

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**OTIMIZAÇÃO DO USO DE LENHA E CAVACO DE MADEIRA PARA
PRODUÇÃO DE ENERGIA EM AGROINDÚSTRIA SEROPÉDICA**

MÁRIO DONIZETI DO NASCIMENTO

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas do Campus de Botucatu - UNESP, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração Energia na Agricultura

BOTUCATU - SP
Dezembro – 2007

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**OTIMIZAÇÃO DO USO DE LENHA E CAVACO DE MADEIRA PARA
PRODUÇÃO DE ENERGIA EM AGROINDÚSTRIA SEROPÉDICA**

MÁRIO DONIZETI DO NASCIMENTO

Orientador: Prof. Dr. Marco Antônio Martin Biaggioni

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas do Campus de Botucatu - UNESP, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração Energia na Agricultura

**BOTUCATU – SP
Dezembro - 2007**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

N244o Nascimento, Mário Donizeti do, 1956-
Otimização do uso de lenha e cavaco de madeira para produção de energia em agroindústria seropédica / Mário Donizeti do Nascimento. - Botucatu : [s.n.], 2007.
x, 90 f. : il. color., gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado) -Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2008
Orientador: Marco Antonio Martin Biaggioni
Inclui bibliografia.

1. Caldeira a vapor. 2. Seda - Indústria. 3. Madeira como combustível. 4. Resíduos de madeira como combustível. I. Biaggioni, Marco Antonio Martin. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: "OTIMIZAÇÃO DO USO DE LENHA E CAVACO DE MADEIRA PARA
PRODUÇÃO DE ENERGIA EM AGROINDÚSTRIA SEROPÉDICA"**

ALUNO: MÁRIO DONIZETI DO NASCIMENTO

ORIENTADOR: PROF. DR. MARCO ANTONIO MARTIN BIAGGIONI

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. MARCO ANTONIO MARTIN BIAGGIONI



PROF. DR. SERGIO A. LUNARDELLI FURCHI



PROF. DR. ANGELO CATANEO

Data da Realização: 17 de dezembro de 2007.

A Deus, pela vida e por tudo.

À minha esposa Viviane, pelo amor, incentivo e apoio.

Aos meus filhos que sempre me presentearam com amor e carinho.

A meu pai José Antonio (in memoriam) e minha mãe Maria Cândida, pelos exemplos de vida e orientação que muito contribuíram para minha formação e educação.

Aos meus irmãos, pelo apoio.

À minha admirável sobrinha Audrey, pelo incentivo.

Ao meu amigo-irmão Roberval Modesto da Cunha, pela presença, atenção e horas de estudo compartilhada durante o curso, e pela confiança e sincera amizade.

In memoriam para o educador Prof. Horácio Gonçalves Paula, um exemplo de vida como pessoa e profissional, saudades amigo.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Orientador Dr. Marco Antonio Martin Biaggioni, pela oportunidade oferecida e confiança; pelo apoio, estímulo, paciência, ensinamento e orientação na realização e concretização deste trabalho, e pela amizade;

À Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista FCA-UNESP, pela oportunidade concedida, a seus Professores, pelo ensinamento e dedicação e aos Funcionários, pela receptividade;

Aos Professores Dr. Ângelo Cataneo, Dr. Herman Isidor Maria Voss e Dr. Sérgio A Lunardelli Furchi pelas valiosas sugestões, visando ao enriquecimento deste trabalho;

Ao Prof. Ms. Luiz Gino F. Oliveira e o Ms Samir P. Jasper, pela colaboração;

À Fiação de Seda, pelas informações prestadas e colaboração durante as pesquisas;

A Madeireira Dal Fra, pelo cordial atendimento durante as pesquisas;

A H. BREMER & FILHOS LTDA, pelas informações prestadas;

Ao Regional Contábil Escritório de Contabilidade – Contabilidade Jurídica e Rural, pela colaboração no fornecimento de dados;

Aos funcionários dessas empresas e todas as pessoas que, de uma forma ou outra, colaboraram para a realização do presente trabalho.

Muito obrigado, que Deus esteja sempre com vocês.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE TABELAS DO APÊNDICE.....	X
1 RESUMO.....	01
2 SUMMARY.....	03
3 INTRODUÇÃO.....	05
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	08
4.1 Origem e expansão da sericicultura no mundo.....	08
4.2 Breve histórico da produção de Seda no Brasil.....	09
4.3 Obtenção do casulo: fase de campo.....	11
4.4 O casulo na fase industrial.....	12
4.4.1 Secagem do casulo.....	13
4.4.2 Cozimento dos casulos.....	14
4.5 Gerador de vapor d'água.....	14
4.5.1 Breve histórico sobre a caldeira.....	15
4.5.2 Classificação das caldeiras.....	16
4.5.2.1 Caldeiras Flamotubulares.....	16
4.5.2.2 Caldeiras Aquatubulares.....	16
4.5.3 Manutenção da caldeira.....	16
4.5.4 Combustível.....	17
4.5.5 A combustão e o poder calorífico do combustível.....	17
4.5.6 Umidade e o Poder Calorífico Inferior do combustível.....	18
4.5.7 Processo de produção do vapor.....	19
4.6 Fontes energéticas.....	21
4.6.1 As fontes energéticas e os aspectos do meio ambiente.....	21
4.6.2 Utilização de fontes alternativas de energia.....	23
4.6.2.1 Resíduo de madeira como combustível na geração de energia e cogeração.....	24
4.7 Custos de produção.....	25
4.7.1 Classificação dos custos.....	25
4.7.2 Custos Fixos e Custos Variáveis.....	25
4.7.3 Custos Diretos e Custos Indiretos.....	26
4.7.4 Custo Total e Custo Operacional.....	27
4.7.5 Custo Médio.....	28
4.7.6 Juros sobre o capital e demais Custos Fixos.....	28
4.7.6.1 Juros sobre o capital investido.....	28
4.7.6.2 Manutenção.....	29
4.7.6.3 Depreciação de bens.....	29
4.7.6.3.1 Legislação.....	30
4.7.6.3.2 Método para o cálculo da depreciação.....	30
4.7.6.3.3 Taxa Anual de Depreciação, Vida Útil e Critérios de Depreciação e Amortização.....	31

4.8 Simulação	32
4.9 Índices de preços.....	33
4.10 Avaliação energética.....	33
4.10.1 Classificação das formas de entrada de energia, em uma análise energética.....	35
4.10.1.1 Energia direta: mão-de-obra.....	35
4.10.1.2 Energia direta: combustível, óleo lubrificante e graxa.....	37
4.10.1.3 Energia indireta: máquinas e equipamentos.....	38
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
5.1 Materiais.....	40
5.1.1 Característica do Sistema de Geração de Vapor.....	41
5.1.2 Dados das planilhas da fiação referente ao consumo mensal da caldeira.....	42
5.1.3 Combustível.....	44
5.1.3.1 Poder Calorífico Inferior (PCI) e umidade dos combustíveis.....	44
5.1.3.1.1 Calculo do Poder Calorífico do cavaco com umidade de 20%.....	45
5.1.3.1.2 Calculo do Poder Calorífico da lenha com umidade de 20%.....	46
5.1.3.2 Preço do Combustível.....	46
5.2 Métodos.....	47
5.2.1 Procedimento para obtenção da quantidade de cavaco.....	47
5.2.2 Cálculo do vapor e da quantidade de cavaco.....	47
5.2.3 Metodologia utilizada na análise econômica: custos.....	48
5.2.3.1 Custos Fixos.....	48
5.2.3.1.1 Custo de instalação da caldeira.....	48
5.2.3.1.2 Custo anual da caldeira.....	49
5.2.3.2 Custos Variáveis.....	51
5.2.3.2.1 Custos dos combustíveis.....	51
5.2.3.2.2 Custos dos produtos de tratamento da água.....	52
5.2.3.2.3 Custo da água.....	52
5.2.3.2.4 Custo da energia elétrica.....	52
5.2.3.2.5 Custo da mão-de-obra que opera a caldeira.....	53
5.2.4 Metodologia utilizada na análise energética.....	54
5.2.4.1 Energia direta sob forma elétrica.....	55
5.2.4.2 Energia direta em forma de mão-de-obra.....	55
5.2.4.3 Energia direta sob forma de combustível, óleo lubrificante e graxa.....	56
5.2.4.4 Energia indireta sob forma de máquinas e equipamentos.....	57
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
6.1 Análise econômica.....	58
6.1.1 Composição do custo fixo.....	58
6.1.2 Composição do custo variável.....	60
6.1.3 Procedimento para o cálculo do vapor produzido e do consumo de cavaco.....	62
6.1.4 Otimização do custo.....	64

6.2 Análise energética.....	68
6.2.1 Estrutura dos dispêndios energéticos para o sistema de aproveitamento da lenha.....	69
6.2.2 Estrutura dos dispêndios energéticos para o sistema de aproveitamento do cavaco.....	70
6.2.3 Composição das entradas de energia nos itinerários da lenha e do cavaco.....	71
7 CONCLUSÕES.....	76
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
APÊNDICE.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Taxas percentuais de depreciação linear aceitas pelo fisco.....	31
Tabela 2	Critérios para depreciação e amortização.....	31
Tabela 3	Informações técnicas da caldeira modelo HBFS – 04 e tipo de combustível que pode ser utilizado	41
Tabela 4	Quantidade mensal de água e de lenha consumida e despesa em reais (R\$) com lenha.....	42
Tabela 5	Quantidade mensal de produtos consumidos para o tratamento da água na caldeira e despesa mensal em reais (R\$) de cada produto	43
Tabela 6	Poder Calorífico Inferior (PCI) e peso específico das biomassas cavaco e lenha.....	45
Tabela 7	Preço do cavaco na cidade de Duartina.....	46
Tabela 8	Tratamento da simulação.....	48
Tabela 9	Tarifas dos serviços de fornecimento de água e/ou coleta de esgoto.....	52
Tabela 10	Empresa não Optante pelo Simples - Cálculo sobre um salário de mensalista.	53
Tabela 11	Investimentos necessários para instalação da caldeira, vida útil e taxa de depreciação.....	59
Tabela 12	Custo anual dos componentes que formam o custo fixo.....	60
Tabela 13	Componentes e respectivos custos, utilizados na formação do custo variável.	61
Tabela 14	Dados utilizados para calcular a produção de vapor e o consumo de cavaco..	62
Tabela 15	Quantidade mensal de lenha consumida (Ql), quantidade de vapor (Qv) mensal produzida e quantidade mensal de cavaco (Qcav) necessária para produzir a mesma quantidade de vapor no período de 2.004 a 2.006, kg.h ⁻¹	63
Tabela 16	Simulação de porcentagens da quantidade de lenha e cavaco para a produção de 2.968,80 kcal.h ⁻¹	65
Tabela 17	Custo total de cada tratamento.....	66
Tabela 18	Simulação do Custo Total, considerando-se para o preço da lenha valores a percentuais do preço do cavaco	67
Tabela 19	Entrada de energia por tipo, fonte e forma, em MJ.m ⁻³ , e participações percentuais nas operações envolvidas no itinerário da lenha.....	69
Tabela 20	Entrada de energia por tipo, fonte e forma, em MJ.t ⁻¹ , operações do itinerário do cavaco.....	70
Tabela 21	Entrada de energia por tipo, fonte e forma em MJ.h ⁻¹ , e participações percentuais nas operações envolvidas no itinerário do cavaco e da lenha	72
Tabela 22	Diferença no consumo energético entre os itinerários estudados e percentual da participação das formas de energia nesses itinerários.....	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Representação gráfica do processo de produção do vapor.....	20
Figura 2	Representação gráfica da função de substituição de lenha por cavaco na caldeira.....	64
Figura 3	Participação, por hora, das diversas fontes de energia nos itinerários da lenha e do cavaco.....	73
Figura 4	Participação por hora das diversas formas de energia nos itinerários da lenha e do cavaco.....	75

LISTA DE TABELAS DO APÊNDICE

TABELA AP1	Máquinas e implementos, peso e vida útil.....	84
TABELA AP2	Máquinas e implementos, peso e vida útil (V.U), operações, consumo por tonelada de cavaco.....	84
TABELA AP3	Máquinas e implementos, peso e vida útil (V.U), operações, consumo por metro cúbico de lenha.....	84
TABELA AP4	Massa, altura, idade e GER dos trabalhadores na produção e transporte do Cavaco, e transporte da lenha	85
TABELA AP5	Cálculo de necessidades calóricas referentes a 24 horas para cada trabalhador estudado, na produção, transporte e alimentação da caldeira - cavaco.....	85
TABELA AP6	Cálculo das necessidades calóricas referentes a 24 horas para cada trabalhador estudado, no transporte e na alimentação da caldeira - lenha.....	87
TABELA AP7	Cálculo do consumo de óleo diesel, lubrificante e graxa nas operações do itinerário da lenha	89
TABELA AP8	Cálculo do consumo de óleo diesel, lubrificante e graxa nas operações do itinerário do cavaco.....	90
TABELA AP9	Cálculo da energia direta de fonte elétrica.....	90

1 RESUMO

O objetivo deste trabalho foi realizar uma avaliação econômica e energética para o uso de lenha e cavaco de madeira na produção de energia em caldeira de agroindústria seropédica.

