

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS**

**ESTUDO TÉCNICO-ECONÔMICO DA
COMPACTAÇÃO DE RESÍDUOS
MADEIREIROS PARA FINS ENERGÉTICOS**

Autor: **Claudinei Augusto da Silva**
Orientador: **José Dilcio Rocha**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS

ESTUDO TÉCNICO-ECONÔMICO DA COMPACTAÇÃO DE RESÍDUOS MADEIREIROS PARA FINS ENERGÉTICOS

Autor: **Claudinei Augusto da Silva**
Orientador: **José Dilcio Rocha**

Curso: **Planejamento de Sistemas Energéticos**

Dissertação de mestrado acadêmico apresentada à comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos.

Campinas, 2007, São Paulo - Brasil

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

Si38e Silva, Claudinei Augusto da
Estudo técnico-econômico da compactação de
resíduos madeireiros para fins energéticos / Claudinei
Augusto da Silva. --Campinas, SP: [s.n.], 2007.

Orientador: José Dilcio Rocha
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Biomassa. 2. Resíduos como combustível. 3.
Briquetes (Combustível). I. Rocha, José Dilcio. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Mecânica. III. Título.

Título em Inglês: Technical and economic study of wood residues compression
for energy use

Palavras-chave em Inglês: Biomass, Residue compression, technical and
economic feasibility, Briquettes, Pellets

Área de concentração:

Titulação: Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos

Banca examinadora: Antonio Ludovico Beraldo e Mário Oscar Cencig

Data da defesa: 27/02/2007

Programa de Pós-Graduação: Planejamento de Sistemas Energéticos

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

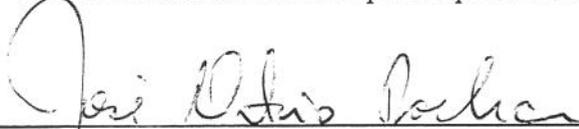
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO

ESTUDO TÉCNICO-ECONÔMICO DA COMPACTAÇÃO DE RESÍDUOS MADEIREIROS PARA FINS ENERGÉTICOS

Autor: Claudinei Augusto da Silva

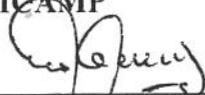
A banca examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação



Dr. José Dílcio Rocha, Presidente
NIPE/UNICAMP



Prof.Dr. Antônio Ludovico Beraldo
FEAGRI/UNICAMP



Prof.Dr. Mário Oscar Cencig
NIPE/UNICAMP

Campinas, 27 fevereiro de 2007

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha esposa Cidinha e aos meus filhos Daniel, Davi e Marcos Augusto.

Agradecimentos

Ao Dr. José Dilcio Rocha pela orientação atenta, prestativa, gentil, paciente e crítica, quando necessária para a elaboração da dissertação. Apreciei sua orientação com criatividade e capacidade de escolher o melhor caminho a ser seguido, no campo do aprimoramento científico e no campo de relacionamento pessoal.

Aos meus colegas da BIOWARE pelo carinho e pelos momentos compartilhados ao longo desse trabalho.

Agradeço também ao Dr. André Felipe Simões e a todos os professores do Planejamento de Sistemas Energético, que de alguma forma me ajudaram neste trabalho.

Agradeço aos professores da banca de qualificação Prof.Dr Arnaldo César da Silva Walter e Prof.Dr Luiz Antonio Rossi pelas correções e sugestões para aprimorar este trabalho.

Agradeço a todas as pessoas que de alguma forma me ajudaram neste trabalho; aprendi muito e valeu a pena, mas, acima de tudo, este trabalho não é somente meu, e sim de todos que contribuíram com ele.

Expresso também a minha gratidão à Secretaria da Educação do Estado de São Paulo, que financiou esta pesquisa.

*Um homem só é feliz quando consegue compartilhar
esta felicidade com seus semelhantes.*

Índice

	Pág.
1 Introdução	01
1.1 Objetivos	03
1.2 Justificativas	03
1.3 Metodologia da Pesquisa	04
1.4 Organização do Trabalho	04
2 Aspectos Teóricos e Práticos dos Processos de Compactação de Biomassa	06
2.1.1 A Composição da Biomassa	06
2.1.2 Maneiras de Utilização ou de Valoração de um Resíduo Ligno-Celulósico	08
2.1.3 O Processo de Compactação de Biomassa	09
2.2 Características da Biomassa Compactada	10
2.3 Aplicações da Biomassa Compactada	12
2.4 Estado da Arte da Compactação de Biomassa	13
2.4.1 Processos de Compactação a Quente e de Alta Pressão (QAP)	13
2.4.2 Compactação por Pressão	13
2.4.3 Prensa de Pistão	14
2.4.4 Extrusora de Pressão Cônica (EPC)	15
2.4.5 Extrusora de Pressão com Molde Aquecido (EPMA)	16
2.4.6 Prensa de Peletização	18
2.5 Mecanismo de Compactação	20
2.6 Energia Utilizada para a Compactação	21
2.7 Desgastes e Revestimentos dos Componentes das Máquinas de Compactação	23
2.8 Fatores que Afetam a Compactação	23
2.8.1 Temperatura	24
2.8.2 Pressão	24
2.8.3 Teor de Umidade	24
2.8.4 Tamanho das Partículas	25
2.9 Preparação da Matéria-Prima	25
2.10 Secagem do Material	26
2.11 Redução do Tamanho da Partícula	28
2.12 Matéria Prima Pré-Aquecida	28
3 Estudo Comparativo entre o Valor Energético dos Briquetes e outros Energéticos	31
3.1 Estudo Comparativo entre o Valor Energético Primário entre Briquetes e Lenha	31
3.2 Estudo Comparativo do Valor Energético Primário entre Briquetes e Gás Natural	33
3.3 Estudo Comparativo do Valor Energético Primário entre Briquetes e Óleo Combustível.	34
3.4 Custo do Briquete	34
4 Estudo de Caso de uma Madeireira	36
4.1 Estudo da Viabilidade Técnico-econômica de uma Fábrica Compactadora de Resíduos para Fins Energéticos	36
4.2 Viabilidade Técnica	38

4.3 Regime de Produção	40
4.4 Análise Técnico-Econômica	40
4.5 Cenário 1 – Compactação de Resíduo Madeireiro em Forma de Briquetes, com Isenção de Impostos, Utilizando uma Prensa Extrusora com Matriz Aquecida	42
4.6 Cenário 2 – Compactação de Resíduo Madeireiro em Forma de Briquetes, sem Isenção de Impostos, Utilizando uma Prensa Extrusora com Matriz Aquecida	47
4.7 Cenário 3 – Compactação de Resíduo Madeireiro em Forma de Briquetes, com Redução nos Impostos Incidentes na Matéria-Prima, Utilizando uma Prensa de Pistão	50
4.8 Cenário 4 – Compactação de Resíduo Madeireiro em Forma de <i>Pellets</i> sem Isenção de Impostos, Utilizando uma Prensa Peletizadora	53
4.9 Perspectiva no Mercado Comercial e Regulamentação Ambiental	57
5 Considerações Finais	61
Sugestões para Trabalhos Futuros	63
6 Referências Bibliográficas	65

Resumo

SILVA, Claudinei Augusto, *Estudo Técnico-Econômico da Compactação de Resíduos Madeireiros para Fins Energéticos*, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2007. 84 p. Dissertação (Mestrado).

O objetivo central deste trabalho foi o de demonstrar os processos de compactação de resíduos de biomassa visando à substituição de combustíveis tradicionais, como a lenha e os combustíveis fósseis. Foi estudada a viabilidade técnico-econômica da implantação de uma fábrica de compactação de resíduos madeireiros com capacidade anual de 2.112 toneladas de briquetes ou *pellets* para fins energéticos. Foram simulados quatro cenários diferentes, visando um estudo mais próximo da realidade. Em cada cenário foram analisados os investimentos fixos e tangíveis e as estruturas de custos operacionais para a implantação de uma fábrica de compactação de resíduos madeireiros. Na simulação dos cenários, foram empregados diferentes valores para o preço da matéria-prima e a incidência de impostos na venda do produto. O estudo de viabilidade técnico-econômica baseou-se em dados reais, disponibilizados por uma empresa madeireira de médio porte. O processo e a utilização de briquetes e *pellets* no comércio, que pode abrir novas possibilidades, principalmente no setor comercial, foram avaliados. Os processos tradicionais de compactação também foram analisados. Mostrou-se que o processo de compactação de resíduos madeireiros é economicamente viável desde que o custo da matéria-prima não ultrapasse R\$ 42,00 por tonelada. Outra forma de tornar o processo economicamente viável é a redução nos impostos incidentes sobre a venda do produto. Através deste estudo ficou clara a incidência de alta carga tributária, um aspecto econômico típico da economia brasileira.

Palavras-chave: Biomassa, Compactação de resíduos, Viabilidade técnico-econômica, Briquetes, *Pellets*.

Abstract

SILVA, Claudinei Augusto, *Technical and Economic Study of Wood Residues Compression for Energy Use*, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2007. 84 p. Dissertation (Master's Degree).

The main purpose of this work is to demonstrate the biomass compression processes for the substitution of traditional fuels such as wood and fossil fuels. It was performed a technical and economic feasibility analysis of the deployment of a wood residue compression plant with a yearly capacity of 2,112 tons of briquettes or pellets for energy use. Four different scenarios were created as close to reality as possible. In each scenario, intangible and tangible investments and operating costs were analyzed for the deployment of a wood residue compression plant. In addition, different prices of raw material and different sales tax were also used. The technical and economic feasibility study was based on actual data made available by a Brazilian medium-sized company in the woodworking industry. The manufacturing process and commercial use of briquettes and pellets, which can open new possibilities for the commercial sector, were assessed. Traditional compression processes were also evaluated. The study showed that the wood residue compression process is economically feasible if the cost of raw material does not exceed R\$42.00 per ton. The process would also be economically feasible if sales taxes dropped. This work clearly demonstrated that high taxes, a typical component in the Brazilian economy, are a significant barrier to wood residue compression processes.

Keywords: Biomass, Residue compression, Technical and economic feasibility, briquettes, pellets.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 - Estrutura da oferta Interna de energia	02
Figura 2.1 - Possibilidades de aproveitamento dos resíduos ligno-celulósicos.	09
Figura 2.2 - Prensa de pistão	15
Figura 2.3 - Extrusora de pressão cônica (EPC)	16
Figura 2.4 - Extrusora de pressão com molde de aquecimento	17
Figura 2.5 - Sistema de aquecimento da matriz	18
Figura 2.6 a - Moinho com matriz de disco	19
Figura 2.6 b - Moinho com matriz de anel	19
Figura 2.7 - Diagrama de uma prensa perfuradora	19
Figura 2.8 - Máquina peletizadora com sistema de roda dentada	20
Figura 2.9 - Foto do secador solar de biomassa de pimenta longa	27
Figura 2.10 - Esquema do secador solar de biomassa de pimenta longa	27
Figura 2.11 - Briquetadeira com pré-aquecimento	29
Figura 4.1 - Fluxograma da fábrica de briquetes de alta densidade	38

LISTAS DE TABELAS

	Pág.
Tabela 2.1 - Composição química elementar de materiais ligno-celulósicos	07
Tabela 2.2 - Composição média de diferentes tipos de materiais ligno-celulósicos	08
Tabela 2.3 - Densidade e poder calorífico de resíduos e dos briquetes correspondentes	10
Tabela 2.4 - Vantagens e desvantagens do processo de compactação de biomassa	11
Tabela 2.5 - Energia consumida (kWh/t) na compactação com várias tecnologias	22
Tabela 2.6 - Caracterização de um secador solar	28
Tabela 4.1 - Preços dos equipamentos de briquetagem	39
Tabela 4.2 - Produção e regime de trabalho da empresa madeireira	39
Tabela 4.3 - Regime de trabalho da empresa madeireira	40
Tabela 4.4 - Investimentos fixos em ativos tangíveis	41
Tabela 4.5 - Estrutura de custos operacional projetado para produção de 2.112 t/ano	42
Tabela 4.6 - Indicadores da fábrica de briquetes	44
Tabela 4.7 - Fluxo de caixa previsto para os próximos 10 anos	47
Tabela 4.8 - Impostos incidentes para a venda de briquetes	48
Tabela 4.9 - Indicadores da fábrica de briquetes	48
Tabela 4.10 - Custo unitário e preço de venda	49
Tabela 4.11 - Fluxo de caixa previsto nos próximos 10 anos	49
Tabela 4.12 - Custos dos equipamentos da prensa de pistão	50
Tabela 4.13 - Investimento fixo em ativos tangíveis	50
Tabela 4.14 - Impostos incidentes para a venda de briquetes	51
Tabela 4.15 - Estrutura de custos operacionais projetada para produção de 2.112 t/ano de briquetes	51
Tabela 4.16 - Indicadores da fábrica de briquetes.	52

Tabela 4.17 - Custo unitário e preço de venda da tonelada do briquete	52
Tabela 4.18 - Fluxo de caixa previsto nos próximos 10 anos	53
Tabela 4.19 - Custos dos equipamentos de peletização	54
Tabela 4.20 - Investimento fixo em ativos tangíveis	54
Tabela 4.21 - Impostos incidentes para a venda de <i>pellets</i>	55
Tabela 4.22 - Estrutura de custos operacionais projetada para produção de 2.112 t/ano de <i>pellets</i>	55
Tabela 4.23 - Indicadores da fábrica de <i>pellets</i>	56
Tabela 4.24 - Custo unitário e preço de venda da tonelada de <i>pellets</i>	56
Tabela 4.25 - Fluxo de caixa previsto nos próximos 10 anos	57
Tabela 4.26 - Resumo dos valores em reais, na implantação de uma fábrica de compactação de resíduos madeireiro	60

Nomenclatura

Abreviações

Cb, custo do briquete

CF, custo fixo

Coc, custo do óleo combustível

CQAP, compactação quente de alta pressão

CT, custo do transporte

CTt, custo do transporte por tonelada por quilômetro

CV, custo variável

D_n , depreciação linear

D, distância

EPC, extrusora de pressão cônica

EPMA, extrusora de pressão com molde aquecido

EMP, empresa de médio porte

FBAD, fábrica de briquetagem de alta densidade

GAO, grau de alavancagem operacional

I, investimento de capital na época zero, R\$

k, taxa de juros, decimal

IEO, índice de equivalência de óleo

LO, lucro operacional

n, eficiência em calorias

N, prazo da análise do projeto ou vida útil, ano

PC, poder calorífico

PE, ponto de equilíbrio

Q, valor residual do projeto no final do prazo da análise, R\$

RB, receita bruta

R_t retornos depois de descontados os impostos, ou imposto de renda, R\$

S_t , estéreio

T, tempo, ano.

TIR, taxa interna de retorno

VPL, valor presente líquido

Siglas

BEN, Balanço Energético Nacional

CENBIO, Centro Nacional de Referência em Biomassa

CPFL, Companhia Paulista de Força e Luz

CPMF, Contribuição Provisória sobre Movimentações de Valores e de Créditos e Direitos de Natureza Financeira

CSLL, Contribuição Social sobre Lucro Líquido

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FOB, Free on Board, frete a pagar no destino

GIDT, Grupo Intermediário de Desenvolvimento e Tecnologia da Índia

ICMS, Imposto de Circulação de Mercadorias e Serviços

IEV, Institute of Energy in Vietnam

IIT, Indian Institute of Technology

IR, Imposto de Renda

LPF, Laboratório de Produtos Florestais

MME, Ministério de Minas e Energia

OCDE, Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico

OIE, Oferta Interna de Energia

PIS, Programa de Integração Social

Capítulo 1

Introdução

A biomassa é uma importante fonte de energia para a humanidade. É uma fonte alternativa e renovável de carbono, sendo base dos combustíveis fósseis e dos materiais carbonosos. O desafio da humanidade é buscar soluções para usar de forma cada vez mais eficiente esse recurso natural. Essa busca é compensatória em razão dos grandes benefícios ocasionados pelo uso energético da biomassa. Os combustíveis não-renováveis como petróleo, carvão mineral, gás natural, principalmente, resultam em graves problemas ambientais nos seus diversos usos. Os combustíveis fósseis são esgotáveis, poluentes, caros e controlados por poucos países que detêm minas, poços e as tecnologias de transformação. A emissão de gases poluentes tem sido cada vez mais regulamentada por órgãos ambientais, devido a sua influência no aquecimento global. Os preços do petróleo e de seus derivados não têm mostrado ultimamente comportamento instável, porém não há garantias de estabilidade dos preços.

Segundo o Balanço Energético Nacional do Ministério de Minas e Energia, (2005), no Brasil, cerca de 44,7% da OIE (Oferta Interna de Energia) tem origem em fontes renováveis, enquanto que no mundo essa participação é de 13,3% e nos países desenvolvidos é de apenas 6%. No Brasil, 15,3% corresponde à geração hidráulica e 29,4% à biomassa (carvão vegetal, lenha, etanol e bagaço de cana). Os 56,1% restantes da OIE são supridas por fontes fósseis e outras não-renováveis (MME, 2005). Essa característica bem particular do Brasil resulta do grande desenvolvimento do parque gerador de energia hidrelétrica, desde a década de 1950 e de políticas públicas adotadas após a segunda crise do petróleo, ocorrida em 1979, visando à redução do consumo de combustíveis oriundos do petróleo e dos custos correspondentes à sua importação, na época, responsáveis por quase 50% das importações totais do País (figura 1.1).

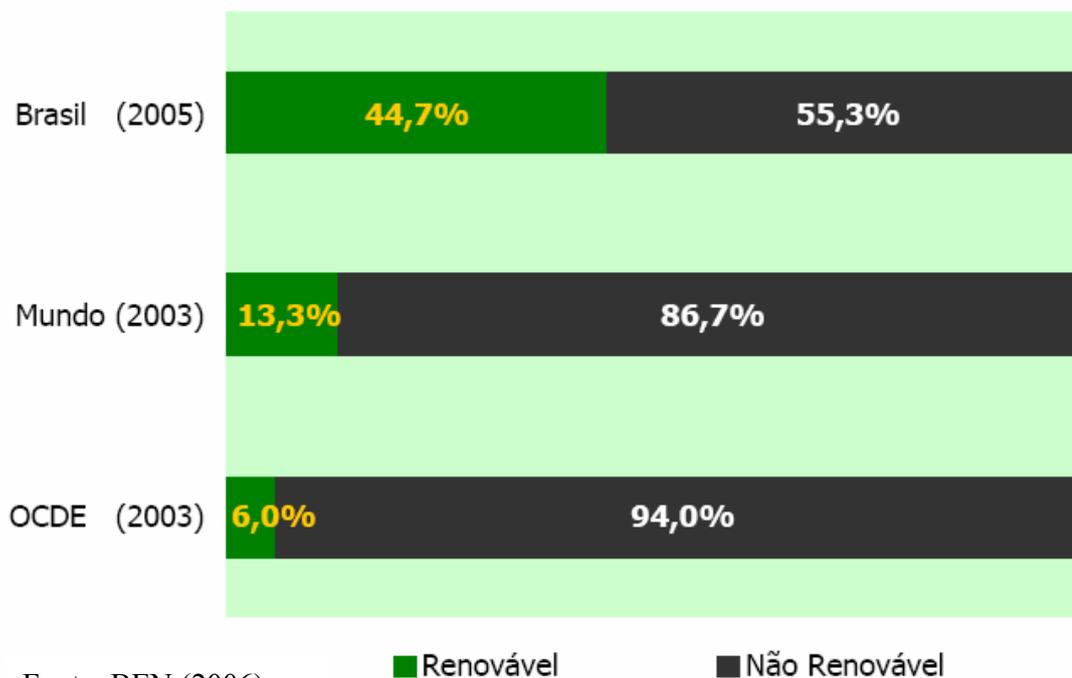


Figura 1.1 - Estrutura da Oferta Interna de Energia

Também nessa época da crise do petróleo, implantou-se o programa de produção de álcool combustível, o Proálcool. Criado em 1975, pelo decreto 76.593, o Proálcool tinha como objetivo substituir parte da gasolina utilizada na frota nacional de veículos de passageiros (álcool hidratado em veículos com motores movido à álcool) e, ainda, o álcool seria utilizado como aditivo à gasolina (álcool anidro), tornando menos poluente sua combustão.

