens da biomassa é que, embora de eficiência reduzida, seu aproveitamento pode ser feito diretamente, por intermédio da combustão em fornos, caldeiras etc. Para aumentar a eficiência do processo e reduzir impactos socioambientais, tem-se desenvolvido e aperfeiçoado tecnologias de conversão mais eficientes, como a gaseificação e a pirólise, também sendo comum a co-geração em sistemas que utilizam a biomassa como fonte energética. (ANEEL, 2000)

Além da combustão direta existe uma grande quantidade de tecnologias para os processos de conversão, para a obtenção de combustíveis líquidos e gasosos como podemos observar na figura seguinte. (MME, 2007)

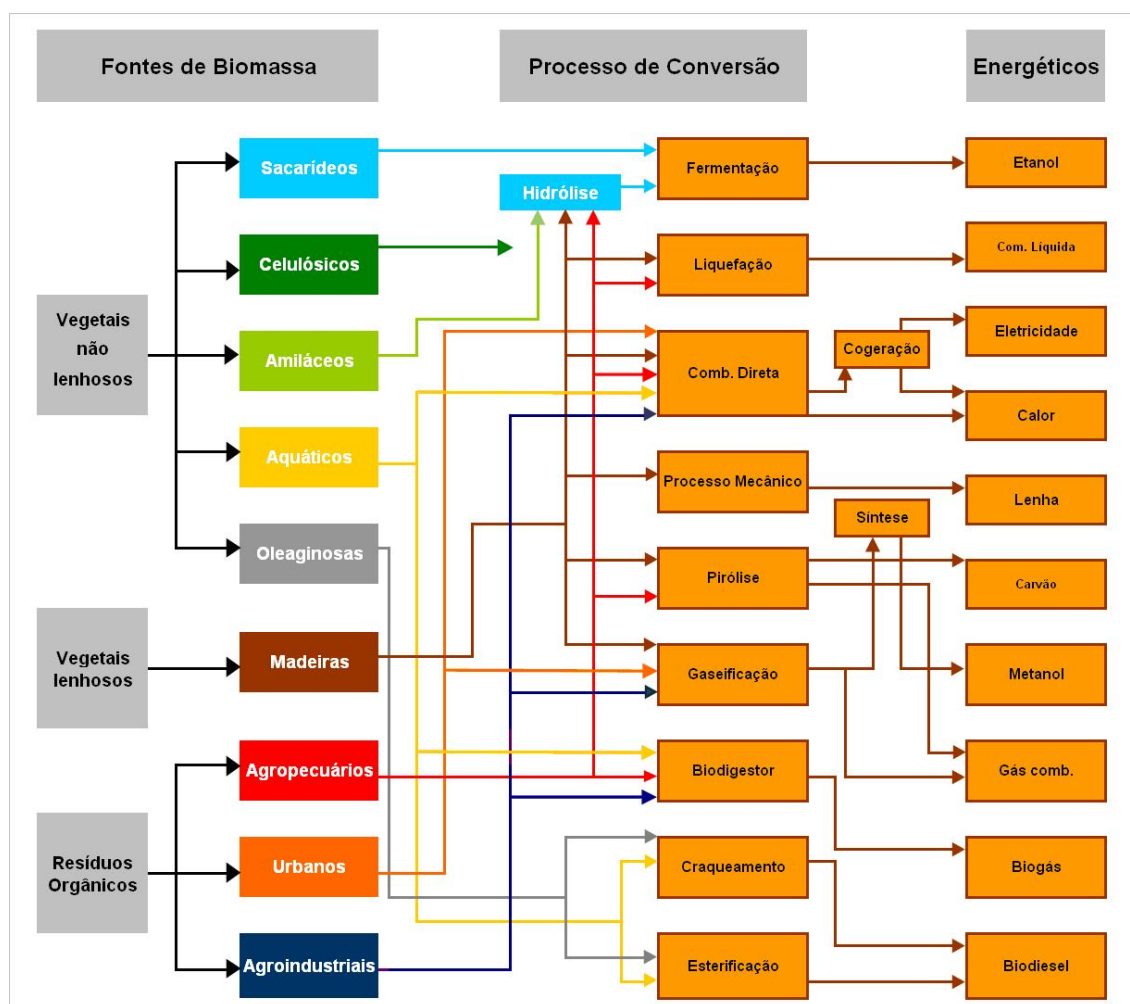


Figura 2 - Fluxograma das fontes de biomassa, processos de conversão e energéticos produzidos.

Fonte: (CENBIO, 2013)

O aproveitamento da biomassa pode ser feito por meio de diversas formas, desde combustão direta (com ou sem processos físicos de secagem, classificação, compressão, (corte/quebra etc.), processos termoquímicos (gaseificação, pirólise, liquefação e transesterificação) ou de processos biológicos (digestão anaeróbia e fermentação).

Se utilizada para produção de energia pelos meios tradicionais, como cocção e combustão, a biomassa se apresenta como fonte energética de baixa eficiência e alto potencial de emissão de gases. Assim, sua aplicação moderna e sustentável está diretamente relacionada ao desenvolvimento de tecnologias de produção da energia e às técnicas de manejo da matéria-prima. (ANEEL, 2000)

A utilização da biomassa, por exemplo, tradicionalmente é associada ao desmatamento. Mas, florestas energéticas podem ser cultivadas

exclusivamente com a finalidade de produzir lenha, carvão vegetal, briquetes e licor negro para uso industrial. (ANEEL, 2000)

No caso específico do Estado de São Paulo, é intensa a produção de biomassa energética por meio da cana-de-açúcar, sendo comparável à produção de energia hidráulica. O Estado é importador de eletricidade (40% do que consome) e exportador de álcool para o resto do País. Verifica-se, portanto, que, apesar da produção de biomassa ser mundialmente considerada uma atividade extremamente demandante de terras, mesmo numa região com alta densidade demográfica é possível encontrar áreas para essa atividade. A maior parte da energia dessa biomassa é utilizada na produção do etanol – combustível líquido. (ANEEL, 2000)

Atualmente, o recurso de maior potencial para geração de energia elétrica no País é o bagaço de cana-de-açúcar. A alta produtividade alcançada pela lavoura canavieira, acrescida de ganhos sucessivos nos processos de transformação da biomassa sucroalcooleira, tem disponibilizado enorme quantidade de matéria orgânica sob a forma de bagaço nas usinas e destilarias de cana-de-açúcar, interligadas aos principais sistemas elétricos, que atendem a grandes centros de consumo dos Estados das regiões Sudeste. (ANEEL, 2000)

Ao contrário da produção de madeira, o cultivo e o beneficiamento da cana são realizados em grandes e contínuas extensões, e o aproveitamento de resíduos (bagaço, palha, etc.) é facilitado pela centralização dos processos de produção. (ANEEL, 2000)

Na indústria da madeira também gera uma grande quantidade de resíduos que podem ser aproveitados para geração de energia elétrica. Os estados brasileiros com maior potencial de geração de resíduos de madeira são Paraná e São Paulo como podemos observar na figura seguinte.

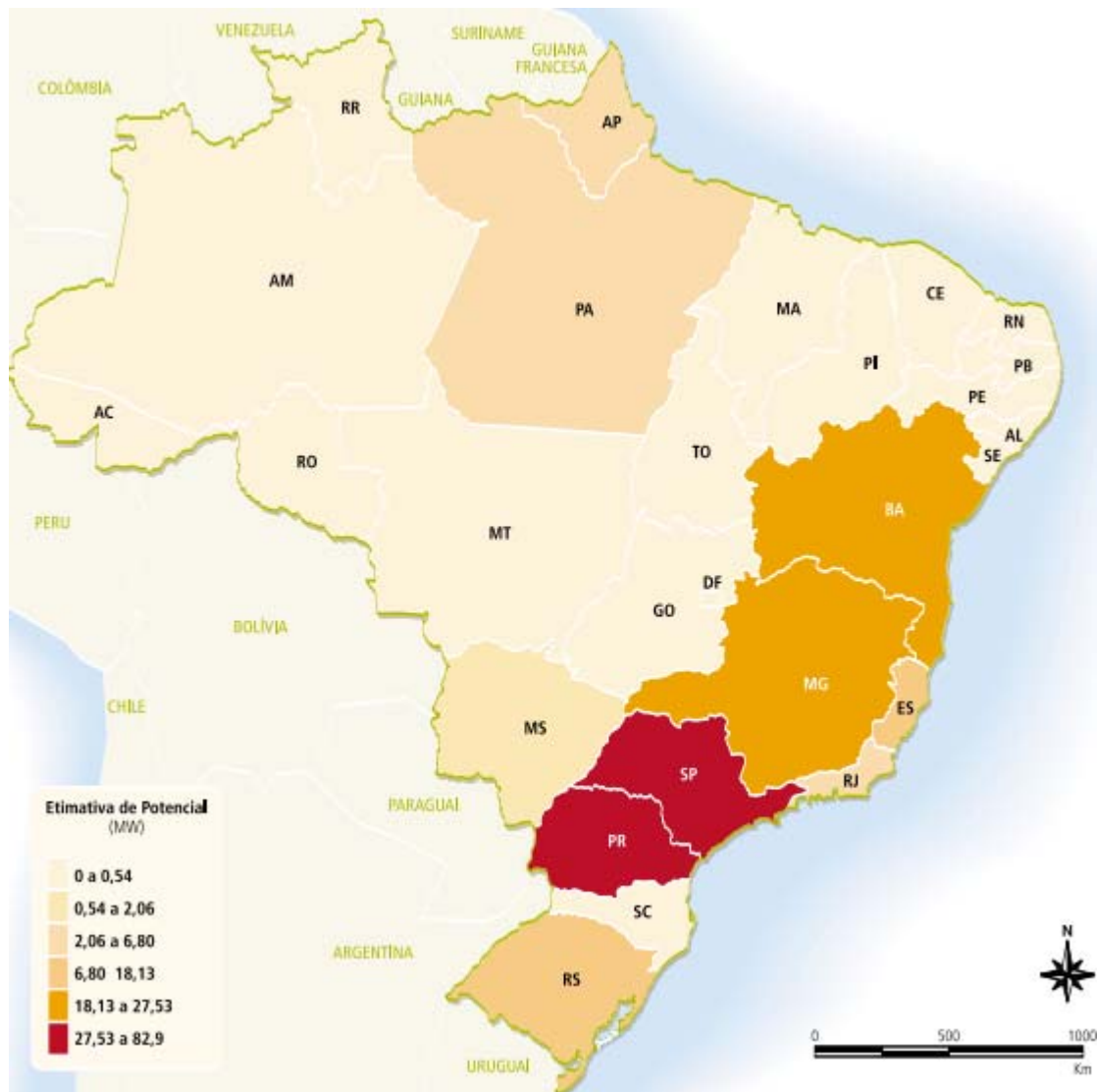


Figura 3 - Potencial de geração de energia elétrica a partir de resíduos florestais (silvicultura)