Utilizou-se, para o estudo, a caldeira de uma fiação de seda localizada na cidade de Duartina, interior do estado de São Paulo, que atualmente emprega como combustível a lenha de eucalipto para gerar o vapor de água, que é utilizado na produção do fio da seda.

Buscando a otimização do custo de produção do vapor, analisou-se, economicamente, através de simulações, a substituição da lenha pelo cavaco de madeira como combustível na caldeira, bem como alternativas mistas de diversas percentagens desses combustíveis, utilizando-se como referência o consumo médio mensal da lenha na caldeira e o Poder Calorífico Inferior (PCI) de cada combustível a um mesmo teor de umidade.

Na construção da estrutura de dispêndio energético do sistema de aproveitamento dos combustíveis em estudo, para a análise energética, considerou-se a entrada de energia por tipo, fonte e forma, em Megajoule (MJ), envolvida nas diversas operações do itinerário técnico da lenha, bem como nas operações do itinerário do cavaco. A partir dessa estrutura, realizou-se uma análise comparativa das entradas de energia da participação da lenha e do cavaco, em Megajoule por hora ($\text{MJ} \cdot \text{h}^{-1}$), para produzir $2.968,80 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ de vapor, média da produção na caldeira, nos anos de 2004, 2005 e 2006.

Os resultados da análise energética revelam ser viável a substituição da lenha de eucalipto pelo cavaco de madeira na caldeira.

Nas condições propostas neste estudo e utilizando preços médios, do período 2004 a 2006, a produção de vapor na caldeira, com 100% de cavaco de madeira é a alternativa econômica que otimiza o custo.

Palavras-chave: biomassa, geração de vapor, agroindústria seropédica, análise econômico-energética.

OPTIMIZATION OF FIREWOOD AND WOODSHAVING USE FOR ENERGY GENERATION IN SEROPEDICAE AGROINDUSTRY, Botucatu, 2007. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: MÁRIO DONIZETI DO NASCIMENTO

Adviser: MARCO ANTONIO MARTIN BIAGGIONI

2 SUMMARY

The aim of this piece of work was to perform an economical and energy evaluation of firewood and woodshaving use for energy generation on seropedicae agroindustry boiler.

For this study, we used a boiler from a silk spinning factory located in the city of Duartina, São Paulo, Brazil, that uses nowadays eucalyptus firewood as fuel to generate water vapour used in the production of silk thread.

Aiming at vapour production cost optimization, the substitution of firewood for woodshaving as boiler fuel was economically analyzed, through simulations, as well as these fuels several percentages mixed alternatives, using as a reference the average monthly consumption of firewood in the boiler and each fuel Lower Calorific Power at the same moisture content.

For the energy analysis, on the construction of the studied fuels utilization system energy expenditure structure, we considered energy entrance by type, source and form, in Megajoule (MJ), involved in the several operations of firewood technical itinerary, as well as in the operations of woodshaving itinerary. From that structure, a firewood and woodshaving participation energy entrance comparative analysis was carried on, in Megajoule per hour ($\text{MJ} \cdot \text{h}^{-1}$), to produce 2.968,80 $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$ of vapour, the boiler average production, during the years of 2004, 2005, and 2006.

The results of the energy analysis reveal that eucalyptus firewood substitution for woodshaving is viable in the boiler.

Under the conditions proposed in this study and using average prices, from 2004 to 2006, it was concluded that vapour production in the boiler, with 100% of woodshaving, is the economical alternative that optimizes the cost.

Keywords: biomass, vapour generation, seropedicae agroindustry, energy economical analysis.

3 INTRODUÇÃO

A atividade agroindustrial brasileira, principalmente a sericicultura obtida do casulo confeccionado pelo bicho-da-seda, para produzir fibras utilizadas na indústria têxtil, é uma atividade milenar em países como a China. No Brasil essa atividade teve início a partir do século XVIII, numa iniciativa do imperador D. Pedro I.

De acordo com Mello (2005), o Brasil apresenta 1,9% da produção mundial, sendo sua seda considerada a melhor do mundo, e mais de 90% dos fios são exportados para mercados exigentes, como a Europa e o Japão; porém, essa produção está ameaçada de extinção devido à queda do dólar, à falta de bichos de seda e ao crescimento das vendas dos chineses.

A produção agroindustrial, conhecida como sericicultura, inicia-se com a plantação das amoreiras que os produtores utilizam para alimentar as larvas que formarão o casulo. Essa produção atravessa etapas que permeiam desde a confecção desse casulo pelo bicho, até a fiação. Os produtores levam os casulos para a indústria onde são encaminhados para o processo da fiação que consiste em secar o casulo, para sacrificar a mariposa e retirar a umidade para o armazenamento. Logo após, passa por um processo de seleção onde se separam os casulos defeituosos. Os casulos de boa qualidade são mergulhados em água quente com temperatura que varia de 60°C a 120°C para dissolver a sericina. Dissolvida essa substância, o fio se solta de onde é possível encontrar a ponta, a qual é

colocada numa máquina que enrola o fio e faz meadas que serão utilizadas para a fabricação do tecido.

O vapor de água utilizado para a secagem do casulo e aquecimento da água para o desprendimento da ponta do fio é proveniente da caldeira que utiliza primordialmente como combustível a lenha e eletricidade como principais fontes de energia, podendo haver outros tipos de combustível.

Considerando que o processo de casulos o qual se baseia, atualmente, no uso do combustível lenha, a caldeira em estudo consome em média, mensalmente, 647,92m³ de lenha, a um custo de, aproximadamente, R\$ 21.796,03, podendo-se inferir que pesquisas voltadas para testar fontes alternativas podem representar reduções no custo final de produção.

Em Duartina e região, há madeireiras, serrarias e fábricas de móveis que utilizam a madeira para fins não energéticos, produzindo uma grande quantidade de resíduos de madeira em diferentes tamanhos, os quais transformados em cavaco, podem ser aproveitados como combustível na caldeira, para obtenção do vapor, procedimento este que oferece, ainda, benefícios de ordem ambiental. Quando transformados em cavaco e utilizados na caldeira, poderão contribuir para a minimização dos custos de produção e, conseqüentemente, do consumo de óleo diesel no transporte da lenha do campo até a indústria, a qual normalmente, é oriunda de propriedades distantes.

Atualmente, três madeireiras da cidade já produzem cavaco. Uma delas produz, em média, 1000 t por mês de cavaco de eucalipto, sendo a produção mensal da segunda de, aproximadamente, 200 t de cavaco de pinus, e a terceira produz, em média, 300 t por mês de cavaco misto de pinus e eucalipto, porém os mesmos são vendidos externamente para indústria de celulose, quando poderiam ser aproveitados dentro do próprio município como combustível, na caldeira que produz o vapor de água que é utilizado na fiação sediada na cidade de Duartina, SP. Trata-se de uma opção que poderá minimizar o consumo de óleo diesel no transporte do cavaco e, conseqüentemente, o custo.

O objetivo deste trabalho é realizar análise energética e econômica no processo de substituição da lenha pelo cavaco de madeira como combustível, através de simulações, bem como alternativas mistas entre o cavaco e a lenha, em diversas percentagens,

tendo como objetivo a busca de otimização do custo de produção. É fato que a pesquisa desenvolvida se fixou na fiação, madeireiras e serrarias da cidade de Duartina, SP.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Origem e expansão da sericicultura no mundo

A produção de uma das fibras naturais utilizadas pela indústria têxtil é baseada numa atividade agroindustrial que explora a seda obtida do casulo fabricado pelo bicho-da-seda, conhecido cientificamente como Bombyx mori L., e é designada Sericicultura.

Segundo Corradello (1987), é uma atividade explorada desde 2.600 a.C., na China, sendo essa afirmação proveniente de escritos do filósofo chinês Confúcio que atribuiu à imperatriz Siling-Chi, esposa do imperador Hang-Ti, a primeira tentativa de criar o bicho-da-seda e utilizar o fio do casulo.

No século IV, a sericicultura já estava estabelecida na Índia e na Ásia Central. Há 1500 anos, houve uma expansão gradativa da atividade para a Itália, Espanha, França, Alemanha e Inglaterra onde surgiram notáveis avanços na indústria de tecelagem. Nos Estados Unidos da América, a primeira indústria de tecelagem de seda foi introduzida em 1838 (LIMA, 1995).

Segundo Fonseca e Fonseca (1988), os resultados obtidos com o avanço das pesquisas científicas e associados ao desenvolvimento tecnológico foram relevantes para a sericicultura vinda do Oriente, a qual, aos poucos, foi expandindo-se em todo mundo, devido ao aumento da produção do casulo verde, tornando-se uma atividade de relevância econômica em muitos lugares do mundo.

De acordo com Mello (2005), o maior produtor de seda do mundo é a China com 76% do mercado, seguida da Índia com 17,7%, o Vietnã em 2,7% e o Brasil em 1,9%.

4.2 Breve histórico da produção de Seda no Brasil

No Brasil, numa iniciativa do imperador D. Pedro I, no século XVIII, coube à cidade de Itaguaí, RJ, fundar a primeira indústria, denominada de Imperial Companhia Seropédica Fluminense.

Na primeira metade do século XX, houve várias tentativas em busca do desenvolvimento da sericicultura. Segundo Hamada e Watanabe (1986), no ano de 1912, foi criada pelo Governo Federal a Estação Experimental de Sericicultura na cidade de Barbacena (MG), com objetivo de produzir mudas de amoreira, ovos de bicho-da-seda e efetuar a orientação técnica. No ano de 1921, no Estado de São Paulo, estabeleceu-se em Campinas a S.A. Indústria de Seda Nacional cujo acionista principal era Francisco Matarazzo que tinha, também, como objetivo a produção de mudas selecionadas, ovos de bicho-da-seda, estimulando, assim, a sericicultura e a formação de técnicos de campo.

A sericicultura, no Brasil, no início, tinha dependência quase que total do mercado externo, motivo pelo qual atravessou não somente períodos de grande desenvolvimento, mas também de grande depressão. Refletiam diretamente nos preços dos casulos produzidos, as variações da demanda no mercado exterior, de tal forma que não havia uniformidade na expansão da produção de seda (FONSECA e FONSECA, 1988).

No Estado de São Paulo, de acordo com Fonseca e Fonseca (1988), a sericicultura teve novos e grandes impulsos a partir do surgimento da notável organização denominada S/A Indústria de Seda Nacional, que ocorreu no ano de 1923, e da criação, no ano de 1935, do primeiro órgão oficial do Estado – 3ª Seção do Departamento da Indústria Animal, pelo governador Fernando Costa.

No ano de 1930, na cidade de Bastos, SP, iniciaram-se as experiências com a criação do bicho-da-seda que contou com a participação de japoneses assentados na cidade. No ano de 1940, é fundada, nessa cidade a fiação de seda Bratac. Quase toda atividade referente à criação do bicho-da-seda, desde o início das atividades da Bratac, até fins da

década de 1950 e início dos anos 1960, era desenvolvida por imigrantes japoneses (GARCIA,2004)

Conforme Fonseca e Fonseca (1988), o Brasil exportava para o Japão a maior parte da seda e, no início de 1970, novas empresas de fiação foram instaladas no Brasil, sendo a maioria delas com capital japonês, tendo como objetivo a produção de fio de seda para a exportação. Os mesmos autores comentam, ainda, que, nessa década, os principais produtores do Estado de São Paulo se localizavam na região de Bauru, Duartina, Bastos, Gália, Marília, Lins, Charqueada, São José do Rio Preto, além de outros espalhados por inúmeros municípios. No Estado do Paraná, os sericicultores localizavam-se na região Norte, abrangendo, aproximadamente, 107 municípios. A sericicultura expandiu-se também pelos Estados de Mato Grosso, Minas Gerais, Goiás e também por outros Estados do norte.

No ano 1984, a Cocamar, Cooperativa Agroindustrial de Maringá, inaugura uma fiação e inicia a sua produção de fios de seda. Em 2003, foram somente as empresas Bratac, Kanebo Silk e Cocamar as responsáveis por toda a produção brasileira de fio de seda, sendo a maior produtora nacional a Bratac com 68,6% da produção, seguida pela Kanebo Silk com 23,3% e pela Cocamar com 8,1% (ABRASSEDA, 2004).