Sendo assim, a importância da biomassa como fonte alternativa de carbono é muito grande para um país como o Brasil. As condições de grandes extensões de terras ainda disponíveis para a prática da agricultura energética e um clima favorável para a produção de biomassa. A produção de biomassa para fins energéticos é renovável, gera mais emprego e requer menos investimentos em comparação aos combustíveis fósseis. Além disso, descentraliza a produção de combustíveis regionalmente, tem o ciclo de emissões de gases de efeito estufa fechado, diminuindo as emissões de poluente. Além disso, permite economizar as fontes não-renováveis etc. O uso da biomassa

deve-se dar de forma sustentável, de acordo com técnicas apropriadas de cultivo e manejo, de forma a não concorrer com a agricultura direcionada à produção de alimentos. Juntamente com o aspecto agrícola, o desenvolvimento das tecnologias de processamento da biomassa é igualmente importante e fundamental. Esse é o contexto deste trabalho, que apresenta processos de compactação de resíduos para proporcionar o seu aproveitamento energético. Também introduz novas tecnologias e inovação na produção de bio-combustíveis sólidos a partir de resíduos.

1.1 Objetivo

Esta pesquisa propôs um estudo de viabilidade técnico-econômica da compactação de resíduo madeireiro para fins energéticos, visando uma maior expansão dos processos de compactação de resíduos de biomassa, analisando as estruturas de custos operacionais e também o estudo de caso em quatro cenários diferentes:

1º) Compactação de resíduo madeireiro em forma de briquetes, com isenção de impostos, utilizando uma prensa extrusora com matriz aquecida;

2º) Compactação de resíduo madeireiro em forma de briquetes, sem isenção de impostos, utilizando uma prensa extrusora com matriz aquecida;

3º) Compactação de resíduo madeireiro em forma de briquetes, com redução nos impostos incidentes e na matéria-prima, utilizando uma prensa de pistão;

4º) Compactação de resíduo madeireiro em forma de *pellets*, sem isenção de impostos, utilizando uma prensa peletizadora.

1.2 Justificativas

Visando transformar um resíduo de baixa densidade em um produto com valor comercial em forma de briquetes e *pellets* serão utilizados processos de compactação de resíduo madeireiro. Esses produtos são densos e com menor volume do que a matéria-prima inicial; isso soluciona também o problema de disponibilidade de espaço para o acondicionamento dos seus resíduos, visto que várias empresas madeireiras situam-se próximas a grandes centros urbanos. Naturalmente, um aspecto fundamental que precisa ser analisado é a questão da viabilidade técnico-econômica associada à implantação da fábrica de compactação de resíduos.

Foi dada maior ênfase ao processo de briquetagem, visto que no Brasil há um maior consumo dos briquetes, que podem vir a ser um substituto importante da lenha, e por não haver consumo dos *pellets* para fins energéticos no mercado interno. A matéria-prima escolhida no trabalho para a compactação foi o resíduo madeireiro, por ser um material residual abundante nas indústrias madeireiras. Esse material é renovável e constitui uma opção viável como alternativa às tradicionais fontes renováveis e não-renováveis de energia.

O processo usado nos três primeiros cenários é a compactação em forma de briquetes com alta temperatura e pressão; no cenário 4 o processo utilizado é a peletização, que não é um processo convencional para fins energéticos, sendo utilizado para compactação de rações animais. Entretanto, para ambas tecnologias de briquetagem e peletização, já existem equipamentos nacionais de qualidade que podem ser utilizados sem a necessidade de importação de maquinário.

1.3 Metodologia da Pesquisa

O estudo de viabilidade técnico-econômica baseou-se em dados reais, disponibilizados junto a uma empresa madeireira de Tietê-S.P, visando um estudo mais próximo da realidade. Inicialmente, escolheu-se o processo e o equipamento que seriam utilizados na compactação dos resíduos; em seguida, foi feito um estudo de caso da viabilidade econômica de cada processo. Em cada cenário foram analisados os investimentos fixos e tangíveis e a estrutura de custos operacionais para implantação de uma fábrica de compactação de resíduos de biomassa.

1.4 Organização do Trabalho

Esta dissertação é composta por 6 capítulos e foi estruturada de forma a apresentar, além da aplicação de processos de compactação de resíduos, conceitos dos processos de briquetagem e peletização. A aplicação de um estudo de avaliação técnico-econômica para a implantação de uma fábrica de compactação de resíduo madeireiro.

O primeiro capítulo delinea o estudo, mostrando o objetivo e a justificativa em questão.

O segundo capítulo aborda os aspectos necessários para a compreensão dos elementos teóricos e práticos desenvolvidos nos capítulos restantes, quanto à composição da biomassa, os mecanismos utilizados e as principais tecnologias em desenvolvimento no mundo para o processo de compactação de biomassa.

O terceiro capítulo aborda uma descrição geral das comparações energéticas entre os briquetes e seus substitutos, bem como apresenta-se um cálculo matemático aproximado do custo do briquete, utilizando-se o princípio de equivalência energética do óleo combustível.

No quarto capítulo foi feita uma análise técnico-econômica para a implantação de uma fábrica de compactação de resíduo madeireiro em uma empresa de artefatos de madeira de Tietê-SP, analisando-se as estruturas de custos operacionais e simulando-se quatro cenários diferentes.

No quinto capítulo são apresentados os resultados obtidos, a partir de uma discussão desses resultados, apresentam-se conclusões e propostas de pesquisas futuras sobre o assunto.

No sexto capítulo são apresentadas as bibliografias consultadas para a elaboração desta dissertação.

Capítulo 2

Aspectos Teóricos e Práticos dos Processos de Compactação de Biomassa

2.1 A Composição da Biomassa

Os carboidratos, inclusive o açúcar, estão entre os componentes mais abundantes das plantas e animais. Eles são classificados como mono, di, tri, tetra e polissacarídeos, dependendo do número de moléculas de açúcar que os compõem. Praticamente todos os polissacarídeos naturais contêm cinco ou seis átomos de carbono, denominados pentoses e hexoses, respectivamente (Moreira, 2005).

O dissacarídeo conhecido como açúcar da cana, ou sucrose, pode ser quebrado por hidrólise em glucose e frutose de seis carbonos. A cana-de-açúcar e outras plantas contêm cerca de 10% a 15% de sucrose. A hidrólise do amido por ácidos ou enzimas, denominada amilase, forma a glucose (Moreira, 2005).

A biomassa celulósica é, na verdade, uma mistura complexa de polímeros naturais de carboidratos conhecidos como celulose e hemicelulose, lignina e uma pequena quantidade de outras substâncias, tais como, extrativos e cinzas. Em geral, a celulose é a maior porção e representa cerca de 40% a 50% do material. As partes remanescentes são formadas, predominantemente, por lignina e uma quantidade menor de extrativos. A porção de celulose é composta de glicose, ligadas umas as outras em longas cadeias que formam uma estrutura cristalina. Para árvores de coníferas, o componente predominante da hemicelulose é a xilose (Moreira, 2005).

O grau de ordenamento das moléculas de celulose apresenta variações. Quando se encontram altamente ordenadas, são conhecidas como cristalinas. Já as regiões com menor grau de ordenamento são denominadas amorfas.

No interior da parede secundária, a lignina está concentrada nos espaços localizados entre as microfibras e, nas regiões amorfas, entre cristais de celulose. Pode-se dizer que a associação da celulose com a lignina é, em grande medida, de caráter físico, resultante de um sistema de entrecruzamentos de polímeros. Essa associação física é considerada a responsável pela resistência à degradação térmica e biológica apresentada pelos materiais ligno-celulósicos.

Nas regiões amorfas, entre cristais de celulose, encontram-se também a hemicelulose, minerais e outros compostos, como óleos, ceras, óleos essenciais, taninos, resinas, carboidratos solúveis e proteínas.

A parte correspondente às cinzas nos materiais ligno-celulósicos é constituída por óxidos de cálcio, potássio, sódio, magnésio, silício, ferro e fósforo; seu conteúdo é inferior a 1%, em massa, para a maioria desses materiais. Os teores de extrativos, como terpenos, resinas, ácidos graxos, taninos, pigmentos e carboidratos ficam entre 2% a 5% em massa. Na tabela 2.1, mostra-se a composição química elementar de diferentes materiais ligno-celulósicos e, na tabela 2.2, a composição média de diferentes tipos de materiais ligno-celulósicos (Jenkins, 1990).

TABELA 2.1 Composição química elementar de materiais ligno-celulósico

Biomassa	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)
Bagaço de cana-de-açúcar	43,82	5,85	47,10	0,35
Casca de amendoim	48,26	5,66	39,39	0,81
Casca de arroz	38,92	5,12	31,95	0,55
Casca de coco	50,22	5,70	43,40	0,00
Casca de painço	42,66	6,05	33,07	0,12
Fibra de coco	47,65	5,67	45,61	0,19
Madeira (Subadul)	48,15	5,87	45,09	0,03
Palha de arroz	36,89	5,05	37,89	0,39
Palha de trigo	47,47	5,42	35,79	0,13
Pé de milho	41,92	5,29	45,95	0,00
Resíduo de algodão	42,66	6,05	49,50	0,12
Sabugo de milho	47,57	5,00	44,60	0,00

Fonte: Jenkins (1990).

TABELA 2.2 Composição média de diferentes tipos de materiais ligno-celulósico

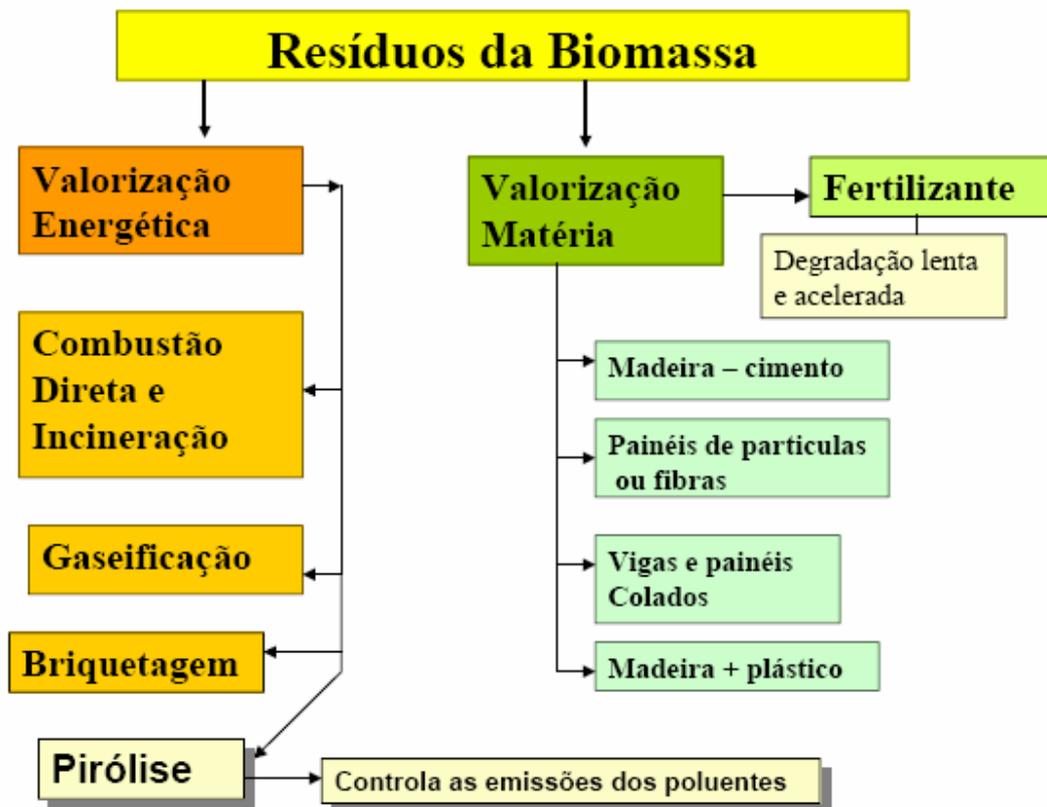
Biomassa	Cinza (%)	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)
Bagaço de cana-de-açúcar	2,88	41,3	22,64	18,26
Casca de amendoim	5,88	35,68	18,67	30,22
Casca de arroz	23,46	31,29	24,32	14,30
Casca de coco	0,68	36,28	25,06	28,73
Casca de milho	18,10	33,28	26,94	13,97
Fibra de coco	0,88	47,74	25,89	17,78
Madeira (Subadul)	0,9	39,75	23,98	24,68
Palha de arroz	19,78	37,04	22,67	13,64
Palha de trigo	11,19	30,52	28,90	16,38
Pé de milho	6,84	42,71	23,61	17,50
Resíduo de algodão	5,36	77,79	15,96	0,00
Sabugo de milho	2,83	40,32	28,66	16,57

Fonte: Jenkins (1990).

2.1.2 Maneiras de Utilização ou de Valoração de um Resíduo Ligno-celulósico

Um resíduo ligno-celulósico pode ser reciclado ou reutilizado como matéria-prima em um processo diferente daquele de origem. Por exemplo, o resíduo pode ser utilizado energeticamente na produção de calor, de vapor ou de eletricidade em grupos geradores, ou em termoelétricas. Esse resíduo pode ser aproveitado na forma sólida, como briquete ou carvão vegetal. Pode, ainda, ser gaseificado transformando-se em um combustível gasoso ou utilizado como gás de síntese (LPF/IBAMA, 2006).

A figura 2.1 mostra de forma reduzida as possibilidades de aproveitamento dos resíduos ligno-celulósicos.



Fonte: LPF/IBAMA (2006).

Figura 2.1 –Possibilidades de aproveitamento dos resíduos ligno-celulósicos.

2.1.3 O Processo de Compactação de Biomassa

Todo resíduo de origem vegetal pode ser compactado, bastando atender às necessidades de granulometria e teor de umidade exigidos pelo processo. Esse processo possui a vantagem de transformar um resíduo de baixíssima densidade em briquetes de qualidade. A tabela 2.3 indica, aproximadamente a densidade alcançada na compactação e também o poder calorífico dos resíduos de biomassa, em kJ/kg.

Tabela 2.3 Densidade e poder calorífico de resíduos e dos briquetes correspondentes.

Tipos de Resíduos	Densidade aparente natural do resíduo (kg/m³)	Densidade aparente de um briquete (g/cm³)	Densidade aparente a granel do briquete (kg/m³)	Poder Calorífico kJ/kg
Aparas de madeira	112	1,16	565-615	20.064
Bagaço-de-cana	180	1,10	500-600	15.466
Casca de arroz	150	1,28	610	15.591
Palha de milho	33	0,91	550	14.923
Pó de serra	274	1,22	570	20.398
Usina de compensado de madeira	132	0,83	560	18.920

Fonte: LPF/IBAMA (2006).

Observa-se que resíduos mais comuns das serrarias (aparas) apresentam um grau de compactação da ordem de 5 vezes. Isso permite afirmar que, teoricamente, tem-se pelo menos 5 vezes mais energia em 1 m³ de briquetes do que um m³ de resíduos.

Nos últimos anos, tem aumentado o interesse mundial pela compactação da biomassa, utilizando-se novas técnicas de beneficiamento de resíduos para a utilização como fonte de energia. O processo, entretanto, não é uma inovação recente. A primeira notícia sobre compactação de biomassa ocorreu por volta de 1880. Um relato foi publicado em uma revista de mercado, em 1865, sobre combustíveis na forma de briquetes (REED E BRYANT, 1978).

2.2 Características da Biomassa Compactada

As vantagens e desvantagens do processo de compactação de resíduos de biomassa podem ser observadas na tabela 2.4.

Tabela 2.4 Vantagens e desvantagens do processo de compactação de resíduos de biomassa

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none">• aumento do conteúdo calorífico do material por unidade de volume• maior facilidade dos processos de transporte e estocagem• o combustível produz uma queima uniforme e de qualidade• o processo ajuda a resolver o problema da disponibilidade dos resíduos• elimina a possibilidade da combustão espontânea na estocagem• reduz a biodegradação dos resíduos• devido à baixa umidade, atinge rapidamente temperaturas altas, produzindo menos fumaça, cinzas e fuligem, se comparado com a lenha• O material resultante da compactação atinge uma maior temperatura de chama e tem uma maior regularidade térmica mantendo o calor homogêneo	<ul style="list-style-type: none">• altos investimentos em equipamentos e gastos de energia no processo• algumas características indesejáveis na combustão observadas algumas vezes no caso de briquetes• tendência destes em se desmancharem quando expostos à água ou submetidos à alta umidade.• Alta carga tributária incidente na venda do produto e nos equipamentos utilizados.

Fonte: BHATTACHARYA (2004).

Quanto às condições de operações, as técnicas de compactação podem ser classificadas em duas categorias, as do Tipo A – Compactação quente e com alta pressão e as do Tipo B – Compactação fria e com baixa pressão.

Em relação aos tipos de operação, os processos de compactação podem ser sub-divididos em duas categorias: Tipo 1 – Compactação feita de uma só vez e Tipo 2 – Compactação contínua, (BHATTACHARYA, 2004).

Diferentes combinações de condições operacionais e modos de operação são possíveis na prática. O processo de compactação que fornece um produto de maior resistência mecânica e de melhor qualidade é o processo que utiliza calor, alta pressão e processo contínuo. É nesse tipo de processo que ocorre uma melhor aderência das fibras, devido à plastificação da lignina resultando em um produto de melhor qualidade em comparação com os produtos dos outros processos.

2.3 Aplicações da Biomassa Compactada

Os consumidores finais ocupam um lugar de destaque na comercialização do briquete. O uso de briquetes está associado à preservação ambiental, pois aproveita resíduos e substitui a lenha e o carvão vegetal. Nos grandes centros, capitais e grandes cidades o briquete tem seu papel destacado, competindo diretamente com a lenha e o carvão vegetal. Na cidade de São Paulo, por exemplo, existem 5.000 pizzarias e 8.000 padarias, das quais aproximadamente 70% utilizam fornos à lenha (CENBIO, Centro Nacional de Referências em Biomassa, 2006). Atualmente os fabricantes de briquetes não têm produto suficiente para atender a esse mercado em sua totalidade. Uma pizzaria ou padaria utiliza em média o equivalente a quatro toneladas de briquete por mês. Para abastecer apenas a região metropolitana da cidade de São Paulo, necessitar-se-ia de 36.400 toneladas de briquetes por mês, ou seja, o equivalente a 254.800 metros cúbicos de lenha por mês (1 tonelada de briquete é equivalente a 7 m³ de lenha).

Um outro uso dos briquetes é nas indústrias cerâmicas, nas quais eles são usados para substituir a lenha, que com o passar do tempo está se tornando escassa e de difícil acesso. A lenha encontrada a grandes distâncias é inviável, pois o frete é dispendioso, encarecendo o produto.