Fonte: CENBIO

Outros resíduos agrícolas também apresentam grande potencial no setor de geração de energia elétrica. A seguir podemos mostrar os potenciais de aproveitamento da casca de arroz, da casca de castanha de caju e da casca de côco-da-baía:

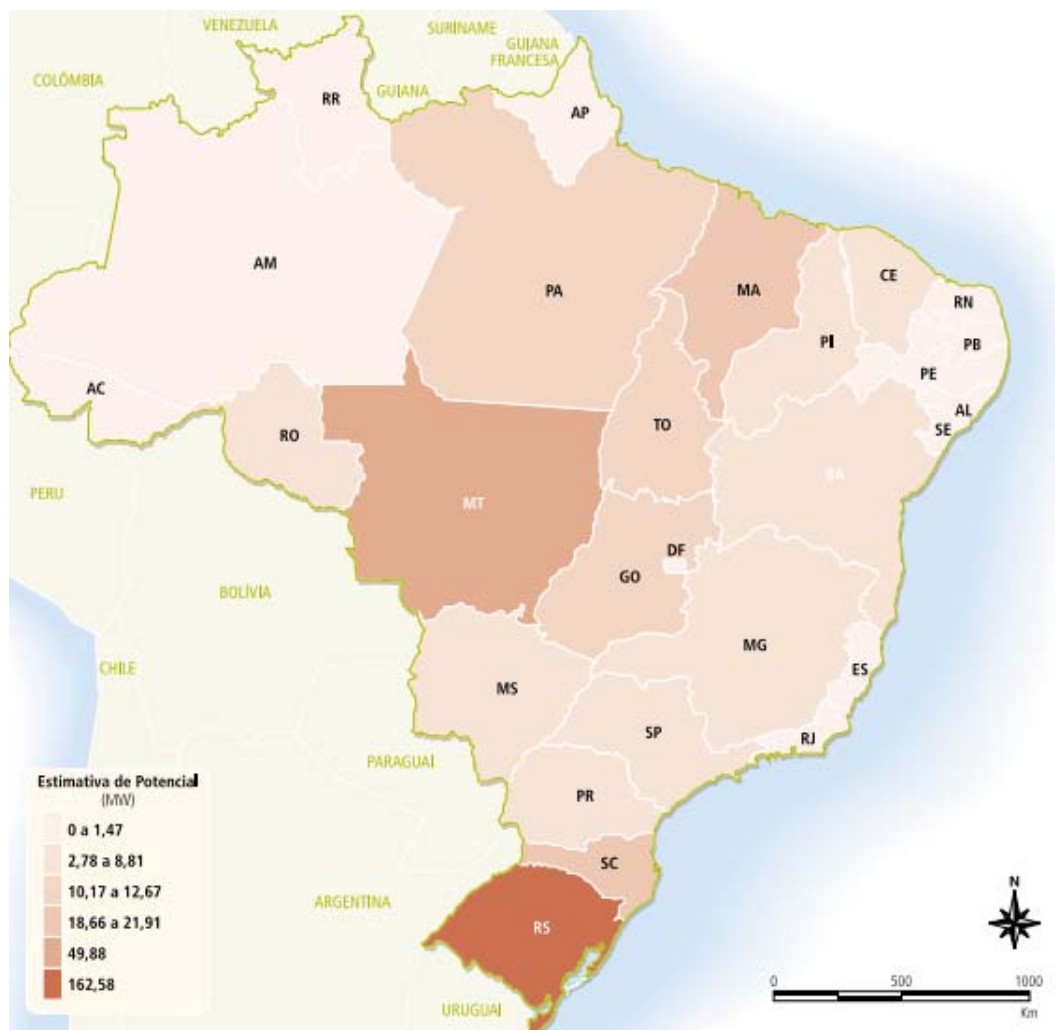


Figura 4 - Potencial de geração de energia elétrica a partir de casca de arroz

Fonte: CENBIO

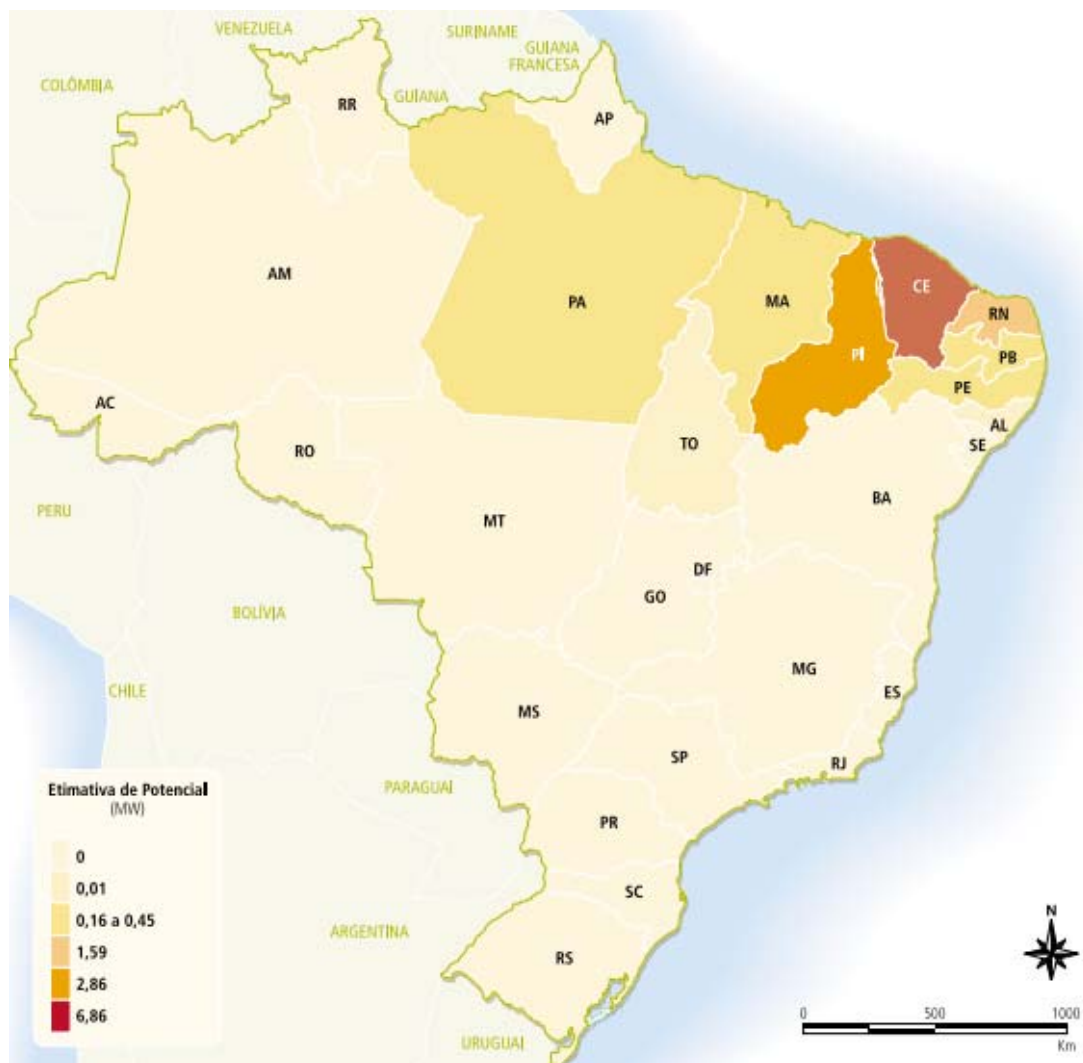


Figura 5 - Potencial de geração de energia elétrica a partir de casca de castanha de caju

Fonte: CENBIO

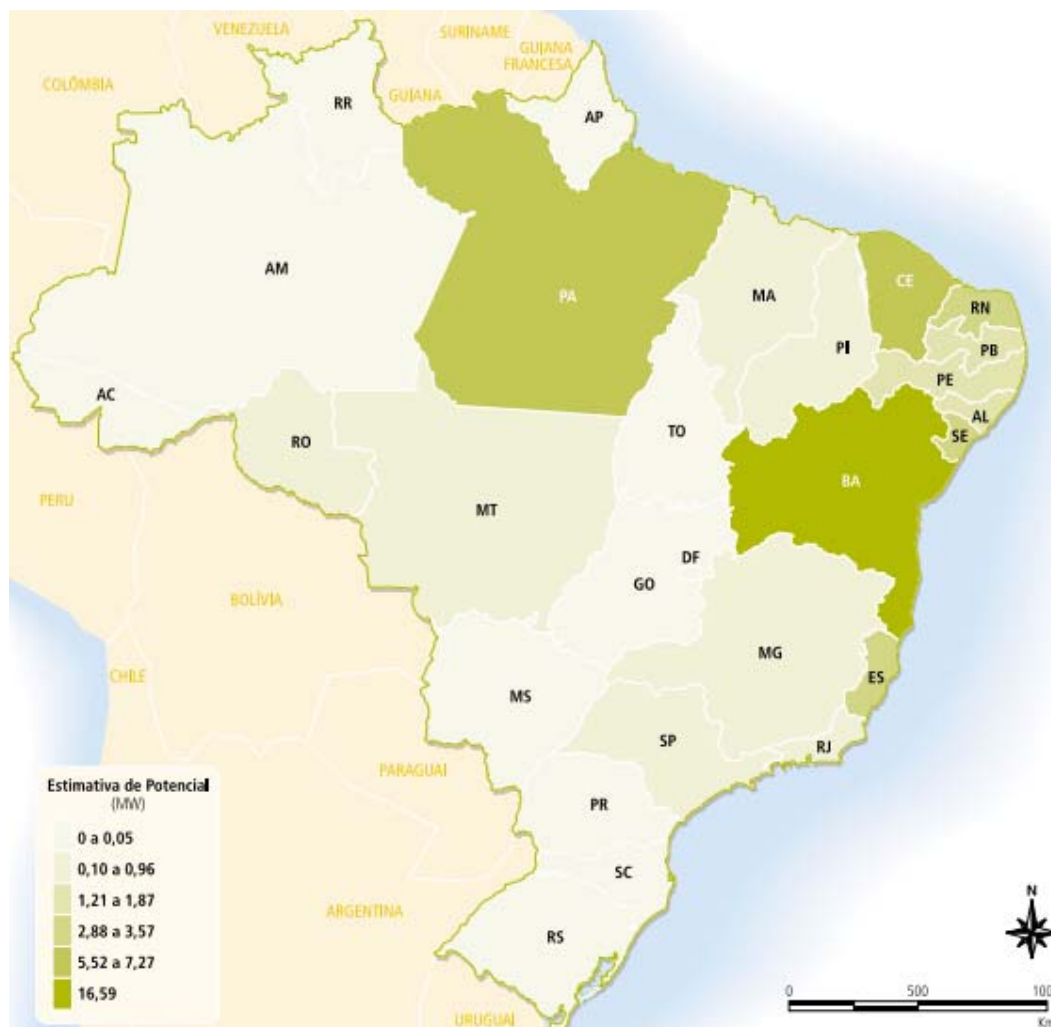


Figura 6 - Potencial de geração de energia elétrica a partir de casca de côco-da-baía

