

MARCOS ANTONIO DA SILVA MIRANDA

**POTENCIAL DA BIOMASSA FLORESTAL PARA PRODUÇÃO DE
ENERGIA TÉRMICA INDUSTRIAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2015

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

M672p
2015
Miranda, Marcos Antonio da Silva, 1989-
Potencial da biomassa florestal para produção de
energia térmica industrial / Marcos Antonio da Silva
Miranda. - Viçosa, MG, 2015.
xi, 48f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador : Sebastião Renato Valverde.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Biomassa florestal. 2. Madeira com combustível.
3. Energia térmica. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Engenharia Florestal. Programa de
Pós-graduação em Ciência Florestal. II. Título.

CDD 22. ed. 634.989

MARCOS ANTONIO DA SILVA MIRANDA

**POTENCIAL DA BIOMASSA FLORESTAL PARA PRODUÇÃO DE
ENERGIA TÉRMICA INDUSTRIAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister scientiae*.

APROVADA: 03 de março de 2015.

Angélica de Cássia Oliveira Carneiro
(coorientadora)

Antônio de Pádua Nacif

Sebastião Renato Valverde
(orientador)

À minha família, que sempre me apoiou e incentivou em todos os momentos. De modo especial aos meus pais Antonio e Marta e minhas irmãs Márcia, Ana Cláudia e Alice.

Dedico...

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e por me proporcionar mais esta grande conquista.

Aos meus pais Antonio e Marta pelos constantes incentivos e amparo em todas as horas.

Às minhas irmãs Márcia, Ana Cláudia e Alice pelos incentivos, demonstração de carinho e preocupação durante esta caminhada.

Aos meus avós, Sebastião, Raimunda e Conceição (*in memoriam*), que sempre me desejaram sucesso.

À Universidade Federal de Viçosa pela formação acadêmica e pela oportunidade.

A CAPES e CNPQ pelo apoio financeiro.

Ao professor Valverde pela orientação do trabalho, paciência e ensinamentos transmitidos ao longo desses anos de convivência.

À professora Cassinha, que apesar dos mil afazeres, coorientou este trabalho.

Ao doutor Antonio de Pádua Nacif, que aceitou o convite para participar da banca examinadora.

Aos funcionários do DEF, em especial a Ritinha e Alexandre pelo auxílio prestado com muita dedicação.

À Comissão coordenadora do PPGCF da qual pude fazer parte e adquirir muito conhecimento e experiência.

Aos amigos de republica Renato, Gustavo, Marcelino, Tiago Araújo, Anderson e Michel aos quais sempre pude compartilhar os momentos bons e difíceis ao longo desses anos.

Às amigas Carini e Mayra pela contribuição direta neste trabalho e pelas horas de descontração.

Aos amigos da Dendrus, Agroflor, SIF e UFV Jr. Florestal, pelo convívio, incentivo, ensinamentos e momentos compartilhados.

A todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para o desenvolvimento deste trabalho.

SOU MUITO GRATO A TODOS VOCÊS.....OBRIGADO!!!!!!

BIOGRAFIA

Marcos Antonio da Silva Miranda, filho de Antonio Miranda Sales e Maria Marta da Silva Miranda, nasceu em 20 de fevereiro de 1989, natural de São Miguel do Anta, Minas Gerais.

Graduou-se em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Viçosa em 25 de novembro de 2012. Na graduação foi membro da UFV Jr. Florestal como trainee e gerente da Diretoria de Projetos.

Ingressou no Programa de Pós Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal de Viçosa em novembro de 2012, vindo a obter o título de mestre em 03 de março de 2015. Neste período participou da Comissão Coordenadora da Pós Graduação em Ciência Florestal como representante discente.

SUMÁRIO

1. Introdução.....	13
2. Objetivos.....	15
2.1. Geral	15
2.2. Específicos.....	15
3. Revisão de Literatura	16
3.1. Oferta e demanda de energia no Brasil.....	16
3.2. Evolução do consumo de energia pelo setor industrial brasileiro	18
3.3. Fontes de biomassa florestal utilizadas na produção de energia	20
3.4. Propriedades da biomassa florestal para energia	22
4. Metodologia	26
4.1. Pesquisa bibliográfica	26
4.2. Estimativa da demanda de biomassa florestal para produção de energia térmica, devido substituição de combustíveis fósseis.	26
4.2.1. Estimativa da demanda de área florestal	27
4.2.2. Geração de empregos	28
4.3. Custo com combustível para geração da energia térmica	29
4.4. Análise da utilização da biomassa florestal na produção de energia térmica industrial através da Matriz SWOT	32
4.5. Diretrizes para fortalecimento do setor de energia térmica baseado na biomassa florestal.....	33
5. Resultados e discussão.....	34
5.1. Análise da matriz energética do setor industrial e substituição dos combustíveis não renováveis pela biomassa florestal.....	34
5.2. Área demandada para produção de biomassa florestal para uso energético industrial	38
5.3. Custo da energia térmica – Estudo de caso: Indústria de Laticínios	

5.4. Diagnóstico do uso da biomassa florestal na produção de energia térmica – Matriz SWOT	42
5.4.1. Pontos fortes	43
5.4.2. Pontos fracos	44
5.4.3. Oportunidades	46
5.4.4. Ameaças	47
5.5. Recomendações para fortalecimento da biomassa no mercado de energia térmica.....	48
5.5.1. Ao Poder Público	48
5.5.2. Aos consumidores de energia térmica	49
5.5.3. Aos Produtores Florestais.....	50
6. Conclusões.....	51
7. Bibliografia.....	53
8. Anexos	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo de madeira pelo setor industrial brasileiro no ano de 2013.....	21
Tabela 2 - Produção total brasileira e coeficiente de consumo energético de alguns produtos da indústria de laticínios.	29
Tabela 3 - Rendimento do processo de produção de energia para os diferentes combustíveis.	30
Tabela 4 - Poder calorífico útil dos diferentes combustíveis.	30
Tabela 5 - Densidade dos combustíveis estudados.....	31
Tabela 6 - Preço dos combustíveis utilizados no estudo	32
Tabela 7 - Matriz Energética do setor industrial brasileiro em 10 ³ tonelada equivalente de petróleo (tep)	36
Tabela 8 – Consumo de combustíveis pelo setor industrial e equivalência em biomassa florestal	39
Tabela 9 - Área de floresta em hectare, demandada para substituição dos percentuais de combustíveis fósseis listados pela biomassa florestal.	39
Tabela 10 - Custo de produção de vapor.....	41
Tabela 11 - Resultados da análise SWOT para a biomassa na geração de energia térmica.	42
Tabela 12 - Cálculo da equivalência em biomassa florestal da energia demandada pelo setor industrial por fonte de combustível.....	58
Tabela 13 - Cálculo das propriedades da biomassa com base nas fórmulas apresentadas na metodologia	58
Tabela 14 – Cálculo da demanda de energia de alguns produtos da indústria de laticínios com base na produção total brasileira no ano de 2011.....	59
Tabela 16 - Cálculo da demanda de combustível para cada fonte avaliada	60
Tabela 17 - Cálculo do custo com combustível para produção de uma tonelada de vapor	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Consumo final de energia por fonte no Brasil.	16
Figura 2 – Oferta interna de energia no Brasil.	17
Figura 3 – Consumo de energia por setor no ano de 2013 no Brasil.	18
Figura 4 – Consumo de energia pelo setor industrial de 1970 a 2013.	19
Figura 5 – Consumo de madeira para energia pelo setor industrial brasileiro	20
Figura 6 – Matriz energética do setor industrial brasileiro no ano de 2013	27
Figura 7 – Evolução das emissões específicas de CO ₂ (em tCO ₂ /tep, com base na Oferta Interna de Energia).....	35
Figura 8 – Perspectivas dos preços nacionais de derivados do petróleo.	38

RESUMO

MIRANDA, Marcos Antonio da Silva, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2015. **Potencial da Biomassa Florestal para Produção de Energia Térmica Industrial.** Orientador: Sebastião Renato Valverde. Coorientadora: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro.

O objetivo deste trabalho foi identificar e analisar o potencial da biomassa florestal, como fonte de energia térmica para uso industrial. Inicialmente fez-se uma busca na literatura com objetivo de explorar o conhecimento existente sobre produção de energia térmica com biomassa florestal. Posteriormente, foi estimada a demanda de biomassa florestal para substituição dos principais combustíveis fósseis, com cenários de 100, 75 e 50% de substituição destes combustíveis pela biomassa florestal. Em seguida foi calculado o custo com cada combustível para produção de uma tonelada de vapor, de forma a verificar a competitividade da biomassa florestal frente aos combustíveis fósseis. Os combustíveis comparados foram: gás natural, gás liquefeito de petróleo, óleo combustível, óleo diesel, cavaco de madeira e lenha. Prosseguindo, foi realizada uma análise da utilização da biomassa florestal para produção de energia térmica industrial através da Matriz SWOT. Com isso, foi possível descrever as principais questões técnicas e políticas que influenciam na utilização da biomassa florestal para tal fim e estabelecer recomendações de ações aos diversos agentes envolvidos na cadeia produtiva da biomassa florestal. Verificou-se que a biomassa florestal ocupa a sexta posição na matriz energética do setor industrial e possui maior espaço a ser conquistado. As áreas demandadas para substituição de 100, 75 e 50% dos combustíveis fósseis analisados foram respectivamente, 2,9, 2,2 e 1,5 milhões de hectares. O custo da tonelada de vapor utilizando o cavaco foi no mínimo 34% menor que com os demais combustíveis. Os principais pontos fortes da biomassa florestal são custo competitivo, alta produtividade, combustível renovável, geração de empregos e amplitude regional, enquanto que os pontos fracos são comercialização por volume, logística, baixa concentração de energia, controle de qualidade e representatividade organizacional. Apesar de

apresentar menor custo a biomassa florestal enfrenta dificuldades políticas, burocráticas e falta de incentivo por parte do poder público. É necessário mais investimentos em pesquisa e interação entre os *stakeholders* da cadeia produtiva para desenvolvimento do mercado de biomassa para energia.

ABSTRACT

MIRANDA, Marcos Antonio da Silva, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2015. **Potential of Forest Biomass for Industrial Thermal Energy Production.** Advisor: Sebastião Renato Valverde. Co-advisor: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro.

The objective of this study was to identify and analyze the potential of forest biomass such as thermal energy source for industrial use. Initially, there was a search of the literature in order to research the existing knowledge about thermal energy production with forest biomass. Thereafter, the demand for forest biomass was estimated using substitution levels of 100, 75 and 50% of the main fossil fuels by forestry biomass. Then, it was calculated the cost of each fuel for producing a ton of steam, in order to verify competitiveness of forest biomass compared to fossil fuels. The compared fuels were natural gas, liquefied petroleum gas, fuel oil, diesel oil, wood chips and firewood. By continuing, an analysis of the use of forest biomass was held for the production of industrial thermal energy through the SWOT matrix. Thus, it was possible to describe the main technical and political issues, which influence the use of forest biomass for this purpose, and to establish recommendations for action to the various agents involved in the production chain of forest biomass. It was found that forest biomass occupies the sixth position in the energy matrix of the industrial sector and has more space to be conquered. The demanded areas for replacing 100, 75 and 50% of fossil fuels analyzed were respectively 2.9, 2.2 and 1.5 million hectares. The cost of steam ton using the wood chips was at least 34% lower than with other fuels. The main strengths of forest biomass are competitive cost, high productivity, renewable fuel, job creation and regional amplitude, while the weaknesses are marketed by volume, logistics, low concentration of energy, quality control and organizational representation. Despite having lower cost, forest biomass is facing political difficulties, bureaucratic and lack of encouragement by the government. It is necessary more investment in research and interaction among stakeholders in the production chain for developing market of biomass to energy.

1. INTRODUÇÃO

A utilização da madeira como fonte de energia data-se dos primórdios da humanidade e, até os dias atuais, tem sido um importante combustível para diversos países, muito embora o descobrimento do petróleo tenha tornado este, por ser mais eficiente, como a principal base energética da maioria dos países desenvolvidos. Segundo Brito (2007), a condução da matriz energética baseada nos combustíveis fósseis, não renováveis e negativos do ponto de vista ambiental, tem levado muitos países a avaliar a necessidade de aproveitamento de fontes energéticas alternativas e renováveis, entre elas a biomassa florestal.