Os briquetes também podem ser utilizados em centrais termelétricas. A queima da biomassa em uma caldeira produz vapor com alta pressão, que é utilizado em uma turbina, a qual se expande e produz trabalho na forma de um eixo giratório, que irá acionar um alternador e produzir, em seus bornes, energia elétrica para consumo (segundo um ciclo motor a vapor Rankine).

A tecnologia envolvida no fornecimento de uma pequena central termelétrica é conhecida e dominada por várias empresas nacionais. A pequena central termelétrica é concebida primitivamente para consumir lenha, podendo também consumir outras biomassas, como casca de amendoim, arroz, algodão, bagaço-de-cana e resíduos celulósicos em geral. O resíduo compactado (briquetes e *pellets*) é ideal pela homogeneidade de forma e pela qualidade energética podendo, inclusive, facilitar a mecanização da alimentação da caldeira. As pequenas termelétricas podem também ser transportáveis, de fácil manutenção sendo operadas por mão-de-obra não especializada.

A biomassa em forma de briquetes pode também ser torreficada. A torrefação dos resíduos da biomassa é uma alternativa viável para melhorar suas propriedades energéticas. O processo de torrefação consiste, basicamente, no aquecimento da biomassa em atmosfera inerte, com baixas taxas de aquecimento até a temperatura final de 300 °C. Para os resíduos em pó, como o bagaço e a serragem, a densificação dos materiais torreficados resulta em combustíveis sólidos que apresentam como características a alta densidade, baixa umidade e forma adequada. A biomassa torreficada apresenta as seguintes propriedades (FELFLY et al, 2005):

1. natureza hidrofóbica, uma vez que não absorve água;
2. alto poder calorífico e menos emissão de fumaça quando queimada;
3. pode ser usada na indústria de aço e também nos processos de gaseificação e combustão;
4. densidade e resistência mecânica similares às da biomassa inicial.

Em algumas aplicações, os resíduos torreficados podem substituir a lenha e o carvão vegetal, reduzindo os custos e os impactos ambientais causados durante a exploração das florestas (FELFLY et al.,2005). A biomassa torreficada é de boa qualidade para a combustão e para a gaseificação, com características favoráveis ao armazenamento e transporte, devido, principalmente, à baixa umidade, à alta densidade e à natureza hidrofóbica.

2.4 Estado da Arte da Compactação de Biomassa

2.4.1 Processos de Compactação a Quente e com Alta Pressão (CQAP)

A CQAP é essencialmente um processo de compactação de biomassa sob condições de aquecimento. Esse aquecimento da biomassa existe devido à fricção exercida durante a compactação. A briquetagem sob temperaturas elevadas pode ser aplicada aos resíduos de biomassa sem o uso de ligantes, devido à decomposição da lignina da biomassa em temperaturas elevadas, a qual age como um ligante natural para as partículas.(Bezzon e Luengo, 1993). A CQAP é o processo mais comumente utilizado pelas empresas.

2.4.2 Compactação por Pressão

Dependendo do tipo de equipamento usado, a compactação pode ser categorizada em três principais tipos: Compactação por prensa de pistão, compactação por extrusora de pressão e peletização. Os produtos para os dois primeiros tipos de compactação são relativamente de grande tamanho e normalmente recebem o nome de briquetes. O material originado no último tipo recebe o nome de *pellets* devido ao seu pequeno tamanho e uniformidade, os *pellets* são particularmente usados por sistemas de alimentação de combustão automatizados (BHATTACHARYA, 2004).

Os principais países que produzem máquinas e equipamentos para compactação são: Alemanha, França, Bélgica, Brasil, Tailândia, Japão e Taiwan (BHATTACHARYA, 2004).

Existem boas empresas que produzem equipamentos para compactação no Brasil; elas se localizam na região Sul e já estão no mercado há mais de 30 anos, e por isso possuem uma tecnologia desenvolvida. Elas podem atender a demanda dos maquinários para compactação no Brasil não necessitando adquirir maquinários importados.

2.4.3 Prensa de Pistão

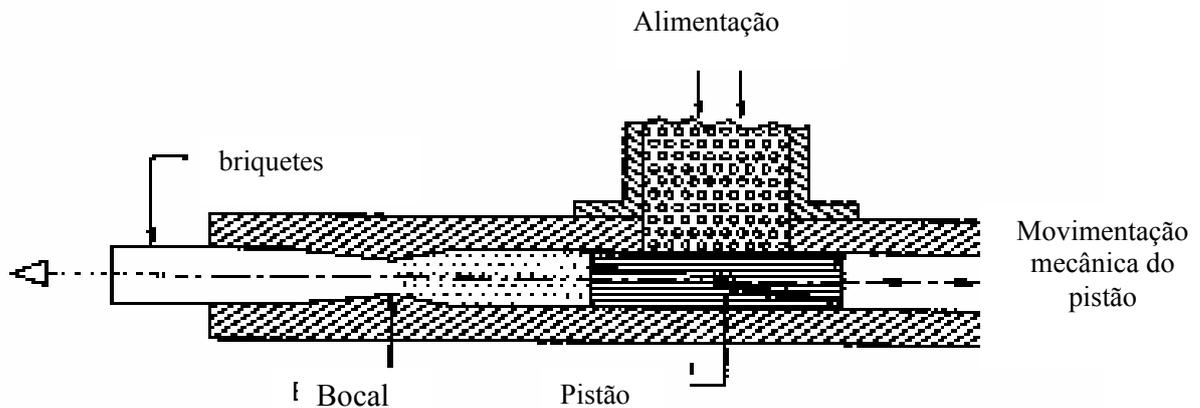
A prensa de pistão, (figura 2.2) consiste em empurrar o material através de uma matriz cônica, num movimento contínuo de vai-e-vem, sendo a alimentação feita por um funil. O material é empurrado pelo pistão para o molde e devido à alta pressão ocorre uma fricção, resultando em um material que atinge uma temperatura entre 150 °C – 200 °C durante o processo. Essa alta temperatura atuante no resíduo causa a modificação da elasticidade natural das suas fibras, formando um novo produto com características diferentes, que recebe o nome de briquetes. A máquina de prensa de pistão elétrica é colocada numa base fixa. A prensa de pistão com esteira hidráulica é uma tecnologia de desenvolvimento relativamente recente. A prensa de pistão, em geral, é provida de um longo tubo. Esse tubo serve para a produção de briquetes cilíndricos de alta densidade. O resfriamento é necessário para solidificar a lignina presente no briquete.

As máquinas possuem uma capacidade que pode variar de 40 kg/h a 1.500 kg/h. Entretanto, algumas máquinas podem chegar a 2.500 kg/h. Já os briquetes são quase sempre cilíndricos, com diâmetros entre 50 mm a 100 mm. Devido às altas pressões, ocorrem problemas de desgastes na

camisa do pistão, em decorrência do constante atrito ocorrido nas peças,(LEQUEUX et al.,1988). De acordo com os pistões fabricados na Índia apresentaram dois problemas em suas partes essenciais (BHATTACHARYA, 2004):

1. Os desgastes dos eixos de manivelas;
2. O desgaste na cruzeta responsável pela pressão.

Essas partes são apontadas como sendo as principais causas do desgaste da máquina. O óleo depositado na superfície exposta é responsável pelo acúmulo de poeira, na peça principal da câmara, sendo esta transportada para o interior, interrompendo a lubrificação e causando a quebra do equipamento.



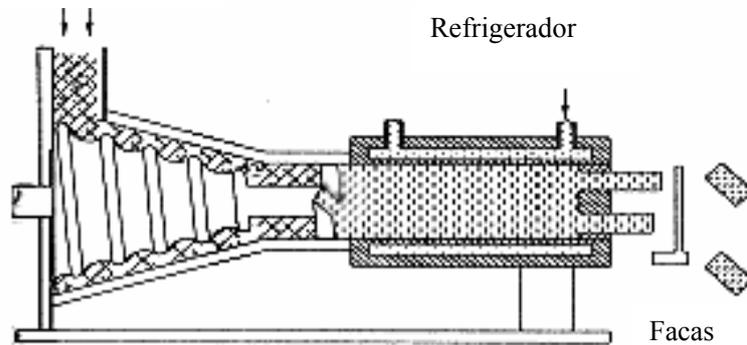
Fonte: Bhattacharya (2004).

Figura 2.2 - Prensa de Pistão.

2.4.4 Extrusora de Pressão Cônica (EPC)

Esse tipo de equipamento (Figura 2.3) é uma máquina compactadora de resíduos. A extrusora força o material a entrar comprimido na câmara e molda o material através de uma matriz, produzindo briquetes de diâmetro de aproximadamente 2,5 cm; em seguida, uma faca corta o produto compactado no comprimento especificado. A EPC pode ser usada também para produzir briquetes com diâmetros de 10 cm, sendo que para isso torna-se necessário aumentar a matriz.

Entrada do material



Fonte: Bhattacharya (2004).

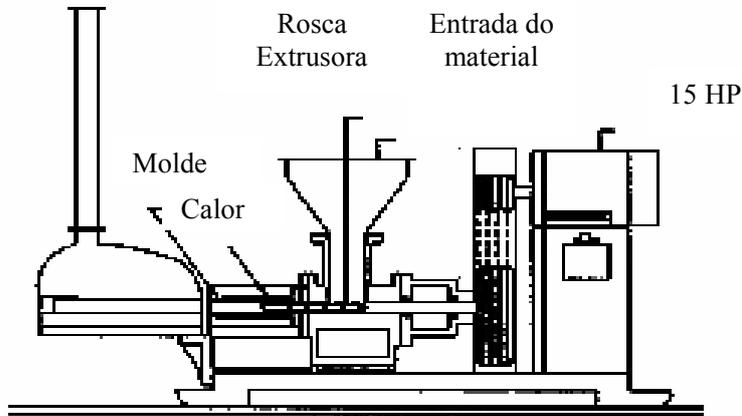
Figura 2.3 - Extrusora de Pressão Cônica (EPC)

2.4.5 Extrusora de Pressão com Molde Aquecido (EPMA)

Nesse tipo de extrusora, o material é forçado a passar direto por uma parte estreita, cônica, levemente aquecida, com um molde de saída. Normalmente seu acionamento é elétrico. O formato do molde dos briquetes pode ser circular ou quadrado, sendo este último com os cantos arredondados. O orifício central serve para aumentar a densificação do material, devido à rotação da extrusora. Os briquetes apresentam de 5 cm a 10 cm de diâmetro. A temperatura de aquecimento na produção é por volta de 300 °C. O material aquece acima dos 200 °C durante o processo, sendo a maior parte do aquecimento causada pela existência do atrito. Os briquetes são parcialmente pirolizados na superfície, gerando uma grande quantidade de fumaça durante o processo. O modelo da extrusora resulta na formação de um orifício circular central no briquete, o qual permite a saída da fumaça durante o processo de briquetagem. Essas máquinas possuem geralmente uma única extrusora cônica, mas existem máquinas que utilizam extrusoras múltiplas e que são capazes de utilizar 2 ou 3 extrusoras simultaneamente. Esse tipo de máquina foi inventada no Japão, em 1945 (KISHIMOTO E BOLEY, 1968). As máquinas possuem capacidade de briquetagem que pode variar de 50kg/h a 800 kg/h. De acordo com Bhattacharya, 2004, os maiores problemas de manutenção destas máquinas são:

1. desgaste da rosca extrusora;

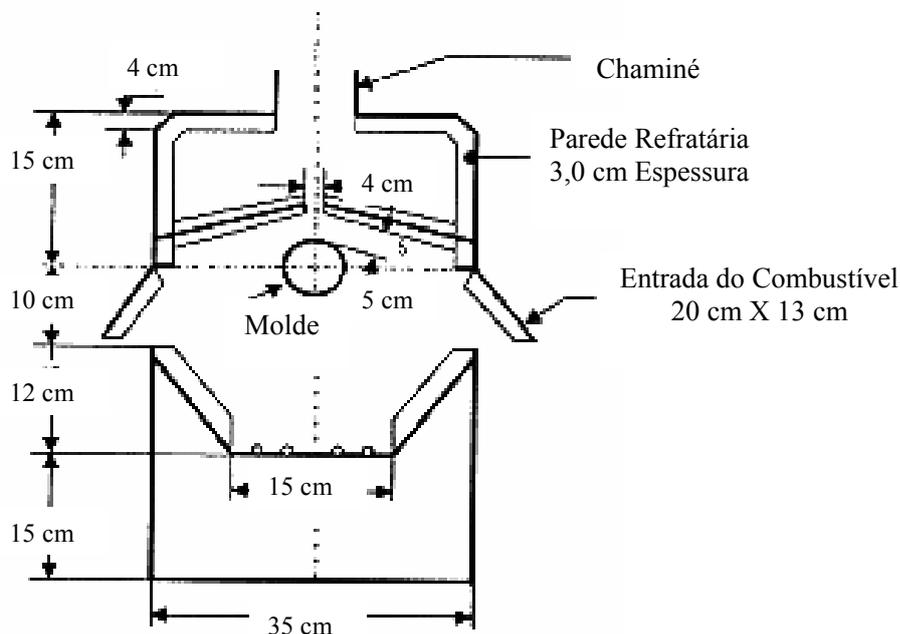
2. desgaste da matriz (ver Seção 2.7).



Fonte: Bhattacharya (2004).

Figura 2.4 - Extrusora de Pressão com Molde Aquecido

A matriz de aquecimento que utiliza biomassa (normalmente briquete) foi desenvolvida recentemente pelo Instituto de Tecnologia Asiático. Países como Bangladesh e Tailândia reduziram o consumo de eletricidade durante o processo de briquetagem utilizando um sistema de aquecimento na matriz, que consiste em um pré-aquecimento da matriz através de um sistema refratário que aquece a rosca extrusora reduzindo o consumo de eletricidade, já que o material pré-aquecido a ser compactado passa pela rosca extrusora. (BHATTACHARYA et al., 2002). O sistema é ilustrado na Figura 2.5. Países como Bangladesh, utilizando briquetes de alta densidade em suas indústrias, conseguiram reduzir o consumo de eletricidade em 25% (KUMAR et al., 2005).



Fonte: Bhattacharya (2004).

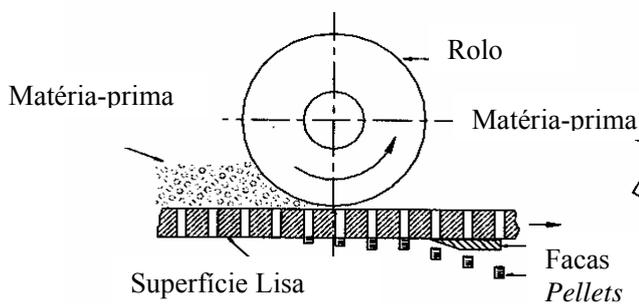
Figura 2.5 - Sistema de Aquecimento da Matriz

2.4.6 Prensa de Peletização

Esse tipo de prensa consiste de um molde e um cilindro. O molde rola em contato com o cilindro. O material a ser peletizado é atritado por pressão e forçado diretamente para fora do molde. O material compactado sai do molde com um formato uniforme e contínuo. Sendo cortado com facas no comprimento desejado.

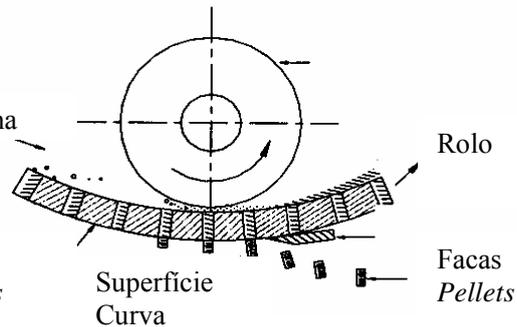
São apresentados nas figuras 2.6 a e 2.6 b dois tipos de cilindros de molde de pressão: i) a matriz da roda consiste em um molde com um formato de uma roda e um cilindro; ii) a matriz do disco de pressão consiste de um molde na forma de um disco plano e um cilindro. A capacidade dessas máquinas pode variar de 1 t/h a 30 t/h. Um outro tipo de máquina peletizadora é a prensa de perfuração (Figura 2.7). Nesse tipo de prensa, o material é perfurado através da aplicação de uma força, diretamente no orifício do molde. Existe também uma tecnologia de peletização chamada “roda dentada” (HARTMANN,1997). Neste caso, o material compactado é forçado a passar direto em dois cilindros externos como mostra a Figura 2.8. Dependendo do corte

transversal que passa pelo molde, obter-se-á um produto no formato de um *pellet* ondulado. Essas máquinas de peletização podem compactar também cereais, forragens, palhas, capim etc. As máquinas de peletização possuem capacidade de 3 t/h a 8 t/h. As máquinas peletizadoras podem ser fixas ou móveis, montadas em um sistema de carregamento fora da máquina colheitadeira. Este tipo de operação almeja reduzir e promover a secagem da matéria-prima, compactando-a no próprio campo. O tamanho dos *pellets* são normalmente de 5 mm a 15 mm de diâmetro, com um comprimento de 30 mm.



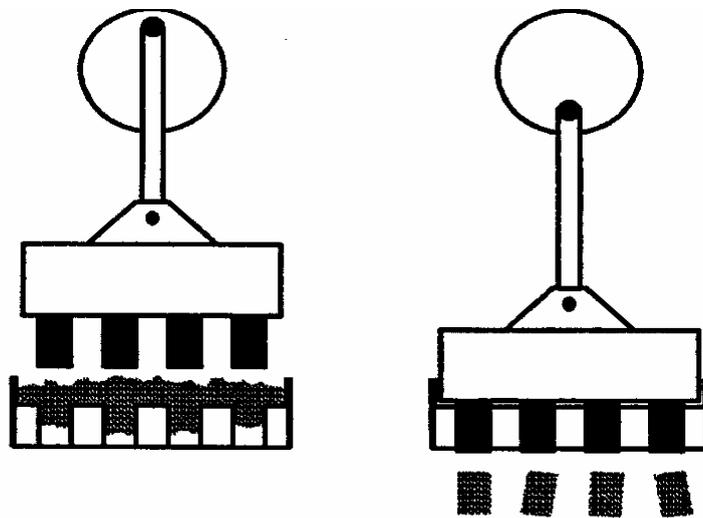
Fonte: Bhattacharya (2004).

Figura 2.6 a - Moinho com Matriz de Disco.