Fonte: CENBIO

#### 4.5. DISPONIBILIDADE NACIONAL DE RECURSOS

Dada a necessidade de escala na produção de resíduos agrícolas para a produção de biocombustíveis e energia elétrica, os maiores fornecedores potenciais da matéria-prima desses produtos são os países com agroindústria ativa e grandes dimensões de terras cultivadas ou cultiváveis. Conforme relata estudo sobre o tema inserido no Plano Nacional de Energia 2030, a melhor região do planeta para a produção da biomassa é a faixa tropical e subtropical, entre o Trópico de Câncer e o Trópico de Capricórnio. (ANEEL, 2008)

De qualquer maneira, a faixa tropical e subtropical do planeta abrange alguns países das Américas Central e do Sul, como o Brasil, o continente africano e Austrália. Estes últimos são caracterizados pela existência de



áreas desérticas e, portanto, pouco propensas à produção agrícola. O Brasil, porém, além da grande quantidade de terra agricultável, apresenta solo e condições climáticas adequadas. (ANEEL, 2008)

As condições naturais e geográficas favoráveis do Brasil justificam o entendimento de que o país reúne vantagens comparativas expressivas para assumir posição de destaque, no plano mundial, na produção e uso da biomassa como recurso energético. Entre elas destacam-se a grande quantidade de terra agricultável com características adequadas do solo e condições climáticas, a perspectiva de incorporação de novas áreas onde os impactos ambientais estão socialmente aceitos, além da possibilidade de múltiplos cultivos dentro do calendário produtivo anual. (MME, 2007) Além do mais, o Brasil recebe intensa radiação solar ao longo de todo o ano, a fonte de energia fundamental da produção de biomassa, seja sua finalidade a produção agrícola e pecuária para alimentação humana ou a produção de culturas com fins agroindustriais. (MME, 2007)

Embora conte com uma atividade agrícola bastante intensa, o Brasil dispõe, ainda, de vasta extensão de terra agricultável disponível (fronteira agrícola), sem prejudicar áreas de florestas e de preservação ambiental. (SERRANO, 2009)

O Brasil possui duas regiões promissoras para produção de pellets a partir de resíduos de madeira: as regiões Norte e Sul, sendo que a segunda tem significativa vantagem por possuir uma cadeia de produtos florestais fundamentada na silvicultura (florestas plantadas) enquanto na primeira haveria severas restrições devido à dificuldade de rastreamento da origem da biomassa. (SERRANO, 2009)

A disponibilidade de terras adicionais para cultivo é da ordem de 90 milhões de hectares, ou seja, quase 11% da área total do território brasileiro. (SERRANO, 2009)

No Brasil, a imensa superfície do território nacional, quase toda localizada em regiões tropicais e chuvosas, oferece excelentes condições para a produção e o uso energético da biomassa em larga escala. Além da produção de álcool, queima em fornos, caldeiras e outros usos não comerciais, a biomassa apresenta grande potencial no setor de geração de energia elétrica. (SERRANO, 2009)

O Brasil possui grande potencial de uso da biomassa celulósica para produção de energia. O país apresenta zonas geográficas favoráveis, grandes quantidades de terras para a silvicultura e clima ideal para obter energia a partir da biomassa em grande escala. A crescente demanda de biomassa na indústria, principalmente na geração de calor em diversos setores como na indústria de cimento, cerâmica entre outros podem substituídos por pellets de madeira. Dessa forma a demanda de energia

térmica brasileira poderia ser substituída por este biocombustível. Atualmente algumas indústrias estão verticalizando produção de energia através de plantações próprias. (ESCOBAR, 2013)

O Brasil possui aproximadamente 200 milhões de hectares de áreas disponíveis para o cultivo. Considerando somente a áreas disponíveis com a intensificação da pecuária ainda há 30 milhões de hectares sujeitos a ocupação com outras culturas, por exemplo, alimentos, plantio de florestas para energia entre outros. Área suficiente para atender ao mercado de pellets com grande potencial para produzir aproximadamente 34 milhões de toneladas de pellets por ano. (ESCOBAR, 2013)

#### **4.6. CARACTERISTICAS DOS PELLETS DE MADEIRA**

Peletização é um processo do quais pequenas partículas são prensadas em uma determinada forma e padrão. Através desse processo subprodutos de beneficiamento da indústria agrícola são transformados em materiais de maior valor agregado.

A peletização nada mais é do que um processo de densificação da biomassa com o objetivo de reduzir seu volume, para baratear o transporte e facilitar seu uso final. No Brasil, a densificação da biomassa para fins energéticos não é fato novo, uma vez que há fábricas de briquets espalhadas pelo país e diversos segmentos fazem uso desse combustível, tais como padarias, cerâmicas vermelhas, pizzarias, ou mesmo residências. (SERRANO, 2009)

Os parâmetros presentes no pellet são: resistência, mecânica, resistência ao impacto, baixa higroscopicidade, alta densidade, boas propriedades de queima e alto poder calorífico, além da possibilidade de otimização dos custos de transporte. Adquirem esta propriedade num processo produtivo em que a matéria-prima é conduzida para a parte central do equipamento, chamada de matriz, onde sofre intenso atrito e forte pressão, o que eleva a temperatura para mais de 250 graus Celsius, fluidificando-o. Sendo submetido à alta pressão, compacta-se elevando sua massa em muitas vezes. (SERRANO, 2009)

Os pellets de madeira possuem formato cilíndrico cujo diâmetro varia de 6 a 8 mm, comprimento de 20 a 30 mm, umidade em torno de 7,2%, poder calorífico acima de 4.648 Kcal, peso específico em torno de 680 Kg/m<sup>3</sup> e cinzas residuais em torno de 0,50%. O seu formato cilíndrico faz com que ele flutua como água e o seu baixo teor de umidade (menor que 10%) aumentem o seu poder calorífico. Na tabela seguinte podemos observar as

características energéticas entre o cavaco de madeira e os pellets de madeira. (GARCIA, 2010)

Na tabela seguinte observamos as características energéticas do cavaco em relação aos pellets de madeira.

Tabela 2- Características energéticas entre cavaco e pellets.

Características	Unidade	Cavacos de madeira	Pellets de Madeira
Poder calorífico	Gj/t	13,4	17
	kWh/kg	3,7	4,7
	kWhm <sup>3</sup>	750	3080
Teor de Umidade	%	25	8
Densidade Aparente	kg/m <sup>3</sup>	200	650
Teor de Cinzas	%	1	0,5

Fonte: Tabela elaborado pelo autor dados de (GARCIA 2010; SERRANO, 2009; ESCOBAR,2013)



Figura 7 - Pellets de madeira.

Fonte:MWF



Figura 8 - Pellets de casca de eucalipto e de pinus

Fonte: Anthropower

#### 4.7. NORMAS E PADRÕES

O Brasil ainda não existe nenhuma norma para padronização de combustíveis sólidos com os pellets. (GARCIA, 2010)

O padrão sueco para os pellets de madeira foi estabelecido em 1999 classificando os pellets em três grupos de acordo com seus padrões de qualidade, descritas na Tabela 5.

Tabela 3 - Normas de padronização austríaca e sueca para os pellets.

Especificação	Unid.	Áustria ÖNORM M7135		Suécia SS 18 71 20		
		madeira	casca	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Diâmetro [Ø]	mm	4 a 20	20 a 120		$4 \leq \text{Ø} \leq 10$	
Comprimento	mm	máx. 100	máx. 400	4. Ø	5. Ø	6. Ø
Densidade a granel	kg/m <sup>3</sup>	> 600		≥ 600	≥ 500	
Finos < 3mm	%	máx. 1		≤ 0,8	≤ 1,5	
Densidade real	kg/m <sup>3</sup>	≥ 1,0				
Teor de umidade	%	≤ 12	≤ 18	≤ 10		≤ 12
Teor de cinzas	%	≤ 0,50	≤ 6,0	≤ 0,7	≤ 1,5	
PCI	MJ/kg	≥ 18		16,9		15,1
Enxofre	%	≤ 0,04	≤ 0,08	≤ 0,08		indicar
Cloro	%	≤ 0,02	≤ 0,04	≤ 0,03		indicar
Aditivos	%	máx. 2 (natural)		Indicar na embalagem		
Durabilidade	%	≥ 95,0		≥ 95,0		

Fonte: Abipel

A legislação austríaca publicada em 2000 (ONORM M17135) reforça padrões de emissão para estufas residências e um sistema de certificação dos pellets, assegura altos padrões de qualidade do combustível, exigindo o uso somente de matéria-prima natural. Outras normas garantem a qualidade de toda a cadeia produtiva dos combustíveis como a norma ONORM M7136 que assegura a qualidade do transporte, armazenamento e distribuição. E a ONORM M7137, que lista critérios de qualidade de armazenamento. (GARCIA, 2010)

As normas alemãs (DIN 51731) são muito rigorosas quanto à concentração de certos elementos químicos estabelecendo valores máximos para emissões conforme podemos observar na tabela 6.

Tabela 4 - Normas de padronização alemã e americana para os pellets.