Segundo Mello (2005), a fiação de seda Bratac de Bastos SP, que responde por quase 70% do mercado e suas concorrentes – a Kanebo Silk, que tem 20% do mercado e a Cocamar, com 10% - apostam na alta qualidade da seda brasileira para vencer os obstáculos. A escala de classificação de qualidade do fio de seda vai de D, a mais baixa, até 6A, a máxima. A Bratac fabrica, principalmente, seda de 4 A a 6 A. A China fabrica, principalmente, do nível padrão 3 A para baixo.

A seda brasileira é considerada a melhor do mundo, sendo que mais de 90% dos fios de seda produzidos aqui são exportados para mercados exigentes como Europa e Japão. A agroindústria nacional de seda, porém, está ameaçada de extinção. Os fabricantes de fio de seda estão lutando para sobreviver à queda do dólar, à falta de bichos-de-seda e ao crescimento das vendas dos chineses (MELLO, 2005).

Atualmente, de acordo com Melo (2007), a produção cresce entre os pequenos produtores, graças ao estímulo para a produção dos casulos verdes de bicho-da-seda. Comenta ainda que a ABRASEDA (Associação Brasileira da Fiação de Seda) calcula que 7.611 famílias se dedicam à sericicultura e que o Brasil vai produzir 8.255 toneladas de

casulos na safra de 2006/2007, tendo produzido, na safra anterior, 8.051 toneladas. A exportação brasileira, em 2006, foi de 1.173 toneladas de fio e a previsão para 2007 é de 978 toneladas. O mercado interno absorveu, em 2005, 210 toneladas; em 2006, 146 toneladas, e a previsão para 2007 é de 125 toneladas de fios de seda, o que revela uma queda de 14% na demanda. Ainda afirma que, embora o mercado de seda não esteja favorável, Shigueri Taniguti Junior, gerente-comercial da Fiação de Seda Bratac, aponta um nicho para os fios de seda produzidos no Brasil: Japão e grandes grifes da Europa. “O País produz o melhor fio de seda do mundo, mas há muita oferta de produto chinês, a maioria de qualidade mediana”.

4.3 Obtenção do casulo: fase de campo

O casulo é um produto originado da criação do bicho-da-seda, atividade esta desenvolvida, geralmente, em pequenas propriedades rurais, onde predomina o trabalho familiar. Segundo Fonseca e Fonseca (1988), os bichos-da-seda tecem seus casulos para proteger as pupas contra os predadores durante a metamorfose. Os mesmos autores comentam que sua vida passa pelos estágios: ovo, larva, pupa (crisálida) e imago (mariposa).

Conforme Corradello (1987), os criadores recebem os ovos das indústrias de fiação. O nascimento das larvas, na incubadeira, só se completa em 2 ou 3 dias consecutivos, a partir do término da eclosão dos ovos. Segundo Fonseca e Fonseca (1988), a eclosão ocorre em 10 ou 12 dias, após o início da incubação.

De acordo com Corradello (1987), nos dois primeiros dias da 1ª idade, as lagartas são alimentadas com folhas de amoreira cortadas a uma largura igual ao comprimento das lagartas. No 3º dia da 1ª idade, as lagartas entram em repouso para a muda da pele. O desenvolvimento das larvas é rápido e crescente, mas interrompidos pelas cinco mudas larvais, que são classificadas quanto à duração e à distribuição:

- 1ª idade: do nascimento à primeira muda - 5 dias
- 2ª idade: da primeira muda à segunda muda - 4 dias
- 3ª idade: da segunda muda à terceira muda - 5 dias
- 4ª idade: da terceira muda à quarta muda - 6 dias
- 5ª idade: da quarta muda à formação dos casulos - 8 a 10 dias.

A duração das três primeiras mudas é de aproximadamente 24 horas que compreendem o estado de letargia (sono), enquanto a quarta muda se prolonga de 36 a 48 horas. A realização do ciclo larval completo é de 28 a 30 dias.

A mesma autora comenta que a alimentação deve ser fornecida no mínimo três vezes ao dia. A 4ª e 5ª idades é a época em que se desenvolvem as glândulas sericígenas, motivo pelo qual a alimentação, nesse período, deve ser abundante e nutritiva. Quando as lagartas atingem do 7º ao 9º dia da 5ª idade, param de comer as folhas de amoreira e preparam-se para o emboscamento, ou seja, ato de subir no bosque (local preparado para as lagartas confeccionarem o casulo). No momento em que as lagartas maduras encontram o bosque, iniciam a confecção do casulo, que ficará pronto dentro de 4 ou 5 dias. Dá-se o início da metamorfose das lagartas em crisálidas, de 16 a 24 horas, após terminarem o casulo.

Segundo Hanaba e Watanabe (1986), no 7º ou 8º dia após o emboscamento, poderão ser feitas a colheita e a limpeza do casulo, as quais consistem em pegar as lagartas mortas ou doentes, casulos com lagartas mortas, etc. e eliminar a anafia (sobra do fio não fixado no casulo) que envolve o casulo. Logo após a limpeza e a seleção, os produtores, finalmente, poderão entregar os casulos às fiações.

O trabalho familiar realizado com criação-do-bicho no campo contribui para o desenvolvimento sustentável da região e do país, por se tratar de atividade com baixo impacto ambiental e de relevante aspecto social.

4.4 O casulo na fase industrial

Segundo Lima (1995), de um conjunto de operações tecnológicas aplicadas na criação do bicho resultou o casulo comercial do bicho-da-seda, que é comercializado com objetivo de gerar fio de seda e, conseqüentemente, produtos de alto valor agregado. Sua industrialização e as operações tecnológicas têm por finalidade modificar as características físicas e químicas, qualitativas e/ou quantitativas dos casulos verdes, características estas que são indispensáveis para o seu melhor aproveitamento e comercialização futura. Vale ressaltar que a constituição química do casulo verde é bastante variada, havendo a predominância para fibroína e sericina, como afirmam Lima e Mata (1995). A casca do casulo é constituída unicamente do fio de seda, composto de sericina e

fibroína, com uma variação de 800 a 1.500 m e com espessura de 0,02 mm, como apresentam Hanada e Watanabe (1986). E ainda seguindo a menção de Lima e Mata (1995), dependendo do tipo de seda da região ou do país de sua origem, o total de sericina presente na seda bruta é variável, passando a sensação de rigidez e sendo totalmente solúvel em água quente.

4.4.1 Secagem do casulo

O principal objetivo da secagem é o sacrifício da crisálida, a futura mariposa, que é realizado para evitar o rompimento e danificação do casulo. Segundo Lima e Mata (1995), durante a metamorfose que ocorre dentro do casulo, a larva se transforma em pupa (ninfá ou crisálida) e, em seguida, a pupa se transforma, formando a mariposa, um suco alcalino é secretado do estômago da mariposa e umedece a casca do casulo deixando-a amolecida, facilitando, assim, o rompimento e sua saída do casulo.

A secagem dos casulos deve ser realizada num prazo máximo de dois dias, após a entrega dos casulos, na fiação, pelos produtores.

Um outro objetivo da secagem é a desnaturação da proteína sericínica. A desnaturação da proteína sericínica dá resistência ao fio na hora do cozimento e reduz os índices de arrebentamentos durante a fiação automática. De acordo com Lima e Mata (1995), as propriedades físicas, químicas e mecânicas e, em especial, a resistência à ruptura são influenciadas pela água absorvida pela fibra têxtil, assim como sua temperatura.

Segundo Fonseca e Fonseca (1988), o processo de sufocação da crisálida consiste em fazer uma corrente de ar quente que atravessa a massa de casulos com uma temperatura de cerca de 100 a 110° C e, logo após, faz-se uma regressão progressiva, à medida que se vai completando a secagem do casulo, terminando a 40 a 50° C.

De acordo com a Fiação de Seda Bratac S.A (1984), apud Lima (1995), faz-se necessário um controle muito rigoroso de temperatura para os diversos tipos de casulos, visando à escolha da faixa ideal para cada tipo de casulo verde. Segundo ela, utilizando-se de uma faixa de temperatura de 120° C, provocar-se-á a morte da crisálida e uma dificuldade em se fiar esses casulos, com um número acentuado de emendas. Para o caso de secar os mesmos em temperaturas baixas, haverá dificuldades no cozimento e na

manufaturaç o do fio, provocadas pelas emendas e paradas sucessivas das máquinas. Em ambos os casos se acentua uma enorme redução da produção.

A secagem dos casulos do bicho-da-seda, além de evitar o rompimento da mariposa, segundo Lima (1995), passa a ter relevante importância na medida em que esses precisam ser armazenados, de forma a minimizar sua deteriora o. O mesmo autor comenta que, dada a sua grande importância para fins de comercializa o, pode-se admitir a necessidade de secagem para posterior armazenagem e utiliza o como m teria-prima para a indústria de fia o, com conseqüente exporta o do fio de seda. Sendo assim, o fio de seda desempenha relevante papel na economia de divisas, pelo seu caráter de exporta o.

4.4.2 Cozimento dos casulos

  o processo pelo qual os casulos são cozidos, em água fervente ou vapor, durante certo tempo, variável segundo qualidade e grau de secagem, para amolecer a sericina a um grau moderado. O objetivo do cozimento   desenrolar facilmente o filamento do casulo e prevenir a sua ruptura e o embaraçamento durante o processo de enrolagem ou bobinagem (FONSECA e FONSECA, 1988).

4.5 Gerador de Vapor de  gua

Caldeira ou gerador de vapor de água   um equipamento de suma importância nas agroindústrias, pois se ela não operar, toda a empresa p ra. A caldeira, na fia o de seda de Duartina, produz o vapor de água que   utilizado na secagem dos casulos e no aquecimento da água para o cozimento dos mesmos.

Conforme a norma reguladora sobre caldeiras (NR-13, 13.1.1), “Caldeiras a vapor são equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior   atmosfera, utilizando qualquer fonte de energia”.

Segundo Mitamura (2005), caldeira   definida como um trocador de calor mais complexo que utiliza a água como vaporizante e o combustível como uma fonte de energia térmica, para produzir e acumular vapor sob pressão superior   atmosfera. Os combustíveis podem ser sólidos, líquidos ou gasosos.

Para Macintyre (1997) apud por Pazian (2004), caldeiras ou geradores de vapor d'água são equipamentos destinados a mudar o estado da água, do líquido para o de vapor, a fim de ser usado em aquecimento, em processos industriais.

4.5.1 Breve histórico sobre caldeira

Foi no século II a.C. que Heron de Alexandria realizou uma série de experiência e construiu um aparelho que foi o precursor das caldeiras e das turbinas a vapor. Esse aparelho é chamado de Eolípila, vaporizava água e movimentava uma esfera em torno de um eixo (MITAMURA, 2005).

Na época, o estudioso não conseguiu enxergar nenhuma utilidade prática para seu invento, visto que nenhum trabalho útil era produzido por esse movimento, mas muitos séculos mais tarde, sua invenção e uso foram uma das bases tecnológicas da Revolução Industrial.

Conforme Pazian (2004), nos anos de 1924 e 1925, nos Estados Unidos, foi dado um grande salto ao projeto, colocando-se em operação uma caldeira para 1.200 psi (84,5 kgf.cm⁻²), na estação Edgard da Boston Edison Company. Essa caldeira fornece cerca de 70 toneladas de vapor por hora, a uma temperatura de 371 °C, acionando uma turbina de 3.150 kW a 3.600 rpm.

Segundo Mitamura (2005), a Revolução Industrial contribuiu com o grande impulso para o uso do vapor e, em 1835, já havia, aproximadamente, seis mil teares movidos a vapor. Mas a evolução das caldeiras foi acentuada após a 1ª Guerra Mundial. O mesmo autor comenta que a construção atual de caldeira que produz vapor a pressões superiores a 100 Kgf.cm⁻², com temperatura da ordem de 500 a 600°C, foi possível graças ao desenvolvimento de tecnologia de materiais aliados às técnicas de remoção de calor gerado pela queima de combustível, durante as últimas décadas.

4.5.2 Classificação das Caldeiras

Segundo Pazian (2004), conforme o modo de transferência de calor para vaporizar a água, as caldeiras podem ser classificadas em flamotubulares ou aquatubulares.