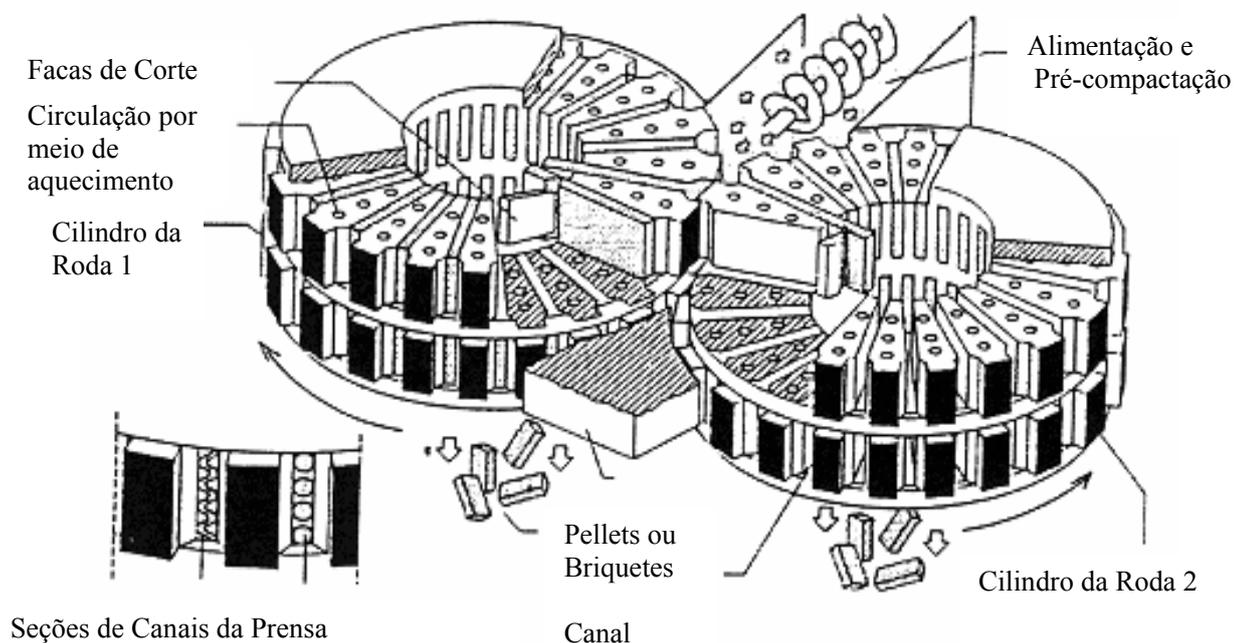
Fonte: Bhattacharya (2004).

Figura 2.6 b - Moinho com Matriz de Anel.



Fonte: Bhattacharya (2004).

Figura 2.7 - Diagrama de uma Prensa Perfuradora



Fonte: Bhattacharya (2004).

Figura 2.8 - Máquina Peletizadora com Sistema de Roda Dentada

2.5 Mecanismo de Compactação

Embora a compactação seja uma tecnologia bastante conhecida, não há um consenso a respeito do processo mecânico mais adequado para efetuar-se a compactação da biomassa.

A lignina, importante componente da biomassa, amolece entre as temperaturas de 130 °C a 190 °C e, com isso, a lignina amolecida plastifica-se a uma temperatura inferior a 100 °C, influenciada pela água (KOSER et al., 1982). A lignina atua como elemento aglomerante das partículas da biomassa durante a compactação, justificando a não utilização de aglomerantes artificiais (resinas, ceras, etc).

A teoria, sobre a forma de amolecimento da lignina, não é aceita universalmente. Pickard et al (1961) afirmaram que a agregação da biomassa pode em parte ser atribuída aos produtos adesivos originários a partir da degradação da hemicelulose.

Pickard et al. (1961) sugeriram essa explicação devido à influência da pressão aplicada. As substâncias moleculares são expulsas da célula da planta, obrigando as partículas a se agregarem.

De acordo com Barofti (1987), a água liga-se quimicamente à biomassa devido ao aumento da pressão e da temperatura durante a compactação. A água, em forma de vapor, dissolve a pectina que se prende à parede da célula e conduz à ligação das partículas.

Apesar da falta de consenso na literatura a respeito do mecanismo exato do processo ocorrido na compactação, o amolecimento da lignina é o responsável mais provável pela aderência das partículas. Entretanto, parte do efeito de adesão pode ser atribuído aos produtos adesivos da degradação da hemicelulose, produzidos pela ação da pressão e da temperatura, que contribuem também para essa ligação das partículas durante o processo de compactação.

2.6 Energia Utilizada para a Compactação

A tabela 2.5 mostra a energia consumida em kWh/t na compactação de resíduos, utilizando várias tecnologia.

A compactação de resíduos possibilita sua aplicação como fonte de energia, porém o balanço de energia durante o processo deve ser rigorosamente feito.

A quantidade de energia utilizada para a compactação dos vários tipos de materiais é mostrada na Tabela 2.5. Pode-se notar que a quantidade de energia real utilizada é medida por Carre et al. (1987) foi substancialmente mais elevada do que os valores citados pelos fabricantes. Verifica-se que as briquetadeiras extrusoras com matriz aquecida, promovem um gasto maior de energia em comparação com a briquetadeira de pistão.

As briquetadeiras extrusoras com matriz aquecida, com capacidade de 100 kg/h usadas por Carre et al.(1987), consomem aproximadamente 70 kWh para produzir uma tonelada de briquete. As briquetadeiras extrusoras com matriz aquecida, com capacidade de 400 kg/h, utilizam uma quantidade muito mais baixa de energia por tonelada, de 25 kWh/t a 55 kWh/t. Assim, o consumo de energia para compactação por tonelada do material *in natura* depende da capacidade ou do projeto da máquina de compactação, fato este comprovado no caso da briquetadeira extrusora com matriz aquecida.

Tabela 2.5 Energia consumida (kWh/t) na compactação com várias tecnologias

	Briquetadeira de rosca cônica	Briquetadeira extrusora com matriz aquecida	Peletizadora	Briquetadeira de pistão
Valores Nominais Fornecidos pelos fabricantes	45-55 (1)	60 (1) 12-29 (1)	10-25 (1) 175 (1) 30-50 (1) 10-60 (1)	35-150 (2) 19-33 (1) 21-38 (1) 63-100 (3) 65-90 (3) 50-70 (2) 45-60 (1)
Valores Reais	84-128 (1)	100-200 (1) 110-170 (3) 150-220 (2)	300 (1) 37 (3)	53 (3) 80 (2)

Fonte: Carre et al.(1987).

Notas: (1) Resíduos de Madeira; (2) Resíduos Agrícolas; (3) Resíduos Agro-industriais.

O consumo de energia no processo de compactação constitui uma fração considerável da energia gasta. Saber esse consumo é necessário para a avaliação da tecnologia apropriada a ser usada para a compactação da biomassa. O sistema de compactação da biomassa requer o uso de energia para os dois principais processos envolvidos: i) no abastecimento e preparação do material a ser compactado, isto é, na secagem e na preparação granulométrica; ii) e na compactação propriamente dita. A quantidade de energia gasta depende do material que será compactado. Por exemplo, a casca de arroz obtida nos moinhos pode ser compactada sem a necessidade de nenhuma redução de tamanho. Por outro lado, se o material *in natura* necessitar de secagem e redução de tamanho, a quantidade necessária de energia para preparar o combustível pode ser significativa. A energia requerida no processo de compactação em si é considerada um valor adicional. Produtos dentro das especificações e de boa qualidade necessitam de uma quantidade menor de energia durante o processo de compactação (CARRE et

al., 1987); (LEQUEUX et al., 1988). A redução no tamanho da partícula melhora a densidade e a fluidez do material, bem como reduz o consumo de energia durante o processo de compactação.

2.7 Desgastes e Revestimentos dos Componentes das Máquinas de Compactação

Entre os diferentes tipos de máquinas de compactação, o desgaste da rosca extrusora é o que apresenta o maior problema, sendo este o componente mais importante do equipamento. Durante a briquetagem, o contato da biomassa *in natura* na extrusora desgasta as suas partes dianteiras, incluindo a camisa que funciona como um molde. O custo de manutenção da extrusora e da camisa é elevado por causa do desgaste considerável nas peças que requerem substituição freqüente (ERIKSSON e PRIOR, 1990).

Existem vários programas de P&D no mundo, que estudam as formas de reduzir os desgastes da extrusora. O Instituto de Tecnologia da Índia (Indian Institute of Technology) está apoiando novos pesquisadores que desenvolvem materiais, mais resistentes para serem usados nas roscas extrusoras, diminuindo os seus desgastes. Um estudo realizado pelo IIT relatou que o aço carbono EN19 era apropriado para confeccionar a extrusora. Nos testes que foram feitos, a extrusora feita com EN19 com carbureto de tungstênio foi a que apresentou uma maior durabilidade dentre as ligas testadas. Esse material testado suportou 17 h sem manutenção em contraposição às 4 h, no caso do material feito de ferro e cobalto (MISHRA, 1996).

Em pesquisa realizada no Instituto de Energia no Vietnam (Institute of Energy in Vietnam), um projeto regional mostrou que era possível aumentar a vida da extrusora em até 22 h, recondicionando a parte dianteira da extrusora com um eletrodo especial, XHDN 6715 (Kumar et al., 2005). A pesquisa realizada mostrou que as extrusoras recondicionadas com os eletrodos de manganês S-13 duram, aproximadamente, 8 h.

Uma liga relativamente nova de revestimentos duros, o revestimento cerâmico, parece ser promissora para a confecção de rosca extrusora da máquina de briquete. Os resultados iniciais de um estudo realizado na China relataram que o revestimento cerâmico poderia estender a vida da extrusora em mais de 500 h (KUMAR et al., 2005).

2.8 Fatores que Afetam a Compactação

Um grande número de variáveis afetam a compactação. Nesse contexto, é possível mencionar as propriedades do material, tais como o tamanho de partícula, o teor de umidade e a densidade, bem como variáveis de processo tais como, pressão e temperatura.

2.8.1 Temperatura

A temperatura é um dos parâmetros mais importantes que afetam o processo e as propriedades do produto compactado.

Segundo Bhattacharya (1984), a força de compressão necessária para a produção de briquetes depende da temperatura em que eles são compactados. A força máxima ocorre a uma temperatura de 220 °C. A diminuição na força de compressão além desta temperatura provavelmente deve-se à degradação térmica de um ou mais componentes da biomassa.

Motolesy e For (1986) relataram que para a produção de *pellets* em escala de laboratório, nas temperaturas de 130 °C a 170 °C, a força necessária é estável, e que a intensidade aumenta com o aumento da temperatura e da pressão.

2.8.2 Pressão

A compactação é realizada sujeitando a uma pressão na alimentação. Durante o processo de briquetagem mecanicamente são geradas pressões elevadas de 200 MPa. A densidade do produto final aumenta com o aumento da pressão aplicada (REED et al., 1980).

2.8.3 Teor de Umidade

O teor de umidade do material *in natura* a ser compactado é um parâmetro importante na compactação, embora os autores tenham opiniões diferentes sobre seu papel. A umidade facilita a transferência de calor interno durante a compactação e, se a umidade for demasiadamente baixa, a esteira da máquina de compactação não terá um funcionamento adequado devido à difícil transferência de calor. De acordo com Koullas e Koukios (1987), a presença da água parece favorecer a formação da estrutura na ligação. De acordo com Schaap (1985), é impossível a compactação de um resíduo sem umidade, sendo a presença da água necessária para ocorrer o amolecimento da lignina. Entretanto, um teor de umidade elevado causa a formação de vapor

durante a compactação, ocorrendo explosões. O máximo teor de umidade permissível, dependendo do processo, encontra-se na faixa de 10% a 20% (LEQUEUX et al., 1988). A faixa apropriada de umidade para a briquetagem em extrusora de matriz aquecida é de 8% a 12% (KOSER et al., 1982; PITAKARNOP, 1983 ; BHATTACHARYA et al., 1984).

2.8.4 Tamanho das Partículas

Os resíduos apresentam-se na forma de partículas pequenas, tais como, serragem, casca de café e casca de arroz podem ser usados, diretamente, como materiais na alimentação para o processo de briquetagem. Entretanto, a biomassa com partículas maiores, tais como, casca de amendoim, cascas de algodão etc. não pode ser compactada diretamente; estas partículas devem ser reduzidas a um menor tamanho para poderem ser compactadas adequadamente.

Quanto menor a partícula mais fácil será o processo de compactação. Nas partículas menores há uma maior ligação devido a uma maior área de superfície (KOULLAS E KOUKIOS, 1987). Segundo o estudo de Trezek et al. (1981), a utilização de partículas menores provoca aumento na densidade do material compactado.

Baseado em estudos de laboratório, Motolesy e For (1986) relataram que partículas menores resultaram na obtenção de briquetes mais densos. Também foi relatado um aumento na força necessária para a compactação de briquetes com partículas de maior tamanho.

2.9 Preparação da Matéria-Prima

O pré-tratamento da matéria-prima é geralmente constituído por várias etapas que são fundamentais para se alcançar o êxito em um processo de compactação de biomassa. Dependendo da qualidade da matéria-prima, pode ser necessário picar, peneirar, repicar (picar novamente), secar, moer, etc. Todas essas operações unitárias são fatores de encarecimento de implantação do empreendimento e de sua operação. As máquinas de compactação podem processar materiais *in natura* dentro de determinadas faixas de tamanho das partículas e com um determinado teor de umidade. O tamanho da partícula e o teor de umidade em que determinados materiais estão naturalmente disponíveis estão acima dos 12%, sendo considerados altos para a compactação.

Conseqüentemente, secar e reduzir o tamanho são as duas etapas mais importantes na preparação da matéria-prima.

2.10 Secagem do Material

O método utilizado para secar o material depende de diversos fatores que incluem: teor de umidade da matéria-prima, tamanho da partícula, densidade etc. (SMITH et al., 1985). Os principais tipos de equipamentos usados para secarem partículas sólidas são secadores de parafuso de transporte e secadores giratórios (BAIN, 1981). O secador giratório é usado para secar materiais mais densos. Dependendo da eficiência do secador, o mesmo utiliza uma quantidade de energia entre 3.140 kJ a 4.605 kJ para evaporar 1 quilograma de água (LEQUEUX et al. 1988).

Tendo-se em vista a grande incidência solar no Brasil, a utilização da energia solar na secagem de biomassa, apresenta-se como uma excelente alternativa técnica e econômica. O uso de secadores solares permite que o beneficiamento dos produtos possa ser feito com baixo capital inicial, além de exigir apenas um treinamento básico para a sua operação. As pesquisas atuais são direcionadas no sentido de se construir um secador que possa aproveitar o máximo a energia solar incidente, e, que ao mesmo tempo acumule parte dessa energia para secagem noturnas (PIMENTEL et al., 2000).

A EMBRAPA desenvolveu um secador de biomassa solar (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Acre) para pimenta longa que pode ser adaptado a qualquer tipo de biomassa. A biomassa triturada é distribuída no secador solar (fig.2.9) constituindo uma camada de até 15 cm de altura, permanecendo por um período de quatro dias para perda de 15% de umidade. Visando evitar a fermentação e facilitar a aeração durante o processo de secagem, deve-se revirar a matéria-prima pelo menos duas vezes ao dia, nas horas mais quentes da manhã e da tarde. A temperatura interna da biomassa não pode exceder 39 °C (PIMENTEL et al., 2000)



Figura 2.9 - Foto do secador solar de biomassa de pimenta longa EMBRAPA, (2000).

O secador solar funciona por meio da radiação solar e de ventilação natural. Após vários testes verificou-se que, no período das 8 h às 15 h, a temperatura interna atingiu valores de 28 °C a 37 °C, enquanto que a umidade ficou entre 50% e 88%. Observou-se que um período de 96 h é suficiente para que a biomassa de pimenta longa tenha a sua umidade de 65% a 67% reduzida para 50% a 55%, sem perdas de rendimento do óleo essencial e de safrol. O secador, que deve ser disposto na direção leste-oeste para otimizar a passagem da luz solar, possui no teto um lanternim, e em seu piso de madeira, uma cobertura com sombrite, permitindo 50% de passagem de luz (figura 2.10). Na tabela 2.6 constam os dados para construção de um secador com capacidade para 9.000 kg de biomassa fresca e triturada (EMBRAPA, Acre, 2000).

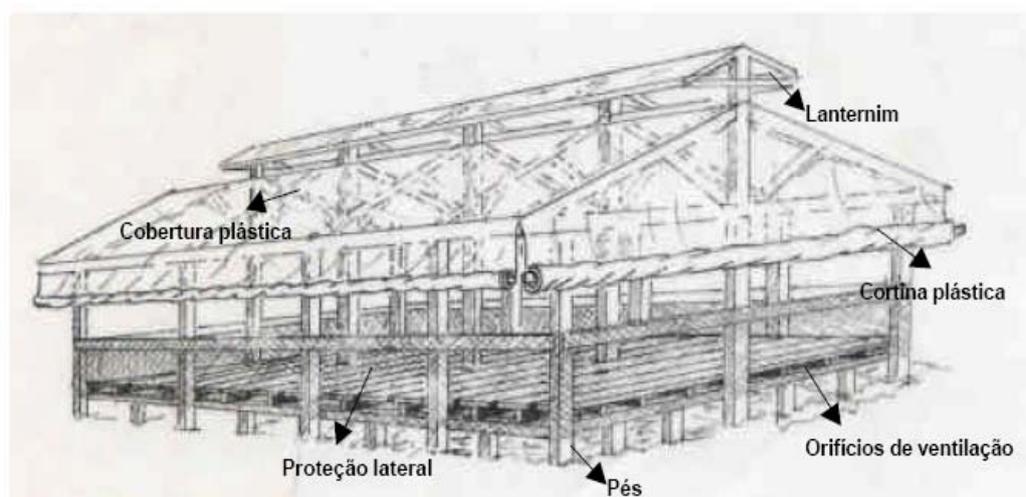


Figura 2.10 - Esquema do secador solar de pimenta longa, (EMBRAPA, 2000).

Tabela 2.6 Caracterização de um secador solar

Descrição	Dimensões (m)
Largura	10
Comprimento	15
Beiral da cobertura	0,5
Altura do piso	0,5
Altura dos pés	0,5
Altura da proteção telada lateral	1,0
Orifício de ventilação	0,05
Largura do lanternim	2,2
Altura do lanternim	0,3
Altura lateral a partir do piso	2,5
Altura central a partir do piso	3,5
Cortina plástica lateral	15 x 2,5
Cortina plástica central	10 x 2,5

Fonte: EMBRAPA (2000).

2.11 Redução do Tamanho da Partícula

Para a maioria dos equipamentos de compactação, o tamanho máximo das partículas da matéria-prima não deve ser superior a 25% do diâmetro do produto compactado. A redução do tamanho é feita, geralmente, por meio de um moinho-de-martelos. A madeira e outros materiais, como a palha, requererão um pré-tratamento antes de serem colocados no moinho- de-martelos.

2.12 Matéria-Prima Pré-Aquecida

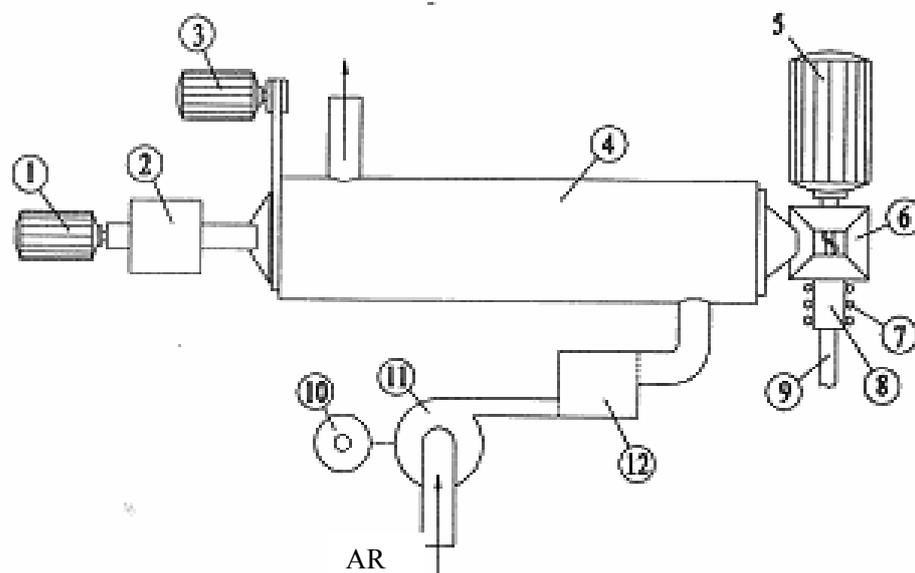
As matérias-primas que são moídas e pré-aquecidas utilizam uma quantidade menor de energia na briquetagem. Permitem a produção de briquetes de alta qualidade, acarretando um menor desgaste no equipamento. Devido à combinação desses benefícios tem-se uma vida útil maior dos equipamentos (JOSEPH et al. 1985).