Especificação	Unid.	Alemanha	EUA			
		DIN 51731 HP1 <sup>2</sup>	Recomendações PFI <sup>1</sup>			
			SP <sup>3</sup>	P <sup>4</sup>	S <sup>5</sup>	U <sup>6</sup>
Diâmetro (Ø)	mm	4 ≤ Ø ≤ 10	6,35 a 7,25			
Comprimento	mm	≤ 5. Ø	≤ 25,4			
Densidade a granel	kg/m <sup>3</sup>	> 600	640 a 736	608 a 736		
Finos < 3mm	%	máx. 1	≤ 0,50			
Densidade real	kg/m <sup>3</sup>	≥ 1,12	-			
Teor de umidade	%	< 12	≤ 6	≤ 8		≤ 10
Teor de cinzas	%	< 1,5	< 1	< 3		
PCI	MJ/kg	17,5 a 19,5	Especificar o teor			
Enxofre	%	< 0,04	Especificar o teor			
Cloro	%	< 0,02	< 0,3			
Aditivos	%	< 2 <sup>7</sup>	Nenhum aditivo artificial			
Durabilidade	%	≥ 95,0	≥ 97,5	≥ 95,0		

<sup>1</sup> PFI= Pellets Fuel Institute

<sup>2</sup> HP1= Holz pellets

<sup>3</sup> SP= Super Premium

<sup>4</sup> P= Premium

<sup>5</sup> S= Standard

<sup>6</sup> U= Utilitário

<sup>7</sup> < 2% de material para auxiliar a pressão.

Fonte: Abipel

Os Estados Unidos seguem normas não oficiais recomendadas pelo PFI que determinam padrões específicos para os combustíveis densificados desde 1995. A União Européia através da CEN (Comitê Europeu de Normalização) estabeleceu que deveriam ser fornecidas todas as informações de formas e propriedades dos combustíveis. No Reino Unido não há uma norma oficial publicada para padrões de qualidade para os Pellets. Os produtores apenas seguem um código de boas práticas e classificam os pellets em dois tipos: Premium (uso residencial) e Standard (uso industrial). (GARCIA, 2010)

Basicamente há dois critérios para se julgar a qualidade dos pellets: a composição química e as características físicas. (HAHN, 2004)

Os pellets devem conter padrões de qualidade que se caracterizam em dois grupos. Uso em pequena escala e uso em larga escala. (VIAK, 2000)

## **5. PRODUÇÃO DE PELLETS**

### **5.1. CARACTERÍSTICA DA PRODUÇÃO DE PELLETS**

Os pellets de madeira são feitos com resíduos de indústria madeireira tais como: serragem, aparas, cavacos, podas de árvores e resíduos da indústria florestal. Essa matéria-prima é processada nas plantas industriais estacionárias e, com alta pressão e temperatura, são comprimidas no formato cilíndrico com diâmetro de 6,0 a 10,0 mm de diâmetro. (NIELSEN, 2009).

O processo de produção em uma indústria envolve cinco etapas descritas abaixo:

Etapa 1: Geração da matéria-prima.

Na maioria das vezes esse material provém de resíduos no processamento industrial da madeira ou se forem em grande escalas as indústrias produzem a sua própria matéria prima.

Etapa2: Uniformização das partículas.

Para atingir uma melhor qualidade do produto é necessária a uniformização das partículas através de moinhos indústrias que padronizam as partículas de madeira em tamanhos menores que 3,0 mm aproximadamente.

Etapa 3: Secagem da matéria-prima

Para que os pellets tenham um alto poder calorífico é necessário que o teor de umidade seja baixo. Dessa forma é necessária a secagem uniforme da matéria-prima através de secadores rotativos que conseguem teores abaixo de 10% (base seca).

Floresta – Picador –Moinho – Secagem – Peletização – Empacotamento.

Etapa 4: Peletização

O processo de peletização ocorre quando as partículas pequenas de madeira são pressionadas através de matrizes perfuradas de aço através de orifícios de 3,0 a 12,0 mm força a passagem das particular com pressão em torno de 300 Mpa e temperatura na ordem de 120 C. (NIELSEN, 2009)

Etapa 5: Resfriamento

Ao final da etapa de peletização, o combustível sai com uma temperatura em torno de 95 C. Há necessidade de algumas horas para o resfriamento e estabilização da lignina antes do empacotamento.

#### **Etapa 6: Transporte**

Devido à baixa umidade os pellets são fáceis de armazenar e não estragam ao longo do tempo. Dessa forma o transporte dentro das condições ideais longe da umidade pode ser feito a longas distâncias.

## **6. MERCADO DE PELLETS**

### **6.1. MERCADO EXTERNO DE PELLETS**

Segundo o European Pellet Centre, o pellet de madeira é hoje a biomassa sólida para fins energética mais negociada no mundo. (VIEIRA, 1997)

A primeira exportação de longa distância ocorreu em 1998, do Canadá para a Suécia. Desde então, o comércio internacional tem crescido de forma exponencial.

Em 2011, a produção mundial de pellets atingiu 18 milhões de toneladas. A Europa foi responsável por aproximadamente 67% dessa produção, seguida pela América do Norte, responsável por aproximadamente 30% do volume total produzido. (REN21, 2012) Em relação ao consumo de pellets, a Europa e a América do Norte são também as regiões mais importantes. O consumo doméstico foi o principal destino, com 8,5 milhões de toneladas (54%), seguindo do consumo industrial, com 5 milhões de toneladas (31%) e do consumo comercial, com 2,4 milhões de toneladas (15%). (ABRAF, 2012)

O quadro a seguir mostra a produção atual global e uma perspectiva para a produção no ano de 2020.

Tabela 5 - Produção atual global e perspectiva para a produção no ano de 2020.

ANO	PRODUÇÃO (t)
2007	8.000.000
2009	13.500.000
2010	14.300.000
2020	50.000.000

Fonte: (Biomass Magazine, 2012)

São nos países de clima temperado com invernos rigorosos como Suécia, Dinamarca, Holanda, Bélgica e Reino Unido que o uso de pellets é mais difundido na queima de biomassa para a produção de energia.

Países como Alemanha e Áustria são auto-suficientes, outros dependem, em grande parte da importação como Holanda, Bélgica, Dinamarca e Itália. Países como o Canadá exporta 90% da sua produção sendo que 60% para países europeus. (VIDAL, et al., 2011)

Atualmente a maior fábrica de pellets no mundo esta em Waycross / Georgia – US – com capacidade de produzir 750.000 toneladas por ano. A fabricação é destinada para produção de energia renovável, co-geração e substituição do carvão em usinas térmicas, com capacidade de estoque de 1.5 milhões de toneladas. (PELLERGY, 2012)

A empresa VyborgkajaCeullsa - Rússia em parceria com a Andritz estará construindo a maior fábrica de pellets do mundo. Localizada na Rússia a planta terá um investimento de 40 milhões de euros e capacidade de produzir 900.000 toneladas de pellets por ano. (PELLERGY, 2012)

## **6.2. MERCADO NACIONAL DE PELLETS**

A maioria dos fabricantes nacionais de pellets possui escala de produção muito pequena devido ao modelo de negócio baseado a produtores integrados diretamente a serrarias ou perto de indústrias de produtos florestais por causa dos custos de transporte.

No Brasil a capacidade instalada é de cerca de 50 mil toneladas por ano, sendo que duas empresas respondem por 80% desse volume. (VIEIRA, 1997)

Estudos realizados mostram a viabilidade de substituição de 15% do coque de petróleo importado por pellets de madeira satisfazendo a demanda



térmica de 300 a 900 TJ/ano na indústria de cimento com diminuição de custo de produção em até 3%. (ESCOBAR, 2013)

Atualmente existem 14 fábricas de pellets no país, como observado na Figura 6

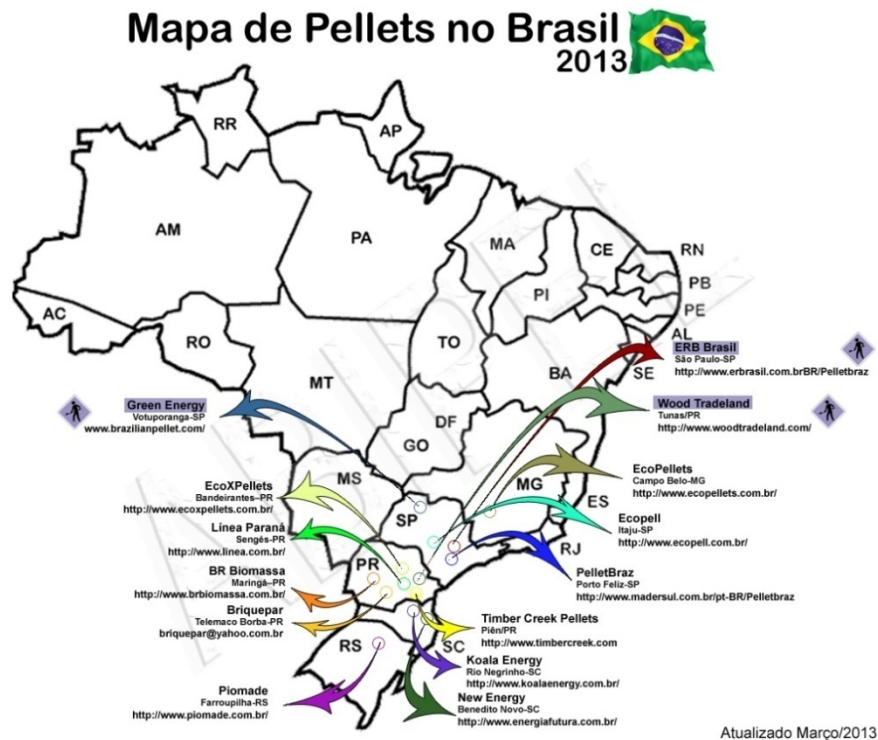


Figura 9 - Mapa de Pellets no Brasil.