No Brasil a biomassa florestal sempre teve papel importante na matriz energética, tendo como principal uso o carvão vegetal e a lenha. De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN), a madeira foi responsável por 9,5% da produção de energia primária em 2013. Esta permanência na matriz energética ao longo do tempo indica sua competitividade frente aos combustíveis fósseis.

A utilização da biomassa florestal como fonte de energia contribui positivamente para a política energética brasileira, haja vista que é uma fonte limpa e renovável, permitindo assim a diminuição do consumo de combustíveis fósseis, nocivos ao meio ambiente.

Com a geração de energia a partir da biomassa a geração de empregos pode ser de 10 a 20 vezes maior em comparação com a geração de energia a partir de combustíveis fósseis (BRASIL, 2006). Além disso, tende a contribuir para diversificação da renda dos produtores florestais e criar melhores condições para sua manutenção no campo.

Há no Brasil grande disponibilidade de terras ociosas ou com pastagens subutilizadas, que tem a silvicultura como boa opção para aproveitamento e geração de renda. Nas regiões montanhosas, onde a dependência de mão de obra é maior, a silvicultura é uma das poucas atividades potencialmente viáveis. Sendo assim, o preenchimento destas áreas com florestas plantadas destinadas à produção de energia, pode ser um importante instrumento de desenvolvimento econômico para reduzir a decadência vivida por boa parte do meio rural brasileiro. Além do

mais, o conhecimento adquirido em manejo de florestas plantadas atrelado às condições edafoclimáticas favoráveis, faz com que o Brasil seja o país com maior média de produtividade florestal do mundo.

De modo geral o uso da biomassa florestal para geração de energia é taxado como uma prática ultrapassada e primitiva. No entanto, é preciso distinguir o que era praticado no passado com o novo cenário de utilização da biomassa como fonte energética. Antes a biomassa utilizada era proveniente de florestas nativas e a tecnologia de conversão energética menos eficiente. Por outro lado, as florestas plantadas de alta produção aliado a tecnologias modernas de conversão permitem afirmar que o consumo de biomassa florestal para produção de energia deve ser considerado um avanço, uma vez que, cresce a necessidade de buscar fontes de energia renováveis que impactem menos o meio ambiente.

Uma boa opção para crescimento da demanda por madeira é o aumento de seu uso como combustível termoenergético para uso industrial. No entanto, pouco se conhece deste mercado. Inclusive, é provável que muitas empresas adotam processos que produzem energia mais cara, usando combustíveis não renováveis, por desconhecimento e, ou, comodidade.

Essa pesquisa foi idealizada e realizada após diversas constatações de desconhecimento sobre a viabilidade da biomassa florestal para produção de energia térmica, haja vista a expectativa de grande potencial desta biomassa em contrapartida ao excesso de burocracia no que se refere à gestão e política ambiental brasileira e à falta de incentivos governamentais para o uso da mesma.

Dessa forma, faz-se conhecer e analisar o potencial da madeira como matéria-prima para produção de energia térmica, suas potencialidades e entraves, de forma a contribuir para expansão deste mercado.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

O objetivo geral deste trabalho foi obter o potencial da madeira de eucalipto, como fonte de energia térmica para uso industrial no Brasil sob aspectos técnicos, econômicos e ambientais.

2.2. Específicos

Os objetivos específicos são:

- Estimar a demanda de biomassa florestal para geração de energia térmica pelo setor industrial, através da substituição de combustíveis fósseis;
- Comparar o custo final com combustível, de diferentes fontes, na geração de vapor para uso no setor industrial;
- Analisar a utilização da biomassa florestal na produção de energia térmica industrial através da Matriz SWOT.
- Estabelecer recomendações de ações aos principais setores envolvidos no mercado da biomassa florestal para geração de energia térmica.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Oferta e demanda de energia no Brasil

A qualidade de vida, o nível de desenvolvimento econômico e o crescimento populacional, influenciam diretamente o consumo de energia de uma sociedade (ANEEL, 2008). Dessa forma, quanto mais desenvolvido o país, maior tende ser sua demanda energética.

No Brasil, o consumo se mantém crescente ao longo dos anos, conforme série histórica apresentada pelo Balanço Energético Nacional, 2014 (Figura 1). Segundo a Empresa de Pesquisa Energética, de 1970 a 2013 a taxa média de crescimento anual do consumo de energia foi de aproximadamente 7,4%. Em alguns anos essa taxa foi superior, devido ao maior crescimento econômico do país e em outros foi negativa, a exemplo do ano de 2009, quando houve uma crise econômica mundial.

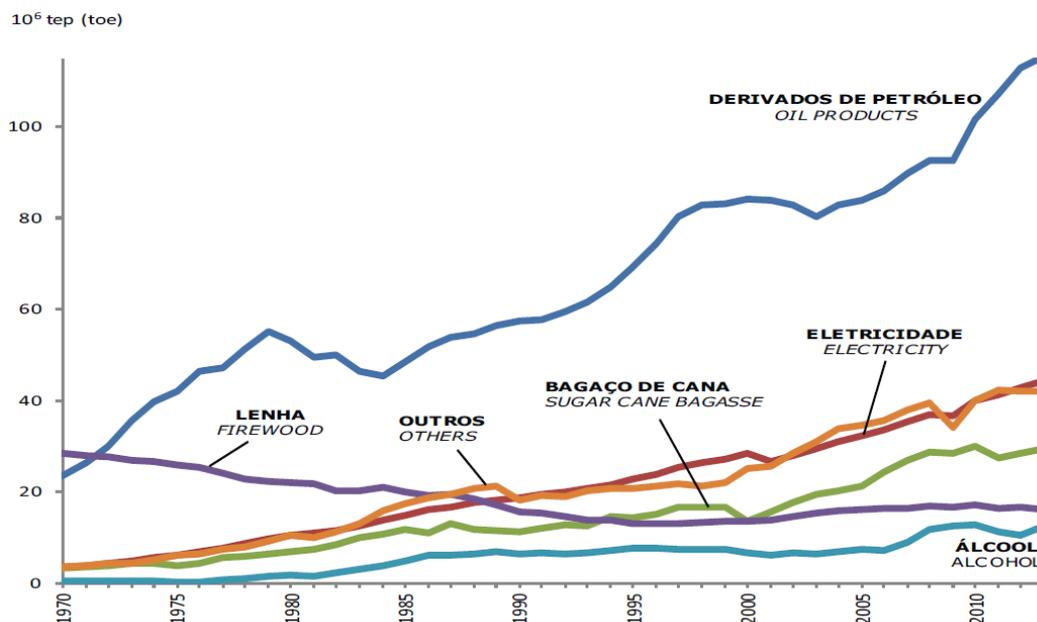


Figura 1 – Consumo final de energia por fonte no Brasil.

Fonte: EPE, 2014

Da mesma forma que o consumo, a oferta interna de energia manteve a tendência de crescimento no período de 1970 a 2013 (Figura 2). O crescimento médio no período foi de aproximadamente 8% sendo,

portanto, suficiente para atender a demanda de forma satisfatória. Algumas fontes ficaram estáveis, a exemplo da lenha e carvão vegetal, enquanto outras como os derivados da cana cresceram mais de 1000% nos 43 anos da série histórica avaliada.

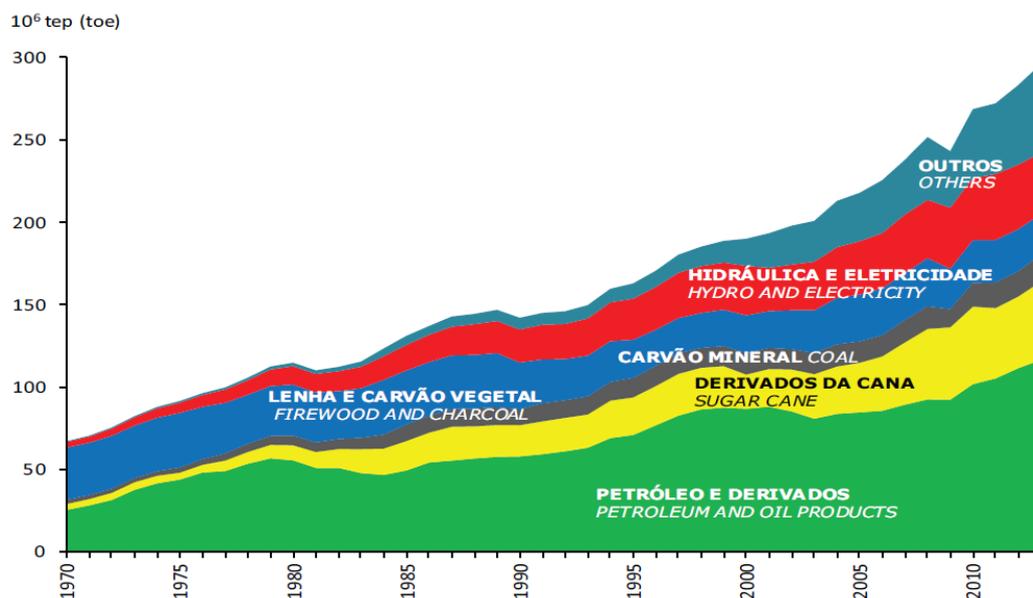


Figura 2 – Oferta interna de energia no Brasil.

Fonte: EPE, 2014

O consumo de energia deverá continuar crescente, conforme ocorrido nas últimas décadas. Segundo os dados do Plano Decenal de Expansão de Energia a projeção da demanda para o ano de 2022 deverá ser de 368 milhões de toneladas equivalente de petróleo (tep). No ano de 2013 a demanda foi de 250 milhões de tep. O crescimento médio da demanda deverá ser de aproximadamente 5% ao ano.

Desmembrando a matriz energética, identifica-se o consumo por setores da economia (Figura 3).

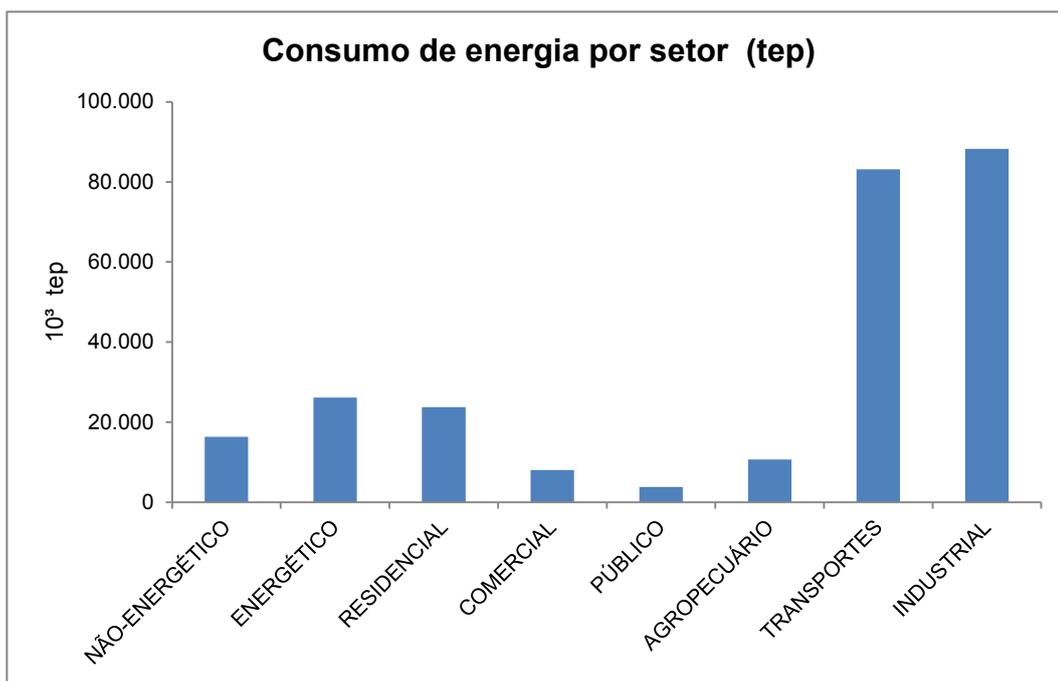


Figura 3 – Consumo de energia por setor no ano de 2013 no Brasil.
 Fonte: EPE, 2014

Os setores de transportes e industrial foram responsáveis pelo consumo de 69%, demonstrando a dependência destes setores pela energia e a vulnerabilidade dos mesmos no caso de escassez na oferta (EPE, 2014). A diversificação da matriz energética com ampliação das fontes geradoras, principalmente a bioenergia é necessária para garantia de abastecimento destes importantes setores da economia (PSR, 2006).