4.5.2.1 Caldeiras Flamotubulares

Nas caldeiras flamotubulares ou fogotubulares, os gases quentes da combustão circulam no interior de tubos que atravessam o reservatório de água a ser aquecida para produzir vapor. Esse tipo de caldeira, geralmente de pequeno porte, é utilizado apenas para pressões e vazões de vapor reduzidas. Conforme Mitamura (2005), normalmente, as capacidades são restritas à pressão máxima de 20 kgf.cm^{-2} e produção de 30 ton.h^{-1} e, de acordo com o mesmo autor, as caldeiras flamotubulares são mais econômicas que as aquatubulares, visto que, até 20 t.h^{-1} de geração de vapor, o custo é menor.

4.5.2.2 Caldeiras Aquatubulares

Nas caldeiras aquatubulares a água a ser vaporizada passa no interior de tubos que por sua vez, são envolvidos pelos gases de combustão. Os tubos podem estar organizados em feixes como nos trocadores de calor, e as caldeiras que os contêm aparentam a forma de um corpo cilíndrico ou de paredes de água como nas caldeiras maiores.

4.5.3 Manutenção da caldeira

A manutenção da caldeira é uma das peças-chave na prevenção de acidentes. Os tipos mais comuns são: a manutenção preventiva, que é a mais barata, já que ela conserva o equipamento e pode ser até considerada como investimento, evitando que ela se estrague. O outro tipo de manutenção é a corretiva, que é mais cara, e muitas vezes a caldeira deixa de operar por períodos longos, o que reflete no faturamento. “O custo médio anual de

manutenção de uma caldeira não ultrapassa 1% de seu valor de mercado”, informa Wagner Topfstedt, (SEM 2006).

Dal Farra e Esperancini (2005), em seu estudo, para o equipamento gerador de energia térmica, considerou o custo de manutenção equivalente a 1% do investimento inicial por ano e esse valor foi distribuído igualmente durante o ano.

A norma brasileira NR13 obriga inspeções periódicas em um período nunca superior a 12 meses. E, quando a caldeira completar 25 (vinte e cinco) anos de uso, na sua inspeção subsequente, deve ser submetida a rigorosa avaliação de integridade para determinar a sua vida remanescente e novo prazo máximo para a inspeção, caso ainda esteja em condições de uso.

4.5.4 Combustível

São muitas as opções de combustíveis para a queima em caldeira, e os mais utilizados são: gás GLP, gás natural, óleos pesados como BPF e biomassas (lenha, resíduos de madeira etc.). Na matéria Sem...(2006), Evair Sacani, diretor comercial da Quentelar, comenta que os critérios para a escolha do combustível devem ser adotados por cada usuário, devendo ser analisados o custo do combustível, posto no local do consumo, a disponibilidade na região, disponibilidade de mão-de-obra, influência do meio ambiente e custo/benefício.

4.5.5 A combustão e o poder calorífico do combustível

Nas caldeiras, o vapor de água é produzido através do calor obtido a partir da combustão dos combustíveis. Segundo Branco (1990), as biomassas possuem energia potencial que é liberada durante a combustão do combustível lenha, carvão ou petróleo, e é transferida para aquecer água e transformá-la em vapor.

Para Cook (1976) apud Goldemberg (2001), a combustão (ou “oxidação”) é uma reação química na qual o oxigênio é combinado com algum elemento. A “oxidação” do carbono procede através da seguinte reação química:



O que isso significa é que são produzidos 94,03/12 kcal por grama de carbono, i.e., 7,8 kcal.

A queima de todos os combustíveis fósseis carbonados (carvão, óleo, gás), assim como a biomassa, provém dessa reação. A produção de CO₂ como um produto final é, portanto, uma consequência inevitável da queima dos combustíveis fósseis.

A oxidação do hidrogênio provém da equação:



São produzidas 34,2 kcal de calor por grama de H, i.e., mais do que quatro vezes o calor produzido na combustão de 1 g de C.

Segundo Mesny (1967), toda substância que contenha hidrogênio, nos produtos da combustão aparece vapor de água que abandona a fornalha da caldeira em estado superaquecido. Assim, toda a água originada pela combustão que permanecer em estado de vapor, refere-se ao poder calorífico inferior e, quando permanecer líquida, poderá falar-se de seu poder calorífico superior. Entende-se por poder calorífico de um combustível, o calor desprendido durante a combustão de um quilograma do mesmo.

4.5.6 Umidade e o Poder Calorífico Inferior do combustível de madeira

Todo combustível sólido contém umidade. A combustão da lenha verde é dificultada, devido à elevada quantidade de umidade natural. Segundo Mesny (1967), a lenha deve sofrer um processo de secagem para adquirir absorção de calor, que realiza o processo de evaporação da água nela contida. Conforme Brito (1986), toda madeira extraída de uma floresta a qual será utilizada como combustível, deve ser estocada por algum tempo, para secagem natural. O mesmo autor comenta que, em base úmida, num limite situado,

aproximadamente, em 65%, a madeira deixa de ser considerada como combustível e o aproveitamento é eficiente se a percentagem for inferior a 45%.

Segundo Hugot (1976), a lenha que se queima, geralmente, tem umidade compreendida entre 30% e 40%.

Conforme Brito et al. (1983), nas condições do Estado de São Paulo, o teor de umidade da madeira de eucalipto que chega à indústria apresenta, em média, um valor que varia entre 30% e 40% e uma densidade básica em torno de $0,5 \text{ t.m}^{-3}$.

Segundo Brito (1986), o fator de maior relevância o qual influencia no uso da madeira como energia, talvez seja a umidade, visto que uma parte da energia liberada é consumida na vaporização, devido ao poder negativo representado pela presença da água e, por outro lado, se o teor de umidade variar, poderá dificultar o processo de combustão e, conseqüentemente, haverá necessidade de ajuste no sistema, constantemente.

Conforme Mesny (1967), o poder calorífico (kcal.kg^{-1}) de um combustível é afetado pela umidade que está contida nele. Segundo o mesmo autor, o poder calorífico da lenha varia de 2.400 a 3.700 kcal.kg^{-1} . De acordo com Mitamura (2006), o poder calorífico inferior da lenha, para um teor de umidade de 40% é de 2.400 kcal.kg^{-1} , e com 12% de água, o (PCI) é 3.680 kcal.kg^{-1} .

4.5.7 Processo de produção do vapor

O calor desprendido na combustão, durante a queima do combustível, aquece a água e, logo após atingir a temperatura de vapor, inicia-se a formação do vapor de água que é conhecido como vapor saturado. Cada quilograma de vapor gerado ocupará um determinado volume, que é denominado volume específico, expresso em ($\text{m}^3.\text{kg}^{-1}$) (MITAMURA,2005).

A Figura 1 apresenta como ocorre a produção do vapor.

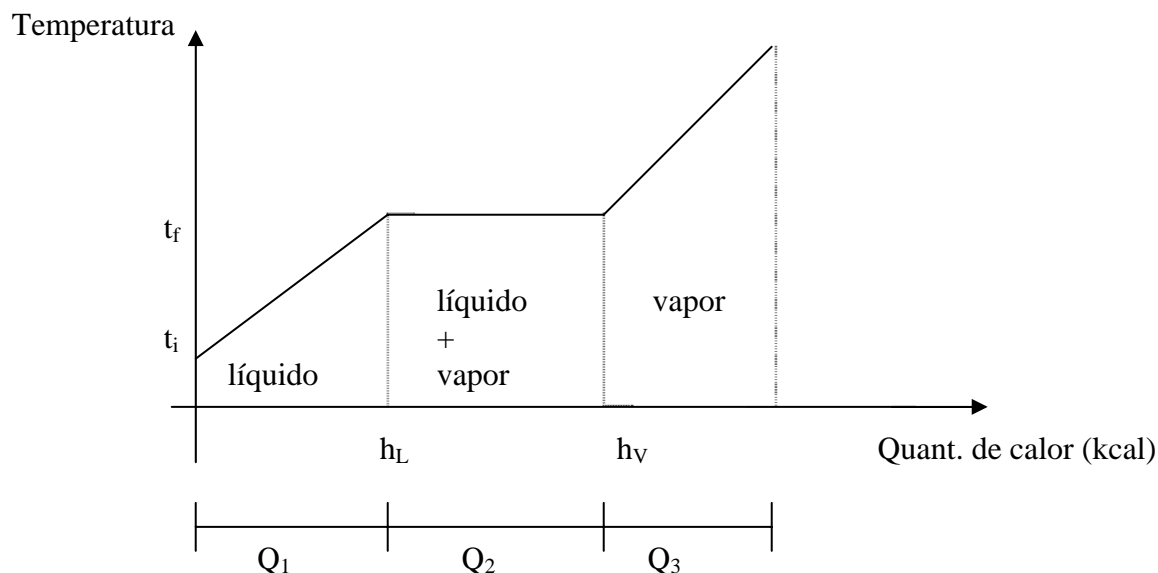


Figura 1. Representação gráfica do processo de produção do vapor.

Fonte: Mitamura (2005)

Na figura 1, tem-se:

Líquido + vapor = vapor saturado

Vapor = vapor superaquecido → vapor que está acima da sua temperatura de vaporização

h_L = Entalpia do líquido saturado (kcal.kg^{-1}) é a quantidade de calor necessária para dar início a vaporização.

h_V = Entalpia do vapor saturado (kcal.kg^{-1}) é a quantidade de calor necessária para ocorrência da passagem do estado líquido para o estado de vapor, na temperatura de vaporização.

Q_1 e Q_3 = Quantidade de calor sensível (kcal)

Q_2 = Quantidade de calor latente (kcal)

O calor latente de vaporização (kcal/kg) é a diferença entre a Entalpia do vapor saturado e a Entalpia líquido saturado, representado pela seguinte expressão:

$$h_{LV} = h_V - h_L \quad (1)$$

Em que:

h_{LV} = calor latente de vaporização (kcal.kg^{-1})

h_V = Entalpia do vapor saturado (kcal.kg^{-1})

h_L = Entalpia do líquido saturado (kcal.kg^{-1})

4.6 Fontes energéticas

4.6.1 As fontes energéticas e os aspectos do meio ambiente

A necessidade da energia para a sobrevivência do homem vem desde o homem primitivo. Segundo Branco (1990), não é possível imaginar uma fábrica dependendo apenas do trabalho manual dos operários. O homem moderno depende da energia elétrica e do combustível, assim como os homens dos séculos passados eram dependentes do cavalo e o homem primitivo sobreviveu da dependência de seus braços.

Segundo Tundisi (1991), os países menos desenvolvidos buscam na industrialização a forma de melhorar o padrão de vida. Conforme Woiler e Mathias (1996), o desafio de suprir as necessidades das indústrias, meios de transporte, agricultura, comércio, as pessoas de forma direta e o mundo como um todo, tornam o aumento da demanda, cada vez maior, por abastecimento energético e motiva a busca de fontes alternativas que sejam economicamente viáveis e tecnicamente possíveis.

De acordo com Branco (1990), a maior parte dos esforços científicos e tecnológicos do mundo moderno em busca de novas fontes de energia está em função de dois problemas contraditórios: primeiro; o aumento da demanda provocado pelos modernos sistemas de produção, transporte e de conforto em geral; segundo; o rápido esgotamento das fontes naturais de energia de biomassa, especialmente energia fóssil. O mesmo autor ainda comenta que a natureza é pródiga em recursos, mas não é inesgotável, e a sua exploração excessiva está gerando desequilíbrios ambientais muito graves.

A preocupação governamental com problema ecológico é algo ainda recente, porém alguma consciência já move grandes atitudes para evitar o impacto que as atividades humanas causaram à natureza. Em 1968, houve o primeiro conceito de desenvolvimento sustentável, porém a revolução industrial aumentou o impacto na natureza,

pois promoveu a substituição de fontes de energia renováveis pelo carvão e pelo petróleo, aumentou o fluxo de urbanização para construção de espaços urbanos, iniciando então, a devastação do ambiente natural, como as florestas. Com a revolução industrial, criou-se a idéia de que a natureza era fonte de matéria-prima, logo extrair sem medida e lançar resíduos que a mesma demore a decompor, não era uma preocupação, porém, hoje, torna-se uma necessidade a ser revista. Como aduz Carioca e Arora (1984)

O problema torna-se muito sério uma vez que o mundo industrial moderno utiliza largamente as fontes não renováveis (...) A energia total que pode ser retirada sem riscos ambientais, isto é, sem ultrapassar os limites permissíveis de concentração de dióxido de carbono na atmosfera, é estimado em $8,7 \times 10^{18}$ kcal.

São de ordem ecológica e sociopolíticas, segundo Vasconcellos (2002), as vantagens de um programa de desenvolvimento de origem vegetal que substitui a energia fóssil do carvão e do petróleo pela biomassa, que é uma forma de energia limpa, pois, além de não poluir, é renovável, criadora de empregos, pacífica e descentralizadora de renda, de poder e de população.