Fonte: ABIPEL

Atualmente 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. (VIDAL, et al., 2011)

Segundo fontes divulgadas no mercado a empresa irá investir cerca de US\$1,3 bilhões em cinco unidades com capacidade de produção de 2 milhões de toneladas por ano. Essas cinco unidades entrassem hoje em operação, seriam responsáveis por um acréscimo de cerca de 25% na oferta global desse mercado. (VIDAL, et al., 2011)

## 7. PROCESSO DE GERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA E ELÉTRICA

Processo mais amplamente difundido mundialmente, sendo utilizado desde o final do Século XIX, correspondendo à geração de vapor numa caldeira a partir de combustíveis em estado sólido, líquido ou gasoso que consequentemente movimentará uma turbina a vapor e produzirá eletricidade. (DOMINGOS, 2001)

Para entendermos o uso dos pellets de madeira como fonte de energia térmica e elétrica iremos falar sobre a segunda lei da termodinâmica. Essa lei foi enunciada pelo físico francês Sadi Carnot, e estabelece restrições para a conversão de calor em trabalho, realizadas pelas máquinas térmicas. Segundo Carnot, para que ocorra conversão contínua de calor em trabalho, uma máquina térmica deve realizar ciclos contínuos entre a fonte quente e a fonte fria, as quais permanecem em temperaturas constantes. A cada ciclo realizado é retirada uma quantidade de calor da fonte quente, parte desse calor é convertida em trabalho e a outra parte é rejeitada para a fonte fria. As muitas máquinas que vemos diariamente como, por exemplo, o motor de uma geladeira ou um motor de um veículo automotivo, são máquinas térmicas, pois elas realizam o processo de conversão de calor em trabalho, operando sempre em ciclos como o descrito por Carnot. (DOMINGOS, 2001)

O ciclo termodinâmico que prevalece no processo de queima de biomassa para a produção de energia térmica e posterior energia elétrica é o Ciclo Rankine. Nesse ciclo a energia térmica resultante da combustão é transferida através de caldeira, para a água que vaporiza e superaquece. O vapor superaquecido é expandido em uma turbina que aciona uma carga mecânica (ou gerador elétrico). O vapor é extraído na saída da turbina, nas condições de temperatura e pressão requeridas para o processo que utiliza este calor útil. Geralmente o fluido é devolvido à caldeira no estado de condensado para reinicializar o ciclo de transferência de energia. (DOMINGOS, 2001)

Na tabela seguinte podemos observar o poder calorífico dos pellets de madeira. Devido ao seu baixo teor de umidade < 10,0 % os pellets possuem um poder calorífico alto 17,0 GJ/ton. (GARCIA, 2010)

Tabela 6 - Características físico e químico dos pellets de Madeira

Pellets de Madeira	
Poder calorífico	17.0 GJ/ton
Teor de Umidade	< 10,0%
Densidade a granel	650 kg/m <sup>3</sup>
Geração de finos	Média
Resistência a água	Não
Liberação de gases	Alta

Fonte: (GARCIA, 2010)

Na figura seguinte podemos observar a rota de conversão de energia através da utilização de pellets de madeira como combustível e produção de energia elétrica através do processo chamado bio-eletricidade.

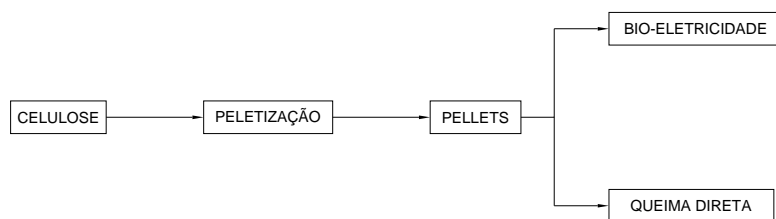


Figura 10 - Rota de conversão de energia

Fonte: (EUBIA, 2013)

No principal processo de bio-eletricidade a cogeração é o principal processo na produção de eletricidade e energia térmica a partir do uso de biomassa. Na figura seguinte podemos observar o processo de cogeração de uma indústria. A biomassa é queimada em grandes caldeiras que produzem vapor de alta pressão para alimentar uma turbina que irá produzir trabalho mecânico alimentando assim um gerador de energia.

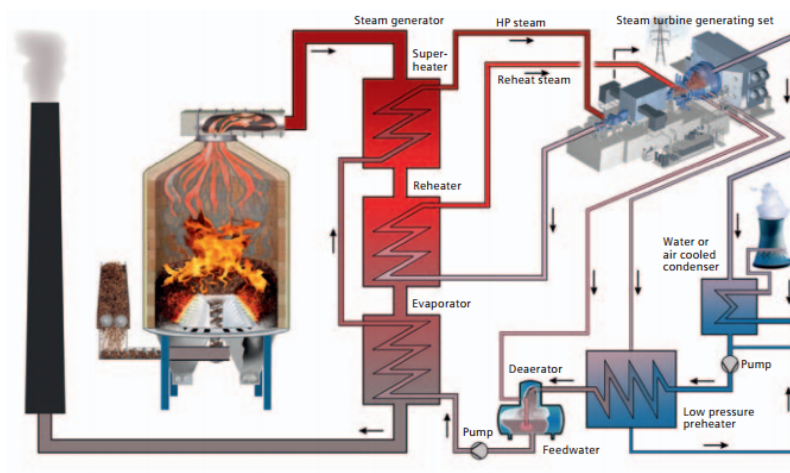


Figura 11 - Sistema de cogeração

Fonte: Siemes

Cogeração é a produção simultânea e de forma seqüenciada, de duas ou mais formas de energia a partir de um único combustível. O processo mais comum é a produção de eletricidade e energia térmica (calor ou frio) a partir do uso de gás natural e/ou de biomassa, entre outros. (COGEN, 2013)

Os processos de cogeração segundo a (COGEN, 2013) podem ser aplicados nas suas diferentes formas em inúmeros diferentes setores de atividade. Algumas das principais aplicações são:

1. Setor Industrial – Calor de Processo – Produção de Vapor Indústria Química, Petroquímica e Farmacêutica; Indústria de Alimentos e Bebidas; Indústria de Papel e Celulose; Indústria Têxtil.
2. Setor Industrial – Aquecimento Direto – Forno Alta Temperatura Indústria de Vidro; Indústria de Cimento; Siderúrgica.
3. Setor Comércio e Serviços – Ar-Condicionado Central, Aquecimento de Água Shopping Center; Centros Comerciais; Supermercado; Hotel; Hospital; Lavanderia e Tinturaria; Clubes Desportivos.
4. Setor Sucroenergético–Bioeletricidade Usinas de açúcar e etanol que co-geram energia elétrica a partir do bagaço da cana de açúcar e também da sua palha e pontas.

A combustão de combustíveis provenientes da biomassa sólida, líquida e gasosa pode fornecer calor ao longo de um intervalo de temperaturas e em diferentes escalas para o uso nas indústrias, processos agrícolas, processos de secagem, sistemas de aquecimento urbano, aquecimento de água e aquecimento de edifícios. Em 2012, cerca de 3 GW foram produzidos utilizando os modernos sistemas de aquecimento com biomassa, elevando o total global de cerca de 293 GW de produção de energia térmica.(REN21, 2013)

As principais vantagens da cogeração podem ser avaliadas pelos seguintes fatores:

- a) Menor custo de energia (elétrica e térmica);
- b) Maior confiabilidade de fornecimento de energia;
- c) Melhor qualidade da energia produzida;
- d) Evitar custos de transmissão e de distribuição de eletricidade;
- e) Maior eficiência energética;
- f) Menor emissão de poluentes (vantagens ambientais)
- g) Criar novas oportunidades de trabalho e de negócios.

Estudos indicam que, nos Estados Unidos, a capacidade instalada do parque gerador de energia oriunda de biomassa, no final dos anos 70, era de apenas 200 MW, subindo para 8,4 GW no início dos anos 1990. A maioria corresponde a plantas de co-geração, com utilização de resíduos agrícolas e florestais. Embora com eficiência termodinâmica relativamente baixa (18% a 26%), essas plantas têm sido economicamente competitivas. Os custos foram avaliados em cerca de US\$ 1.400,00 por kW instalado e entre US\$ 65,00 e US\$ 80,00 por kWh gerado. (ANEEL, 2000)

## 8. USO DOS PELLETS DE MADEIRA COMO FONTE DE ENERGIA TÉRMICA E ELÉTRICA

Os pellets de madeira foram criados como alternativa de combustíveis para geração de energia térmica. A sua produção era relativamente cara, mas nos dias de hoje, com a produção desse combustível em grande escala os preços caíram fazendo com que a sua viabilidade ficasse cada vez maior. (VIDAL, et al., 2011)

Os pellets de madeira são utilizados para substituição dos tradicionais combustíveis fósseis na geração de energia térmica e elétrica. Existe uma gama de equipamentos que utilizam os pellets de madeira para substituir os tradicionais queimadores desses combustíveis.

Os usos dos pellets podem ser classificados em dois grandes grupos: residenciais e comerciais. O consumo europeu pode ser definido pela escala de consumo:

**Pequena escala e residencial:** consumo abaixo de 10 toneladas por ano. São usados para aquecimentos residenciais através de fornos e caldeiras. São entregues em sacos nas residências através de caminhões a granel que trazem os pellets para encherem os depósitos residenciais apropriados a este armazenamento. Esse procedimento é feito duas vezes ao ano. (VIDAL, et al., 2011)

**Média escala:** consumo entre 10 a 1000 toneladas por ano. São usados em empresas, hotéis, setores de serviço ou grandes unidades residenciais substituindo os tradicionais aquecedores a óleo que são utilizados para aquecimento de água e ambiente. (VIDAL, et al., 2011)

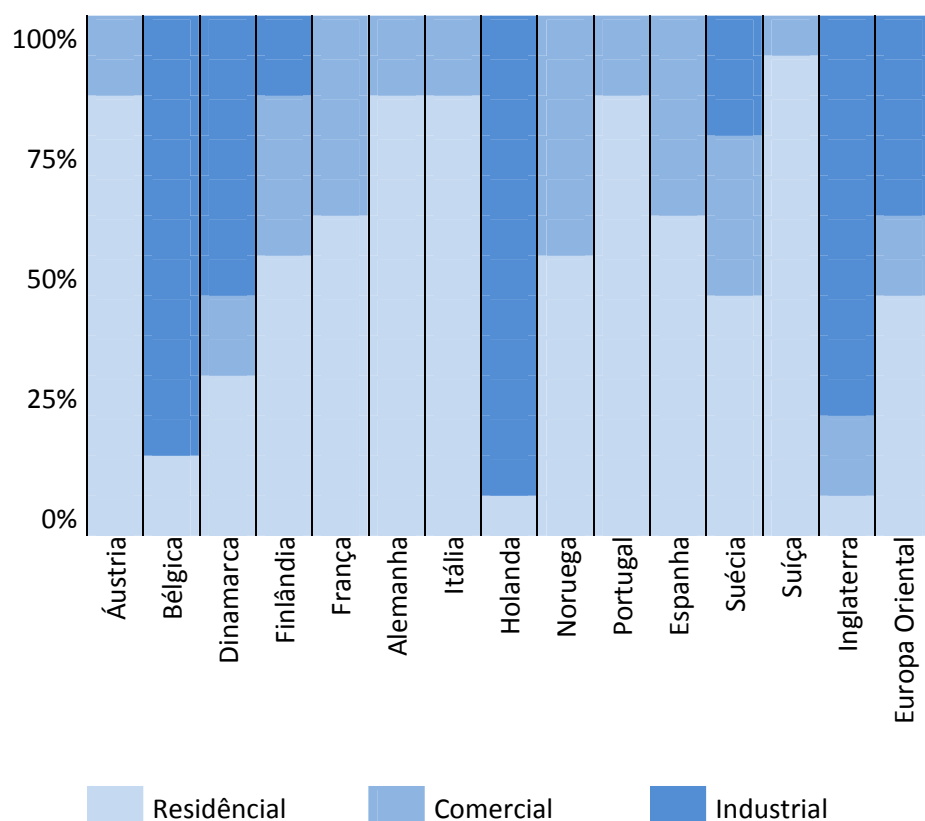
**Larga escala:** consumo (BIOMASS, 2010) superior a 1000 toneladas por ano. São usados em termelétricas e plantas industriais como siderúrgicas, plantas de coque, etc. (VIDAL, et al., 2011)

O uso de pellets de madeira está sendo muito utilizado em todos os setores da economia: setor industrial, setor comercial e setor residencial no mundo.