3.2. Evolução do consumo de energia pelo setor industrial brasileiro

Quando se trata especificamente do setor industrial brasileiro, o consumo de energia teve expressivos aumentos ao longo das últimas décadas. A evolução do consumo de energia pelo setor industrial desde 1970, ano em que o Balanço Energético Nacional começou a ser elaborado, até o ano de 2013, está apresentado na Figura 4.

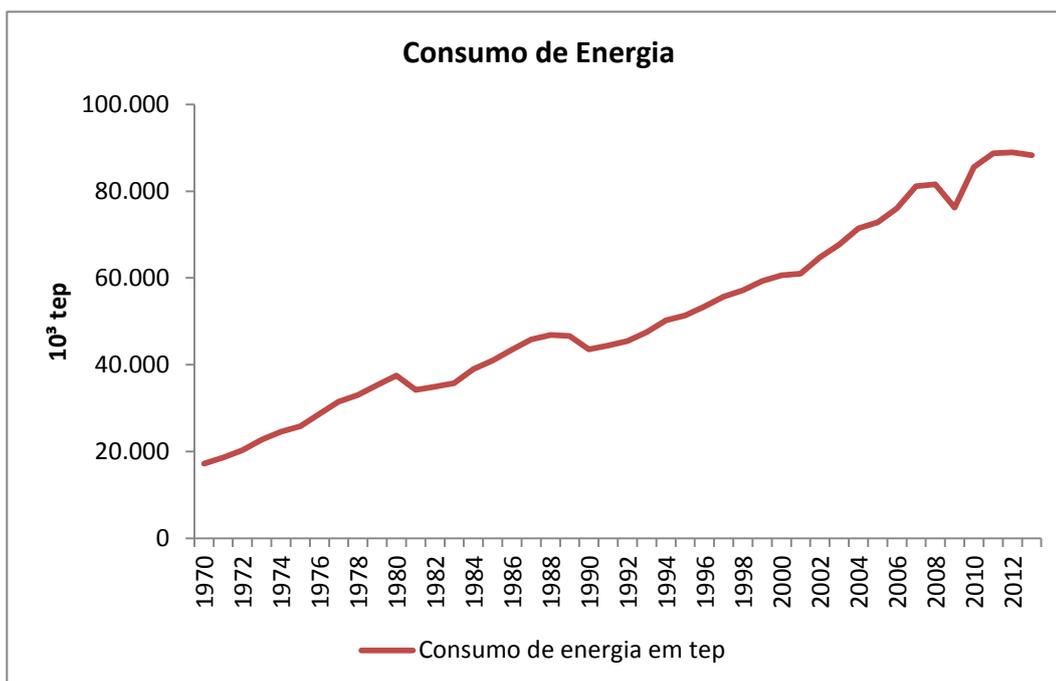


Figura 4 – Consumo de energia pelo setor industrial de 1970 a 2013
 Fonte: EPE, 2014

O crescimento do consumo de energia pelo setor industrial foi da ordem de 413% nos últimos quarenta e três anos, sendo o setor que mais consumiu energia dentre todos, exceto nos anos de 1970 a 1972, época em que a industrialização do país era baixa, que o consumo residencial foi maior que o industrial (EPE, 2014).

A eficiência energética do setor industrial tem sido alvo de algumas pesquisas. Dentre elas, podemos citar Alves et. al. (2007) que fizeram um levantamento da demanda de energia térmica e elétrica pela indústria de revestimentos cerâmicos, com o objetivo de apontar as etapas do processo produtivo que são possíveis de reduzir o consumo de energia. Goldemberg (2000), ainda na década passada, descreveu os principais ganhos que deveriam ser alcançados para eficiência energética em diversos setores, dentre eles o industrial.

Considerando apenas a participação da madeira na matriz energética do setor industrial (Figura 5) observa-se que apesar das oscilações, houve crescimento da participação deste combustível na matriz energética do setor.

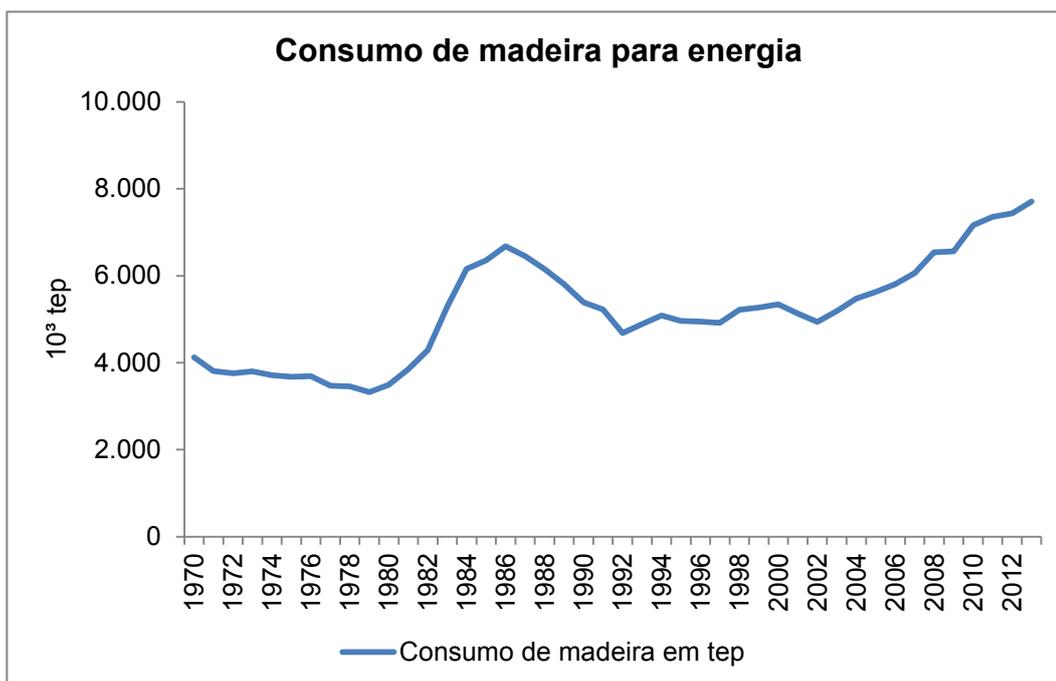


Figura 5 – Consumo de madeira para energia pelo setor industrial brasileiro
 Fonte: EPE, 2014

Apesar da forte concorrência com os combustíveis derivados do petróleo e o maior incentivo por parte dos governos para utilização destes combustíveis não renováveis, a biomassa florestal ainda é, e continuará sendo um importante recurso energético nacional (BRITO E CINTRA, 2004). Ainda de acordo com estes autores e Brasil (2004), existe um mercado cativo para utilização energética da madeira no Brasil.

3.3. Fontes de biomassa florestal utilizadas na produção de energia

Biomassa pode ser definida como o conjunto de materiais orgânicos do reino vegetal ou animal (Soares et al., 2006; Coelho, 1982). Possui diversas fontes possíveis, desde a agricultura, florestas, indústrias e até resíduos urbanos e animais (BRAND, et al., 2009).

De acordo com Soares et al. (2006) a biomassa florestal pode ser utilizada como fonte de energia em diferentes formas como queima direta, carvão vegetal, aproveitamento de resíduos da exploração, óleos essenciais, ácido pirolenhoso, alcatrão, dentre outros.

A lenha foi o insumo energético básico de maior utilização no mundo e teve fundamental importância na Revolução industrial para produção de vapor. Mesmo sendo substituída por combustíveis não renováveis, principalmente nos países desenvolvidos, ainda é uma fonte de energia muito importante para alguns países e setores da economia (SOARES, et al., 2006). No Brasil a lenha ocupa a quarta colocação na produção de energia primária. Se considerado apenas o setor industrial brasileiro, ocupa a sexta colocação, com tendência de crescimento. Em alguns setores como o de alimentos e bebidas, chega a ocupar a terceira colocação na matriz energética (EPE, 2014).

Além da lenha em sua forma comercial os resíduos de madeira têm sido muito utilizados nos últimos anos na geração de energia. Dessa forma, os resíduos deixam de ser um problema ambiental e passa a ser uma fonte de energia renovável e de baixo custo (NASCIMENTO, 2007). Dal Farra e Esperancini, (2005) confirmam a viabilidade da geração de energia térmica utilizando resíduos de madeira em estudo realizado numa indústria do setor florestal.

Outra forma de utilização da biomassa florestal é na forma de cavaco, que consiste na picagem da lenha ou resíduos em pequenos fragmentos de tamanhos mais ou menos homogêneos. Segundo Nascimento, (2007) com a utilização do cavaco é possível reduzir o custo da energia térmica em comparação com o uso da lenha, pois, o cavaco permite maior mecanização do processo e menor custo com mão de obra, o que impacta diretamente no custo final da energia.

Segundo a Indústria Brasileira de Árvores, (2014) o consumo de madeira para uso industrial no ano de 2013 foi da ordem de 185 milhões de metros cúbicos, conforme detalhado na Tabela 1.

Tabela 1 - Consumo de madeira pelo setor industrial brasileiro no ano de 2013

Segmento	Consumo (m³)
Celulose e papel	65.193.700
Lenha industrial	50.024.128
Carvão	23.533.724
Serrados e outros produtos sólidos	22.523.049
Painéis de madeira	20.264.031

Segmento	Consumo (m³)
Cavacos de madeira e outros	1.910.821
Madeira tratada	1.824.012
Total	185.273.466

Fonte: Adaptado de IBÁ, 2014

O setor de celulose e papel é de longe o que mais consome madeira. Isto faz do Brasil um dos maiores produtores de celulose do mundo. Em segundo lugar temos o consumo de lenha industrial, que representa principalmente o consumo de lenha para energia. Apenas em sexto lugar situa-se o consumo de cavaco de madeira, também utilizado principalmente para produção de energia. Portanto, há um grande espaço a ser conquistado pelo cavaco, através da substituição da lenha, já que este apresenta melhor desempenho na geração de energia.

3.4. Propriedades da biomassa florestal para energia

A utilização da biomassa florestal na produção de energia depende de diversos fatores, sendo os principais as propriedades físicas e químicas da biomassa utilizada. Segundo Cortez e Lora (2006), as características químicas e térmicas de um combustível devem ser reconhecidas para determinação da potencialidade do combustível na geração de energia. Ainda segundo estes autores, as características fundamentais dos combustíveis são a composição elementar, composição imediata e poder calorífico.

A queima direta da madeira para produção de energia é denominada de combustão, processo complexo que envolve reações químicas e transferência simultânea de calor e massa. Por isso, é importante o conhecimento dos índices de qualidade da madeira e da interação entre eles, para sua utilização mais racional e econômica (SANTOS, et al., 2013).

Ainda de acordo com Santos et al. (2013), quanto maior for o poder calorífico da madeira, melhor para sua utilização na queima direta. Afirma também que variações na composição química elementar podem ocasionar variações no poder calorífico e que, outros índices de qualidade

que afetam na utilização da madeira para produção de energia é o teor de umidade e a densidade básica.

A madeira é composta predominantemente por fibras de celulose e hemiceluloses, unidas pela substância denominada lignina. (SALMÉN e OLSON, 1998). Cada um destes componentes possui uma composição química que lhes confere propriedades energéticas diferentes (BRAND, 2012).

A celulose é o principal componente da parede celular da madeira (FENGEL, et al., 1989). As hemiceluloses juntamente com a celulose formam a fração da madeira denominada holocelulose. (TRUGILHO et al., 1996). A lignina é uma macromolécula tridimensional, amorfa e ramificada (ROWELL et al., 2005).

Depois da celulose, a lignina é a substância orgânica polimérica mais abundante nas plantas. É um constituinte considerado indesejável para a produção de polpa celulósica branqueada, no entanto bem vindo para a produção de carvão vegetal e energia principalmente.