De acordo com Reed et al. (1980), o trabalho e a pressão da compressão ou da extrusão poderiam ter uma considerável redução, pré-aquecendo-se a matéria-prima em 200 °C a 225 °C antes da compactação. Esse resultado é esperado desde que se aceite que a lignina, um constituinte da biomassa, se torne macia nas temperaturas encontradas na compactação e aja como um aglomerante interno.

Na briquetagem convencional, a biomassa é aquecida pela fricção quando é forçada a passar pela extrusora. Se a matéria-prima for pré-aquecida antes de ser colocada na máquina de briquetagem, a lignina já estará macia, assim, reduzem-se a força e o consumo energético .

O Grupo Intermediário de Desenvolvimento e Tecnologia da Índia (GIDT) relatou os resultados da briquetagem de matéria-prima pré-aquecida. Os briquetes de serragem foram produzidos em pressões entre 25 MPa a 30 MPa com pré-aquecimento, muito inferior quando comparados a uma pressão de, aproximadamente, 180 MPa, quando não eram pré-aquecidos. Se o material estiver dentro do teor de umidade (12%), poderão ser usadas pressões inferiores a 15 MPa. Os autores (AQA E BHATTACHARYA, 1992) concluíram que as plantas de briquetagem modificadas com pré-aquecimento poderiam operar em pressões mais baixas, reduzindo, dessa forma os desgastes do equipamento e o consumo de energia.

Aqa e Bhattacharya (1992) estudaram os efeitos das variações na temperatura da mesma matéria-prima pré-aquecida (serragem) e, no consumo de energia para compactação da mesma, usando ar pré-aquecido. Um diagrama esquemático do experimento é mostrado na figura 2.11.



1. Motor da rosca extrusora;
2. Alimentador da rosca extrusora;
3. Motor do calefator giratório;
4. Calefator giratório;
5. Motor da briquetadeira;
6. Compartimento de entrada da matéria-prima;
7. Resistência elétrica;
8. Resistência elétrica;
9. Briquetes;
10. Motor do ventilador de ar;
11. Ventilador de ar;
12. Gerador de ar quente.

Fonte: Bhattacharya , 2005

Figura 2.11 - Briquetadeira com Pré-Aquecimento

A compactação da serragem pré-aquecida a uma determinada temperatura conserva uma quantidade significativa de energia. O uso de energia na entrada do motor da máquina de briquetagem foi reduzida em 54%; no calefator em 30%; e no sistema total foram reduzidos em 40%, no caso utilizando o pré-aquecimento a uma temperatura de 130 °C. A diminuição na exigência de energia elétrica por quilograma de serragem permite um aumento na produção da máquina de briquetagem. Um teste de desempenho dessa máquina mostrou que se a temperatura na alimentação da mesma fosse aumentada a 90 °C, aumentaria a vida útil da extrusora em 44 h contra às 17 h sem o pré-aquecimento (GROVER e MISHRA, 1996). Também, a taxa de produção aumentou de 340 kg/h para 360 kg/h e o consumo de energia foi reduzido em 20% .

Capítulo 3

Neste capítulo apresenta-se, uma descrição geral das comparações energéticas entre os briquetes e seus substitutos, bem como apresenta-se um cálculo matemático aproximado do custo do briquete, utilizando-se o princípio de equivalência energética do óleo combustível.

3 Estudo Comparativo entre o Valor Energético dos Briquetes e outros Energéticos

3.1 Estudo Comparativo entre o Valor Energético Primário entre Briquetes e Lenha

A lenha é composta majoritariamente por celulose, hemicelulose e lignina, em proporções variáveis conforme a espécie vegetal, além de outras substâncias, presentes em menor quantidade, como resinas, nutrientes da planta e outras. É natural, pois, encontrar ampla variação entre os dados de diferentes fontes de informação sobre as características físico-químicas da biomassa, em particular os teores de carbono e de hidrogênio e os poderes caloríficos superior e inferior.

Comparado à lenha, o briquete apresenta muitas vantagens, pois o seu poder calorífico e o seu baixo teor de umidade (8% a 12%) o farão sempre superior à lenha (25% a 35% de teor de umidade). Tanto pela maior densidade, como pelo maior poder calorífico, ter-se-á na estocagem sempre mais energia por unidade de volume, reduzindo-se os pátios de estocagem à dimensão dos equipamentos de queima.

Um estudo feito pelo laboratório de produtos florestais LPF/IBAMA mostrou que o processo de compactação de resíduos apresenta algumas vantagens adicionais na geração de energia. O Balanço Energético Nacional (BEN) do Ministério das Minas e Energia – MME, atribui para a lenha catada, ou seja, aquela que provém de coleta residual, da sobra de exploração florestal ou de resíduos, e não tendo origem em plantios homogêneos, a unidade primária metro

cúbico estéreo (m^3st) e densidade de $300 \text{ kg}/m^3st$, com poder calorífico de $13.794 \text{ kJ}/\text{kg}$ a 25% de unidade.

Para obter uma tonelada de lenha seriam necessários 3,33 st de lenha, denominada vulgarmente de metro de lenha. Considera-se que cada tonelada de lenha possua 3,33 estéreos de lenha, ou popularmente 3,33 metros de lenha. Com o poder calorífico de $13.794 \text{ kJ}/\text{kg}$. O LPF/IBAMA, em várias medições recentes do poder calorífico de briquetes de resíduos, obteve um valor médio de $18.392 \text{ kJ}/\text{kg}$ com uma densidade média de $655 \text{ kg}/m^3$. Os briquetes variam de densidade a granel em função da pressão e do diâmetro de produção adotado. Para estabelecer uma comparação entre o rendimento energético de briquetes de resíduos e da lenha catada deve-se fazer os seguintes cálculos:

1 t de lenha – $13.794 \text{ kJ}/\text{kg} \times 1000 = 13.794.000 \text{ kJ}$

1t de briquetes – $18.392 \text{ kJ}/\text{kg} \times 1000 = 18.392.000 \text{ kJ}$

1 t de lenha ocupa $3,3 \text{ m}^3$ - em 1 tonelada de lenha, tem-se 250 kg de água.

1 t de briquetes ocupa $1,5 \text{ m}^3$ - em 1 tonelada de briquetes, tem-se 80 kg de água.

A lenha é um material heterogêneo que provém de diferentes espécies de madeira, com forma variável e teor de umidade geralmente elevado. O briquete apresenta forma regular, teor de umidade próximo de 8% e constituição homogeneizada pelo processo de compactação. Esses fatores fazem com que, em um equilíbrio térmico, o briquete alcance um rendimento térmico superior a 50%, mencionado pela literatura técnica e comprovado pelo LPF/IBAMA.

Uma indústria cerâmica operando com briquetes ou *pellets*, consegue uma operação homogênea com ciclos de queima mais curtos e uma proporção de produtos de primeira qualidade bastante superior, facilitando a regulação e o aperfeiçoamento do processo produtivo. Isso significa utilizar menos toneladas de briquetes ou *pellets* em comparação com toneladas de lenha, tanto pelo conteúdo energético, como pelo rendimento térmico superior. Em consequência, a rentabilidade econômica do processo produtivo é maior. Além disso, a irregularidade de fornecimento de lenha, identificada por todos os tipos de indústrias da região, pode ser vencida, ao adotar-se, como suprimento, o briquete.

Uma indústria cerâmica é sensível à importância da qualidade da lenha e observa-se na prática a diferença de operar com lenha de má e de boa qualidade. Dessa maneira, se considerasse o poder calorífico do briquete ele será superior em 1,33 vezes ao da lenha, e que o rendimento energético é superior em 50%, pode-se admitir que o custo da tonelada de briquetes chegue ao dobro da tonelada da lenha.

$$\begin{aligned} & 1,33 \text{ (superioridade do PC do briquete)} \\ & \times 1,5 \text{ (superioridade no rendimento do forno)} \\ & = 2 \text{ (superior ao rendimento da lenha)} \end{aligned}$$

De acordo com o cálculo anterior, seria necessário a metade da quantidade de briquetes para realizar o mesmo efeito ao substituir-se a lenha.

3.2 Estudo Comparativo do Valor Energético Primário entre Briquetes e Gás Natural

O Balanço Energético Nacional (BEN) do Ministério das Minas e Energia - MME atribuiu para o gás natural seco (kJ/m^3) o poder calorífico inferior (PCI) de 36.784 kJ/m^3 . Então, para 1.000 m^3 de gás natural seco tem-se $36.784.000 \text{ kJ}$, enquanto que para cada tonelada de briquetes tem-se, em média, um poder calorífico médio de $18.392.000 \text{ kJ}$. Para estabelecer uma comparação entre o rendimento energético de briquetes de resíduos e do gás natural seco deve-se fazer os seguintes cálculos:

$$1.000 \text{ m}^3 \text{ de gás natural seco} - 36.784 \text{ kJ/m}^3 \times 1.000 = 36.784.000 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ tonelada de briquetes} - 18.392 \text{ kJ/kg} \times 1.000 = 18.392.000 \text{ kJ}$$

De acordo com os cálculos anteriores, seriam necessárias 2 toneladas de briquetes para produzir o mesmo efeito que 1.000 m^3 de gás natural seco. Levando-se em conta a instabilidade do fornecimento de gás natural, sendo que boa parte desse gás utilizado é importada da Bolívia e, devido à instabilidade de preços nos últimos anos, poder-se-ia, em alguns projetos, substituir o gás natural por briquetes, desde que o preço final de ambos seja compatível.

Regiões do país que são desprovidas de gasodutos poderiam utilizar combustíveis oriundos da biomassa em forma de briquetes, produzidos no próprio local, utilizando resíduos locais gerados na própria comunidade, quase sempre desperdiçados ou utilizados de forma indevida.

Existe um potencial considerável para a modernização do uso dos combustíveis de biomassa na produção de vetores energéticos, como gases, combustíveis automotivos e eletricidade, ao mesmo tempo em que preservam-se usos tradicionais desde a época de seus antepassados. Essa modernização do uso industrial da biomassa já acontece nos países industrializados. Quando produzida de forma eficiente e sustentável, a energia da biomassa traz inúmeros benefícios ambientais e sociais, quando comparada aos combustíveis fósseis.

3.3 Estudo Comparativo do Valor Energético Primário entre Briquetes e Óleo Combustível

O Balanço Energético Nacional (BEN) do Ministério das Minas e Energia – MME atribuiu para o óleo combustível (kJ/kg), poder calorífico inferior de 40.086 kJ/kg. Portanto, esse é o valor adotado para se chegar ao presente raciocínio.

Para uma tonelada de óleo combustível tem-se 40.086.200 kJ. Considerando que cada tonelada de briquetes possui em média um poder calorífico médio de 18.392 kJ/kg, para estabelecer uma comparação entre o rendimento energético de briquetes de resíduos e de óleo combustível deve-se fazer os seguintes cálculos:

1 tonelada de óleo combustível – 40.086 kJ/kg X 1.000 = 40.086.000 kJ

1 tonelada de briquetes – 18.392 kJ/kg x 1.000 = 18.392.000 kJ

De acordo com o cálculo anterior, seriam necessárias 2,18 toneladas de briquetes para produzir o mesmo efeito que 1 tonelada de óleo combustível. Lembrando que em regiões remotas, para cada quilograma de combustível utiliza-se mais um quilograma no transporte, ou seja, para produzir o mesmo efeito utiliza-se o dobro de combustível. Dependendo do uso do óleo combustível, em alguns projetos, poder-se-ia substituir este combustível por briquetes, melhorando as emissões de poluentes, por se tratar de um combustível renovável e aproveitando resíduos locais que, geralmente, não estão sendo utilizados de forma racional.

Nos cálculos anteriores não foram levados em conta as eficiências dos combustíveis nas transformações em outro energético, tendo sido analisados apenas o poder calorífico primário de cada um deles.

3.4 Custo do Briquete

É difícil apresentar um cálculo preciso do custo do briquete. De acordo com o LPF/IBAMA, pode-se utilizar o princípio de equivalência energética do óleo combustível, da lenha ou do gás natural, que são substituídos geralmente pelo briquete de resíduos. Basta considerar o poder calorífico inferior do briquete a sua eficiência de queima em caldeiras e relacionar estes valores ao óleo combustível (os outros combustíveis seguirão o mesmo critério).

Exemplo:

PCI óleo combustível = 40.086 kJ/kg

PCI briquete = 18.392 kJ/kg

Considerando a eficiência em calorias (n)

n óleo combustível = 92%

n briquete = 80%

Em conseqüência, ter-se-ia uma equivalência energética ao óleo combustível igual a 0,398:

IEO = 0,398 (índice de equivalência de óleo)

Calculando-se o custo do transporte (CT) pelo

$CT = CTt \times D$,

onde CTt = custo de transporte por tonelada por km

D = distância em km.

Assim o custo do briquete (Cb):

$Cb = Coc \times 0,398 - CT$

onde Coc = custo do óleo combustível

Circ. Téc. LPF, Brasília. Vol.1 .nº 2 89-90. (1991)

Nos itens anteriores, foi relatado que o briquete pode ser um substituto de outros tipos de energéticos, contribuindo com a redução da emissão dos gases de efeito estufa. Para tal basta utilizar-se processos de forma adequada que possuam uma boa eficiência na transformação, em outros vetores energéticos.

Capítulo 4

O Estudo de Caso de uma Madeireira

Visando uma maior aplicação industrial da tecnologia de briquetagem, foi efetuada uma análise técnico-econômica para a implementação de uma fábrica de compactação de resíduos madeireiros em uma empresa de artefatos de madeira de Tietê-S.P, analisando as estruturas de custos operacionais e simulando quatro cenários econômicos: com e sem isenção de impostos para a produção de briquetes e *pellets*.

4.1 Estudo da Viabilidade Técnico-econômica de uma Fábrica Compactadora de Resíduos para Fins Energéticos

A geração de resíduos é uma característica intrínseca da cadeia produtiva florestal, constituindo-se em um grande passivo ambiental. Dentro do contexto atual, em face das perspectivas de esgotamento das fontes de combustíveis fósseis, das resoluções do Protocolo de Quioto (implementado em fevereiro de 2005) e das pressões ambientais por parte de entidades ambientalistas e governamentais, de instituições de pesquisa e da própria sociedade, torna-se de fundamental importância o desenvolvimento de alternativas energéticas ao suprimento de energia tradicional que, preferencialmente, induzam ao desenvolvimento sustentável. Nesse sentido, o presente estudo ambiciona discorrer a respeito de um caso pouco comum no Brasil: a introdução de uma fábrica de briquetes (em uma empresa madeireira), com vistas à promoção de geração energética descentralizada¹. Naturalmente, um aspecto fundamental que num primeiro momento

¹ No Brasil, a questão do acesso à energia elétrica vem sendo considerada – pelo Governo Brasileiro – como crucial para a superação de entraves sociais, econômicos e educacionais. Cerca de 10 milhões de brasileiros ainda não possuem eletricidade em seus lares. A maior parte dessa população habita a zona rural das regiões Norte e Nordeste

precisa ser analisado é a questão da viabilidade técnico-econômica associada à introdução da supracitada fábrica.

O estudo de viabilidade técnico-econômica baseou-se em dados reais, disponibilizados pela madeireira, especializada na fabricação de portas, janelas, guarnições e acessórios. O estudo abrangeu quatro tipos de cenários: 1) uma prensa de rosca extrusora com matriz aquecida, com isenção de impostos; 2) uma prensa extrusora com matriz aquecida, sem isenção de impostos; 3) uma prensa de pistão, com impostos e com uma redução no custo da matéria-prima; 4) uma máquina peletizadora.

A empresa madeireira gera 10 t de resíduos de madeira por dia, o que é equivalente a 2.640 t/ano. Tais resíduos são armazenados em dois silos de estocagem e misturados na forma de malha ou pó. Os silos são esvaziados três vezes por semana. Atualmente, 20% dos resíduos são utilizados para geração de vapor em caldeiras dentro da própria empresa e o restante é vendido ao preço de R\$ 100,00/t (FOB) (em Junho de 2006) para empresas locais, também com a finalidade de gerar energia.

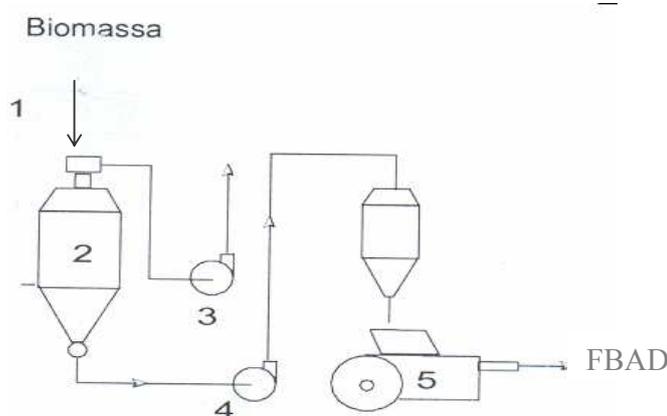
O transporte é feito por caminhões basculantes. A empresa trabalha em apenas um turno de 8 h com horário de almoço, de segunda à sexta-feira. Aos sábados o turno é de 4 h. A empresa apresenta demanda de energia equivalente a 580 kVA por mês. A modalidade tarifária para a demanda e consumo de energia elétrica é a Tarifa Verde².

do país (não por acaso, tais regiões são as que registram as piores rendas per capita e índices de analfabetismo). Nesse contexto, iniciativas públicas precisarão, cada vez mais, fomentar a geração energética descentralizada que, num país de dimensões continentais e caracterizado por regiões de difícil acesso (típicas do Norte e do Nordeste do Brasil), muitas vezes é a única alternativa.

² Para um aproveitamento melhor e mais racional do fornecimento de energia elétrica, a ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, criou as Tarifas Azul e Verde. São modalidades tarifárias estruturadas para aplicação de preços diferenciados para a demanda de potência e consumo de energia elétrica, conforme o horário de utilização durante o dia (ponta e fora de ponta) e nos períodos do ano (seco e úmido). As tarifas praticadas no horário de ponta, ou no período seco, são mais caras. Essa atribuição de preços diferenciados se justifica pela necessidade de se estimular o deslocamento de parte da carga para horários em que o sistema elétrico estiver menos carregado e de se orientar o consumo para períodos do ano em que houver maior disponibilidade de água nos reservatórios das usinas. Isso representa grande economia para o país, racionalizando e garantindo o fornecimento regular da energia. Esta modalidade tarifária só pode ser aplicada a unidades consumidoras atendidas em tensão inferior a 69 kV (A3a, A4 e AS), sendo neste caso também necessário um contrato específico, onde pode-se destacar as seguintes características: (1) Um único valor de demanda contratada (kW), independentemente do posto horário (ponta ou fora de ponta), sendo aplicada uma única tarifa para esta demanda; (2) Dentro do período de faturamento, a demanda faturável será o maior valor dentre a demanda contratada e a demanda medida; (3) Um único valor de tarifa para o caso de

4.2 Viabilidade Técnica

Uma fábrica de briquetes de alta densidade (FBAD), em geral, é composta por uma entrada de biomassa (1), um silo secador (2), um exaustor (3), um sistema de transporte pneumático (4), e uma prensa extrusora de parafuso sem-fim (5), tal como esquematizado pela Figura 4.1. A fábrica em análise possui capacidade para produzir 1200 kg/h, potência nominal de 75 kW e requer um investimento em equipamentos da ordem de R\$ 148.000,00.