No gráfico abaixo podemos observar a distribuição do uso de pellets de madeira em cada país europeu para cada setor.

Gráfico 3 - Uso de pellets em cada setor econômico nos países europeus.

Fonte: Poyry – Adaptado pelo autor.



No setor industrial os pellets de madeira são utilizados como fonte de calor de processo na produção de vapor, principalmente em indústrias químicas, petroquímicas, farmacêuticas, alimentação e bebidas, papel e celulose, indústria têxtil, fornos de alta temperatura na indústria de vidros, fundições metalúrgicas e usinas de asfalto.

No setor comercial e de serviços os pellets são utilizado para geração de vapor e/ou aquecimento de água, podendo substituir o gás GLP em supermercados, hotéis, hospitais, lavanderias, tinturarias, academias e clubes, padaria, confeitaria em qualquer outro sistema que necessita de calor através da queima direta dos pellets de madeira.

No setor residencial os pellets são utilizados para produção de água quente e aquecimento do ambiente através da substituição do gás GLP podendo chegar a uma economia de 20% a 50%. (Pel13)

Países como Suécia, Dinamarca e Alemanha utilizam os pellets de madeira para médios e grandes sistemas de geração de energia. Na Suécia, em 2008 foram utilizados cerca de 1,85 milhões de toneladas de pellets de madeira e cerca de 40% desses materiais foi usado em usinas termelétricas entre 2 MW e 25 MW. (Pel13)

Países como Holanda, Alemanha e Suécia possuem usinas termelétricas que estão trocando os tradicionais combustíveis derivados de petróleo por pellets de madeira. A maior fábrica do mundo de pellets de madeira está localizada na cidade de Waycross no estado da Geórgia US. Praticamente toda a produção de pellets é destinada para exportação e serem utilizada em usinas termelétrica na produção de energia limpa. (Pel13)



Figura 12 - Maior fábrica do mundo de produção de pellets de madeira - Waycross / Georgia - US.

Fonte: RWE.

Na Holanda por exemplo 95% do consumo de pellets de madeira são utilizados para a produção de energia em grandes termelétricas como a Amer Power Plant com capacidade de produção 1245 MW, equivalente a alimentação de 3 milhões de casas. (Pel13)



Figura 13 - AMER POWER PLANT – Geertruidenberg – Holanda

Fonte: RWE.

A Europa é o principal consumidor de calor gerado a partir da biomassa. A Suécia, Finlândia, Áustria, Dinamarca e Alemanha são os cinco maiores consumidores europeus. Após o inverno ameno, em 2011, quando a demanda de biomassa sólida caiu 8% para cerca de 2,9 EJ, a demanda da Europa subiu novamente em 2012. A demanda total de bioenergia na Suécia aumentou 10%, para cerca de 140 TWh (para o calor, energia e co-geração), e, no início de 2013, biomassa representou mais de 70% da demanda total de combustível para instalações de aquecimento residencial

da Suécia e alimentou mais de 100.000 queimadores doméstico de pellets. A Alemanha, usando principalmente os resíduos florestais como combustível, aumentou sua capacidade de planta de calor por 50MWth a 650 MWth, para produzir em torno de 300 GJ de calor e de 4,5 TWh de energia elétrica.(REN21, 2013)

Atualmente a utilização de combustíveis renováveis como os pellets para geração de energia térmica é uma solução para quem busca combustíveis com baixo índice de emissão de carbono, a não dependência da energia fornecida pela rede pública e principalmente pela economia.

## **9. EQUIPAMENTOS**

Os primeiro equipamentos que vieram substituir a queima de petróleo e gás na crise mundial e aumento dos preços dos combustíveis fósseis surgiram na década de 70 principalmente nos Estados Unidos e Europa. Foi nessa época que os pellets de madeira aumentaram a sua popularidade com uma alternativa de substituir parte dos combustíveis fósseis por combustíveis renováveis para a geração de energia térmica. (REN21, 2013)

As vendas de equipamento relacionados a pellets, incluindo queimadores domésticos de madeira e fogões gaseificador (<100 kW), queimadores de pellets (<500 kW), pequenas caldeiras (<1 MW), e caldeiras de grande escala para uso industrial e aquecimento urbano (maior que 1 MW e 50 MW e tipicamente acima), continuou a crescer em 2012 para atender às demandas crescentes de calor, embora números exatos não estão disponíveis.(REN21, 2013)

### **9.1. QUEIMADORES**

Os queimadores de pellets de madeira são equipamentos que substituem os tradicionais queimadores a gás ou a óleo combustível. Apesar do sistema de queimadores de pellets de madeira custar cerca de 30% mais caro do que os queimadores tradicionais, países como Austria, Alemanha, Suécia e França possuem um mercado muito atrativo devido ao baixo custo desse combustível. (REN21, 2013)

Os queimadores de pellets de madeira de pequeno porte são utilizados em aquecimentos residenciais para complementação de um sistema elétrico para chuveiros, piscinas, ambiente, torneiras e até para aquecimento de pisos.



Os pellets de madeira são usados para serem queimados em fogões e em caldeiras. Possuem sistemas automáticos de alimentação e sistemas de sucção do material para alimentação do queimador.

Os queimadores de pellets de madeira possuem tipicamente 4 componentes principais: estocador, transportador, controlador e queimador. Na figura a seguir podemos observar de forma simplificada como funciona um queimador de pellets de madeira.

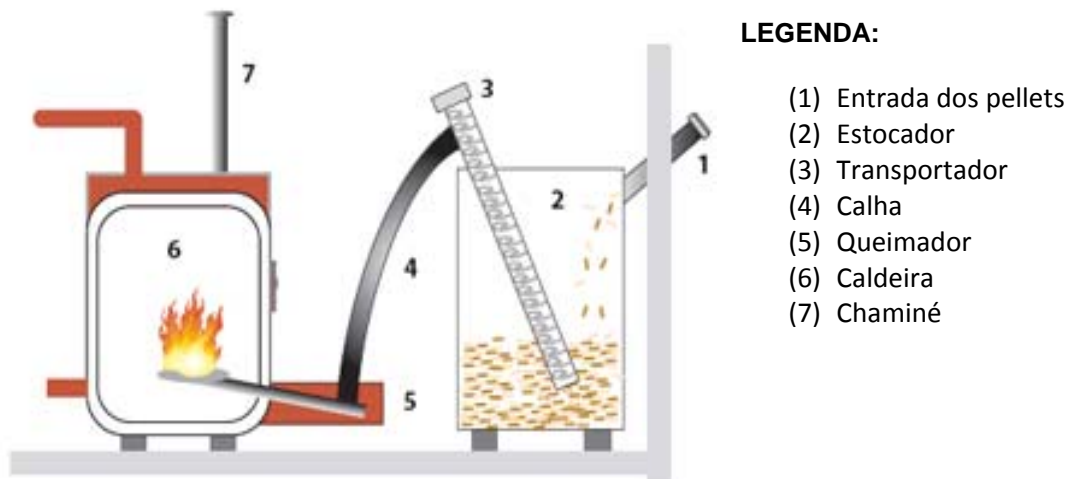


Figura 14 - Queimador residencial de pellets de madeira  
Fonte: PELLERGY

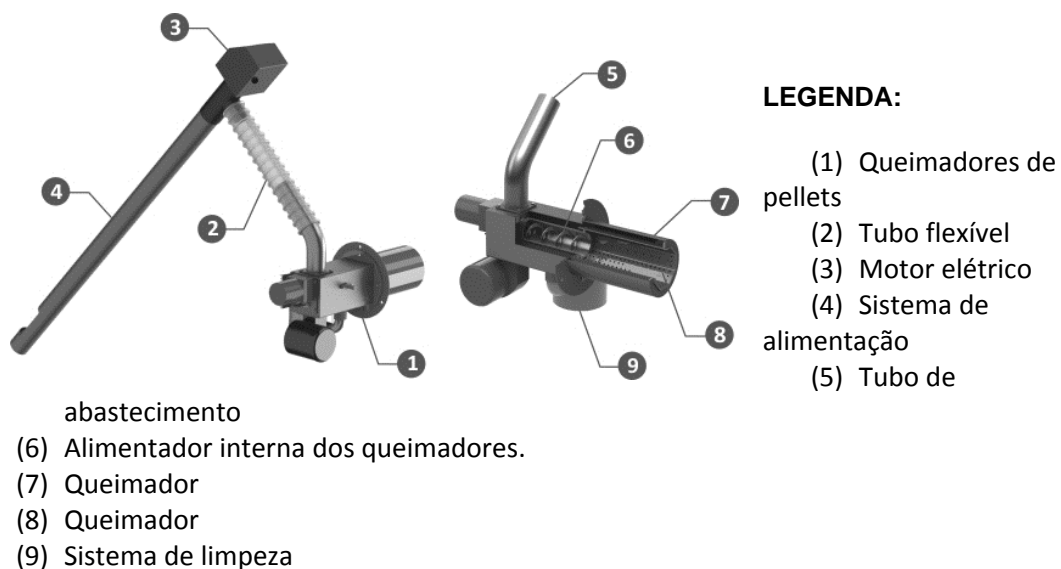


Figura 15 - Sistema de alimentação de Pellets  
Fonte: PELLERGY

Existem basicamente três diferentes sistemas de queimadores e se diferenciam pelo modo de alimentação dos pellets. No primeiro a

alimentação dos pellets é feita pelo fundo do material que está em combustão, a segunda a alimentação é feita horizontalmente e a terceira é feita por cima do material em combustão.

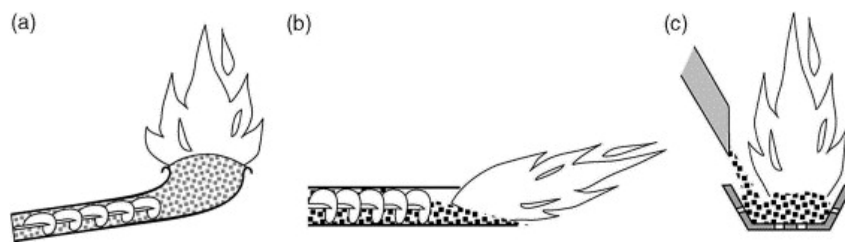


Figura 16 - Tipos de queimadores

Fonte: Sciencedire

Na figura abaixo podemos observar um típico exemplo de alimentação por baixo do queimador. Os pellets entram por cima do equipamento e dosado por entre as aletas. Conforme os pellets vão se outras porções de pellets serão inseridas nas aletas alimentando a assim o queimador por baixo.