Comparando as substâncias que formam a parede celular das plantas é importante ressaltar que a lignina é rica em carbono e hidrogênio, que são elementos que produzem calor e, portanto possuem maior poder calorífico que os carboidratos como a celulose e hemiceluloses (BRAND, 2010).

A umidade é, também, uma variável muito importante para o aproveitamento energético da biomassa, pois a presença de água na madeira ocasiona a redução do poder calorífico, uma vez que, parte do calor gerado é consumido na evaporação da água (SANTOS et al., 2013).

Sua determinação é de grande importância por apresentar grande variação quando se relaciona às diferentes espécies, clima e armazenamento, dificultando o controle do processo de combustão (BRITO & BARRICHELO, 1979).

O poder calorífico de um combustível pode ser definido como a quantidade de energia térmica liberada durante a combustão completa de uma unidade de massa ou volume deste combustível. É expresso nas unidades kcal/kg ou kcal/m³.

Poder calorífico superior (PCS) é a quantidade de energia disponível quando se considera o calor latente de condensação da umidade presente nos produtos da combustão. O poder calorífico inferior (PCI) é o contrário do PCS. Pode-se dizer que o PCI se refere ao calor possível de ser usado nos combustíveis, enquanto o PCS é em torno de 10 a 20% maior.

Para queima direta é melhor utilizar madeiras com maior poder calorífico, pois essa propriedade está relacionada com o rendimento energético, que por sua vez está relacionado com a sua constituição química, onde os teores de celulose, hemiceluloses, lignina, extrativos e substâncias minerais variam de uma espécie para outra (QUIRINO et al., 2005).

O poder calorífico é uma das principais variáveis usadas para a seleção de espécies com melhores características para fins energéticos, uma vez que está relacionada com a quantidade de energia liberada pela madeira durante a sua queima. A quantidade de calor desprendida da madeira é muito importante para conhecer a capacidade energética de uma determinada espécie (SANTOS, 2010).

A densidade básica da madeira é o resultado de uma complexa combinação dos seus constituintes anatômicos e químicos. Esta propriedade fornece várias informações sobre outras características da madeira devido a sua relação com várias outras propriedades, tornando-se um parâmetro muito utilizado para qualificar a matéria-prima nos diversos segmentos da atividade industrial madeireira (SILVA *et al.*, 2004).

Segundo Queiroz (2002), a densidade básica é uma propriedade física que retrata a qualidade da madeira, mas, por ser influenciada por diversos fatores inerentes a cada gênero e espécies, não é aconselhável sua utilização isolada como parâmetro de qualidade.

A densidade básica tem muita importância quando a biomassa é utilizada para a geração de energia, pois é essencial para o dimensionamento das unidades de geração de energia, do rendimento e eficiência da biomassa nos sistemas de geração (BRAND, 2010). Tem influência nos custos de produção de madeira e de seus derivados. Isto é

facilmente entendido em razão do manuseio de menor volume de toras e cavacos, respectivamente, para uma mesma quantidade de massa.

4. METODOLOGIA

4.1. Pesquisa bibliográfica

Com o objetivo de compreender melhor o processo de produção de energia térmica utilizando a biomassa florestal, foi realizada uma ampla pesquisa bibliográfica em artigos científicos, teses, dissertações e demais literaturas sobre o tema. Levantaram-se também as principais características da biomassa florestal que influenciam na produção da energia térmica.

4.2. Estimativa da demanda de biomassa florestal para produção de energia térmica, devido substituição de combustíveis fósseis.

A partir da matriz energética do setor industrial, obtida no Balanço Energético Nacional (Figura 6), extraíram-se os combustíveis a serem substituídos pela biomassa florestal, sendo, gás natural, gás liquefeito de petróleo (GLP), óleo combustível e óleo diesel, pois são os mais utilizados na produção de energia térmica. A ratificação da escolha destes combustíveis se deu através de consulta a especialistas e consulta bibliográfica.

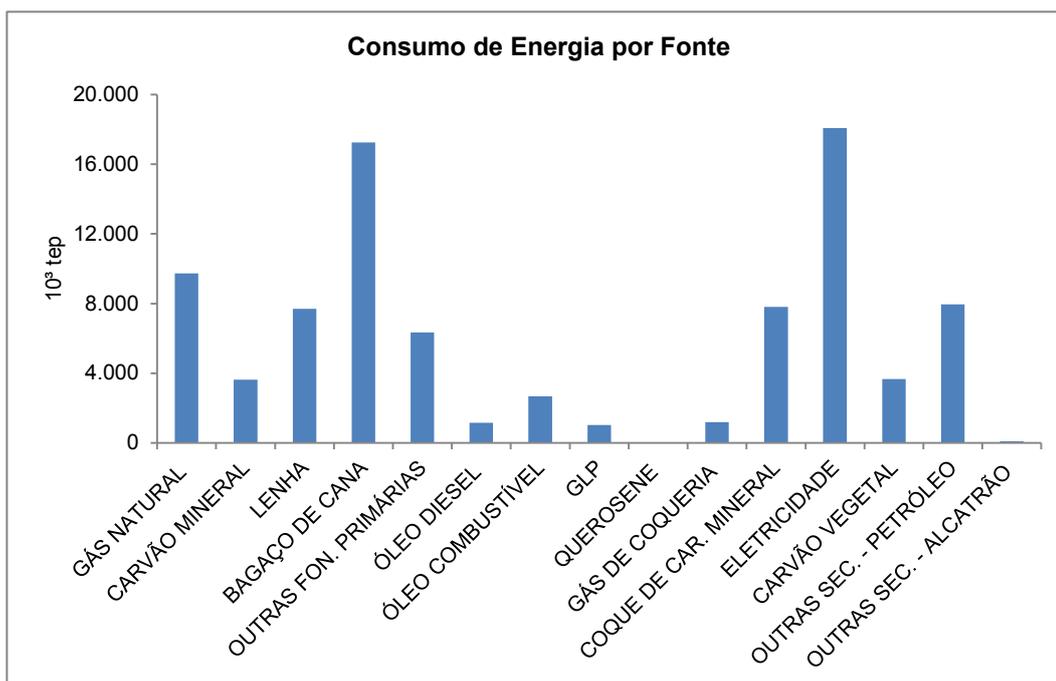


Figura 6 – Matriz energética do setor industrial brasileiro no ano de 2013
Fonte: EPE, 2014

Após identificação dos combustíveis possíveis de serem substituídos pela biomassa florestal, estabeleceram-se cenários de substituição destes combustíveis por biomassa florestal em 100, 75 e 50%.

O ideal seria um mapeamento completo de todos os segmentos do setor industrial que consomem energia térmica em termos quantitativos e qualitativos, mas devido a ampla distribuição das indústrias por todo o país e a falta de estatísticas, e, principalmente a dificuldade de acesso a estas informações isto não foi possível.

4.2.1. Estimativa da demanda de área florestal

A partir dos valores demandados de energia térmica obtidos das simulações de substituição dos combustíveis fósseis pela biomassa florestal, calculou-se a área de floresta necessária para suprimento da demanda de madeira.

Os dados do BEN são apresentados na unidade de tonelada equivalente de petróleo (tep). Com isso, utilizou-se o fator de conversão para madeira apresentado pelo mesmo BEN, em que uma tonelada de madeira corresponde a 0,31 tep, com eficiência de 80%, correspondente

ao rendimento da produção de energia térmica. Para conversão da massa de madeira para metro cúbico, utilizou-se uma densidade da madeira de 0,5 t./m³. Por fim, para estimar a área equivalente de floresta demandada para produção de energia considerou-se uma produtividade florestal média de 40m³/ha.ano. As equações para equivalência de tep em massa de madeira e área florestal são apresentadas abaixo.

$$t. mad. = \frac{D_c}{0,31} * 1,25 \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

t. mad. = Demanda de madeira em toneladas;

D_c = Demanda de energia em tonelada equivalente de petróleo.

$$D_m = \frac{D_t}{0,5} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

D_m = Demanda de madeira em m³;

D_t = Demanda de madeira em toneladas.

$$AF = \frac{D_m}{40} \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que:

AF = Área demandada de floresta em hectares

D_m = Demanda de madeira em m³

4.2.2. Geração de empregos

A partir da área florestal estimada para abastecimento do setor industrial em substituição aos combustíveis fósseis pela biomassa florestal, estimou-se o impacto social através da geração de empregos que o aumento da área florestal poderá proporcionar.

A estimativa foi realizada através do número de empregos mantidos pelo setor florestal. Segundo o IBÁ, 2014, através de seu anuário

estatístico, o setor florestal brasileiro com seus atuais 7,6 milhões de hectares mantém 4,4 milhões de postos de trabalho. De forma proporcional, estimou-se o número de empregos que devem ser gerados a partir das áreas florestais, estimadas pelas simulações de 100, 75 e 50% de substituição dos combustíveis fósseis pela biomassa florestal.

4.3. Custo com combustível para geração da energia térmica

Para demonstrar a competitividade da biomassa florestal frente aos combustíveis fósseis utilizados na produção de energia térmica pela indústria, estimou-se o custo de cada combustível para produção de uma tonelada de vapor.

A partir da demanda de vapor e das características do sistema de conversão térmica utilizado, calculou-se o custo com a matéria prima para se produzir a quantidade de vapor necessária.

Para compor a demanda por vapor e exemplificar os cálculos, utilizou-se dados de produção da indústria de laticínios com os respectivos coeficientes de consumo de vapor para cada produto, encontrados por Silva (2011), (Tabela 2). As quantidades produzidas foram extraídas da pesquisa sobre a produção industrial brasileira, realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), ano base 2011.

Tabela 2 - Produção total brasileira e coeficiente de consumo energético de alguns produtos da indústria de laticínios.

Descrição dos produtos	Quantidade produzida (Total anual)	Unidade	Coeficiente de consumo energético (t. vapor/unidade)
Leite pasteurizado, inclusive desnatado	1.278.497	1 000 l	0,05
Bebidas lácteas	852.113	1 000 l	0,06
Requeijão (cremoso, <i>light</i> , duro ou do norte)	177.161	t.	0,72
Queijo Minas frescal	83.929	t.	0,31
Queijo muçarela	385.462	t.	0,71

A quantidade de combustível necessário para geração da energia térmica foi estimada de acordo com Nascimento e Bagioni (2010).

$$Q_c = \frac{Q_v(h_v-h_a)}{\eta(\text{PCU})} \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que:

Q_c = quantidade de combustível (kg)

Q_v = quantidade de vapor (kg)

h_v = entalpia do vapor em função da pressão e temperatura (kcal/kg)

h_a = entalpia da água em função da temperatura (kcal/kg)

η = rendimento (%)

PCU = Poder Calorífico Útil (kcal/kg)

O valor da entalpia do vapor utilizada nos cálculos foi de 663,9 kcal/kg e a entalpia da água de 185,6 kcal/kg. Estes valores podem variar conforme a pressão e temperatura de trabalho da caldeira.

Os rendimentos apresentados pela caldeira na conversão de energia térmica para cada um dos combustíveis, são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Rendimento do processo de produção de energia para os diferentes combustíveis.

Combustível	Rendimento (%)
Óleo combustível	80
Óleo diesel	90
Gás natural	90
Gás liquefeito de petróleo (GLP)	90
Lenha	60
Cavaco	80

Fonte: ZETEC; NASCIMENTO E BAGIONI (2010)

O poder calorífico útil (PCU) dos diferentes combustíveis utilizados, estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Poder calorífico útil dos diferentes combustíveis.

Fontes de combustíveis	PCU (Kcal/kg)
Óleo combustível	9.550
Óleo diesel	10.100

Fontes de combustíveis	PCU (Kcal/kg)
Gás natural	9.000
GLP	11.200
Lenha*	2.711
Cavaco*	2.711

Fonte: EPE, 2014 e ARAUTERM

* Valores calculados com base na madeira com umidade de 35% (base úmida).

Devido à influência da umidade no poder calorífico da biomassa florestal, utilizou-se a seguinte expressão para cálculo do PCU (Vale, et al., 2011).

$$PCU = [PCI * (1 - U)] - 600 * U$$

Em que:

PCU = Poder Calorífico Útil;

PCI = Poder Calorífico Inferior a 0 de umidade (PCI = PCS - 324);

U = Teor de Umidade em base úmida (%)

Utilizaram-se as densidades, apresentadas na Tabela 5, para transformar os valores calculados para as unidades comerciais de cada combustível.