Fonte: FELFLI (2005).

Figura 4.1 - Fluxograma da fábrica de briquetes de alta densidade (FBAD)

Notas: 1 = Compartimento de entrada de biomassa; 2 = silo secador; 3 = exaustor; 4 = sistema de transporte pneumático; e 5 = prensa extrusora.

A planta apresenta uma área para estoque de serragem (o silo de armazenagem) e uma área nas quais estarão localizados os equipamentos:

- Equipamento de Briquetagem completo (Sistema de transporte pneumático e extrusora)
- Painel elétrico com *Soft Start* incluso.

ultrapassagem de demanda; e (4): Embora não seja explícita, a Resolução 456 permite que sejam contratados dois valores diferentes de demanda, um para o período seco e outro para o período úmido.

O modelo da briquetadeira foi escolhido de acordo com sua capacidade de produção, já que a geração de resíduos é de 10 t/dia. Para uma briquetadeira que trabalhe 8 h/dia é necessário um equipamento com capacidade para 1.200 kg/h a 1.300 kg/h.

Os preços dos equipamentos são apresentados pela Tabela 4.1, conforme cotações realizadas junto ao fabricante nacional em 2006.

Tabela 4.1 Preços dos Equipamentos de briquetagem

Equipamento	Capacidade kg/h	Potência kW	Valor R\$
<i>Equipamento de briquetagem completo com Soft Start incluso</i>	1300	75	148.000,00
<i>Total da Usina</i>	1300	75	148.000,00

A área da planta será de 25 m² para o espaço destinado à máquina briquetadeira. Junto à esta área, haverá um galpão onde serão armazenados os briquetes já embalados, cuja área será calculada com base na produção de briquetes, nas dimensões da embalagem e no tempo estimado de armazenamento.

A produção e regime de trabalho são apresentados pela tabela 4.2, conforme informações da indústria madeireira.

Tabela 4.2 Produção e regime de trabalho

Produção da máquina briquetadeira	1.000 kg/h (83%)	176 h/mês
Regime de trabalho	8 h/dia (segunda-feira a sexta-feira) 4 h/dia (sábado)	
Total de briquetes/mês	176.000 kg /mês	

Os briquetes, de formato cilíndrico, terão, em média, as seguintes dimensões:

- Diâmetro = 90 mm;
- Orifício central $\Phi = 25$ mm;
- Comprimento = 500 mm.

As embalagens dos briquetes serão sacos confeccionados em rafia e cada embalagem terá capacidade para 50 kg. Para a produção de 2.112.000 kg serão utilizadas 42.240 embalagens/ano.

O galpão retangular terá 20 m de comprimento por 8 m de largura. Assim, a área total do galpão será de 160 m². Observa-se que o custo médio da construção civil no Estado de São Paulo, em agosto de 2004, era de R\$ 558,85/m², referente ao material e à mão-de-obra (IBGE/DPE/COINP, 2004). Assim, a construção das duas áreas (galpão de estoque e área para equipamentos) resultará em um custo médio de R\$ 103.388,00.

O local de implantação desse projeto será no interior da empresa madeireira, próximo aos silos armazenadores, para facilitar o transporte até a máquina de briquetagem. Como a silagem do material já é realizada e o tamanho de partícula da serragem também já é adequado à briquetagem, assim como o teor de umidade dessa serragem é inferior a 10%, as operações de pré-tratamento não serão consideradas nesse estudo.

A produção anual de briquetes será calculada de acordo com a quantidade de resíduos gerados pela empresa, ou seja, de 2.112 t/ano, considerando-se, no entanto, um possível aumento de produção. Assim, é preciso levar em conta a capacidade ociosa do empreendimento que atenderá a um possível aumento de produção. Como a máquina escolhida apresenta capacidade de 1.200 kg/h, a produção anual de briquetes seria de 2.534 t/ano, ou seja, teria capacidade para produzir 20% mais que a produção de 2.112 t/ano.

4.3 Regime de Produção

O regime de produção será estabelecido de acordo com o horário de funcionamento da empresa, ou seja, em um turno de 8 h, de segunda à sexta-feira, e aos sábados, em um turno de apenas 4 h. A tabela 4.3 resume o regime de trabalho considerado.

Tabela 4.3 Regime de Trabalho da empresa madeireira

<i>Segunda-Sexta-feira</i>	<i>8 h/dia</i>	<i>20 dias/mês</i>	<i>12 meses/ano</i>
<i>Sábados</i>	<i>4 h/dia</i>	<i>4 dias/mês</i>	<i>12 meses/ano</i>
<i>Total:</i>	<i>2.112 h/ano</i>		

Fonte:EMPRESA MADEIREIRA (2006).

4.4 Análise Técnico-Econômica

Para implantar a fábrica torna-se necessário realizar investimentos em instalações industriais como eletricidade, água, telefone, estrutura de suporte de máquinas entre outras necessidades. Estima-se que o custo dessas instalações seja de aproximadamente 10% do valor do maquinário e equipamentos (MACHADO, 2002). É necessária também a aquisição de máquinas, móveis e materiais de escritório. Esses gastos foram previstos e estimados em R\$ 5.000,00, considerando-se a vida útil do projeto. As amortizações que são derivadas de gastos de implantação na fase de pré-investimento e investimento objetivam diminuir o impacto no resultado operacional do projeto (FELFLI, 2005). Neste caso, estes custos serão quitados no primeiro ano do projeto. A Tabela 4.4 apresenta o valor total do investimento fixo em ativos tangíveis que deve ser feito para a implantação do projeto. A depreciação dos ativos que é o custo da perda de valor dos ativos tangíveis devido ao desgaste é de 10 % para máquinas, móveis e utensílios e 4% para edifícios, considerando 10 anos a vida útil das máquinas, móveis e utensílios e 25 anos para os edifícios (MACHADO, 2002).

Tabela 4.4 Investimento fixo em ativos tangíveis

Quantidade	Equipamentos	Custo Unitário (R\$)	Depreciação anual (R\$)
1	Equipamento de briquetagem	148.000,00	14.800,00
1	Instalação industrial	14.800,00	1.480,00
1	Móveis e equip. diversos	5.000,00	500,00
1	Construção civil	103.388,00	4.136,00
	Total	271.188,00	20.916,00

O custo de mão-de-obra deve ser calculado de acordo com a classificação da empresa, que é de médio porte (EMP). O custo da mão-de-obra industrial inclui o pagamento de um funcionário, responsável pelo controle da briquetadeira e de logística dos materiais. Para um salário de R\$ 600,00 mensais, o total anual da folha de pagamento seria de R\$ 10.998,00 (R\$ 916,50/mês), incluindo-se os encargos sociais e demais benefícios, que foram calculados em aproximadamente 50% do valor do salário pago.

Neste caso específico, não haverá necessidade de compra de matéria-prima. Afinal, utilizar-se-á resíduo gerado pela própria empresa. Quanto à embalagem, considerou-se que para cada tonelada de briquete se gasta cerca de R\$ 22,50, ou seja, R\$ 47.520,00 por ano. A fábrica consome 158.400 kWh/ano e o custo médio da energia elétrica em 0,20 R\$/kWh (CPFL, 2006),

fará com que o custo anual corresponda a R\$ 31.680,00. A tabela 4.5 apresenta a estrutura de custos projetada para a produção de 2.112 t/ano de briquetes na empresa.

Tabela 4.5 Estrutura de custos operacional projetado para produção de 2.112 t/ano

Especificação	Valor R\$	R\$/t
Custos Fixos	34.583,00	16,37
-Depreciação do maquinário	14.800,00	7,00
- Pró-labore mão-de-obra administrativa	10.136,00	4,80
-Manutenção	2.532,00	1,20
-Eventuais	1.000,00	0,48
-Depreciação do Prédio e da instalação industrial	6.115,00	2,90
Custos Variáveis	308.699,00	146,16
-Mão-de-obra	10.998,00	5,20
-Matéria-prima	211.200,00	100,00
-Material de embalagem	47.520,00	22,50
-Combustível e lubrificantes	301,00	0,14
-Energia	31.680,00	15,00
-Despesas comerciais	5.000,00	2,36
-Eventuais	2.000,00	0,94
- Impostos	0,00	0,00
Total geral	343.282,00	162,54

Notas: (1) O custo específico para a produção de uma tonelada de briquete é de cerca de = R\$ 162,54.

Os cenários, com impostos e sem, foram elaborados para avaliar o impacto da carga tributária no Brasil (no que se refere à implementação do empreendimento em questão) e para inferir sobre a necessidade (ou não) de solicitar incentivos fiscais junto ao governo brasileiro e direcionados às fontes alternativas de energia. Tais cenários são descritos a seguir.

4.5 Cenário 1 – Compactação de Resíduo Madeireiro em Forma de Briquetes, com Isenção de Impostos, Utilizando uma Prensa Extrusora com Matriz Aquecida

Estruturas de custos operacionais com isenção de impostos utilizando uma prensa de rosca extrusora com matriz aquecida. Considerando os custos anuais envolvidos na fabricação dos briquetes e a capacidade nominal da fábrica, o custo unitário de fabricação é de R\$ 162,54/t. Considerando que no Brasil o preço de venda dos briquetes oscila entre R\$ 180,00/t e R\$ 220,00

(FOB), (Felfli, 2005). A tabela 4.6 apresenta os valores da receita bruta (RB)³, o lucro operacional (LO)⁴, o ponto de equilíbrio operacional (PE)⁵ e o grau de alavancagem operacional (GAO)⁶. O ponto de equilíbrio operacional da fábrica pode ser descrito pela Equação 1, apresentada a seguir (MACHADO, 2002):

$$PE = \frac{CF}{LO + CF} = \frac{CF}{RB - CV}$$

(1)

CF corresponde à parcela de custos fixos e CV à parcela de custos variáveis. LO e GAO podem ser calculados pelas equações 2 e 3, respectivamente.

$$LO = RB - CF - CV \quad (2)$$

$$GAO = 1 + \frac{CF}{LO} \quad (3)$$

Quando é praticado o preço de R\$ 190,00/t (FOB), a fábrica opera com PE de 37%, portanto, o volume de lucro minimamente desejado somente ocorrerá a partir de 37% da produção nominal. Para diminuir o ponto de equilíbrio, uma solução seria diminuir os custos fixos ou variáveis do processo.

³ RB refere-se à receita bruta das vendas e serviços compreende o produto da venda de bens nas operações de conta própria, o preço dos serviços prestados e o resultado auferido nas operações de conta alheia.

⁴ LO refere-se ao valor da Receita de Vendas Líquida menos todas as despesas, exceto Imposto de Renda e outros itens não relacionados ao negócio principal da empresa.

⁵ PE É o volume de vendas necessário para cobrir todos os custos fixos e variáveis da empresa, é o ponto onde as despesas se igualam as receitas de vendas.

⁶ GAO refere-se ao grau de capacidade que tem uma empresa de aplicar os recursos derivados do seu lucro operacional, determinado pela relação entre receitas líquidas de vendas e o lucro, antes de deduzidas deste último as reservas para pagamento dos juros e do imposto de renda (SEBRAE, 2006)

Tabela 4.6 Indicadores da fábrica de briquetes

Preços unitários (R\$/t)	RB (R\$/ano)	LO (R\$/ano)	PE (%)	GAO
190,00	401.280,00	57.996,00	37,00	1,59

Analisando a possibilidade de alavancagem operacional observou-se que o grau de alavancagem operacional (GAO) corresponde a 1,59 (Tabela 4.6). Isso significa que um aumento de 10% no nível de atividades da fábrica corresponderá a um aumento de 15,9% no lucro operacional, ou seja, LO passará a ser R\$ 67.217,36 e o PE diminuirá para 33,97%. O ponto de equilíbrio (PE) em quantidades será calculado da seguinte forma:

Valor total das despesas fixas (CF) divididas pelo valor da margem de contribuição⁷.

No presente estudo, a quantidade que a empresa precisa vender para cobrir o custo das mercadorias vendidas, as despesas variáveis e as despesas fixas terão o ponto de equilíbrio em 789 toneladas. De tal sorte que:

- Valor das despesas fixas = R\$ 34.583,00/ano;
- Valor da margem de contribuição por unidade = R\$ 43,84/t;
- Ponto de equilíbrio em quantidades: $R\$ 34.583,00 / R\$ 43,84 = 789$ unidades

Para esta estrutura o custo unitário de produção corresponde a R\$ 162,54/t de briquetes. O preço de venda do briquete será de R\$ 190,00/t (FOB). Para uma produção anual de 2.112 t/ano a receita bruta será de R\$ 401.280,00.

Definição de Valor Presente Líquido (VPL)

Segundo LAPPONI (1996), o Valor Presente Líquido compara todas as entradas e saídas de dinheiro na data inicial do projeto, descontando todos os valores futuros do fluxo de caixa na taxa de juros k que mede o custo de capital. A expressão geral do VPL do projeto de investimento é dada pela equação 4:

⁷ margem de contribuição: Preço unitário de venda – custo unitário de despesas variáveis.

$$VPL = I + \sum_{t=1}^n \left[\frac{R_t}{(1+k)^t} \right] + \frac{Q}{(1+k)^n} \quad (4)$$

em que,

VPL - valor presente líquido, R\$;

I - investimento de capital na época zero, R\$;

R_t - retornos depois de descontados os impostos, ou imposto de renda, R\$;

n - prazo da análise do projeto ou vida útil, ano;

k - taxa de juros, decimal;

Q - valor residual do projeto no final do prazo da análise, R\$, e

t - tempo, ano.

Portanto, o critério do método do VPL estabelece que, enquanto o valor presente das entradas for maior que o valor presente das saídas, que foi calculado com a taxa de juros k que mede o custo de capital, o projeto deve ser aceito. Resumindo, sempre que: (i) $VPL > 0$, o projeto deve ser aceito; (ii) $VPL = 0$ é indiferente aceitar ou não, e (iii) $VPL < 0$, o projeto não deve ser aceito.

Definição de Taxa interna de retorno (TIR)

Segundo LAPPONI (1996), é a taxa de juros que anula o VPL, isto é, que torna $VPL = 0$. Como a soma de todos os capitais na data inicial do projeto de investimento deve ser igual a zero, impõe-se essa condição na fórmula do VPL do projeto. A equação (5) apresenta a fórmula para cálculo da TIR.

$$VPL = 0 = I + \sum_{t=1}^n \left[\frac{R_t}{(1+TIR)^t} \right] + \frac{Q}{(1+TIR)^n} \quad (5)$$

em que,

TIR - taxa interna de retorno, decimal;

VPL - valor presente líquido, R\$;

I - investimento de capital na época zero, R\$;

R_t - retornos depois de descontados os impostos, ou imposto de renda, R\$;

T - tempo, anos;

N - prazo da análise do projeto ou vida útil, ano, e

Q - valor residual do projeto no final do prazo da análise, R\$.

O critério do método da taxa interna de retorno estabelece que, enquanto o valor da TIR for maior que o valor do custo de capital k , o projeto deve ser aceito, isto é, sempre que: (i) $TIR > k$, o projeto deve ser aceito; (ii) $TIR = k$, é indiferente aceitar ou não, e (iii) $TIR < k$, o projeto não deve ser aceito.

Taxa interna de retorno (TIR)

Condições calculadas no trabalho e valores médios em Reais da Madeireira (2005):

- Capacidade instalada = 2.112 t/ano de briquetes
- Custo unitário de produção do briquete = R\$ 162,54/t
- Preço de venda do briquete = R\$ 190,00/t (FOB)

Investimento com recurso próprio para a produção de 2112 t/ano de briquetes, valores em Reais.

$I^*=15\%$ (*taxa mínima de atratividade, segundo o proprietário da empresa madeireira).

Depreciação Linear em 10 anos, Valor residual = R\$ 0,00.

Condições para o cálculo da depreciação (Depreciação Linear):

- tempo médio de depreciação $N = 10$ anos.
- valor investido do Maquinário $P = R\$ 148.000,00$.

- Fórmula utilizada:

$$Dn = \frac{P}{N}$$

$$Dn = \frac{148.000,00}{10} = 14.800,00$$

Considerando uma depreciação para os itens abaixo tem-se:

- Construção civil = 4% de R\$ 103.389,10 = R\$ 4.135,56.
- Móveis e equipamentos = 10% de R\$ 5.000,00 = R\$ 500,00.

- Instalação industrial = 10% de 14.800,00 = 1.480,00.
- Total da depreciação Anual = R\$ 20.915,56.

A tabela 4.7 apresenta o fluxo de caixa previsto para os próximos 10 anos

Tabela 4.7 Fluxo de caixa previsto para os próximos 10 anos

Anos	(RB) Anual R\$	Pagamentos (CF+ CV) anual R\$	Principal R\$	(LO) anual R\$
0			-271.188,00	(-271.188,00)
1	401.280,00	343.284,00		57.996,00
2	401.280,00	343.284,00		57.996,00
3	401.280,00	343.284,00		57.996,00
4	401.280,00	343.284,00		57.996,00
5	401.280,00	343.284,00		57.996,00
6	401.280,00	343.284,00		57.996,00
7	401.280,00	343.284,00		57.996,00
8	401.280,00	343.284,00		57.996,00
9	401.280,00	343.284,00		57.996,00
10	401.280,00	343.284,00		57.996,00

Através da equação 4 obteve-se o Valor Presente Líquido (VPL) de R\$ 19.879,40. Como o VPL é positivo, o investimento aumentaria o valor financeiro do ativo do investidor em R\$ 19.879,40, com uma taxa interna de retorno (TIR) de 16,90% que, de fato, é um valor maior que os 15,00 %, que é a taxa mínima de atratividade para o investidor.

4.6 Cenário 2 – Compactação de Resíduo Madeireiro em Forma de Briquetes, sem Isenção de Impostos, Utilizando uma Prensa Extrusora com Matriz Aquecida.

Os impostos incidentes sobre vendas para a empresa madeireira estão representados na tabela 4.8

Tabela 4.8 Impostos incidentes na venda dos briquetes

ICMS	18,00%
IR	4,80%
CSLL	1,00%
PIS/Confins	3,65%
CPMF	0,38%

Quando é praticado o preço de R\$ 220,00 por tonelada (FOB), a fábrica opera com PE de 46,64%, portanto, o volume de lucro minimamente desejado, somente ocorrerá a partir de 46,64% da produção nominal. Para diminuir o ponto de equilíbrio, uma solução seria diminuir os custos fixos ou variáveis do processo. A Tabela 4.9, ilustra os indicadores mais relevantes da fábrica de briquetes.

Tabela 4.9 Indicadores da fábrica de briquetes

Preços unitários (R\$/t)	RB (R\$/ano)	LO (R\$/ano)	PE (%)	GAO
220,00	464.640,00	39.566,68	46,64	1,87

Observou-se que o grau de alavancagem operacional (GAO) corresponde a 1,87 (Tabela 4.9). Isso significa que um aumento de 10% no nível de atividades da fábrica corresponderá a um aumento de 18,7% no lucro operacional, ou seja, LO passará a ser R\$ 46.965,65 e o PE diminuirá para 42,41%. Nesse contexto, o ponto de equilíbrio (PE) em quantidades será de 984 t, o valor das despesas fixas será igual a R\$ 34.584,76, o valor da margem de contribuição por unidade será igual a R\$ 35,14, e o ponto de equilíbrio em quantidades será de 984 t ($R\$ 34.584,76/R\$ 35,14 = 984$ t).