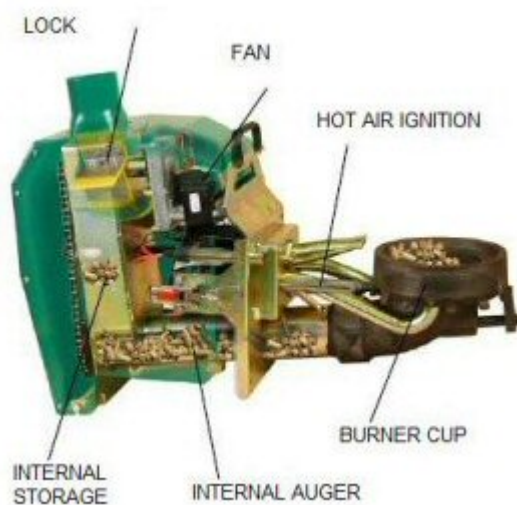


Figura 17 - Queimador de pellets com alimentação por baixo.

Fonte: Afab

[http://www.afabinfo.com/uk\\_ltd/pelletsburning/image/bionet3\\_skiss.jpg](http://www.afabinfo.com/uk_ltd/pelletsburning/image/bionet3_skiss.jpg)

Nas figuras seguintes podemos observamos a alimentação horizontalmente e vertical dos queimadores.

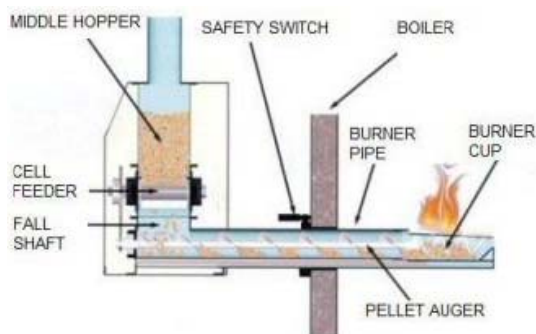


Figura 18 - Queimador de pellets com alimentação horizontal

Fonte: Afabinfo  
[http://www.afabinfo.com/uk\\_ltd/pelletsburning/image/Pell\\_eco\\_skiss.jpg](http://www.afabinfo.com/uk_ltd/pelletsburning/image/Pell_eco_skiss.jpg)

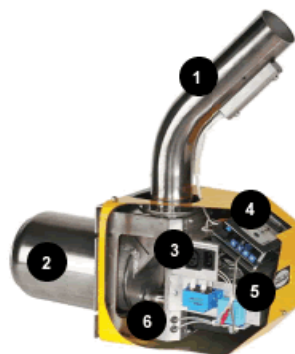


Figura 19 - Queimador de pellets alimentação por cima.

Fonte: Afabinfo  
[http://www.afabinfo.com/uk\\_ltd/pelletsburning/image/px21\\_snitt.gif](http://www.afabinfo.com/uk_ltd/pelletsburning/image/px21_snitt.gif)

Existem diversas empresas que fornecem queimadores de pellets com capacidade para atender o mercado residencial e o mercado industrial.

Os queimadores da empresa KOSTRZEWA tem capacidade de 16, 24, 32, 50, 100, 150 e 200 kW. São utilizados para aquecimento residências e comerciais. Esses queimadores possuem eficiência de AT'r 96% conforme dados do fabricante.



Figura 20 - Queimadores de pellets com capacidade de 16, 24, 32 kW

Fonte: KOSTRZEWA  
[http://www.boilersforpellets.com/files/Obrazy/kotly/platinum\\_bio\\_1/ppb1v2.png](http://www.boilersforpellets.com/files/Obrazy/kotly/platinum_bio_1/ppb1v2.png)



Figura 21 - Queimadores de pellets com capacidade de 50, 100, 150 e 200 kW

Fonte: KOSTRZEWA  
<http://www.boilersforpellets.com/?gclid=CMiU87f6wrgCFUgV7AodPRoA9A#175>

Os queimadores podem ser instalados em pequenas caldeiras e abastecidos por sistemas automáticos a partir dos silos de estocagem como podemos observar na figura seguintes:



Figura 22 - Queimadores instalados em caldeiras para sistema de aquecimento  
 Fonte: KOSTRZEWA  
<http://www.boilersforpellets.com/files/Obraz%20y/Kocio%20olejowy%20Zaegel%20Heald%20z%20palnikiem%20Platinum%20Bio%20%2016kW.JPG>

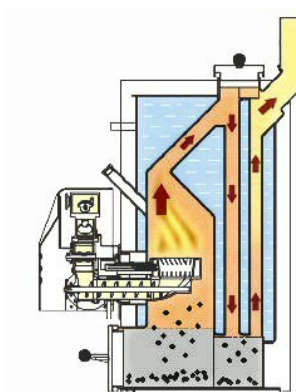


Figura 23 - Queimador com integração de uma caldeira.  
 Fonte: Afabusa  
[http://www.afabusa.org/images/pellet\\_stove2.jpg](http://www.afabusa.org/images/pellet_stove2.jpg)

Na figura seguinte podemos observar um queimador industrial de pellets com capacidade de 700 kW. São equipamento utilizados para processos industriais de geração de calor através da queima de pellets.



Figura 24 - Queimadores industriais de pellets. Capacidade 700 kW  
 Fonte: pelltech  
[http://www.pelltech.eu/media/uploads/poleti\\_jpg\\_versions/thumbnail\\_poleti.jpg](http://www.pelltech.eu/media/uploads/poleti_jpg_versions/thumbnail_poleti.jpg)

Os aquecimentos centrais que utilizam pellets de madeira como combustíveis podem substituir diretamente um sistema tradicional que utiliza óleo e gás como combustíveis. A alimentação dos queimadores de

pellets de madeira é automática conforme a demanda térmica solicitada pelo sistema controlada por sistemas de sensores termo estáticos.

Devido às características físicas dos pellets de madeira o transporte pode ser feito por caminhões e abastecidos por tubos flexíveis injetando ar comprimido para o abastecimento de equipamentos destinados ao armazenamento de pellets. Os estoques de pellets podem ficar em qualquer ponto da casa em locais com fácil acesso a caminhões para o seu abastecimento. Os caminhões bombeiam os pellets de madeira para um silos de estocagem que guarda o material para serem novamente abastecidos duas vezes ao ano em residências.

Na figura seguinte podemos observar um caminhão transportador de pellets de madeira.



Figura 25 - Caminhão transportador de pellets de madeira  
Fonte: MYWOODPELLETSOLUTION

## **9.2. CALDEIRAS, TURBINAS E GERADORES**

As caldeiras são equipamentos construídos para aquecer um fluido ou produzir vapor a partir da queima de combustíveis. Existe uma grande gama de caldeiras para pellets no mundo. Desde pequenas caldeiras residenciais de 4 kW até caldeiras industriais com mais de 1.000 kW.

Existem dois tipos mais comuns de caldeiras, as aquatubulares e flamotubulares. As caldeiras flamotubulares são caldeiras que os gases quentes passam por dentro de tubos, ao redor dos quais está água a ser aquecida e evaporada. (LEITE, et al., 2008) As caldeiras flamotubulares são empregadas apenas para pequenas capacidades e vapores saturado de baixa pressão. O outro tipo de caldeiras são as aquotubulares em que a circulação da água é feita por dentro dos tubos e os gases no entorno. São

usados em instalações de maior porte para obtenção de vapor superaquecido. (LEITE, et al., 2008)

As duas tecnologias mais utilizadas para combustão de pellets nas caldeiras são: leito fluidizado e grelha móvel.

A principal característica do leito fluidizado é a capacidade de queimar pequenas quantidades de combustíveis com baixa emissão de gases nocivos como o NO<sub>x</sub> e da grelha móvel o avanço contínuo da alimentação por pellets. (LEITE, et al., 2008)

As turbinas a vapor são máquinas que convertem a energia térmica do vapor em energia mecânica para acionamentos. Podem ser fabricados sob uma extensa gama de configurações, para diversas pressões, diferentes números de estágios, de condensação, de extração simples e controlada, simples e múltiplas entradas, etc. (LEITE, et al., 2008)

São produzidas na faixa de potência desde 45 kW até 1900 MW.

Os equipamentos utilizados para conversão de energia mecânica em elétrica são os alternadores. Os alternadores são acionados por motores ou por turbinas a gás ou vapor. De acordo com a velocidade da máquina motora pode ser necessário utilizar-se de redutores de velocidade.

Atualmente no mercado é fornecida uma linha grande de geradores elétricos, que atendem a suas necessidades de 25 a 2.235 MVA. (SIEMENS, 2013)

## **10. CONCLUSÃO**

A utilização dos pellets é favorável ao meio ambiente, pois é neutro em dióxido carbono, ou seja, todo CO<sub>2</sub> emitido na sua queima é recuperado no crescimento da árvore, e tem baixas emissões de gases do efeito estufa, além de ser derivado de resíduos de madeira/resíduos agrícolas, que constituem um passivo ambiental quando deixados no campo.

A liberação de oxigênio e captura do dióxido de carbono CO<sub>2</sub> contribui para a contenção do aquecimento global, fato este muito discutido após a assinatura do protocolo de Quioto que obriga os países desenvolvidos a diminuírem suas emissões de carbono a 5% dos níveis emitidos no ano de 1990.

Poucos países já conseguiram diminuir as emissões de CO<sub>2</sub> devido a substituição de fontes derivadas do petróleo por fontes alternativas com os pellets de madeira que é principal biomassa sólida negociada hoje no mercado. Os pellets de madeira estão sendo muito utilizados em países



como Holanda, Alemanha, Dinamarca, Estados Unidos, entre outros países de clima temperado que utilizam uma grande quantidade de energia para aquecimento. O consumo de pellets estende-se por diversos setores além do residencial. São utilizados em indústrias e termelétricas para produção de energia térmica e elétrica através de diversos equipamentos e tecnologia. Esses equipamentos contribuem com a redução de emissões de carbono provenientes principalmente de fontes de energia derivadas do petróleo e carvão.