Atualmente, as informações tornaram as pessoas mais instruídas e fizeram com que a sociedade moderna passasse a se preocupar cada vez mais com a preservação do meio ambiente e o problema da redução do custo de vida. Essa preocupação da sociedade levou a humanidade a uma melhor reflexão a respeito de tecnologias desenvolvidas, de aproveitamento de fontes de energia alternativa e de medidas necessárias para a conservação de reservas esgotáveis de energia.

Segundo Vasconcellos (2002), a verdade é que só depois que passamos os tempos do carvão mineral e do petróleo, é que tomamos consciência de que, no rápido crescimento das plantas, o efeito das energias renováveis, limpas e descentralizadoras vem da energia solar, cujo aproveitamento é capaz de criar tecnologia própria e emprego em todos os níveis da sociedade.

4.6.2 Utilização de fontes alternativas de energia

Dentre as discussões mundiais sobre o abastecimento de energia, a que vem ganhando importância é a utilização de fontes alternativas. Segundo Sordi et al. (2005), os principais fatores que têm contribuído para a utilização de fontes alternativas são a não sustentabilidade de uma civilização industrial baseada nos combustíveis não renováveis, petróleo e carvão mineral, e os problemas ambientais ocorridos pela exploração e utilização desses combustíveis que levam a pensar numa futura matriz energética mais participativa das fontes alternativas de energia, com possibilidades de contribuir para emissão, cada vez menor, de gases de efeito estufa. Os mesmos autores comentam que estudos existentes apontam uma grande diminuição das reservas de petróleo até o ano 2040 e, conseqüentemente, o preço do barril atingirá um nível elevado e inviável.

No rol das principais fontes de energia alternativa, aparece a energia biomassa renovável. Conforme Tundisi (1991), antes da revolução industrial, a maior fonte de energia aproveitada pelo homem era a biomassa, mas, com a exploração do petróleo, ela foi substituída por combustível fóssil que apresentava, na época, preço acessível e grandes aplicações práticas. Mas, segundo Carvalho (1999), o desenvolvimento tecnológico, econômico e industrial, em paralelo com o crescente aumento populacional, tornou-se mais intenso e acentuou a dependência do petróleo, agravando-se na segunda metade do século XX a questão energética.

De acordo com Tundisi (1991), as duas crises sucessivas do petróleo, em 1973 e 1978, fizeram com que os países dependentes do petróleo fortalecessem a busca de fontes de energia alternativas.

A biomassa é uma forma de energia solar. Segundo Ambiente Brasil (2007), são fontes orgânicas utilizadas para produzir energias através da fotossíntese que consiste num processo em que as plantas recebem energia do sol e a transformam em energia química. Essa energia pode ser convertida em eletricidade, combustível ou calor. Os combustíveis mais comuns da biomassa são os resíduos agrícolas e plantas, como a cana-de-açúcar, os quais, quando colhidos, têm como objetivo produzir energia.

A madeira (lenha e seus derivados) é a fonte mais antiga e comum de combustível utilizado para produzir energia. Atualmente, com a busca de fontes alternativas de

energia, ela passou a receber uma atenção especial em virtude das vantagens que ela tem em reduzir custos e impactos ambientais em relação aos combustíveis derivados de petróleo. Segundo Resíduos (2003), hoje e há algum tempo, os resíduos de madeira, passaram a ser solução para a geração de energia e deixaram de ser tratados como desperdício e um problema para o meio ambiente, causado pela queima ao ar livre ou pelo lançamento nos rios, gerando poluição e matando boa parte da vida aquática.

4.6.2.1 Resíduos de madeira como combustível na geração de energia e cogeração

Pereira Júnior (2001) avaliou o potencial de geração de energia elétrica a partir dos resíduos em uma fábrica de painéis de fibra de madeira, e concluiu, sob o aspecto econômico, que o investimento só seria vantajoso em condição de aumentos consideráveis dos custos de energia elétrica ou em situações em que sua falta passa a ser uma realidade irreversível.

Dal Farra e Esperancini (2005) estudaram o potencial de geração de energia e a viabilidade econômica da aquisição de um equipamento para a geração de energia térmica a partir de resíduos industriais, como casca e pó de madeira em uma indústria do setor florestal. Os resultados referentes aos indicadores de viabilidade econômica, em duas alternativas de proporção de resíduos analisadas, revelaram que é viável a implantação dos novos sistemas de troca de calor. Para o sistema em que se pressupõe o financiamento, os resultados mostraram-se melhores, também, nas duas alternativas.

Após as leituras realizadas, observa-se que a rentabilidade no uso da biomassa apresenta parâmetros diferenciados que aferem aos meios técnicos: o uso da biomassa é inviável economicamente para cogeração de energia, já que o processo torna a rentabilidade prejudicada, quando o preço da energia é baixo e, também, quando se investe em substação e linhas de transmissão, afetando o preço da cogeração. Mas é viável quando se trata do meio ambiente, pois traz vantagens ambientais.

Em relação ao potencial e à viabilidade econômica estudada por Dal Farra e Esperancini (2005), as autoras enfatizam: “a finalidade deste investimento não visa à

venda de energia cogerada e sim o aproveitamento de resíduos para a utilização direta em geração de energia térmica”.

E ainda reafirma:

Outra vantagem desse tipo de processo, embora não tenha sido analisada neste estudo, são as vantagens ambientais, uma vez que há minimização dos problemas ambientais decorrentes da disposição destes resíduos, que ao serem queimados geram problemas de poluição do ar.

4.7 Custos de Produção

São diversos os significados da palavra “custo”. Segundo Hoffman et al. (1987) o termo “custo”, para fins de análise econômica, tem como significado a compensação que os donos dos fatores de produção, utilizados por uma firma para produzir determinado bem, devem receber para que eles continuem fornecendo esses fatores à mesma.

Para Casarotto Filho e Kopittke (2000), os custos de produção são os custos que ocorrem até a fabricação do produto. Eles citam como exemplos o custo das matérias-primas ou o custo de manutenção.

4.7.1 Classificação dos custos

Na análise dos custos, a classificação dos mesmos é realizada de acordo com as situações propostas. Encontram-se, na literatura, várias formas de classificação e, entre elas, aquela em que os custos são classificados em fixos, variáveis, diretos e indiretos.

4.7.2 Custos Fixos e Custos Variáveis

Woiler e Mathias (1996) afirmam que o uso de recursos é medido pelo custo. Na realização de um projeto, o custo de produção depende dos custos dos insumos que serão utilizados. Os mesmos autores comentam que a classificação dos custos ocorre de várias

maneiras, sendo uma delas aquela em que os custos são classificados em custos fixos, também chamados de custos estruturais ou custos variáveis que também podem ser denominados de custos de atividades.

Conforme Hoffman et al. (1987), são fixos os custos que não variam com a quantidade produzida (juros sobre o capital empatado, depreciação etc.). De acordo com Woiler e Mathias (1996), os custos fixos são os que independem do volume de produção. Eles correspondem às imobilizações referentes aos equipamentos e instalações, cuja utilização ocorrerá por vários anos, e também são aqueles que decorrem da estrutura administrativa e operacionais. Por esse motivo, a mão-de-obra especializada, técnica etc. pode ser considerada custo fixo.

Segundo Hoffman et al. (1987), os custos variáveis são aqueles que se alteram de modo direto ou proporcional com o volume de produção (gastos com matérias-primas, água, vapor etc.).

Para Woiler e Mathias (1996), são variáveis os custos que se modificam de acordo com o nível de produção da empresa (combustível, consumo de energia etc.). Os mesmos autores comentam que o custo de uma parcela de mão-de-obra pode ser considerado variável.

Hoffman et al. (1987) ressaltam que, frequentemente, a análise para classificar o custo em fixo ou variável depende da situação específica.

4.7.3 Custos diretos e Custos indiretos

Uma outra maneira, dentre as várias, de classificar os custos, é aquela em que Hoffman et al. (1987) diferenciam os custos em despesas diretas e despesas indiretas. E Casarotto Filho e Kopittke (2000) subdividem o custo de produção em custos diretos e custos indiretos.

Conforme Hoffman et al. (1987), despesas diretas são os custos referentes aos pagamentos pelo uso dos recursos. De acordo com Casarotto Filho e Kopittke (2000), os custos diretos são aqueles relativos aos fatores diretamente empregados na

fabricação dos produtos. Esses custos, normalmente, variam diretamente com o uso da capacidade de produção.

Segundo Hoffman et al. (1987), são despesas indiretas os custos relativos aos juros, a amortização e o custo de risco de capitais próprios, bem como os juros de capital alheio emprestado. Os mesmos autores destacam que, se houver custos referentes a seguro, o custo de risco passa a ser classificado como despesa direta. Conforme Casarotto Filho e Kopittke (2000), normalmente, a variação dos custos indiretos não é proporcional à produção; por esse motivo, em certos casos, eles até podem ser considerados como fixos.

Para Casarotto Filho e Kopettke (2000), os custos diretos principais são os custos com: matérias-primas, materiais auxiliares, embalagens, fretes, mão-de-obra, consumo de energia elétrica (referente aos custos gerados do produto dos kWh consumido pelo custo do kWh), água industrial e combustível. E os indiretos são: com mão-de-obra indireta, manutenção, seguros, demanda de energia elétrica (custo fixo cobrado em função da potência instalada) e despesas de aluguel ou arrendamento.

Os mesmos autores comentam que os custos diretos com mão-de-obra são referentes às despesas com funcionários os quais operam com equipamentos de fabricação ou lidam com o produto e nessas despesas incluem os encargos sociais, que, no caso do Brasil, são: Previdência, Fundo de Garantia, 13º salário e outros encargos totalizando um percentual acima de 60% do total do salário. Enquanto que, os custos de mão-de-obra indireta são os referentes a salários e encargos sociais do chefe de produção e do pessoal de unidade de apoio, tais como: manutenção, administração da produção, laboratórios, etc.

4.7.4 Custo Total e Custo Operacional

O custo total é a somatória dos custos fixos e custos variáveis.

Conforme Hoffman et al. (1987), freqüentemente outro conceito de custo utilizado é o conceito de custo operacional. Segundo os autores, o “custo operacional total” estimado pelo Instituto de Economia Agrícola (IEA) da Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo difere do “custo total”, por não considerar juros sobre o capital empatado.

Segundo Turra (1990) apud por Jasper (2006), analisando os métodos e critérios de cálculos de custos em 33 estudos de custos de produção, identificou três

estruturas distintas de cálculos nos trabalhos analisados: custo total, custo operacional e custo variável. A estrutura do custo total foi o mais utilizado nos diferentes estudos, perfazendo um total de 87,88%.

O mesmo autor comenta, ainda, que a planilha de custos obtida com a aplicação de teoria de investimento em bens de produção inclui os ativos fixos e variáveis, podendo ser considerada como custo total de produção anual. No entanto, quando se comparam os valores de custos de produção obtidos, segundo a teoria de investimento, com os dados obtidos pelo método convencional (custo total), encontram-se diferenças. As distorções verificadas, geralmente, não chegam a ser significativas e devem-se, basicamente, ao uso de metodologias diferentes. O autor ressalta o fato de o uso da teoria de investimento em bens de produção estar restrito, praticamente, aos estudos elaborados por agentes econômicos ligados ao ensino e pesquisa.

4.7.5 Custo médio

O custo médio de produção, segundo Morettin et al.(2005), também chamado de custo unitário, é o quociente da divisão do custo total pelo número de unidades. De acordo com Hoffman et al. (1987), no custo médio estão incluídas parcelas dos custos fixos e custos variáveis. A princípio, quando a produção é pequena, o custo total médio é alto em virtude dos custos fixos onerarem muito as primeiras unidades produzidas, mas, conforme o número de unidades produzidas vão aumentando, os custos fixos serão distribuídos sobre um número cada vez maior de unidades, fazendo com que ocorra uma diminuição gradativa no custo médio.

4.7.6 Juros sobre o capital e demais Custos Fixos

4.7.6.1 Juros Sobre Capital Investido

Conforme Hoffman et al. (1987), sobre todo capital investido na produção, seja ele de propriedade do proprietário ou obtido por via do crédito, deve imputar-se

um juro. Segundo o mesmo autor, se este capital investido, pertencer ao proprietário, os juros significam a remuneração recusada que ele poderia ter obtido na aplicação do mesmo capital em alternativas diferentes (custo de oportunidade).

No cálculo dos juros, a taxa a considerar varia de caso para caso, segundo o que se passa no respectivo mercado financeiro.

4.7.6.2 Manutenção

A manutenção é de suma importância para conservar, manter em condições de uso e, conseqüentemente, aumentar a vida útil do equipamento.