Para esta estrutura o custo unitário de produção corresponde a R\$ 140,00 por tonelada de briquetes a granel, sem a embalagem. O preço de venda do briquete será de R\$ 220,00/t (FOB). Para uma produção anual de 2.112 t/ano, a receita bruta será de R\$ 464.640,00.

Taxa interna de retorno (TIR)

Na tabela 4.10 são mostradas as condições calculadas no trabalho e valores médios em Reais da Indústria de artefatos de madeira.

Tabela 4.10 Custo unitário e preço de venda

Capacidade Instalada em t/ano	2.112
Custo unitário de produção em R\$/t	140,00
Custo unitário (imposto de 27,83% sobre a venda) em R\$/t	61,23
Custo unitário variável com impostos em R\$/t	184,86
Preço de venda em R\$ (FOB)	220,00

Analisou-se um cenário no qual serão utilizados investimentos com recursos próprios para a produção de 2112 t/ano, sendo os valores em Reais, com uma taxa mínima de atratividade de 15%. Utilizou-se uma depreciação linear de 10 anos e valor residual zero.

Tabela 4.11 Fluxo de caixa previsto nos próximos 10 anos.

Anos	(RB) Anual R\$	Pagamentos (CF+CV) anual R\$	Impostos 27,83% Sobre venda	Principal R\$	(LO) anual R\$
0				-271.189,10	(-271.189,10)
1	464.640,00	295.764,00	129.309,31		39.566,68
2	464.640,00	295.764,00	129.309,31		39.566,68
3	464.640,00	295.764,00	129.309,31		39.566,68
4	464.640,00	295.764,00	129.309,31		39.566,68
5	464.640,00	295.764,00	129.309,31		39.566,68
6	464.640,00	295.764,00	129.309,31		39.566,68
7	464.640,00	295.764,00	129.309,31		39.566,68
8	464.640,00	295.764,00	129.309,31		39.566,68
9	464.640,00	295.764,00	129.309,31		39.566,68
10	464.640,00	295.764,00	129.309,31		39.566,68

Através da equação 4, obteve-se um valor presente líquido (VPL) de – R\$ 72.613,08. Como o VPL é negativo, o investimento diminuirá o valor financeiro do ativo do investidor em R\$ 72.613,08, tornando-o inviável.

Dentro desse contexto, a taxa interna de retorno (TIR) seria igual a 7,53% (ou seja, menor que 15%, que equivale à taxa mínima de atratividade do investidor).

4.7 Cenário 3 – Compactação de Resíduo Madeireiro em Forma de Briquetes, com Redução nos Impostos Incidentes, na Matéria-Prima Utilizando uma Prensa de Pistão.

Nesse cenário, simula-se a redução do ICMS para 4,2% e a redução do custo da matéria prima em 30%. Será utilizada uma prensa de pistão com capacidade de 1,2 t/h e considerando-se os custos anuais envolvidos na fábrica de briquetes, serão utilizados os mesmos gastos dos cenários 1 e 2, mudando apenas os custos do equipamento de briquetagem, a matéria-prima e a redução do ICMS.

Tabela 4.12 Custos dos equipamentos da prensa de pistão

Equipamento	Capacidade kg/h	Potência kW	Valor R\$
<i>Equipamento de briquetagem completo com Soft Start incluso</i>	1200	75	179.000,00
<i>Total da Usina</i>	1200	75	179.000,00

A Tabela 4.13 apresenta o valor total do investimento fixo em ativos tangíveis que deve ser feito para a implantação do projeto. A depreciação dos ativos, que é o custo da perda de valor dos ativos tangíveis devido ao desgaste, é de 10% para máquinas, móveis e utensílios e de 4% para edifícios, considerando de 10 anos a vida útil das máquinas e móveis e utensílios e 25 anos para os edifícios (MACHADO, 2002).

Tabela 4.13 Investimento fixo em ativos tangíveis

Quantidade	Equipamentos	Custo Unitário (R\$)	Depreciação anual (R\$)
1	Equipamento de briquetagem	179.000,00	17.900,00
1	Instalação industrial	17.900,00	1.790,00
1	Móveis e equip. diversos	5.000,00	500,00
1	Construção civil	103.388,00	4.136,00
	Total	305.288,00	24.326,00

Os impostos incidentes sobre a venda para a empresa madeireira estão representados na tabela 4.14

Tabela 4.14 Impostos incidentes para a venda de briquetes

ICMS	4,20%
IR	4,80%
CSLL	1,00%
PIS/Confins	3,65 %
CPMF	0,38 %

A tabela 4.15 apresenta a estrutura de custos operacionais projetada para a produção de 2112 t/ano na empresa madeireira.

Tabela 4.15 Estrutura de custos operacionais projetada para produção de 2.112 t/ano de briquetes

Especificação	Valor R\$	R\$/t
Custos Fixos	37.994,00	17,99
-Depreciação do maquinário	17.900,00	8,48
- Pró-labore mão-de-obra administrativa	10.136,00	4,80
-Manutenção	2.532,00	1,20
-Eventuais	1.000,00	0,48
-Depreciação do Prédio e instalação industrial	6.426,00	3,04
Custos Variáveis	197.819,00	93,66
-Mão-de-obra	10.998,00	5,20
-Matéria-prima	147.840,00	70,00
-Combustível e lubrificantes	301,00	0,14
-Energia	31.680,00	15,00
-Despesas comerciais	5.000,00	2,37
-Eventuais	2.000,00	0,94
- Impostos	0,00	0,00
Total geral	235.812,00	111,67

Notas: (1) O custo específico para a produção de uma tonelada de briquetes é de cerca de = R\$ 111,67

Quando é praticado o preço de R\$ 170,00 por tonelada de briquetes (FOB), a fábrica opera com PE de 34,27%, portanto, o volume de lucro minimamente desejado somente ocorrerá a

partir de 34,27% da produção nominal. A tabela 4.16 ilustra os mais relevantes indicadores da fábrica de briquetes.

Tabela 4.16 Indicadores da fábrica de briquetes

Preços unitários (R\$/t)	RB (R\$/ano)	LO (R\$/ano)	PE (%)	GAO
170,00	359.040,00	72.855,00	34,27	1,52

Observou-se que o grau de alavancagem operacional (GAO) corresponde a 1,52 (tabela 4.16). Isso significa que um aumento de 10% no nível de atividades da fábrica de briquetes corresponderá a um aumento de 15,2% no lucro operacional, ou seja, LO passará a ser de R\$ 83.928,96 e o PE diminuirá para 31,16%. Nesse contexto, o valor das despesas fixas será de R\$ 37.993,00, o valor da margem de contribuição por unidade será igual a R\$ 52,50, e o ponto de equilíbrio em quantidades será de 723 t ($R\$ 37.993,00/R\$ 52,50 = 723/t$).

Para esta estrutura o custo unitário de produção corresponde a R\$ 111,67/t de briquetes a granel, sem a embalagem. O preço de venda dos briquetes será de R\$ 170,00/t (FOB). Para uma produção anual de 2.112 t/ano, a receita bruta será de R\$ 359.040,00.

Taxa líquida de retorno (TIR)

Condições calculadas no trabalho e valores médios em Reais da Indústria de madeira.

Tabela 4.17 Custo unitário e preço de venda da tonelada do briquete

Capacidade Instalada em t/ano	2.112
Custo unitário de produção em R\$/t	111,67
Custo unitário (imposto de 14,03% sobre a venda) em R\$/t	23,85
Custo unitário variável com impostos em R\$/t	117,50
Preço de venda em R\$(FOB)	170,00

Foi analisado um cenário no qual serão utilizados investimentos com recursos próprios para a produção de 2112 t/ano, sendo os valores em Reais, com uma taxa mínima de atratividade de 15% . Utilizou-se uma depreciação linear de 10 anos e valor residual zero. A tabela 4.18 apresenta um fluxo de caixa nos próximos 10 anos.

Tabela 4.18 Fluxo de caixa previsto nos próximos 10 anos

Anos	(RB) Anual R\$	Pagamentos (CF+CV) anual R\$	Impostos 14,03% Sobre venda	Principal R\$	(LO) anual R\$
0				-305.288,00	(-305.288,00)
1	359.040,00	235.812,00	50.373,00		72.855,00
2	359.040,00	235.812,00	50.373,00		72.855,00
3	359.040,00	235.812,00	50.373,00		72.855,00
4	359.040,00	235.812,00	50.373,00		72.855,00
5	359.040,00	235.812,00	50.373,00		72.855,00
6	359.040,00	235.812,00	50.373,00		72.855,00
7	359.040,00	235.812,00	50.373,00		72.855,00
8	359.040,00	235.812,00	50.373,00		72.855,00
9	359.040,00	235.812,00	50.373,00		72.855,00
10	359.040,00	235.812,00	50.373,00		72.855,00

Através da equação 4, obteve-se um valor presente líquido (VPL) de R\$ 60.354,38. Como o VPL é positivo, o investimento aumentará o valor financeiro do ativo do investidor em R\$ 60.354,38 tornando-o viável. Assim, a taxa interna de retorno (TIR) seria igual a 20,01% (ou seja, maior que 15%, que equivale à taxa mínima de atratividade do investidor).

4.8 Cenário 4 – Compactação de Resíduo Madeireiro em Forma de *Pellets* sem Isenção de Impostos Utilizando uma Prensa Peletizadora.

Estruturas de custos operacionais sem isenção de impostos utilizando uma prensa peletizadora com capacidade de 1,5 t/h considerando os custos anuais envolvidos na fabricação de *pellets*, em que serão utilizados os mesmos gastos dos cenários 1, 2 e 3 mudando apenas os custos dos equipamentos relacionados com a prensa peletizadora e o consumo de energia elétrica do equipamento. A tabela 4.19 apresenta os custos dos equipamentos de peletização.

Tabela 4.19: Custos dos equipamentos de peletização

Equipamentos	Valor R\$
Peletizadora Motorizada	123.891,00
Ventilador Centrífugo – Motorizado	13.320,00
Resfriador Vertical de Estágios - Motorizado	28.000,00
Ciclone de Alta Eficiência	16.980,00
Válvula Rotativa–Motorizada	7.236,00
Transportador de Arrasto – Motorizado	4.838,00
Estrutura de Sustentação	20.980,00
Total dos Equipamentos	214.787,00

A Tabela 4.20 apresenta o valor total do investimento fixo em ativos tangíveis que deve ser feito para a implantação do projeto. A depreciação dos ativos, que é o custo da perda de valor dos ativos tangíveis devido ao desgaste, é de 10% para máquinas, móveis e utensílios e 4% para edifícios, considerando 10 anos para vida útil das máquinas, móveis e utensílios, e, 25 anos para os edifícios (MACHADO, 2002).

Tabela 4.20 Investimento fixo em ativos tangíveis

Quantidade	Equipamentos	Custo Unitário (R\$)	Depreciação anual (R\$)
1	Equipamento de peletização	214.787,00	21.478,70
1	Instalação industrial	21.478,00	2.147,00
1	Móveis e equip. diversos	5.000,00	500,00
1	Construção civil	103.388,00	4.136,00
	Total	344.653,00	28.261,70

Os *pellets* são dimensionados em função do equipamento a ser usado para queimá-los, mas, em geral, apresentam em média de 5 mm a 15 mm de diâmetro por 30 mm de comprimento.

Os impostos incidentes sobre a venda para a empresa madeireira estão representados na tabela 4.21

Tabela 4.21 Impostos incidentes para a venda de *pellets*

ICMS	18,00%
IR	4,80%
CSLL	1,00%
PIS/Confins	3,65 %
CPMF	0,38 %

A tabela 4.22 apresenta a estrutura de custos operacionais projetada para a produção de 2112 t/ano na empresa madeireira.

Tabela 4.22 Estrutura de custos operacionais projetados para produção de 2.112 t/ano de *pellets*

Especificação	Valor R\$	R\$/t
Custos Fixos	41.929,00	19,85
-Depreciação do maquinário	21.478,00	10,17
- Pró-labore mão de obra administrativa	10.136,00	4,80
-Manutenção	2.532,00	1,21
-Eventuais	1.000,00	0,48
-Depreciação do Prédio e instalação industrial	6.783,00	3,21
Custos Variáveis	242.499,00	114,82
-Mão-de-obra	10.998,00	5,20
-Matéria-prima	211.200,00	100,00
-Combustível e lubrificantes	301,00	0,14
-Energia	13.000,00	6,15
-Despesas comerciais	5.000,00	2,36
-Eventuais	2.000,00	0,94
- Impostos	0,00	0,00
Total geral	284.428,00	134,67

Notas: (1) O custo específico para a produção de uma tonelada de *pellets* é de cerca de = R\$ 134,67

Quando é praticado o preço de R\$ 235,00 por tonelada de *pellets* (FOB) a fábrica opera com PE de 36,19, portanto, o volume de lucro minimamente desejado, somente, ocorrerá a partir de 36,19 % da produção nominal. A tabela 4.23 ilustra os mais relevantes indicadores da fábrica de *pellets*.

Tabela 4.23 Indicadores da fábrica de *pellets*

Preços unitários (R\$/t)	RB (R\$/ano)	LO (R\$/ano)	PE (%)	GAO
235,00	496.320,00	73.915,00	36,19	1,56

Observou-se que o grau de alavancagem operacional (GAO) corresponde a 1,56 (tabela 4.23). Isso significa que um aumento de 10% no nível de atividades da fábrica de *pellets* corresponderá a um aumento de 15,6% no lucro operacional, ou seja, LO passará a ser de R\$ 85.445,00 e o PE diminuirá para 32,92%. Nesse contexto, o valor das despesas fixas será de R\$ 41.929,00, o valor da margem de contribuição por unidade será igual a R\$ 54,85, e o ponto de equilíbrio em quantidades será de 764 t ($R\$ 41.929,00/R\$ 54,85 = 764$ toneladas).

Para esta estrutura o custo unitário de produção corresponde a R\$ 134,68 por tonelada de *pellets* a granel, sem a embalagem. O preço de venda do *pellets* será de R\$ 235,00/t. Para uma produção anual de 2.112 t/ano, a receita bruta será de R\$ 496.320,00.

Taxa líquida de retorno (TIR)

Condições calculadas no trabalho e valores médios em Reais da Indústria de madeira.

Tabela 4.24 Custo unitário e preço de venda da tonelada de *pellets*

Capacidade Instalada em t/ano	2.112
Custo unitário de produção em R\$/t	134,67
Custo unitário (imposto de 27,83% sobre a venda) R\$/t	65,40
Custo unitário variável com impostos R\$/t	180,15
Preço de venda R\$/t (FOB)	235,00

Foi analisado um cenário, no qual serão utilizados investimentos com recursos próprios para a produção de 2112 t/ano, sendo os valores em Reais, com uma taxa mínima de atratividade de 15% . Utilizou-se uma depreciação linear de 10 anos e valor residual zero.

A tabela 4.25 apresenta um fluxo de caixa nos próximos 10 anos.

Tabela 4.25 Fluxo de caixa previsto nos próximos 10 anos

Anos	(RB) Anual R\$	Pagamentos (CF+CV) anual R\$	Impostos 27,83% Sobre venda	Principal R\$	(LO) anual R\$
0				-344.653,00	(-344.653,00)
1	496.320,00	284.428,00	138.126,00		73.766,00
2	496.320,00	284.428,00	138.126,00		73.766,00
3	496.320,00	284.428,00	138.126,00		73.766,00
4	496.320,00	284.428,00	138.126,00		73.766,00
5	496.320,00	284.428,00	138.126,00		73.766,00
6	496.320,00	284.428,00	138.126,00		73.766,00
7	496.320,00	284.428,00	138.126,00		73.766,00
8	496.320,00	284.428,00	138.126,00		73.766,00
9	496.320,00	284.428,00	138.126,00		73.766,00
10	496.320,00	284.428,00	138.126,00		73.766,00

Através da equação 4, obteve-se um valor presente líquido (VPL) de R\$ 25.561,48. Como o VPL é positivo, o investimento aumentará o valor financeiro do ativo do investidor em R\$ 25.561,48 tornando-o viável.

Dessa forma ressalta-se que, a taxa interna de retorno (TIR) seria igual a 16,92% (ou seja, maior que 15%, que equivale à taxa mínima de atratividade do investidor).

4.9 Perspectiva no Mercado Comercial e Regulamentação Ambiental

A compactação de resíduos madeireiros em forma de briquetes e *pellets* é um meio eficaz de aproveitar os resíduos de biomassa. Entretanto, constata-se que resíduos de madeira compactados ainda não são amplamente comercializados no mercado brasileiro, principalmente para o comércio. Expandir esse mercado é um desafio técnico e mercadológico, o qual deve responder ao desenvolvimento de um produto de alto padrão de qualidade. Nesse sentido, a compactação em forma de briquetes ou *pellets* é uma alternativa para melhorar a qualidade dos resíduos madeireiros e, conseqüentemente, abrir novas possibilidades comerciais.

É possível realizar algumas comparações de custos e indicadores econômicos simulando quatro cenários diferentes, na introdução de um sistema de compactação de resíduos madeireiro em uma fábrica de artefatos de madeira.

Um empreendimento para produzir materiais compactados pode ser viável dependendo do cenário e das condições de mercado onde for implementado. No caso específico do mercado comercial, pode-se afirmar que o consumo da lenha para padarias e pizzarias é elevado, principalmente nos grandes centros urbanos no Brasil.

Uma pesquisa de mercado feita por mim, direcionada aos donos desses estabelecimentos, mostrou que a maioria dos comerciantes não tem preferências pelo tipo e nem a origem da lenha. Exemplo evidente, quando os consumidores foram questionados sobre o fator determinante na decisão de compra dessa lenha, a maioria respondeu que em primeiro lugar estava a disponibilidade do produto sem se importar com a procedência, deixando em segundo lugar o preço e a qualidade.

Esses resultados mostram que a concorrência entre a lenha e os produtos compactados é praticamente nula, possibilitando que novos produtos possam vir a disputar esse mercado. É importante destacar que as perspectivas de mercado para os briquetes e *pellets*, ainda podem vir a ser melhores, pois cada vez serão maiores as exigências ambientais por parte dos órgãos nacionais e internacionais, no que diz respeito ao uso de combustíveis. Em alguns países europeus foi instituída a taxa verde (*green tax*) na produção de energia. Essa taxa é cobrada em função dos quilogramas de dióxido de carbono emitidos para todos os combustíveis fósseis exceto o biocombustíveis. Essa taxa teve uma grande contribuição na alavancagem do mercado de biocombustíveis, tornando o preço da biomassa mais competitivo em relação aos combustíveis fósseis, além de provocar um impacto substancial na redução das emissões de dióxido de carbono, principal gás causador do efeito estufa.

O uso dos briquetes e *pellets* como combustível comercial é uma forma importante de evitar a exploração indiscriminada das florestas para a produção de lenha, e de, sobretudo, aproveitar de forma ecologicamente correta os resíduos madeireiros e agrícolas. Devido às pressões internacionais e de ambientalistas para a redução das emissões dos gases de efeito

estufa, poderia ser criado no Brasil um incentivo do tipo selo verde para produtos procedentes de resíduos vegetais (briquetes, *pellets*, entre outros), criando incentivos fiscais, diminuindo a alíquota sobre Operações Relativas a Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS). Atualmente é cobrado 18% no Estado de São Paulo, um valor muito alto, resultando na inviabilidade econômica do cenário 2.

Ao criar incentivos fiscais no comércio e na aquisição dos equipamentos torna-se possível formar preços mais competitivos e, conseqüentemente, incentivar o uso desses produtos no mercado de combustíveis.