Observamos que o mercado externo atingiu um estado de amadurecimento muito grande em relação ao mercado nacional. O Brasil possui uma pequena quantidade de fábricas de pellets dos quais o mercado é destinado a consumo local em comércio e residências. O potencial de produção dos pellets de madeira no Brasil é muito grande devido às condições de clima, disponibilidade de áreas para o cultivo de florestas energéticas para produção de pellets, clima ideal e solo fértil. Essas características são os principais fatores em colocar como um grande fornecedor de pellets para exportação.

Entre os fatores que levam à consolidação do mercado de pellets no cenário nacional destaca-se a redução da dependência dos combustíveis fósseis, a disponibilidade de resíduos gerados pelo setor madeireiro e a crescente demanda estimulada por mecanismos de incentivo governamentais. A produção, o consumo, a exportação e a importação brasileira de pellets ainda são ínfimas, mas a tendência é que, a longo e médio prazo, a demanda cresça estimulando a produção, o consumo interno e as exportações. 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.

O uso dos pellets para geração de energia térmica e elétrica pode ser viável para geração pequena e grande escala em função dos tipos de equipamentos encontrados hoje no mercado. Equipamentos de pequeno porte a grande porte podem se encontrados e substituir os tradicionais equipamentos já instalados viabilizando ainda mais o uso de pellets de madeira como combustível.

É recomendado que a origem da biomassa para produção de pellets seja sustentável, sendo provenientes de florestas plantadas ou de resíduos. Os pellets correspondem a um tipo de bicomcombustível renovável e sustentável desde que não seja produzido a partir de desmatamento de florestas nativas.

## 11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**ABIPEL** [Online]. - 2013. - 31 de março de 2013. - <http://www.abipel.com.br>.

**ABRAF** Associação Brasileira de Produtores de Floresta Plantada. Anuário Estatístico da ABRAF [Online]. - 2011.

**ABRAFLOR** [Online]. - Associação Brasileira de produtores de florestas plantadas. - <http://www.abraflor.org.br>.

**ANEEL** [Online]. - Agência Nacional de Energia Elétrica, 2000. - 30 de junho de 2013. - [http://www.aneel.gov.br/atlas/pdf/05-Biomass\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/atlas/pdf/05-Biomass(2).pdf).

**BIOMASS GEORGIA** [Online]. - 2010. - 21 de março de 2013. - <http://www.gabiomass.com>.

**BIOMASS GEORGIA** Georgia Biomass [Online]. - 2010. - 21 de março de 2013. - <http://www.gabiomass.com>.

**CARBONOBASIL** CARBONOBASIL [Online] // Instituto Carbono Brasil. - 2008. - 26 de julho de 2013. - <http://www.institutocarbonobrasil.org.br/artigos/noticia=523294>.

**CENBIO** CENBIO [Online] // Balanço Energético Nacional - BEN. Brasília: MME, 1982 (adaptado por CENBIO). - 2013. - 26 de julho de 2013. - <http://cenbio.iee.usp.br/saibamais/fontes.htm>.

**CENTER EUROPEAN PELLETS** Pellets@lasProject [Online]. - 2013. - 21 de mar de 2013. - <http://www.pelletcentre.info>.

**COGEN** Associação da Industria de Cogeração de Energia [Online]. - 2013. - 21 de julho de 2013. - <http://www.cogen.com.br/>.

**COUTO L. [et al.]** Produção de pellets de madeira - o caso de Bionergy no Espírito Santo [Online]. - 26 de abril de 2010. - [http://renabio.org.br/arquivos/p\\_produção\\_santo\\_31296.pdf](http://renabio.org.br/arquivos/p_produção_santo_31296.pdf).

**DOMINGOS Carlos Oddone** Cogeração: Uma alternativa para produção de eletricidade [Periódico]. - São Paulo : Dissertação apresentada ao Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, 2001. - Instituto de Eletrotécnica e Energia : Vol. Faculdade de Economia e Administração .

**ECOENERGIA** [Online]. - 31 de março de 2013. - <http://www.grupoenergia.com.br/pizzaria>.

**ELBRA** Energia Limpa do Brasil [Online]. - 31 de junho de 2013. - <http://www.elbra.ind.br/queimador.php>.

**ELEMENTAR** [Online]. - Elementar Energia Renováveis, 2012. - abril de 2013. - <http://www.elementarenergia.com.br/areas-de-atuacao/energia-termica-a-biomassa.html>.

**EMBRAPA** A DINÂMICA DAS FLORESTAS NO MUNDO [Online]. - 2007. - 15 de julho de 2013. - <http://www.desmatamento.cnpem.embrapa.br/>.



**ESCOBAR Javier** The Bioenergy International. Publicação nº 18 [Periódico]. - Janeiro de 2013. - 18.

**EUBIA** [Online]. - European Biomass Industry Association, 2013. - 14 de abril de 2013. - <http://www.eubia.org>.

**FAPESP** Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho [Periódico]. - São Paulo : Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo., 2010. - Academia Brasileira de Ciência.

**GARCIA Dorival Pinheiro** Caracterização química, física e térmica de pellets de madeira produzidos no Brasil: Dissertação (Mestrado Acadêmico) Unesp [Periódico]. - Guaratinguetá : [s.n.], 2010.

**GATTO Bruno Batista** Panorama do setor elétrico brasileiro e maior inserção de formas renováveis de geração de energia no país [Periódico]. - São Carlos : [s.n.], 2010.

**HAHN B.** Pellets for Europe. Existing Guidelines and Quality Assurance for Fuel Pellets [Livro]. - St. Polten, Austria : [s.n.], 2004.

**IAB INSTITUTO AÇO BRASIL** [Online]. - 2009. - 21 de março de 2013. - <http://www.acobrasil.org.br>.

**IEA** International Energy Agency [Online]. - 2012. - 21 de março de 2013. - <http://www.iea.org>.

**INTERNATIONAL BIOENERGY** The pellets Map 2008 [Livro]. - Stockholm : Lennart Ljungblom, 2006. - Vol. 29.

**LEITE Nilson Ribeiro e MILITÃO Renato de Abreu** [Online]. - 2008. - [http://lcsime.files.wordpress.com/2012/09/caldeiras\\_prominp.pdf](http://lcsime.files.wordpress.com/2012/09/caldeiras_prominp.pdf).

**LJUNGBLOM L** Bioenergy International: Pellets are so hot [Artigo]. - Stockolm : [s.n.], 2005. - 17.

**MADEIRA PELLETS DE** [Online]. - 31 de março de 2013. - <http://pelletsdemadeira.blogspot.com.br/>.

**MALISIUS U [et al.]** Industrial Network on Wood Pellets [Livro]. - 2010. - Vol. 88p.

**MMA** Ministério do Meio Ambiente - Protocolo de Quioto [Online]. - 2013. - 11 de julho de 2013. - <http://www.mma.gov.br/clima/protocolo-de-quioto>.

**MME** Ministério de Minas e Energia [Online]. - 2010. - 21 de março de 2013. - <http://www.brasil.gov.br/sobre/economia/energia>.

**MME** Ministério de Minas e Energia - Balanço Energético Nacional [Online]. - 2004. - 21 de março de 2013. - <http://ben.epe.gov.br/default.aspx>.

**MME** Ministério de Minas e Energia - Matriz Energética Nacional 2030 [Online]. - 2007. - [http://www.mme.gov.br/spe/galerias/arquivos/Publicacoes/matriz\\_energetica\\_nacional\\_2030/MatrizEnergeticaNacional2030.pdf](http://www.mme.gov.br/spe/galerias/arquivos/Publicacoes/matriz_energetica_nacional_2030/MatrizEnergeticaNacional2030.pdf).

**NIELSEN N.P.K e FELBY C.** Effect of extractives and storage on the pelletizing process of saudust. FUEL [Periódico]. - Copenhagen : [s.n.], 2009. - n.1 p. 94-98 : Vol. 89.

**NYSTROM K.** Bioenergy in Sweden and Globally [Online]. - 2010. - 28 de maio de 2010. - <http://www.svebio.se/?p=726>.

**PELLERGY** Pellerger products are made in the USA [Online]. - 2012. - <http://www.pellergy.com/wood-pellet-heating-systems/>.

Pellets@las [Online] // PELLETS@LAS. - 09 de ago de 2013. - [http://pelletsatlas.info/pelletsatlas\\_docs/showdoc.asp?id=100105130154&type=doc&pdf=true](http://pelletsatlas.info/pelletsatlas_docs/showdoc.asp?id=100105130154&type=doc&pdf=true).

**REN21** Renewables 2013 - Global Status Report [Relatório]. - 2013.

**ROSA L. P.** Emissões de gases de efeito estufa derivados de reservatórios hidrelétricos [Livro]. - 2002.

**SBS** Sociedade Brasileira de Silvicultura [Online]. - 2001. - 21 de março de 2013. - <http://www.sbs.org.br/estatisticas.htm>.

**SERRANO Diego M. C.** Avaliação do Potencial de Produção e Exportação de Pellets Combustíveis no Pólo Florestal da Região Sul do Brasil - Dissertação (Mestrado Acadêmico) UNICAMP [Periódico]. - Campinas : [s.n.], 2009.

**SILVA Dimas Agostinho [et al.]** A Indústria de Pellet e perspectivas de mercado [Relatório]. - 2013.

**SILVA Marco Aurélio da** BRASIL ESCOLA [Online] // BRASIL ESCOLA. - Equipe Brasil Escola, 2013. - 27 de julho de 2013. - <http://www.brasilecola.com/fisica/principio-termodinamica.htm>.

**VERDESIO J. J.** Viabilidade das energias renováveis no Brasil. Universidade de Brasília. 68 p. [Livro]. - Brasília : [s.n.], 2008.

**VIK A.** Wood pellets in Europe – State of the art, technologies, activities, markets. AEBIOM Part of the Thermie B project 88p. [Livro]. - Oslo : Umbera, 2000.

**VIDAL André Carvalho Foster e HORA André Barros da** Perspectiva do setor de biomassa de madeira para a geração de energia. [Online] // BNDES - O banco nacional do desenvolvimento. - BNDES, 03 de 2011. - 08 de AGO de 2013. - [http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3308.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3308.pdf).

**VIEIRA SILAS** Estudo de configurações de sistemas térmicos de geração de energia elétrica através da análise de energia e de termoeconomia [Periódico]. - São Paulo : [s.n.], 1997.

**VITAL Marcos H.** Florestas Independentes no Brasil [Online]. - BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 29, p. 77-130, março de 2009. - 21 de março de 2013. -  
[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/Set2903.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/Set2903.pdf).

**WILHELM Moser [et al.]** Small-Scale Pellet Boiler with Thermoelectric Generator [Periódico]. - Wieselburg, Austria : [s.n.].