Tabela 5 - Densidade dos combustíveis estudados

Fontes de combustíveis	Densidade (Kg/m³)
Lenha	500
Cavaco	333
Óleo combustível	980
Óleo diesel	840*
Gás natural	0,74*
Gás GLP	552*

Fonte: *EPE, 2014

Os preços foram levantados nos respectivos sites para cada combustível: Óleo Diesel e GLP - Agência Nacional do Petróleo (<<http://www.anp.gov.br/preco>>), com dados da pesquisa mensal de preços realizada pela instituição; Óleo combustível - Index mundi

(<<http://www.indexmundi.com/>>); Gás natural – Instituto brasileiro de petróleo, gás e biocombustíveis (<http://www.ibp.org.br/>); lenha e cavaco – Centro de Inteligência em Florestas – (<<http://www.ciflorestas.com.br/cotacoes.php>>). Os preços considerados são do fornecedor e o mês de referência outubro de 2014. Importante ressaltar que a análise realizada é momentânea e antes de qualquer tomada de decisão, os valores devem ser atualizados com os preços atuais. A tabela apresenta os preços dos combustíveis utilizados no estudo.

Tabela 6 - Preço dos combustíveis utilizados no estudo

Fontes de combustíveis	Preço
Lenha	R\$75,00/m ³
Cavaco	R\$ 45,00/m ³
Óleo combustível	R\$ 1,57/litro
Óleo diesel	R\$ 2,25/litro
Gás natural	R\$ 0,50/m ³
Gás GLP	R\$ 2.615,00/t.

Fonte: ANP, IBP, INDEX MUNDI, CIFLORESTAS

4.4. Análise da utilização da biomassa florestal na produção de energia térmica industrial através da Matriz SWOT

A metodologia de análise SWOT é um método simples que integra as metodologias de planejamento estratégico organizacional, utilizada para checar a posição estratégica de uma organização, ou neste caso específico, da biomassa florestal na produção de energia térmica (Souza, 2013; D’ambros, 2011).

Foi construída uma matriz para avaliar as principais forças, fraquezas, oportunidades e ameaças que dizem respeito à utilização da biomassa florestal na produção de energia térmica industrial. Com isso, procurou-se discutir principais fatores que afetam a utilização da biomassa florestal no mercado de energia térmica e dos concorrentes, provenientes de combustíveis fósseis não renováveis, na busca da

maximização dos pontos fortes, redução das fraquezas, aproveitamento das oportunidades e minimização das ameaças.

A análise dos resultados da Matriz SWOT permitiu estabelecer diversas constatações sobre a utilização da biomassa florestal na produção de energia térmica industrial e as implicações de cada item analisado.

4.5. Diretrizes para fortalecimento do setor de energia térmica baseado na biomassa florestal

Baseado nos resultados obtidos, em visitas realizadas a empresas consumidoras de energia térmica e resultados do potencial termo-energético da biomassa florestal, elaboraram-se algumas recomendações do ponto de vista político, econômico e organizacional para fortalecimento do mercado de biomassa florestal para a geração de energia térmica industrial. Dessa forma, as diretrizes aqui pautadas, poderão subsidiar e direcionar iniciativas por parte dos envolvidos, com objetivo de impulsionar o crescimento da utilização da biomassa florestal na geração de energia térmica.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Análise da matriz energética do setor industrial e substituição dos combustíveis não renováveis pela biomassa florestal

Analisando as fontes energéticas utilizadas pelo setor industrial, observa-se que a biomassa florestal ocupa a sexta posição em termos quantitativos (Figura 6). A fonte energética mais demandada pelo setor industrial é a eletricidade com consumo de 18.067 mil tep. Em seguida vem o bagaço de cana com 17.238 mil tep e em terceiro o gás natural com 9.737 tep. Dessas três fontes, a eletricidade não pode ser substituída pela biomassa florestal, a menos que seja por meio de usinas termelétricas à biomassa. A substituição total ou parcial do bagaço de cana também não é possível, pois o preço de aquisição do mesmo é substancialmente menor que da biomassa florestal. No entanto, esta fonte, apesar de abundante, fica restrita às regiões produtoras da cana de açúcar, não sendo, portanto, concorrente da biomassa florestal. A biomassa florestal pode ser utilizada pelas termelétricas a bagaço de cana, de forma complementar nas épocas de entre safra da cana.

O gás natural pode ser substituído pela biomassa florestal, desde que ele esteja sendo utilizado na geração de energia térmica e não tenha critérios técnicos ou logísticos que inviabilizem a substituição. Entende-se por critérios técnicos, por exemplo, a impossibilidade de substituição dos equipamentos necessários para mudança da matriz energética e a velocidade de queima, maior no caso do gás natural, pois em alguns processos industriais isso pode ser necessário. Já critério logístico pode ser a falta de espaço físico para manutenção de um estoque da biomassa florestal. No caso do gás natural a logística é simplificada, pois é necessário apenas tubulações para canalizar o mesmo até a fonte consumidora.

Avaliando a matriz energética do setor industrial, percebe-se que ela passou por algumas transformações nos últimos dez anos, principalmente em relação à participação das diversas fontes de combustíveis utilizadas.

A busca pela diversificação é um dos motivos, pois assim o setor não fica dependente de um número restrito de combustíveis. Além disso, tem-se a necessidade de redução do custo da energia para o setor industrial. A tarifa de energia para o setor tem se elevado acima da média da inflação, o que tem feito o setor perder competitividade (FIRJAN, 2014).

Outro fator importante é a busca por combustíveis ambientalmente corretos, do ponto de vista de emissões atmosféricas. Segundo Tolmasquim et al. (2005), a tendência é de aumento na diversificação da matriz energética brasileira e crescimento da participação de fontes renováveis no longo prazo, pois essa diversificação levará à redução de emissões, conforme demonstrado na Figura 7.

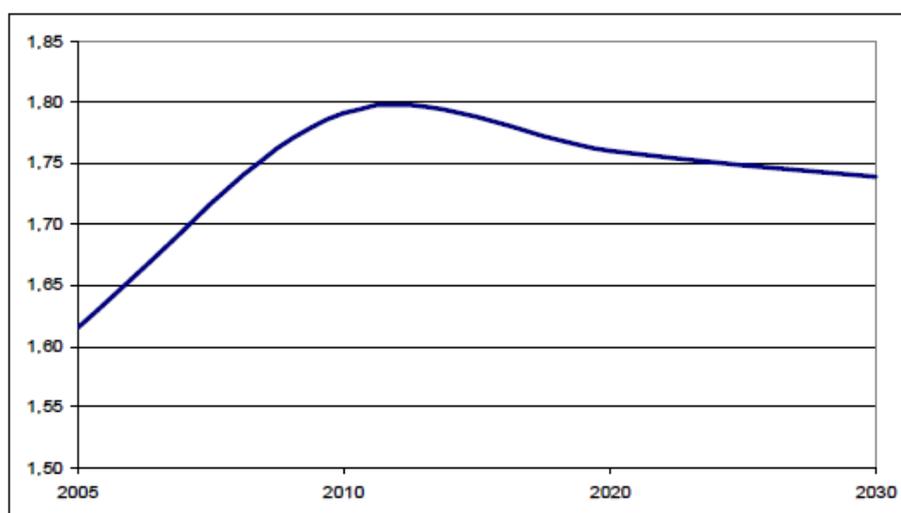


Figura 7 – Evolução das emissões específicas de CO2 (em tCO2/tep, com base na Oferta Interna de Energia)

Fonte: EPE

Para o setor industrial, há uma tendência de crescimento da utilização do gás natural, o que pode representar aumento das emissões. Nesse cenário, ainda de acordo com Tolmasquim et al. (2005) os setores de transporte e indústria serão os maiores contribuintes para aumento das emissões no longo prazo.

Este cenário poderá ser pelo menos em parte revertido, com a maior utilização da biomassa na produção de energia térmica pelo setor industrial, em detrimento dos combustíveis fósseis. Especificamente em relação ao gás natural, onde grande parte é importada, reduzirá a dependência externa e contribuirá para a balança comercial.

Tabela 7 - Matriz Energética do setor industrial brasileiro em 10³ tonelada equivalente de petróleo (tep)

FONTES	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Gás Natural	5.859	6.663	7.224	7.563	8.092	8.453	7.254	9.274	10.012	9.849	9.737
Carvão Mineral	2.616	2.839	2.828	2.769	2.962	3.082	2.403	3.233	3.715	3.589	3.630
Lenha	5.186	5.478	5.633	5.807	6.065	6.538	6.563	7.164	7.358	7.439	7.706
Bagaço de Cana	11.981	12.812	13.083	15.259	16.152	15.390	16.187	17.289	16.901	17.884	17.238
Outras Fontes Primárias	3.880	4.018	4.249	4.636	4.969	5.280	5.568	6.043	6.098	6.001	6.349
Óleo Diesel	644	706	666	667	725	750	707	725	1.001	1.057	1.154
Óleo Combustível	5.069	4.426	4.412	4.039	4.247	3.981	3.727	3.236	2.885	2.633	2.677
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	565	544	608	695	740	784	782	702	837	924	1.027
Querosene	13	11	8	5	4	3	3	3	3	3	2
Gás de Coqueria	972	1.037	1.016	980	1.039	1.065	1.011	1.250	1.288	1.237	1.200
Coque de Carvão Mineral	6.688	6.817	6.420	6.137	6.716	6.704	5.309	7.516	8.209	7.999	7.807
Eletricidade	13.822	14.797	15.082	15.774	16.565	16.961	16.060	17.488	18.008	18.027	18.067
Carvão Vegetal	4.871	5.778	5.657	5.508	5.649	5.593	3.301	4.045	4.220	4.070	3.661
Outras Secundárias de Petróleo	5.485	5.487	5.883	6.144	7.152	6.949	7.270	7.505	8.078	8.155	7.950
Outras Secundárias - Alcatrão	38	50	37	48	56	39	44	95	103	99	89
TOTAL	67.688	71.462	72.806	76.030	81.133	81.570	76.189	85.567	88.716	88.966	88.295

Analisando a evolução da participação dos óleos diesel e combustível, observa-se uma redução significativa da utilização do óleo combustível (em torno de 47%) pelo setor industrial nos últimos dez anos. O inverso ocorre com o óleo diesel, que apresentou 79% de aumento da utilização para o mesmo período. As variações ocorridas com estes combustíveis no setor industrial, estão em consonância com a prospectiva realizada por Tolmasquim et al. (2005) para a matriz energética brasileira de forma geral. A maior utilização do óleo diesel pode ser benéfica para a substituição deste pela biomassa florestal, pois o custo do diesel é maior que do óleo combustível, o que aumenta a viabilidade de substituição pela biomassa.

A redução da utilização do óleo combustível pode ser considerada uma evolução do setor industrial, porém pode-se dizer também, que parte dessa redução está sendo compensada pelo aumento da utilização do óleo diesel, que da mesma forma possui altas taxas de emissões atmosféricas de CO₂. Parte significativa desta demanda, tanto do óleo combustível quanto do diesel, pode ser substituída pela biomassa florestal.

O Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), conhecido como gás de cozinha, também teve crescimento da participação na matriz energética do setor industrial. O seu uso pode ser substituído pela biomassa florestal, uma vez que o custo da energia térmica gerada com este insumo é maior que o da biomassa florestal. A comparação dos custos com matéria prima para produção de energia térmica com o GLP e demais fontes de combustíveis serão mostrados no Item 5.3.

A Figura 8 apresenta as perspectivas dos preços dos derivados do petróleo, onde se pode observar a expectativa de manutenção do preço do GLP nos próximos anos.