Observa-se que após a simulação dos quatro cenários em questão, os fatores que mais afetam o custo de produção são: os impostos incidentes e, principalmente, o custo da matéria-prima. De acordo com os resultados obtidos, se uma pessoa comprasse a matéria-prima ao preço de R\$ 100,00/t da empresa madeireira e compactasse essa matéria-prima em forma de briquetes, o projeto seria inviável economicamente devido ao alto custo da matéria-prima. Para o projeto tornar-se viável o produto final teria que ser negociado com valor superior a R\$ 220,00/t (FOB), não conseguindo, desse modo, competir com seu maior concorrente a lenha.

De acordo com a União da Agropecuária Canavieiras do Estado de São Paulo (UNICA, 2006), o preço da matéria-prima *in natura* (bagaço de cana) é negociado um valor que varia de R\$ 11,00/t na safra a R\$ 42,00/t na entre safra. Considerando o custo da matéria-prima da madeira próximo desses valores, ocorreria uma queda considerável no valor do custo de produção dos briquetes e com isso poder-se-ia vender o produto final a um preço mais acessível, vindo a tornar-se um produto mais competitivo. A tabela 4.26 apresenta os valores variando o custo da matéria-prima em um fluxo de caixa nos próximos 10 anos, com uma taxa mínima de atratividade de 15%, sendo a produção de 2.112 t/ano, com investimentos fixo em ativos tangíveis de R\$ 271.188,00 para a implantação da fábrica de compactação de resíduos madeireiro.

Através dos quatro cenários apresentados nessa pesquisa, e variando o custo da tonelada da matéria-prima, nota-se que a introdução de uma fábrica de compactação de resíduos é viável economicamente, desde que sua implantação seja incentivada por órgãos governamentais através da redução dos impostos sobre esses produtos.

Tabela 4.26 Resumo dos valores em reais na implantação de uma fábrica de compactação de resíduos madeireiro

Custo da Matéria prima R\$/t	Preço de venda R\$/t do briquete com impostos (FOB)	Impostos de 27,8% sobre a venda em R\$/t	Custo de produção sem impostos R\$/t	Renda bruta (R\$/ano) 2.112 t	Lucro Operacional R\$/ano	Valor Presente Líquido (VPL) R\$	Taxa Interna de Retorno (TIR) %
11,00	150,00	41,70	73,54	316.800,00	73.413,00	97.254,00	23,90
18,00	150,00	41,70	80,50	316.800,00	58.713,00	23.482,00	17,20
25,00	160,00	44,48	87,54	337.920,00	59.093,00	25.386,00	17,40
32,00	170,00	47,30	94,54	359.040,00	59.558,00	27.722,00	17,60
42,00	180,00	50,00	104,54	380.160,00	53.771,00	-1321,00	14,90*
43,00	180,00	50,00	105,54	380.160,00	51.660,00	-11.918,00	13,80*

* inviáveis economicamente.

A introdução de uma fábrica de compactação pode ser um investimento viável, desde que o custo da matéria-prima não ultrapasse R\$ 42,00/t. Se o custo da matéria prima for de R\$ 43,00/t, o projeto torna-se inviável economicamente devido a um VPL negativo de R\$ -11.918,00, e uma taxa interna de retorno de 13,8% (menor do que a taxa mínima de atratividade exigida do investidor- 15%).

Capítulo 5

Considerações Finais

Esta pesquisa abordou a proposta de implantação de uma fábrica de compactação de resíduos madeireiro, este trabalho sinaliza uma alternativa de aproveitamento de resíduos de biomassa, agregando valores. Os materiais compactados ainda têm um baixo consumo no Brasil. A ampliação desse mercado é um dos desafios a serem enfrentados, visto que o consumidor é resistente às mudanças ou desconhece os novos produtos. Através da simulação de vários cenários mostrou-se que é possível produzir um novo produto, que poderia substituir parte da lenha consumida e também parte dos combustíveis fósseis.

Produzir materiais compactados em forma de briquetes ou *pellets* tem grande aplicação num país com grande disponibilidade de resíduos madeireiro. Os briquetes ou *pellets* podem ser produzidos no país, devido à existência de equipamentos nacionais de qualidade, alguns produzidos há mais de 20 anos. Naturalmente, um aspecto fundamental que, em um primeiro momento precisa ser analisado, é a questão da viabilidade técnico-econômica associada à introdução da supracitada fábrica. Através de quatro cenários observou-se que:

No Cenário número 1, com isenção de impostos, foi colocado nesse trabalho hipoteticamente, para mostrar como um produto sem o pagamento de seus respectivos impostos seria facilmente comercializado devido a seu baixo custo de produção, mesmo considerando um alto custo da matéria-prima (R\$ 100,00/t), resultando em um baixo preço final de venda. Esse é o caminho que muitos produtos, como a lenha dita clandestina, são comercializados livremente no Brasil.

No Cenário número 2, caracterizado por não incorporar isenção de impostos, com um VPL negativo e uma (TIR) de 13,10%, menor que os 15,00%, exigidos pelo investidor. Observa-se que devido à alta carga tributária (aspecto econômico típico da economia brasileira), o mencionado processo torna-se inviável.

Nota-se que a melhor solução poderia ser à busca por alternativas para que o custo da matéria-prima fosse reduzido, aumentando a margem de lucro. Isso acarretaria em uma redução no preço de venda e o produto tornar-se-ia mais competitivo, comprovado no Cenário número 3, no qual ocorreu uma redução no custo da matéria-prima e uma considerável redução no ICMS, tornando o empreendimento viável, com um VPL positivo e uma (TIR) de 20,01% (ou seja, maior que 15%, que equivale à taxa mínima de atratividade do investidor).

No Cenário número 4, obteve-se um valor presente líquido (VPL) positivo, com uma TIR de 16,92% (ou seja, maior que 15%, equivalente à taxa mínima de atratividade do investidor). Porém, para atingir essa TIR de 16,92%, a tonelada do *Pellet* teria que ser negociada ao preço de R\$ 235,00 (FOB), valor considerado alto para o padrão brasileiro. Foi feito o respectivo cenário pensando em uma possível exportação desse produto para a Europa, grande consumidor desse combustível em aquecimento central de residências. Esse mercado no exterior tende a aumentar devido às pressões ambientais.

Variando-se o custo da tonelada da matéria-prima, foi visto que dentro de um determinado valor de R\$ 11,00/t a R\$ 42,00/t, com todos os impostos incidentes o projeto torna-se viável economicamente, conseguindo competir com seus concorrentes igualmente. Acima de R\$ 42,00/t para o custo da tonelada da matéria-prima, o empreendimento tornar-se-ia inviável devido ao alto custo de produção, à alta carga tributária. Uma solução para esse problema da inviabilidade econômica seria o aumento no preço de venda do produto final, mas com essa medida o produto não conseguiria competir com seu concorrente - a lenha comercial.

A humanidade vive em busca de novas tecnologias que favoreçam a sociedade, assim o mundo passa por constantes mudanças. Entre essas mudanças, destaca-se a criação de um mercado de energia mais diversificado, descentralizado e privatizado. O crescente interesse pelas

energias renováveis resulta de uma combinação de fatores, dentre os quais se incluem os fatores ambientais e as questões relativas à sustentabilidade.

Sendo assim, entre esses fatores, poder-se-ia citar uma contribuição energética: a versatilidade e a disponibilidade global da biomassa, os avanços tecnológicos, a maior viabilidade econômica e os importantes benefícios sociais. Entretanto, dependerá de uma combinação de fatores econômicos, culturais, sociais e ambientais, os quais contam com o envolvimento do poder público e da conscientização da sociedade.

Sugestões para Trabalhos Futuros

Os fatores que mais influenciam no custo de produção dos briquetes e *pellets* são a matéria-prima e a alta carga tributária de impostos no Brasil. Foi feita uma pesquisa junto a outras empresas madeireiras de menor porte, comparadas à empresa em que foram feitos os cenários desta dissertação. Essas empresas relataram que seus resíduos madeireiros, geralmente, são incinerados na própria empresa, gerando uma grande quantidade de gases poluentes e fuligens. Uma solução para esse problema seria a criação de uma cooperativa de recicladores, que passaria a fazer uma coleta diária ou semanal desses resíduos madeireiros transformando-os em briquetes de alta densidade. Esses briquetes seriam vendidos em estabelecimentos comerciais que utilizam lenhas como padarias e pizzarias da própria comunidade a um preço mais acessível, gerando um ganho suplementar para pessoas que dependem da reciclagem de lixo.

Sendo uma cooperativa de reciclagem, sem fins lucrativos, os impostos sobre a venda desses briquetes poderiam obter uma redução nos impostos, como ICMS, e, por não visar fins lucrativos, apenas o pagamento dos equipamentos e salários de seus cooperados que trabalham na fábrica de briquetagem, não haveria, assim, a necessidade do pagamento de imposto de renda.

Como foi visto no Cenário número 1, no qual foi analisado o custo de produção da tonelada de briquetes com isenção de impostos, retirando-se o custo da matéria-prima, sendo que o único custo incidente seria o transporte desse resíduo para o local onde seria feito o briquete, chegou-se a um valor de aproximadamente R\$ 70,00/t, tornando um produto competitivo com o seu maior concorrente, que é a lenha comprada pelos comerciantes.

Esse projeto de implantação de uma briquetadeira de pequeno porte ajudaria muitas pessoas que dependem da coleta de lixo. O produto resultante da briquetagem poderia ser chamado de “madeira ecológica” proveniente do resíduo madeireiro. Os membros da cooperativa poderiam coletar, processar, monitorar e vender seus produtos de forma coletiva, assim elas seriam diretamente beneficiadas com os lucros obtidos por meio de seu trabalho, sem sofrer exploração devido aos intermediários.

Pela perspectiva de crescimento da produção de resíduos madeireiros e da possibilidade de associação com outros resíduos rurais ou urbanos, essa atividade de briquetagem deve tornar-se uma fonte importante de energia alternativa e ecologicamente limpa, que poderá ser utilizada tanto no comércio como na indústria cerâmica. Trata-se de uma alternativa interessante para agregar renda aos cooperados, promovendo sua integração social e econômica.

Uma das grandes dificuldades para analisar um projeto é conhecer a localização e o potencial dos resíduos disponíveis naquela região. Uma das propostas para um trabalho futuro seria o mapeamento de todos os resíduos gerados nas atividades agro-industriais e agrícolas/florestais brasileira, bem como de suas principais características e potencialidades de compactação. Com os dados computados seria possível efetuar a escolha do equipamento de compactação mais adequado para cada situação específica.

Capítulo 6

Referências Bibliográficas

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil) (ANEEL). Banco de Informações de Geração BIG. Disponível em: www.aneel.gov.br/is.htm. Acessado julho 2006
- AQA, S. AND S.C. BHATTACHARYA 1992. Densification of Preheated Sawdust for Energy Conservation, *Energy*, vol.17, no. 6, pp.575-578
- BAIN, R. 1981. Beneficiation of biomass for Gasification and Combustion, in Biomass Gasification-Principles and Technology, edited by T.B. Reed, pp,72-88. Noyes Data Corporation.
- BAROFTI, I.1987. Utilization of Compacted Biomass for Energy Production in Hungary. FAO/CNRE. 1st Whorkshop in Handling and Processing of Biomass for Energy, Hamburg, FRG, 14-15 September.
- BEZZON, G. e LUENGO, C. A. 1993. “Briquetting of agricultural residues at elevated pressures and temperatures”, *Proc. Of XII Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica*, 2. Brasília, pp. 1.101-4.
- BEN, 2006, Balanço Energético Nacional do Ministério de Minas e Energia. Ano base 2005, Brasília, Ministério Minas e Energia, acessado em Julho 2006, www.mme.gov.br
- BHATTACHARYA, S.C., G.Y. SAUNIER, N. SHAH AND N. ISLAM 1984. Densification of biomass Residues in Asia, in *Bio-energy* 84, vol.3 (Biomass conversion), edited by H.Egneús and A. Ellegard, pp. 559-563, Elsevier Applied Science.
- BHATTACHARYA, S.C., M.A. LEON, AND MD. M. RAHMAN. 2002. A Study on Improved Biomass Briquetting, *Energy forsustainable Development*, Vol. VI, No. 2, pp 110
- BHATTACHARYA, S.C. 2004. Fuel for Thought, *Renewable Energy World*, vol. 7, No. 6, pp 122-130.
- BOYD JR, HARPER W., WESTFALL R. Pesquisa mercadológica. Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas,1973.
- CARRE, J., J. HEBERT, L. LACROSSE AND Y. SCHENKEL. Briquetting Agricultural and Wood Residues: Experience Gained with a Heated Die Cylindrical Screw Press, Paper Presented

at the FAO/CNRE 1 st Workshop in Handling and Processing of biomass for Energy, Hamburg, FRG, 14-15 September.

CENBIO, CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIAS EM BIOMASSA, Acessado em Setembro de 2006, http://infoener.iee.usp.br/scripts/biomassa/br_briquete.asp

CIRC. TÊC. LPF, Brasília. 1990, Vol. N° 2 o.89-90

CORTEZ L. A, SILVA E. tecnologias de conversão energética de Biomassa. Manaus: EDUA/EFEI, 1997. Séries: Sistemas Energéticos. Vol. 2, 540 P

CPFL- Companhia Paulista de Força e Luz. 2006. Disponível em www.cpfl.com.br. (consulta em março de 2006).

ERIKSSON, S. SAND M. PRIOR. 1990. Briquetting of Agricultural Wastes for Fuel, Food and agriculture organization, Rome.

FELFLI, F. F. LUENGO C.A, ROCHA.J.D. 2005. Torrefied Briquette: Technical and Economic Feasibility and perspectives in the Brazilian market. Energy for Sustainable Development. Volume IX No. p 23-29.

FELFLI, F.F. LUENGO C.A, SUÁREZ J.A, BEATÓN P.A. Wood Briquette Torrefaction. Energy For Sustainable Development. Volume IX No.3. September 2005, pp 19-22

GROVER, P.D. AND S.K. MISHRA, 1996. Biomass Briquetting: Technology and Practices, Regional Wood Energy Development Programme, FAO, Bangkok.

HARTMANN, H. 1997. Comparing logistical chains for biofuel delivery – Features and costs of pelleting compared to conventional systems. Paper presented at “International Conference on Sustainable Agriculture for Food, Energy and Industry”. FAO, Rome, June 22-28.

IBGE. Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. Disponível em: www.ibege.gov.br . (consulta em julho 2006)

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis, 2006. Disponível em www.ibama.gov.br (consulta em abril 2006)

JENKINS, B.M. 1990. Fuel Properties for Biomass Materials. In: International Symposium on Application and Management of Energy in Agriculture: The Role of Biomass Fuels. May, Delhi, India, p. 21-23.

JOSEFH, S., D. HISLOP AND S. ERREY. 1985. The Development of an Energy Production System to Briquette Papyrus through Partial Pyrolytic Conversion, Biomass Energy Services and Technology (BEST), December.

L.P.F/IBAMA, 2006. Laboratório de Produtos Florestais, acessado em Julho 2006,

- KISHIMOTO, S. AND C.C. BOLEY. 1968. The Sawdust Briquetting and Agglomerating Industry in Japan, in Proceedings of the 11 th. Biennial Conference of the IBA (Institute for Briquetting and Agglomeration). pp. 43 – 50.
- KOSER, H.J.K., G. SCHMALSTIEG AND W.SIEMERS. 1982. Densification of Water Hyacinth-Basic Data. *Fuel*, vol. 61, September, pp. 791 – 798, Butterworth & Co. (Publishers) Ltd.
- KOULLAS, D.P. AND E.G. KOUKIOS. 1987. Briquetting of Wheat Straw. Paper Presented at FAO/CNRI First Workshop on Handling and Processing of Biomass for Energy, Hamburg, FRG, 14-15 September.
- KUMAR, S.K., S.C. BHATTACHARYA, D.C. BARUA, T.Q. DUNG, ARNOLD R. ELEPANO, MOHAN B. GREWALI, MD. IBRAHIM, MD. N.A. ALI MORAL, D. SHARMA, AND P.K. TOAN. 2005. Case Studies from Six Asian Countries. Regional Energy Resources Information Center, Bangkok.
- LAPPONI, J.L. 1996. *Avaliação de Projetos e Investimentos: modelos em Excel*. São Paulo: Lapponi Treinamento e Editora, 1996. 264 p.
- LEQUEUX, P., J. CARRE AND L. LACROSSE. 1988. Biomass Densification, Commission of the European Communities, Directorate General for Development.
- MACHADO J A P. 2002. *Projetos Econômicos: Uma abordagem Prática de Elaboração*. São Paulo, ed. Nobel, 182 p.
- MISHRA, S.K. 1996. Hardfacing of Screw for Wear resistance, in Proceedings of the International Workshop on Biomass Briquetting, New Delhi, India, 3 – 6 April 1995, Regional Wood Energy Development Program in Asia, GCP/RAS/154/NET, FAO, 1996.
- MOREIRA, J. R. 2005. *Uso da Biomassa para Produção de Energia na Indústria Brasileira*. Editora UNICAMP, Novas tecnologias para os vetores modernos de energia de biomassa, p.382.
- MOTOLESY, G.A. and D. FOR 1986. Development of a Moisture Resistant Densified Solid Fuel from Forest Biomass. Report of Contract File No. 51SZ.23216-4-6370. Renewable Energy Branch, Energy, Mines and Resources Canada, Canada.
- PICKARD, G.E., W.M. ROLL and J.H. RAMSER. 1961. Fundamentals of hay Wafering, Trans. ASAE, pp. 65 – 68.
- PIMENTEL F.A, PACHECO E.P, SILVA M.R. 2000. *Recomendações Básicas Sobre Colheita e Secagem de Biomassa Triturada de Pimenta Longa*. Comunicado Técnico Embrapa Nº 121, pp 1-3
- PITAKARNOP, N. 1983. Production and Evaluation of ricehusk Briquettes in Thailand, Agricultural Wastes and Solar Technologies for Energy needs in Farms, pp. 120-128, FAO.

QUIRINO W. F. 2003. Utilização *Energética de Resíduos Vegetais*, LPF/IBAMA. Fundação de Tecnologia Florestal e Geoprocessamento, Laboratório de Produtos Florestais, Brasília. Disponível em <http://www.funtec.org.br/arquivos/aproveitamento.pdf>. Acessado em 19 de setembro 2006.

REED, T.B. AND B. BRYANT. 1978. *Densified Biomass: A New Form of Fuel*, Solar Energy Research Institute, Golden Colorado, USA.

REED, T.B., G. TREZEK AND L. DIAZ. 1980. *Biomass Densification Energy Requirements, Thermal Conversion of Solid Wastes and Biomass*, American Chemical Society, pp. 169-177.

SCHAAP, A. 1985. *English Abstracts of Thesis*, Twenty University, the Netherlands.

SMITH, A.E., G. FLYNN AND G.R. BREAG . 1985. *A Profile of the Briquetting of Agricultural and Flores try Residues, Changing Villages*, vol.7, No. 3, India.

SEBRAE, Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Consulta em Julho de 2006) Disponível em www.sebrae.com.br

TREZEK, G.J., G.M. SAVAGE AND D.B. JONES 1981. *Fundamental considerations for Preparing Densified Refuse Derived Fuel*, Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio 45268.

UNICA, União da Agropecuária Canavieira do Estado de São Paulo, acessado em julho 2006, <http://www.portalunica.com.br/portalunica/>.

www.cpfac.embrapa.br/pdf/comunicado98.pdf