Segundo Hoffman et al. (1987), os custos das grandes reparações os quais restituem o bem de capital em estado de “novo”, no todo ou em parte, são considerados em via de regra, como despesas extraordinárias, representando, neste caso, um aumento de valor do capital que não é atribuído somente à conta do ano levado em consideração, mas sim a todos os da respectiva duração. Entretanto as manutenções, conservações ordinárias e reparações são despesas do exercício.

4.7.6.3 Depreciação de bens

A depreciação é o custo necessário para substituir os bens de capital, quando estes se tornam inúteis em consequência do desgaste físico e perdem valor com o passar do tempo (HOFFMAN et al.,1987).

Conforme Casarotto Filho e Kopittke (2000), a depreciação é definida contabilmente como despesa equivalente à perda de valor causada pela deterioração ou obsolescência do bem. Segundo o mesmo autor, a depreciação não é considerada um desembolso, mas, sim, uma despesa que pode ser abatida das receitas, diminuída do lucro tributário, assim como o imposto de renda.

4.7.6.3.1 Legislação

Segundo a Receita Federal, a depreciação corresponde à diminuição do valor de todos os bens resultantes do desgaste pelo uso, ações naturais ou obsolescência normal. De acordo com RIR (Regulamento do Imposto de Renda/1999, art 305), apud Pineli (2005), essa perda de valor dos ativos será registrada periodicamente nas contas de custos ou despesa (encargos de depreciação do período de apuração), que terão como contrapartida contas de registro da depreciação acumulada, classificadas como contas do ativo permanente. A taxa de depreciação será fixada em função do prazo durante o qual se possa esperar a utilização econômica do bem na produção de seus rendimentos.

De acordo com Pineli (2005), as quotas de depreciação que deverão ser registradas na escrituração como custo ou despesa, serão calculadas através da aplicação da taxa anual de depreciação sobre o valor do custo de aquisição registrado contabilmente em reais, visto que, a partir do dia 01/01/1996, foi eliminada a correção monetária das demonstrações financeiras.

4.7.6.3.2 Método para o cálculo da depreciação

Segundo Hoffman et al.(1987), as opiniões sustentadas pelos autores são diversas quanto à forma de considerar o caráter e o método de cálculo da depreciação. Alguns deles pensam que a amortização tem como objetivo reproduzir uma soma em dinheiro para representar a despesa inicial suportada, durante o período em que o elemento do capital a amortizar for utilizado. Nesse caso, o empresário substituirá o capital sem apelar a créditos ou seus recursos particulares. Um outro ponto de vista é o de considerar, simplesmente, a depreciação como desvalorização do bem de capital considerado, reduzindo-se gradualmente seu valor, nos inventários sucessivos no decorrer do período de utilização do mesmo. Nesse caso, os fundos originados das amortizações ficam à disposição da empresa para suas necessidades, não havendo, portanto, a computação de juros. Pode, então, a taxa de amortização ser simplesmente o quociente do custo inicial pelo número de anos prováveis de duração, subtraindo-se, conforme o caso, do custo inicial um valor final previsto. A esse método de depreciação dá-se o nome de método linear ou das cotas fixas.

Conforme Pineli (2005), a depreciação linear é o método mais simples e mais comum, sendo este aceito pela Receita Federal para o cálculo de tributos, tais como o imposto de renda.

4.7.6.3.3 Taxa Anual de Depreciação, Vida Útil, Critérios de Depreciação e Amortização

A Tabela 1 apresenta os critérios de depreciação linear aceitos pelo fisco.

Tabela 1. Taxas percentuais de depreciação linear aceitas pelo fisco

Item	Taxa
Construção Civil	4% a.a.
Máquinas e equipamentos	10% a.a.
Acessórios e ferramentas, veículos, despesas pré-operacionais	20% a.a.
Móveis e utensílios	10% a.a.

Fonte: Woiler & Mathias (1996)

Segundo Woiler e Mathias (1996) os critérios para depreciação e amortização são, os apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Critérios para depreciação e amortização

Itens	Anos	% a ser Depreciado por ano
Construção Civil	25	4%
Máquinas e Equipamentos	10	10%
Móveis e Utensílios	5	20%
Veículos	5	20%
Montagem	5	20%
Pré-operacionais e Amortizações	5	20%

Fonte: Woiler & Mathias (1996)

Conforme o Anuário (2006) referente às Taxas de Depreciação de Bens do Ativo Imobilizado, as caldeiras de vapor (geradores de vapor), excluindo-se as caldeiras para aquecimento central, concebidas para a produção de água quente e vapor de baixa pressão, são denominadas “de água superaquecidas” e têm prazo de vida útil de 10 anos e taxa anual de depreciação de 10%.

4.8 Simulação

O futuro não pode ser previsto. As ações econômicas, no futuro, são norteadas pelo passado e estão em função das expectativas a partir da capacidade do agente de tomada de decisão, no presente (SILVA e KOPITTKKE, 2002).

De acordo com Woiler e Mathias (1996), “A tomada de decisão, quanto a investir ou não, é dificultada pela qualidade dos parâmetros nos quais nos baseamos para decidir”. Silva e Kopittke (2002) comentam que, com cenários planejados, é possível fazer simulações que dão embasamento para a tomada de decisão, tendo como objetivo auxiliar a compreensão das variáveis definidas sobre os resultados. Os mesmos autores comentam que os cenários devem ser elaborados a partir de variáveis relevantes para não ocorrerem distorções nos resultados.

Bussab e Morettin (2002) afirmam “De modo bastante amplo, estudos de simulação, tentam reproduzir num ambiente controlado do que se passa com um problema real”.

Simulação, segundo Woiler e Mathias (1996), é a representação dinâmica, através de um modelo, de um conjunto de componentes e variáveis que se inter-relacionam e formam um só corpo. Os modelos de simulação, normalmente, são classificados em: determinísticos, estocásticos e dinâmicos.

Segundo Jasper (2006), o objetivo principal de optar pela técnica da simulação é a obtenção de uma representação real da resposta de um sistema, tornando-se essencial realizar, para cada componente, as seguintes verificações: primeiro; se ocorre de forma determinística ou estocástica, o componente analisado; segundo; se, acaso, a ocorrência for aleatória, verificar se ele é importante na composição do sistema; e o terceiro; se ele for aleatório, é importante estabelecer uma função de distribuição de probabilidade $f(x)$ que representa a sua ocorrência dentro do sistema.

4.9 Índices de preços

O índice de preço é utilizado para equiparar valores monetários de diversas épocas ao valor monetário de uma determinada época tomada como base.

Segundo Toledo e Ovalle (1985), o Índice Geral de Preço (IGP) é considerado como medida padrão (ou oficial) da inflação do país, que pode ser usado para inflacionar ou deflacionar séries de valores monetários cujos acréscimos foram devidos a uma multiplicidade de fatores.

De acordo com Hazzan e Pompeo (2003), o IGP é uma média aritmética ponderada dos seguintes índices: IPA (Índice de Preço por Atacado), com peso 0,6 (60%), IPC (Índice de Preço ao Consumidor) do Rio de Janeiro e São Paulo com peso 0,3 (30%) e INCC (Índice Nacional do Custo de Construção) com peso 0,1 (10%).

O IGP pode ser dado no conceito de oferta global ou no conceito de disponibilidade interna (DI), de acordo com o IPA utilizado. O período de coleta de dados, para o cálculo do preço médio da cesta básica, é de 1º a 30 de cada mês e a taxa de inflação é divulgada por volta do dia 15 do mês seguinte.

O Índice Geral de Preço de Mercado (IGP-M) foi criado em 1989, com metodologia semelhante à do IGP tradicional, só que o período de coleta de dados para o cálculo do preço médio da cesta básica é do 21º de cada mês até o 20º dia do mês seguinte. Neste caso a taxa de inflação é divulgada no final de cada mês.

4.10 Avaliação energética

Na agricultura tradicional, a energia utilizada em abundância é o trabalho braçal. A agricultura moderna substitui o trabalho braçal pelas máquinas e implementos movidos a energia de petróleo, eletricidade e outras fontes menos convencionais. A elevação dos preços do petróleo nos anos 70, em conjunto com o aumento crescente do uso de tratores, máquinas e implementos, etc., na agricultura, bem como a grande participação das máquinas e motores elétricos neste setor, fazem com que sejam úteis os estudos sobre frequência e intensidade dos usos dos mesmos e suas participações no custo de produção

(JUNQUEIRA, 1982). Isso também ocorre no balanço de energia, ao contabilizarem-se as energias produzidas e consumidas no sistema de produção.

Bueno et al. (2000) definem balanço de energia como sendo uma atividade ou instrumento que tem como objetivo contabilizar as energias produzidas e consumidas em um determinado sistema de produção, cuja função principal é traduzir em unidades ou equivalentes energéticos os fatores de produção e os consumos intermediários, para possibilitar a construção de indicadores comparáveis entre si e que permitam a intervenção no sistema produtivo visando melhorar sua eficiência.

De acordo com Campos (2001), a percepção da importância e utilidade do balanço de energia fez com que diversos pesquisadores, no mundo, passassem a utilizar esse instrumento para a avaliação de sistemas de atividades agrícolas em diversas proporções, com distintas delimitações do sistema. O mesmo autor afirma que para Dovring (1985), da mesma forma como se deve proceder num balanço ou análise econômicos, o balanço de energia deve ser realizado dentro de um sistema delimitado, pois somente desse modo os resultados ajudarão a análise proposta.

As razões práticas para se realizar uma avaliação energética são bastante diferentes, mas o que importa é que essa análise seja realizada dentro de um sistema delimitado. O pesquisador é quem analisa os setores envolvidos na produção, caso não haja outro meio que indique o fim da cadeia de energia envolvida no sistema, definindo seus componentes, decidindo onde a análise cessa (GOLDEMBERG, 1979, apud MOREIRA, 2004).

Conforme Carmo e Comitre (1991), o enfoque energético é um complemento da análise econômica quando são dimensionadas, a longo prazo, as necessidades alimentares, a preservação dos recursos naturais e a manutenção dos agroecossistemas, que auxiliam na maximização do retorno econômico e preservação ambiental, nos processos de alteração tecnológicos. As mesmas autoras comentam que a relação entre insumos e produtos e os fluxos energéticos mostra possíveis caminhos para o futuro desenvolvimento tecnológico, quando se tem, principalmente, como objetivo o controle racional da energia fóssil.

A análise e o balanço energético são importantes para fornecer parâmetros com a finalidade de mensurar, interpretar e subsidiar a tomada de decisões no direcionamento das políticas tecnológicas (COMITRE 1993).

4.10.1 Classificação das formas de entrada de energia, em uma análise energética

Um dos procedimentos, na realização de uma análise energética é a classificação das formas de entrada de energia. Segundo Romero (2005), é possível realizar a análise energética, a partir da classificação do tipo, da origem e da forma de utilização de energia nos agroecossistemas.

A metodologia usada por Carmo e Comitre (1988,1991) para classificar as energias, consistiu em desdobrá-las em três categorias, conforme sua origem: “biológica”, “fóssil” e “industrial”. Na “biológica” estão inseridas as energias humana e animal, resíduos de animais e da agroindústria, assim como sementes, mudas, alimentos para animais, adubação verde e cobertura morta; na categoria “fóssil” estão agrupados os produtos e subprodutos oriundos do petróleo, como fonte de energia primária, incluindo adubos químicos e agrotóxicos que foram utilizados por alguns agricultores, em pequenas quantidades; e, na categoria “industrial”, incluíram-se as máquinas e equipamentos agrícolas à tração mecânica e animal e a energia elétrica.

Comitre (1993), no seu trabalho sobre o estudo de aspectos econômicos e avaliação energética da soja, propôs uma divisão semelhante, incluindo duas grandes matrizes de energia: direta e indireta. A energia direta a autora subdividiu em: Biológica (mão-de-obra, sementes, lenha, bagaço de cana); Elétrica; e Fóssil (óleo diesel, lubrificante, graxa, solvente). Na energia indireta, ela enquadrou a Industrial (composta por máquinas, calcário, adubo formulado, inseticida e herbicida).

Conforme Campos (2001), a divisão em energia direta e energia indireta é a forma de classificação mais utilizada.

4.10.1.1 Energia direta: mão-de-obra

Segundo Campos (2001), a contabilização energética oriunda do trabalho humano forma parte controvertida das pesquisas de análise energética. O mesmo autor comenta que alguns autores deixam de considerar a mão-de-obra em seus estudos de balanço energéticos.

De acordo com Risoud (1999) e Campos (2001), o modo em que é contabilizado o trabalho humano referente aos termos calóricos e sua inclusão em matrizes energéticas está longe de representar um consenso.