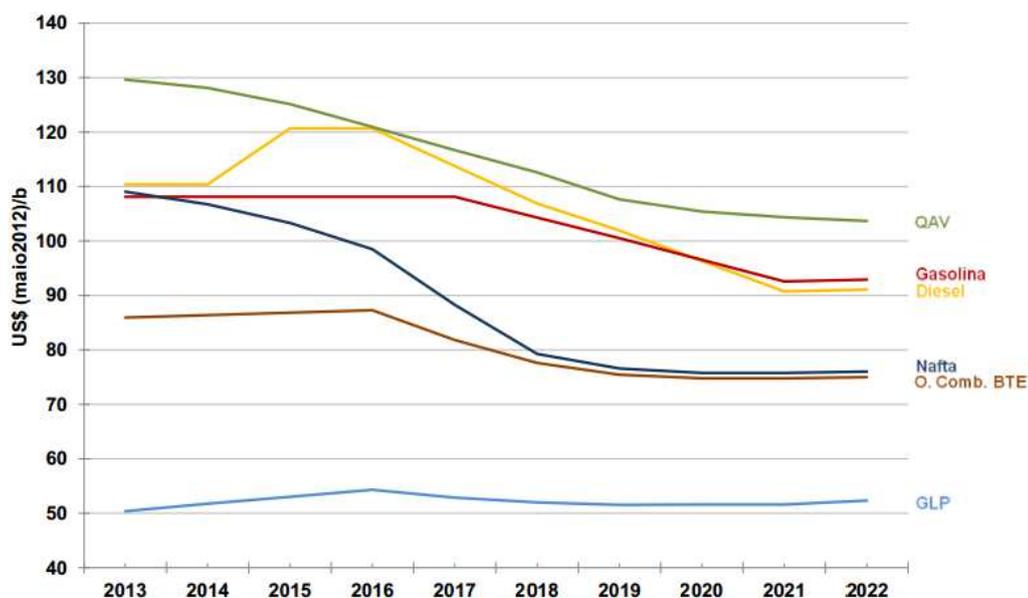


Figura 8 – Perspectivas dos preços nacionais de derivados do petróleo.

Fonte: EPE, 2013

Com o atual preço de mercado, o GLP já não é competitivo para produção de energia térmica. Analisando a perspectiva dos preços apresentada no Plano Decenal de Expansão de Energia 2022 (EPE, 2013), onde há uma tendência de manutenção do preço deste combustível, enquanto que outros apresentam queda, a competitividade do GLP para produção de energia térmica na indústria ficará ainda mais prejudicada. Isto pode contribuir de forma positiva para a substituição do GLP pela biomassa florestal em alguns setores da indústria.

5.2. Área demandada para produção de biomassa florestal para uso energético industrial

Na Tabela 8 é apresentado o consumo de combustíveis pelo setor industrial, no ano de 2012, possíveis de serem substituídos pela biomassa florestal para produção de energia térmica. Apresenta também a equivalência destes combustíveis em tonelada e metro cúbico de biomassa florestal.

Tabela 8 – Consumo de combustíveis pelo setor industrial e equivalência em biomassa florestal

Fontes	Consumo (10 ³ tep.)	Equivalência	
		t. madeira (10 ³)	m ³ madeira (10 ³)
Gás natural	9.849	39.712,4	79.424,8
Óleo diesel	1.038	4.183,6	8.367,2
Óleo combustível	2.587	10.430,0	20.859,9
Gás liquefeito de petróleo	1.005	4.050,6	8.101,2
Total	14.477	58.376,6	116.753,1

Fonte: EPE, 2014 elaboração própria

O quantitativo da biomassa florestal em relação à tonelada equivalente de petróleo aumenta consideravelmente, pois o poder calorífico da madeira é menor em relação ao petróleo e derivados. Isto tem algumas implicações como o manuseio de maiores quantidades de combustível, requerendo assim, uma logística mais complexa.

O petróleo é composto por uma diversidade de compostos, sendo a maioria hidrocarbonetos (INCKOT et al. 2008). O carbono e o hidrogênio são os elementos que mais contribuem para o poder calorífico dos combustíveis e isso explica o maior poder calorífico dos derivados do petróleo em relação à madeira (BIZZO, 2003).

Na Tabela 9 é apresentada a área florestal demandada para substituição parcial ou total dos combustíveis fósseis pela biomassa florestal.

Tabela 9 - Área de floresta em hectare, demandada para substituição dos percentuais de combustíveis fósseis listados pela biomassa florestal.

Combustíveis	Percentuais de substituição		
	50%	75%	100%
Gás liquefeito de petróleo	101.265	151.898	202.531
Óleo diesel	104.590	156.886	209.181
Óleo combustível	260.749	391.123	521.497
Gás natural	992.810	1.489.215	1.985.619
Total	1.459.414	2.189.121	2.918.828

Fonte: Elaboração própria

Segundo o IBÁ (2014) a área de floresta plantada no Brasil é da ordem de 7,6 milhões de hectares. Considerando uma substituição de

100% dos combustíveis mencionados, a área de floresta necessária para atender a demanda do setor industrial seria da ordem de 38% de toda a área de plantios florestais existentes no país atualmente.

Admitindo uma substituição de 75% a área necessária para abastecimento da demanda seria de aproximadamente 2,2 milhões de hectares, correspondendo a 29% de toda a área com florestas plantadas no Brasil atualmente. Ainda que dificuldades logísticas possam limitar a substituição dos derivados do petróleo por biomassa florestal, se for realizado algum esforço no sentido de estimular a alteração da matriz energética por meio de políticas públicas, acredita-se que no médio prazo seja possível atingir este percentual.

Ainda que, apenas 50% do consumo dos combustíveis da Tabela 9 for substituído por biomassa florestal, serão gerados novas oportunidades de negócios, benefícios econômicos, sociais e ambientais, maior participação de pequenos produtores no mercado florestal, além de possibilitar destinação da madeira de inúmeros plantios que se encontram sem mercado. A área florestal demandada neste caso é da ordem de 1,46 milhões de hectares, que corresponde à 19,2% da área total de florestas plantadas do país.

5.3. Custo da energia térmica – Estudo de caso: Indústria de Laticínios

Para o cálculo do custo da geração de uma tonelada de energia térmica (vapor) utilizou-se um estudo de caso da indústria de laticínios. Considerou-se custos iguais para qualquer indústria, dada as mesmas condições tecnológicas e rendimento de caldeira. A Tabela 10 apresenta os custos de produção de vapor com diferentes combustíveis. Salienta-se que os custos apresentados contemplam apenas a matéria prima (combustível) para produção do vapor, não estando incluso, portanto os custos com operação do equipamento e mão de obra.

Tabela 10 - Custo de produção de vapor

Fontes de combustíveis	Densidade (Kg/m ³)	Demanda (m ³)	Unidade	Preço (R\$)	Custo vapor (R\$/t.)
Lenha	500	315.096	m ³	75,00	44,11
Cavaco	333	354.837	m ³	45,00	29,81
Óleo combustível	980	34.223.588	Lt	1,57	100,30
Óleo diesel	840	33.558.443	Lt	2,25	140,94
Gás natural	0,74	42.749.224	m ³	0,50	39,90
GLP	552	46.051	t.	2.615,00	224,79

Fonte: Elaboração própria

Dentre os combustíveis estudados o cavaco é o que produz o vapor ao menor custo, até mesmo em comparação com a lenha, devido ao seu maior rendimento na caldeira dado a sua maior área específica e estabilidade no fluxo de vapor.

Os demais combustíveis derivados do petróleo possibilitam alto rendimento da caldeira e facilidade de mecanização e automação do sistema, no entanto possuem maior custo. Resultados semelhantes, que confirmam a maior viabilidade de produção de energia térmica utilizando a biomassa florestal em comparação com os derivados do petróleo podem ser confirmados nos trabalhos de Ribeiro e Vicari (2005), Lima et al. (2006), Caetano e Duarte Junior (2004), Nascimento e Baggioni (2010).

Além de produzir um vapor com menor custo o cavaco possui algumas vantagens operacionais em relação à lenha, como:

- Mecanização dos processos – O cavaco permite maior mecanização na alimentação do queimador, o que contribui para automação do sistema e estabilidade do fluxo de vapor.
- Controle da umidade – O cavaco possui granulometria homogênea, o que facilita a secagem e um melhor controle da umidade.
- Logística – é possível mecanizar todas as operações de produção e transporte do cavaco, desde o carregamento até o descarregamento no destino final.
- Qualidade de vapor – Por possibilitar uma queima e um fluxo uniformes, o cavaco produz um vapor de melhor qualidade.

Dentre os combustíveis derivados de petróleo o gás natural é o que apresenta menor custo para produção do vapor, mas, ainda assim seu custo é 34% maior que o do cavaco. Além do mais os contratos de compra do gás natural são grandes e longos, o que pode não ser interessante para algumas indústrias, principalmente as menores. Outra dificuldade é falta de disponibilidade do gás em alguns locais por não haver gasodutos.

Embora com custos de produção mais altos, os derivados do petróleo são muito utilizados devido a facilidade logística e operacional, além da menor exigência burocrática em relação à biomassa florestal.

No entanto, no tocante a questão operacional, já se tem no mercado equipamentos que possibilitam a mecanização do uso do cavaco em todo processo de produção de energia térmica. Contudo, ainda faltam políticas que favoreçam o uso da biomassa florestal no mercado de energia. O item 5.5.1 trata em detalhes as principais políticas públicas prioritárias para o desenvolvimento do mercado de energia da biomassa florestal.

5.4. Diagnóstico do uso da biomassa florestal na produção de energia térmica – Matriz SWOT

A Tabela 11 apresenta os principais pontos fortes, fraquezas, oportunidades e ameaças a respeito da utilização da biomassa florestal na produção de energia térmica industrial. A seguir é apresentada uma análise de cada item avaliado de forma mais detalhada. A análise conjunta dos fatores intrínsecos à utilização da biomassa e dos fatores externos, que influenciam neste mercado foi importante para estabelecer recomendações de ações efetivas aos agentes envolvidos na cadeia produtiva e consumidora da energia térmica.

Tabela 11 - Resultados da análise SWOT para a biomassa na geração de energia térmica.

PONTOS FORTES	PONTOS FRACOS
<ul style="list-style-type: none">• Combustível renovável• Alta produtividade florestal brasileira	<ul style="list-style-type: none">• Comercialização por volume• Logística

<ul style="list-style-type: none"> • Custo competitivo • Geração de empregos • Amplitude regional 	<ul style="list-style-type: none"> • Concentração de energia • Controle de qualidade • Representatividade organizacional
<p style="text-align: center;">OPORTUNIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Marketing ambiental • Disponibilidade de terras • Demanda por energia renovável • Mecanização do processo • Melhoria da conversão energética 	<p style="text-align: center;">AMEAÇAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mercado internacional do petróleo • Custo da mão de obra • Licenciamento ambiental • Custo Brasil • Deficiência de políticas

5.4.1. Pontos fortes

Os principais pontos fortes da utilização da biomassa florestal para produção de energia térmica são comuns a outras utilizações da madeira e às características do setor florestal brasileiro. O fato de ser oriundo de vegetais faz da biomassa florestal um combustível limpo e cem por cento renovável. No atual cenário em que há uma intensa busca pela sustentabilidade em todos os níveis, esta característica se torna cada vez mais importante.

Outro ponto forte da biomassa florestal é o fato das florestas plantadas brasileiras, especialmente as do gênero *Eucalipto*, possuírem as maiores produtividades do mundo. Isto quer dizer que num menor espaço utilizado conseguimos produzir mais biomassa florestal e conseqüentemente mais energia que nos demais países. Para outras utilizações da madeira esta grande capacidade produtiva já é bem explorada. Como exemplo pode citar o setor de celulose em que o Brasil está entre os maiores produtores mundiais.

A alta produtividade aliada a outros fatores como disponibilidade de terras e conhecimento técnico contribui para que a biomassa florestal seja produzida com baixo custo, conseguindo assim, competir com os derivados do petróleo na geração de energia. Como apresentado no item 5.3 a biomassa florestal, proveniente de plantios de eucalipto na forma de cavaco, produz energia com menor custo que os combustíveis não renováveis.

O uso da biomassa florestal tem a vantagem de gerar mais emprego do que os derivados do petróleo, tanto no campo quanto nas indústrias, tendo com isso, grande importância social. Dessa forma contribui significativamente para o desenvolvimento do meio rural. Aliado a geração de empregos, a possibilidade de participação de pequenos e médios produtores no mercado florestal eleva sua importância no cenário econômico e social do país. Segundo a Indústria Brasileira de Árvores (2014), 8% de toda a madeira consumida no país é fornecida por pequenos produtores rurais. Em 2013 a geração de empregos diretos, indiretos e pelo efeito renda do setor florestal foi da ordem de 4,4 milhões de postos (IBÁ, 2014).

A geração de empregos é um dos impactos positivos mais importantes de uma atividade econômica. Quando estes empregos são gerados na zona rural os benefícios são ainda maiores, pois ajuda na fixação do homem no campo, reduzindo o êxodo rural. Nesse quesito o setor florestal tem importância especial, uma vez que tende a se expandir para regiões de menor desenvolvimento econômico e social (GARLIPP e FOELKEL, 2009).

Outra característica que pode ser considerada como um ponto forte para a utilização biomassa florestal na produção de energia térmica é a amplitude regional, ou seja, é possível produzir a biomassa em todas as regiões brasileiras. Já existem plantações florestais em todas as regiões do país com boa produtividade e custo competitivo. Nas regiões com maior desenvolvimento industrial, que possuem maior demanda por energia térmica estão localizadas as maiores áreas de florestas plantadas. Na região norte do país onde não existem plantios florestais em grande escala, tem grande disponibilidade de biomassa florestal, principalmente oriundo de processamento mecânico da madeira.

5.4.2. Pontos fracos

Os pontos fracos referentes à utilização da biomassa florestal para produção de energia térmica industrial estão relacionados, principalmente, a características intrínsecas da madeira, forma de comercialização e organização da cadeia produtiva.

A forma de comercialização predominantemente utilizada é baseada no volume. Isto penaliza a biomassa (madeira) que tiver maior densidade e maior poder calorífico, pois terá o mesmo valor que uma biomassa de menor rendimento energético. O rendimento da caldeira é afetado pelo poder calorífico da biomassa utilizada e, geralmente madeira com menor densidade possui menor poder calorífico. Sendo assim, é importante que a política de preço praticada pelo mercado possua instrumentos que permitam comercializar a biomassa levando-se em consideração tanto o volume como a densidade.

Em comparação aos derivados do petróleo, a biomassa florestal possui baixa concentração de energia por unidade de volume (coeficiente energia x volume). Isso pode ser considerado um ponto fraco, pois, para a produção de uma mesma quantidade de energia é necessário o manuseio de um volume muito maior de biomassa que de derivados do petróleo. Neste contexto, em termos logísticos a biomassa é bem mais complexa, pois as cargas são mais altas e volumosas nos caminhões e por isso, mais perigosas. Além disso, possui uma limitação na distância de transporte. Para o transporte a longas distâncias o custo do frete pode inviabilizar o projeto.

A qualidade da biomassa florestal é também um fator de difícil controle, pois a madeira é um material heterogêneo. Referindo-se a florestas de eucalipto, a grande variedade de materiais genéticos, de diferentes espécies plantadas, aumenta esta heterogeneidade. A densidade, por exemplo, é uma propriedade que tem grande variação entre diferentes espécies e clones, e impacta diretamente no rendimento energético.

Outra propriedade que tem grande influência na qualidade da biomassa florestal para energia é a umidade. Devido à heterogeneidade da madeira e a dificuldade em operacionalizar os testes de umidade, esta variável as vezes é deixada de lado na comercialização da biomassa florestal. Há que se encontrar uma forma de considerar a densidade e umidade nos contratos de compra de biomassa, para otimizar a produção de energia e praticar preços justos aos fornecedores de biomassa.

Por fim, outro fator considerado ponto fraco para o setor de biomassa florestal é a falta de representatividade organizacional. Uma entidade bem organizada pode atuar junto a instituições de pesquisas, órgãos governamentais e indústria consumidora de biomassa para minimização dos pontos fracos, através de pesquisas para melhoria no controle de qualidade, padronização da forma de comercialização e busca pela melhoria da infraestrutura logística para facilitação do transporte a maiores distâncias.

5.4.3. Oportunidades

As oportunidades de crescimento da biomassa florestal (madeira) na matriz energética do setor industrial têm aumentado consideravelmente nos últimos anos, em virtude de diversos fatores, dentre eles, o crescimento da demanda por fontes de energia renováveis e limpas. Uma dessas oportunidades, porém pouco explorada pelas indústrias, é o marketing ambiental. No caso de produtos para exportação este diferencial é muito valorizado no mercado. Há que se produzir marketing positivo acerca das plantações florestais e sua utilização como fonte energética.

A disponibilidade de terras para implantação florestal é uma grande oportunidade existente no Brasil para produção de biomassa. Existe atualmente apenas 7,6 milhões de hectares de florestas plantadas, que corresponde a menos de 1% do território brasileiro. Dessa forma há muita terra disponível para expansão do setor florestal e produção de biomassa, sem comprometer áreas usadas para produção alimentos.

No início da utilização da madeira como fonte energética, na ocasião da revolução industrial, usava-se a lenha nas caldeiras para produção do vapor. Atualmente, com o avanço tecnológico das caldeiras e do processo de conversão energética, utiliza-se a madeira na forma de cavaco. Isso possibilita a mecanização de todo o processo de produção da energia térmica, desde a colheita da madeira em campo até a alimentação da caldeira. Com isso, cresce as oportunidades de ganhos no processo de conversão energética, uma vez que o cavaco possui uma

queima mais homogênea e produz um vapor de melhor qualidade se comparado com a lenha.

5.4.4. Ameaças

As ameaças para a utilização da biomassa florestal na produção de energia térmica dizem respeito ao ambiente externo deste mercado e devem ser conhecidas para buscar soluções que permita se proteger dos possíveis impactos destas ameaças.

A primeira ameaça identificada é o mercado internacional do petróleo. O preço do barril tem tido queda nos últimos anos, o que pode reduzir também os preços dos derivados, utilizados na produção de energia térmica pelo setor industrial, portanto concorrentes da biomassa florestal. Na prática, no mercado interno brasileiro, esta queda não interferiu no preço dos derivados, mas pode interferir caso os preços continuem em queda.

Outra ameaça identificada que tem interferido em praticamente todo o setor industrial é o aumento recorrente do custo da mão de obra. Como a produção da biomassa florestal é bastante dependente deste insumo, isto impacta diretamente no custo final da energia térmica gerada. Como consequência deste aumento de custo a saída é a busca pela mecanização das operações florestais e redução da dependência de mão de obra. As altas cargas tributárias, impostas pela legislação trabalhista, também devem ser revistas pela administração pública para fortalecimento da indústria nacional e dos setores agrícola e florestal.

O licenciamento ambiental também é uma ameaça que constantemente atrasa e dificulta a implementação dos projetos florestais. Em alguns estados como Minas Gerais chega a demorar mais de dois anos para conclusão do processo. Além de demorado é oneroso para os investidores. É necessário simplificar o processo para empreendimentos florestais, pois diferentemente de outros projetos, os impactos ambientais são de baixa magnitude. Em se tratando de biomassa florestal para combustão e produção de energia térmica, os benefícios são ainda maiores, pois, além do balanço de emissões ser praticamente nulo, evita-se usar combustíveis fósseis para a geração de energia.

A deficiência na infraestrutura logística também é uma ameaça ao crescimento da biomassa florestal no mercado de energia térmica. A fragilidade da rede de escoamento da produção é um problema que afeta o setor agroflorestal. O aumento desproporcional da frota em relação à capacidade suporte das estradas tem feito o custo do frete aumentar consideravelmente, reduzindo a rentabilidade do setor produtivo. Este fator, juntamente com outros como a alta carga tributária brasileira formam o chamado custo Brasil, que deve ser combatido principalmente pelo poder público.

Por fim, a deficiência de políticas que beneficiem a utilização da biomassa florestal no mercado de bioenergia também é uma ameaça. É necessário que se crie instrumentos como linhas de financiamento e redução de impostos para compra de máquinas e equipamentos que possuam melhor eficiência na geração de energia térmica, redução da tributação para as indústrias que priorizam a utilização da biomassa florestal em detrimento dos combustíveis fósseis, dentre outros.

5.5. Recomendações para fortalecimento da biomassa no mercado de energia térmica

Embora as potencialidades do uso do cavaco para geração de energia térmica, deparou-se durante o desenvolvimento deste trabalho, com diversas limitações que interferem, direta ou indiretamente, na sua utilização. Algumas implicações remetem ao Poder Público e outras aos consumidores de energia e aos produtores florestais. Dessa forma seguem algumas recomendações visando promover o crescimento da biomassa florestal no mercado de energia térmica no Brasil.

5.5.1. Ao Poder Público

A intervenção do Poder Público em algum setor da economia, geralmente ocorre quando este tem importância estratégica e passa por dificuldades estruturais. A produção de energia térmica com biomassa florestal interfere diretamente o setor florestal e industrial, ambos importantes para a economia do país. Dessa forma o fortalecimento da

biomassa florestal no mercado de energia térmica carece de políticas que incentivem sua utilização em substituição aos combustíveis fósseis.

As exigências burocráticas como taxa de reposição florestal e licenciamento ambiental moroso e caro para uso da madeira são os principais entraves de competência do Poder Público que devem ser avaliados. Não justifica restrições ambientais que inviabilize o uso de combustível renovável como a biomassa florestal. Muitos consumidores optam pelos derivados de petróleo para evitarem tais excessos burocráticos. A substituição de alguns combustíveis fósseis é o suficiente para proporcionar melhorias no setor florestal, conforme demonstrado neste trabalho. É necessário que o setor produtivo, juntamente com os órgãos ambientais discutam e encontrem uma forma de simplificar o licenciamento para projetos florestais.

A criação de linhas de crédito para compra de equipamentos que priorizem a utilização da biomassa florestal na produção de energia térmica pode ser outro instrumento econômico importante, tanto para as empresas mudarem suas matrizes energéticas, quanto para as que estão em fase de construção ou projeto já começarem utilizando a biomassa florestal.

O estímulo a pesquisas sobre conversão e eficiência energética, relacionadas à produção de energia térmica com biomassa florestal também deve ser aumentado. Há grande desconhecimento por parte do setor acerca da viabilidade de substituição dos combustíveis fósseis pela biomassa, pois ainda há pouco conhecimento adquirido e o que tem está nas mãos do setor privado, que se antecipa e acaba investindo em pesquisas de forma independente, mesmo que de forma incipiente. Dessa forma, linhas de pesquisa que priorize pelas parcerias entre órgãos públicos e privados gerarão grandes avanços para o setor.

5.5.2. Aos consumidores de energia térmica

As recomendações para os consumidores de energia térmica se referem principalmente à necessidade de organização, busca por conhecimento e maior abertura para realização de pesquisas.

A falta de conhecimento da viabilidade da biomassa florestal para produção de energia térmica ainda existe em algumas esferas do setor industrial. Nesse sentido, os órgãos que representam cada segmento do setor devem exercer o papel na busca pelo conhecimento, através de parcerias para realização de pesquisas e busca de equipamentos mais eficientes para queima de biomassa, já dominados em outros países.

O reduzido número de informações para realização de pesquisas sobre a produção de energia térmica utilizando a biomassa é outro fator que limita o seu uso. Faltam órgãos representativos do setor que congreguem as informações e disponibilizem para o meio científico realizar os estudos. Cita-se como exemplo a dificuldade de obtenção de informações para realização deste trabalho. Foi feito contato com diversos órgãos e empresas, porém sem sucesso.

5.5.3. Aos Produtores Florestais

O setor florestal, sobretudo os segmentos relacionados com a produção de madeira para energia, tem enfrentado dificuldades desde a crise de 2008. As indústrias mais afetadas foram as siderúrgicas e a carvão vegetal. Com isso, muitos plantios florestais realizados nessa época se encontram sem mercado para destinação da madeira. Nesse contexto, o crescimento da utilização da biomassa florestal para produção de energia térmica é uma solução para o mercado florestal.

Maiores avanços nesse sentido só deverão ocorrer com melhor organização do setor produtivo, por meio de cooperativas e associações, especialmente no que diz respeito aos produtores florestais independentes. Com uma organização forte e atuante junto ao Poder Público viabiliza-se estabelecer relações sólidas e duradouras com os consumidores da biomassa florestal, de forma que todos os elos da cadeia produtiva sejam beneficiados. O estabelecimento de um preço mínimo para a comercialização da madeira, assim como ocorre com alguns produtos do agronegócio, pode ser uma linha de atuação dos órgãos representativos junto ao poder público.