Campo (2001), em seu trabalho, optou por utilizar como padrão para todas as atividades envolvendo mão-de-obra o valor 386,40 kJ.h⁻¹. Esse mesmo valor, ou seja, 0,39 MJ.h⁻¹ (CARVALHO et al.,1974), foi utilizado por Moreira (2004) como energia específica consumida pelo trabalhador rural e por motoristas, para determinar o consumo total de energia para mão-de-obra, definido pela equação:

$$\mathbf{TEMO = \sum (EE \times T)} \quad (2)$$

Em que:

TEMO = consumo total de energia para mão-de-obra (MJ ha⁻¹):

EE = energia específica (MJ h⁻¹)

T = Tempo despendido no trabalho (h ha⁻¹)

No cálculo de energia consumida pelos agricultores nas diferentes operações do itinerário técnico, Romero (2005), em sua análise energética da cultura de algodão em sistemas agrícolas familiares na região de Leme, Estado de São Paulo, seguiu a metodologia apresentada por Carvalho et. al. (1974), descritas em Bueno (2002), com adaptações necessárias. Assim sendo, discriminou-se a mão-de-obra envolvida através de anotações individuais, em questionários específicos e informações orais que detalham dados acerca do gênero, massa, altura e idade de cada um dos agricultores, relacionando-os a cada operação realizada. Procedeu-se a determinação do GER (Gasto Energético no Repouso) de cada agricultor, através das equações 3 e 4 (MAHAN; ESCOTT-STUMP, 1998). As equações determinam o gasto energético no repouso, em kcal, e o dispêndio calorífico final diário é apresentado em MJ.

Para o gênero masculino

$$\mathbf{GER = 66,5 + 13,75 P + 5,0 A - 6,78 I} \quad (3)$$

Para o gênero feminino

$$\text{GER} = 665 + 9,56 \text{ P} + 1,85 \text{ A} - 4,68 \text{ I} \quad (4)$$

Em que:

GER = gasto energético no repouso (kcal)

P = massa (kg)

A = altura (cm)

I = idade (anos completos)

A necessidade calórica final diária é a somatória da divisão em três períodos, segundo o modo de ocupação em número de horas para: tempo de sono, tempo de trabalho e tempo de ocupações não profissionais, entendidas, segundo Bramsel (apud CARVALHO et al., 1974), por refeições, higiene, deslocamentos, distrações, etc Assim sendo, calculou-se a fração X/6 do GER, mantendo-se inalteradas as frações correspondentes ao tempo de sono (2/6 do GER 24h) e ocupações não profissionais (3/6 do GER 24h). O período é primeiramente dividido igualmente em três.

4.10.1.2 Energia direta: combustível óleo lubrificante e graxa

Segundo Bueno (2002), geralmente, os autores não contabilizam os custos energéticos da extração e refino nos coeficientes calóricos do óleo diesel, óleo lubrificante e graxa, ou seja, os valores adotados por esses autores são tratados como correspondentes ao valor intrínseco dos produtos. O mesmo autor ainda afirma que trabalhos realizados por Serra et al. (1979) e Cervinka (1980) indicaram a necessidade de acrescentar 14% ao poder calorífico do óleo diesel e da gasolina, referentes aos custos calóricos para a sua obtenção. Em relação aos óleos lubrificantes e graxos não foi discutido valor de acréscimos.

Moreira (2004), em seu trabalho, no cálculo da energia consumida com combustível e lubrificante, utilizou os coeficientes energéticos, conforme Pimentel (1980), para o óleo diesel $43,93 \text{ MJ.L}^{-1}$; lubrificante $43,91 \text{ MJ. L}^{-1}$; graxa $49,22 \text{ MJ.kg}^{-1}$; e gasolina de $34,05 \text{ MJ. L}^{-1}$. Ele considerou 1,5% do consumo de óleo diesel para determinar o consumo de

óleo lubrificante e no cálculo do consumo da graxa, 33% do consumo de lubrificante. Em relação aos lubrificantes do moto-serras, óleo dois tempos, considerou a mesma energia do lubrificante comum, com um consumo de 3,3% do consumo da gasolina. Obteve o total de energia dos combustíveis, na operação em MJ ha^{-1} , multiplicando-se o poder calorífico (coeficiente energético) do combustível utilizado pelo consumo específico da máquina.

Romero (2005) utilizou os coeficientes energéticos constantes no BNE (Balanço Energético Nacional) dos anos de 2000 e 2004: óleo diesel igual a $8.564,8 \text{ kcal} \cdot \text{L}^{-1}$, multiplicado pelo fator 1,14 referente ao custo calórico para sua obtenção; óleos lubrificantes $9.016,92 \text{ kcal} \cdot \text{L}^{-1}$ e graxa $10.361,52 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$.

4.10.1.3 Energia indireta: máquinas e equipamentos

Conforme Bueno (2002), mesmo que haja dificuldades em conseguir valores precisos da energia presentes nas máquinas, equipamentos e implementos agrícolas, vários autores trabalham de formas diversificadas.

Doering III (1980) classificou a energia requerida para o cálculo de energia contida numa máquina agrícola, em três categorias. Sendo que o somatório destas, a energia contida na matéria-prima, energia de fabricação da maquinaria e energia contida nas peças de reparo e manutenção durante a vida útil da máquina, equivale ao total calórico contido em determinado trator agrícola.

Macedônio e Picchioni (1985), no cálculo de consumo de energia na produção agropecuária, instituíram a quantidade de energia embutida no maquinário como sendo igual a $1.669 \cdot 10^4 \text{ kcal} \cdot \text{t}^{-1}$ para tratores e colhedoras e $1.367 \cdot 10^4 \text{ kcal} \cdot \text{t}^{-1}$ para implementos e outros equipamentos não motorizados.

Beber (1989) obteve o valor dos quilogramas depreciados para máquinas, equipamentos e implementos agrícolas a partir da massa, vida útil e tempo de cada um, através de uma adaptação da equação sugerida por Hoffmann et al. (1984) para o cálculo de depreciação econômica:

$$\text{Kg depreciado} = \text{massa(kg)} - 10\%(\text{kg}) / \text{vida útil} \cdot \text{tempo de utilização (h)} \quad (5)$$

Campos (2001), em seu trabalho, no balanço energético utilizou os mesmos índices apontados por Macedônio e Picchioni (1985).

Comitre (1993), seguindo Doering III (1980), ao proceder a avaliação energética, em seu trabalho, computou como energia indireta à de origem industrial para máquinas, colhedoras e implementos agrícolas somente a energia relativa ao valor adicionado na fabricação, do qual 5% se referem ao reparo e para a manutenção um acréscimo de 12%.

De acordo com Comitre (1993), a energia indireta das máquinas pode ser expressa pela equação:

$$\text{Depreciação energética} = a + b + c + d \cdot VU^{-1} \quad (6)$$

Em que:

a = massa das máquinas e equipamentos . coeficientes energéticos correspondentes;

b = 5% de “a”;

c = número de pneus . massa . coeficiente energético de referência;

d = 12% de (a + b + c)

Bueno (2002), por entender ser mais completa, em seu trabalho, utilizou a fórmula apresentada por Comitre (1993), sendo que quando possível e acompanhando Mello (1986), que considerou óleos lubrificantes e graxas como itens referentes à manutenção, substituiu o percentual de 12% de manutenção por valores coletados em campo referente aos gastos reais de óleos lubrificantes e graxa. Utilizou os da literatura, por não ser possível obter os dados acima.

O cálculo de energia indireta referente a máquinas e implementos, no trabalho de Moreira (2004), baseou-se na massa dos equipamentos, com fundamentos no conceito de valor adicionado. A depreciação energética foi calculada a partir dos dias de utilização e em função da vida útil dos equipamentos.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Materiais

Para a elaboração do presente estudo, foi utilizada a caldeira de uma fiação de seda, localizada na cidade de Duartina, interior do estado de São Paulo.

A caldeira gera o vapor que é utilizado na produção industrial do fio de seda, durante o processo de secagem do casulo do bicho-de-seda Bombyx mori L., e do aquecimento da água usada no cozimento, que é necessário para o desenrolamento do mesmo.

O combustível atualmente empregado na caldeira para produzir o vapor de água é a lenha de eucalipto. O estudo teve como referência o consumo de lenha em m³, utilizada para determinar a quantidade, em toneladas, de vapor produzido mensalmente, durante os anos de 2004, 2005 e 2006 na produção de fios de seda. Esses dados foram utilizados para determinar a quantidade de cavaco necessária para produzir a mesma quantidade de vapor e simular a substituição total e/ou parcial da lenha por cavacos de madeira que são produzidos nas serrarias e madeireiras localizadas na cidade e região de Duartina.

5.1.1 Característica do Sistema de Geração de Vapor

A caldeira da fiação foi fabricada por uma empresa localizada no interior do estado de Santa Catarina, presente no mercado desde 1946. O modelo da caldeira é HBFS -04, caldeira horizontal de circuito misto e flamotubular, para combustíveis sólidos.

Resultado de pesquisas e desenvolvimento do produto, o gerador a vapor produzido pela empresa traz uma série de inovações que permitem operacionalização e manutenção rápida e simples garantindo maior rendimento.

A Tabela 3 mostra as informações técnicas da caldeira.

Tabela 3. Informações técnicas da caldeira modelo HBFS – 04 e tipo de combustível que pode ser utilizado.

Modelo	HBFS -04
Capacidade nominal	
Vapor	4.000 kg/h
Carga térmica do vapor	2.656.000 kcal/h
Entalpia	664,00 kcal/kg
Pressão vapor manométrica	10 Kgf/cm ²
Temperatura da água de alimentação	80°C
Temperatura dos gases na saída da caldeira	170°C
Sistema de queima com eficiência de combustão	de 80 a 87%
Umidade do combustível	até 50%
Sistema de alimentação de cavaco	
Potência Instalada	4cv
Tipo de combustível: sólidos triturados (lenha em toras, cavacos, serragens/maravalha, cascas de arroz, cascas de café, cascas de cacau, cascas de coco, cascas de amendoim, cascas de pinus, bagaço de cana, carvão vegetal, carvão mineral); óleo e/ou gás e outros	

Fonte: Catálogo do fabricante de caldeiras (H. BREMER & FILHOS LTDA)

5.1.2 Dados das planilhas da fiação referentes ao consumo mensal da caldeira

Dentre os materiais utilizados para levantamento de dados que foram necessários para o estudo, enquadram-se às planilhas da fiação dos três últimos anos referentes ao consumo da caldeira, que apresentam o consumo mensal e o custo, em reais, dos componentes: água (em m³), lenha (em m³) e produtos (em kg) que são empregados para o tratamento da água de alimentação da caldeira. Segundo Mitamura (2005), esse tratamento da água é necessário para evitar problemas como corrosão, devido aos gases dissolvidos na água (vapor), incrustação, que são os depósitos de sílica no interior da caldeira ou superfície de aquecimento e arraste, que é a presença de água no vapor que sai da caldeira para o consumo, evitando, assim, os acidentes com perda da caldeira e também de vidas humanas.

Segundo instruções do fabricante, a água de alimentação de uma caldeira influi diretamente na vida útil do equipamento. Para assegurar um bom desempenho e longa vida do equipamento, torna-se necessário fazer análise química da água por um laboratório qualificado, podendo fornecer as necessárias informações sobre a necessidade e o tipo de tratamento a ser aplicado.

As tabelas 4 e 5 apresentam os dados disponibilizados pela fiação, referentes ao consumo mensal de água, lenha e produtos de tratamento da água na caldeira, no período de 2004 a 2006, para produção de vapor.

Tabela 4. Quantidade mensal de água e de lenha consumida e despesa em reais (R\$) com lenha

Mês/ano	ÁGUA		LENHA	
	m ³	m ³		R\$
Jan /04	1.627,10	727,15		15.611,91
Fev/04	1.403,20	566,81		12.923,27
Mar/04	1.634,30	779,66		17.776,25
Abr/04	1.561,60	658,21		16.600,06
Mai/04	1.484,80	586,50		14.791,53
Jun /04	1.460,90	675,61		17.038,88
Jul / 04	1.264,00	605,00		15.258,10
Ago/04	1.211,20	631,39		15.923,66
Set / 04	1.111,00	543,00		13.694,46
Out /04	1.055,50	489,42		12.343,17

continua...