É necessário também, que o setor produtivo florestal faça ampla divulgação das boas práticas adotadas na silvicultura brasileira através do

marketing ambiental, e mude a visão deturpada de que os plantios florestais prejudicam o meio ambiente. Para outros usos da madeira, que não o de energia isso já foi realizado e de certa forma, produziu resultados positivos. O conceito de que produzir energia a partir da madeira é prática de país subdesenvolvido deve ser revisto e desmistificado, pois a biomassa florestal é um combustível renovável, além de possuir grande impacto social positivo.

6. CONCLUSÕES

Dos resultados deste trabalho, conclui-se que:

- Há um espaço a ser conquistado pela biomassa florestal no mercado de energia térmica para uso industrial pela substituição dos combustíveis fósseis derivados do petróleo como o gás natural, óleo combustível, óleo diesel e GLP;
- Substituindo metade do consumo de derivados de petróleo citados acima, por biomassa florestal é suficiente para promover a demanda de 116,8 milhões de m³ de madeira por ano e gerar 844,9 mil empregos diretos e indiretos;
- O custo da energia térmica gerada com combustíveis fósseis é no mínimo 34% maior que com a biomassa florestal;
- Os principais pontos fortes acerca do uso da biomassa florestal na geração de energia térmica estão no fato de ser um combustível renovável, possuir custo competitivo, alta produtividade florestal brasileira, geração de empregos e amplitude regional;
- As principais oportunidades da biomassa florestal na geração de energia térmica estão no marketing ambiental, disponibilidade de terras para estabelecimento dos plantios florestais, crescente demanda por energia renovável, possibilidade de mecanização do processo com o uso do cavaco e melhoria da conversão energética;

- Os principais benefícios do uso da biomassa florestal são a geração de empregos na área rural, redução de custos e das emissões de CO₂, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do setor industrial;
- O crescimento da participação da biomassa florestal no mercado de energia depende da participação efetiva de todos os *stakeholders* da cadeia produtiva.

7. BIBLIOGRAFIA

Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 3ª edição. Brasília, 2008.

ALVES, H. J.; MELCHIADES, F. G.; BOSCHI, A. O. Levantamento Inicial do Consumo de Energias Térmica e Elétrica na Indústria Brasileira de Revestimentos Cerâmicos. **Cerâmica Industrial**. Janeiro/Abril. 2007.

BAJAY, S. V.; GORLA, F. D.; BORDONI, O. F. J. G. Os Segmentos industriais energo-intensivos de maiores potenciais técnicos de conservação de energia. **Revista Brasileira de Energia**. v. 15. n. 1. 1º sem. 2009. p. 89-107. 2009.

BIZZO, W. A. EM 722 – Geração, Distribuição e Utilização de Vapor. UNICAMP, Campinas, Apostila de Curso, 2003.

BRAND, M. A.; OLIVEIRA, L. C.; MARTINS, S. A.; LACERDA, S. R.; SOUTO JUNIOR, L. Potencialidade de uso de biomassa de florestas nativas sob manejo sustentável para a geração de energia. **V CITENEL**. Belém, PA, 2009.

BRAND, M. A. Energia de Biomassa Florestal. Rio de Janeiro, 2010. 131p.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária., & Agroenergia., S. d. **Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria de Energia. **Balanco Energético Nacional**, 2003. Disponível em: <http://www.agg.ufba.br/ben2003/BEN2003_port.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2014.

BRITO, J. O. O uso energético da madeira. Estudos Avançados, São Paulo, v. 21, n. 59, p. 185-193, abr. 2007.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Usos diretos e propriedades da madeira para geração de energia. IPEF, São Paulo, **Circular Técnica**, n. 52, PBP/3.1.8, 7p. jun. 1979.

BRITO. J. O.; CINTRA, T. C. Madeira para Energia no Brasil: Realidade, Visão Estratégica e Demandas de Ações. **Biomassa e Energia**. v. 1. n. 2. p. 157-163. 2004.

CAETANO, I., DUARTE JUNIOR, I. A. Estudo comparativo da queima de óleo BPF e de lenha em caldeiras – Estudo de caso. **Paper**, Instituto Politécnico, Nova Friburgo. ABCM, 2004.

COELHO, J. C. **Biomassa – Biocombustíveis – Bioenergia**. Brasília, Ministério das Minas e Energia. 100p. 1982.

COUTO, L. C.; COUTO, L.; WATZLAWICK, L. F.; CÂMARA, D. Vias de Valorização Energética da Biomassa. **Biomassa e Energia**. v. 1, n. 1, p.71-92, 2004.

D'AMBROS, J. **Cadeia produtiva moveleira da região central do Estado de Tocantins: Caracterização e perspectivas para formação de um Pólo Moveleiro**. 287 f. Tese (Doutorado) – Universidade de Brasília. Brasília, DF, 2011.

FENGEL, D.; WENEGER, G. **Wood chemistry, ultrastructure, reactions**, Berlin: Walter de Gruyter, 1989.

FIRJAN. Perspectivas do custo da energia elétrica para a indústria no Brasil em 2014 e 2015. **Nota Técnica**. n. 01. mai. 2014.

GARLIPP, R.; FOELKEL, C. O papel das florestas plantadas para atendimento das demandas futuras da sociedade. **Paper**. Sociedade Brasileira de Silvicultura. XIII Congresso Florestal Mundial. Out. 2009.

GOLDEMBERG, J. Pesquisa e Desenvolvimento na Área de Energia. **São Paulo em Perspectiva**. v. 14. n. 13. p.91-97. São Paulo. Julho/Setembro. 2000.

LIMA, L. M., OLIVEIRA, A. M. K., CARLETTI FILHO, P. T., FERRARI, R. C., CAIXETA FILHO, J. V. Avaliação da viabilidade técnica e econômica da utilização de biomassas como fonte energética alternativa em fornos industriais. **Revista de Economia e Agronegócio**. vol. 4. n. 01. 2006.

CORTEZ, L. A. B., LORA, E. S. Biomassa para Energia. Campinas, 2006. 817p.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional**. 2012.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de energia 2022**. 2013.

NASCIMENTO, M. D. **Otimização do uso de lenha e cavaco de madeira para produção de energia em agroindústria Seropédica.** 90p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista., Botucatu, SP, 2007.

NASCIMENTO, M. D., BAGGIONI, M. A. M. Avaliação energética do uso de lenha e cavaco de madeira para produção de energia em Agroindústria Seropédica. **Revista Energia na Agricultura.** vol. 25. n. 3. p. 104-117. 2010.

PSR, Agenda Energética para o Brasil. Disponível em: <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2012/07/31/1117/20120802120120802164a. Agenda>. Acesso em: 08/11/2014.

QUEIROZ, S. C. S. **Efeito das características anatômicas e químicas na densidade básica da madeira e na qualidade da polpa de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Urophylla*.** 74p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. S. Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos. **Revista da Madeira**, n. 89, p. 100-106, 2005.

RIBEIRO, I.; VICARI, C.C. Análise de viabilidade econômica para secagem de milho com gás liquefeito de petróleo. In: SCCSASEMINÁRIO DO CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS, 4., 2005, Cascavel, PR. Anais... Cascavel, 2005. Disponível em: <<http://www.unioeste.br/campi/cascavel/ccsa/IVSeminarario/IVSeminarario/Artigos/07.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2014.

ROWELL, R.M.; PETTERSEN,R.; HAN,J.S.; ROWELL , J.S.; TSHABALALA, M.A. 2005. **Cell Wall Chemistry.** In: Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, Rowell, R.M. (Ed.). Boca Raton: CRC Press, p. 121-138.

SANTOS, F.; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. **Bioenergia e Biorrefinaria,** Cana-de-Açúcar e Espécies Florestais. Viçosa, MG, 2013.

SANTOS, R. C. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto.** 173 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2010.

SILVA, D. J. P. **Sistema de Gestão Ambiental para a Indústria de Laticínios**. 172 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

SILVA, J. C.; OLIVEIRA, J. T. S.; TOMAZELLO FILHO, M.; KEINERT JÚNIOR, S.; MATOS, J. L. M. Influência da idade e da posição radial na massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. MAIDEN. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 01, p. 13-22, 2004.

SOARES, T. S.; CARNEIRO, A. C.O.; GONÇALVES, E. O.; LELLES, J. G. Uso da biomassa florestal na geração de energia. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**. Garça, ano IV, n. 08, agosto, 2006.

SOUZA, P. G. **Fomento Florestal em Pequenas Propriedades Rurais no Brasil: Estratégias e Efetividade**. 148 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2013.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Visão Prospectiva da Matriz Energética Brasileira: Energizando o desenvolvimento sustentável do país. **Revista Brasileira de energia**, Itajubá, v.13, n. 1, 2005.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 02, n. 01, 1996.

VALE, A. T.; MENDES, R. M.; AMORIM, M. R.S.; DANTAS, V. F. S. Potencial Energético da Biomassa e Carvão Vegetal do Epicarpo e da Torta de Pinhão Manso (*Jatropha curcas*). **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 2, p. 267-273, abr./jun. 2011.

8. ANEXOS

Tabela 12 - Cálculo da equivalência em biomassa florestal da energia demandada pelo setor industrial por fonte de combustível

FONTES	Consumo (tep)	Tonelada lenha	m³ de lenha
Gás natural	9.849	39.712.387	79.424.774
Óleo diesel	1.038	4.183.615	8.367.230
Óleo combustível	2.587	10.429.942	20.859.884
Gás liquefeito de petróleo	1.005	4.050.615	8.101.229
Total	14.477	58.376.559	116.753.117

Tabela 13 - Cálculo das propriedades da biomassa com base nas fórmulas apresentadas na metodologia

Características da biomassa	
Teor de umidade base úmida (%)	35
PCI (kcal/kg)	2.711
Densidade da madeira (Kg/m ³)	500
Demanda total de madeira (m ³)	236.322
Densidade a granel do cavaco (Kg/m ³)	333
Demanda total de cavaco (m ³)	354.837

Tabela 14 – Cálculo da demanda de energia de alguns produtos da indústria de laticínios com base na produção total brasileira no ano de 2011.

Descrição dos produtos	Quantidade produzida Total anual	Unidade	Coefficiente de consumo energético (t. vapor/unidade)	Energia consumida total (Ton. vapor) -
Leite pasteurizado, inclusive desnatado	1.278.497	1 000 l	0,05	60.728,61
Bebidas lácteas	852.113	1 000 l	0,06	48.272,20
Requeijão (cremoso, <i>light</i> , duro ou do norte), inclusive especialidades lácteas à base de requeijão	177.161	t	0,72	127.162,33
Queijo Minas frescal	83.929	t	0,31	25.887,14
Queijo muçarela	385.462	t	0,71	273.678,02

Tabela 15 - Cálculo da demanda de combustível para cada fonte avaliada

Dados	Unidade	lenha	cavaco de eucalipto	Óleo combustível	Óleo diesel	Gás natural	Gás GLP	Carvão vapor
Energia consumida	t. vapor	535.728,30	535.728,30	535.728,30	535.728,30	535.728,30	535.728,30	535.728,30
Biomassa utilizada	-	lenha	cavaco de eucalipto	BPF	Óleo diesel	Gás natural	Gás GLP	carvão vapor
PCI	kcal/kg	2.711	2.711	9.550	10.100	9.000	11.200	4.000
Entalpia vapor	kcal/kg	663,90	663,90	663,90	663,90	663,90	663,90	663,90
Entalpia água	kcal/kg	185,60	185,60	185,60	185,60	185,60	185,60	185,60
Rendimento caldeira	%	60,00	80	80	90	90	90	80
Demanda total de combustível	t.	157.547,77	118.160,83	33.539,12	28.189,09	31.634,43	25.420,52	80.074,64

Tabela 16 - Cálculo do custo com combustível para produção de uma tonelada de vapor

Fontes de combustíveis	Densidade	Demanda (m³)	Unidade	Preço (R\$)	Custo vapor (R\$/t.)
Lenha	500	315.096	m³	75	44,11
Cavaco	333	354.837	m³	45	29,81
Óleo combustível	980	34.223.588	litros	1,57	100,30
Óleo diesel	840	33.558.443	litros	2,25	140,94
Gás natural	0,74	42.749.224	m³	0,5	39,90
Gás GLP	552	46.052	toneladas	2615	224,79