Nov/04	721,30	391,89	9.883,47
De /04	1.385,00	714,27	13.413,99
Jan /05	1.333,60	738,28	23.632,34
Fev/05	1.191,80	645,51	20.662,78
Mar/05	1.338,80	690,64	22.107,39
Abr/05	1.239,80	709,00	22.695,09
Mai/05	1.210,60	661,73	23.524,50
Jun /05	1.153,90	643,04	22.860,07
Jul / 05	1.080,80	767,11	27.270,76
Ago/05	1.063,50	652,00	23.178,60
Set / 05	1.020,90	625,58	22.228,70
Out /05	546,90	456,50	16.228,58
Nov/05	1.103,60	612,50	21.774,38
Dez/ 05	1.464,70	846,22	30.083,12
Jan /06	1.388,80	625,50	26.583,75
Fev/06	1.253,90	611,30	25.980,25
Mar/06	1.449,50	717,50	30.493,75
Abr/06	1.322,30	771,20	32.776,00
Mai/06	1.542,00	810,70	34.454,75
Jun /06	1.348,00	797,20	33.881,00
Jul / 06	1.178,00	686,80	29.189,00
Ago/06	1,221,40	675,90	28.725,75
Set / 06	1.054,60	586,90	24.943,25
Out /06	573,50	352,90	14998,25
Nov/06	1.262,20	604,00	25.670,00
Dez/ 06	1.239,90	668,30	28.402,75

Consumo mensal de energia elétrica: R\$ 4.000,00 em média

Tabela 5 Quantidade mensal de produtos consumidos para o tratamento da água na caldeira e despesa mensal em R\$ de cada produto

Mês/ano	Produtos									
	ZEW 141		ZEW 142		ZEW 151		ZEW 172		SAL	
	kg	R\$	kg	R\$	kg	R\$	kg	R\$	kg	R\$
Jan /04	78,10	472,15	13,20	107,18	65,10	880,80	26,10	235,42	250,00	36,11
Fev/04	72,10	436,21	12,50	101,50	60,10	813,15	24,10	217,38	250,00	36,11
Mar/04	92,10	557,21	15,00	121,80	75,00	1014,75	30,10	271,50	175,00	25,28
Abr/04	73,00	441,65	12,30	99,88	60,10	813,15	24,10	217,38	275,00	39,72
Mai/04	75,20	454,96	12,70	103,12	62,60	846,98	25,30	228,21	325,00	46,94
Jun /04	84,00	508,20	14,30	116,12	70,40	952,51	28,10	253,46	275,00	39,72

continua...

Jul / 04	94,00	568,70	15,90	129,11	75,70	1024,22	31,80	286,84	250,00	36,11
Ago/04	75,20	454,96	12,50	101,50	62,60	846,98	27,40	247,15	250,00	36,11
Set / 04	75,00	453,75	12,80	103,94	62,80	849,68	0,00	0,00	175,00	25,28
Out /04	75,00	453,75	12,60	102,31	62,70	848,33	0,20	1,80	250,00	26,11
Nov/04	36,20	219,01	7,80	63,34	30,10	407,25	12,10	109,14	100,00	14,44
De /04	75,10	454,36	12,80	103,94	62,80	849,68	25,00	225,50	250,00	36,11
Jan /05	75,20	377,50	23,40	154,67	62,60	687,35	25,20	227,30	325,00	46,94
Fev/05	74,10	371,98	24,10	159,30	60,00	658,80	24,00	216,48	250,00	36,11
Mar/05	87,00	436,74	29,10	192,35	72,70	789,25	29,20	263,38	175,00	25,88
Abr/05	93,10	467,36	31,10	205,57	77,60	852,05	31,20	381,42	250,00	36,11
Mai/05	84,20	422,68	28,40	187,72	70,00	768,60	28,30	255,27	250,00	36,11
Jun /05	78,00	391,56	26,10	172,52	65,30	716,99	26,00	234,52	175,00	25,28
Jul / 05	87,30	438,25	29,40	194,33	72,50	796,05	29,00	261,58	250,00	36,11
Ago/05	93,20	467,86	31,10	205,57	77,51	851,06	31,10	280,52	150,00	21,67
Set / 05	99,10	497,48	33,00	218,13	82,50	905,85	33,10	298,56	250,00	36,11
Out /05	42,30	212,35	14,50	95,85	31,20	342,58	14,50	130,79	0,00	0,00
Nov/05	74,50	373,99	25,10	165,91	62,60	687,35	26,90	424,64	150,00	21,67
Dez/ 05	78,70	395,07	26,20	173,18	65,10	714,80	26,10	235,4	100,00	14,44
Jan /06	78,70	395,07	26,30	172,26	65,10	714,80	26,20	244,71	250,00	35,00
Fev/06	69,20	347,38	23,30	152,61	57,50	625,86	23,40	218,56	250,00	35,00
Mar/06	81,20	407,62	27,20	178,16	65,50	719,19	27,10	253,11	225,00	31,15
Abr/06	81,00	406,62	27,10	177,50	67,60	741,15	26,10	243,77	175,00	24,50
Mai/06	84,00	421,68	28,00	183,40	70,60	775,19	28,20	263,39	250,00	35,00
Jun /06	78,00	391,56	26,00	170,03	65,10	714,80	26,10	243,77	175,00	24,50
Jul / 06	78,20	392,56	23,80	155,89	65,10	714,80	26,30	245,64	250,00	35,00
Ago/06	87,20	437,74	29,40	192,57	73,00	801,54	29,10	271,79	325,00	45,55
Set / 06	69,00	346,38	22,30	146,06	58,10	637,94	23,00	214,82	100,00	14,00
Out /06	54,10	271,58	18,40	120,52	45,00	494,10	18,10	169,05	100,00	14,00
Nov/06	78,20	392,56	26,00	170,30	65,10	714,80	26,10	243,77	250,00	35,00
Dez/ 06	84,00	421,68	23,40	153,27	70,10	769,70	28,60	267,12	250,00	35,00

5.1.3 Combustível

Dentre os combustíveis industriais em estado sólido aparecem às biomassas: lenha, combustível que atualmente é utilizado na caldeira, e o cavaco de madeira. Esses combustíveis foram os materiais utilizados na simulação, em diversas percentagens, com o objetivo de otimizar o custo de operação da caldeira na produção do fio de seda.

5.1.3.1 Poder Calorífico Inferior (PCI) e umidade dos combustíveis

O valor do Poder Calorífico Inferior varia de acordo com a umidade do combustível.

A determinação teórica da quantidade de cavaco consumido na caldeira, em m^3 por hora, para produzir o vapor necessário, foi obtida a partir do consumo real de lenha, utilizando-se o PCI de cada um desses combustíveis, com teores de umidades idênticos.

A umidade da lenha de eucalipto, utilizada na caldeira em estudo, foi determinada no laboratório da Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – campus de Botucatu, no qual se encontrou um teor de umidade igual a 20%.

O valor do PCI de cada combustível envolvido com esse teor de umidade foi obtido através de dados coletados na pesquisa (Tabela 6) e cálculos embasados na literatura.

5.1.3.1.1 Cálculo do Poder Calorífico do cavaco com umidade de 20%

O PCI do cavaco e a densidade (peso específico) da lenha, ambos com umidade de 20%, foram obtidos através de interpolação de dados adquiridos a partir das informações apresentadas na Tabela 6:

Tabela 6. Poder Calorífico Inferior (PCI) e peso específico das biomassas cavaco e lenha

	Cavaco de serrarias	Cavaco de florestas	Lenha
Origem:	Costaneiras e sobras de madeira das serrarias	Resíduos do manejo de reflorestamentos	Resíduos do manejo de reflorestamento
Madeira:	Eucaliptos	Eucaliptos	Eucaliptos
Umidade (%):	de 35 a 45	16 a 30	16 a 30
Poder Calorífico			
Inferior -PCI ($\text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$):	2.000 a 2.400	2.600 a 3.200	2.500 a 3500
Peso específico ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$):	380 a 420		250 a 600

Fonte: Opção Verde - Resíduos Florestais

5.1.3.1.2 Cálculo do Poder Calorífico da lenha com umidade de 20%

Para o combustível lenha com um teor de umidade de 20%, determinou-se o Poder Calorífico Inferior através de interpolação de dados, utilizando-se os valores segundo Mitamura (2005), 3.680 kcal.kg⁻¹ para lenha com 12% de umidade e 2.400 kcal.kg⁻¹ com 40% de umidade.

5.1.3.2 Preço do Combustível

Os preços da lenha (Tabela 4) foram extraídos de planilhas da fiação, referentes ao consumo da caldeira. E os preços do cavaco (Tabela 7) utilizados nos cálculos foram os praticados pelos fornecedores na cidade de Duartina, nos últimos três anos. Nesses preços, já está incluído o custo de transporte das madeiras à fiação, ou seja, preço do cavaco colocado na fiação.

Tabela 7. Preço do cavaco na cidade de Duartina SP

Ano 2004		Ano 2005		Ano de 2006	
Meses	Preço por tonelada R\$. t ⁻¹	Meses	Preço por tonelada R\$. t ⁻¹	Meses	Preço por tonelada R\$. t ⁻¹
Janeiro	27,00	Janeiro	40,00	Janeiro	55,00
Fevereiro	27,00	Fevereiro	40,00	Fevereiro	55,00
Março	27,00	Março	40,00	Março	58,50
Abril	30,00	Abril	40,00	Abril	58,50
Maio	30,00	Maio	48,00	Maio	58,50
Junho	30,00	Junho	48,00	Junho	58,50
Julho	30,00	Julho	48,00	Julho	59,50
Agosto	30,00	Agosto	48,00	Agosto	59,50
Setembro	35,00	Setembro	48,00	Setembro	59,50
Outubro	35,00	Outubro	55,00	Outubro	59,50
Novembro	35,00	Novembro	55,00	Novembro	59,50
Dezembro	35,00	Dezembro	55,00	Dezembro	59,50

Fonte: Regional Contábil Escritório de Contabilidade – Contabilidade Jurídica e Rural – Duartina-SP.

5.2 Métodos

Para determinar a quantidade necessária de cavaco na geração do mesmo volume de vapor, usando como referência a umidade e o respectivo Poder Calorífico Inferior (PCI) dos combustíveis envolvidos, foi adotada a metodologia baseada em cálculos a partir dos dados reais disponibilizados pela fiação, referentes ao consumo de lenha que a caldeira utiliza na produção do vapor.

Na comparação de duas grandezas, as unidades devem ser idênticas. Na transformação da quantidade de cavaco em toneladas (t) para metros cúbicos (m³), utilizou-se a densidade referente à umidade do combustível (20%), calculada a partir de interpolação de dados da pesquisa.

5.2.1 Procedimento para obtenção da quantidade de cavaco

Primeiramente, a partir dos dados reais do consumo e do Poder Calorífico Inferior da lenha, calculou-se a quantidade de vapor produzida e, a seguir, a partir dessa quantidade de vapor e através do Poder Calorífico Inferior do cavaco, obteve-se a quantidade de cavaco necessária.

5.2.2 Cálculo do vapor e da quantidade de cavaco

No cálculo, realizou-se o balanço de massa com o uso da seguinte expressão, segundo Hugot (1977) apud Perea (2005):

$$Q_c = \frac{Q_v \cdot (h_v - h_a)}{\eta \cdot (PCI)} \quad (7)$$

Em que:

Q_c = quantidade de combustível (lenha ou cavaco), kg

Q_v = quantidade de vapor, kg

h_v = entalpia do vapor em função da pressão e temperatura, kcal.kg⁻¹

h_a = entalpia da água em função da temperatura, kcal.kg⁻¹

η = rendimento (%)

PCI = Poder Calorífico Inferior kcal.kg⁻¹

Apurada a quantidade de cavaco consumida por hora, realizou-se simulação com o tratamento (Tabela 8), objetivando a otimização do custo:

Tabela 8. Tratamentos da simulação

Quantidade											
de lenha	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%	0%
Quantidade											
de cavaco	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	10%

5.2.3 Metodologia utilizada na análise econômica: custos

5.2.3.1 Custos Fixos

5.2.3.1.1 Custo de instalação da caldeira

Na determinação dos custos de instalação da caldeira foram considerados os custos: do equipamento, transporte, montagem, hospedagem dos operários e técnicos de montagem e obra civil.

O custo do equipamento foi informado pelo fabricante, o custo de transporte e montagem está de acordo com a tabela de custos de transporte e montagem do fabricante, em função da quilometragem (distância da empresa ao local de instalação da

caldeira), o cálculo do custo de hospedagem foi realizado a partir de dados coletados referentes a diárias de hotéis da cidade de Duartina e obteve-se o custo da obra civil através de orçamento que utilizou, na composição de preço, a Revista Construção nº 68, com data base de março de 2007.

A partir desses dados, chegou-se à equação:

$$CC = CE + CT + CM + DHOSP + COC \quad (8)$$

Em que:

CC = Custo da caldeira (R\$);

CE = Custo do equipamento (R\$);

CT = Custo de transporte (R\$);

CM = Custo de montagem da caldeira (R\$);

DHOSP = Despesa de hospedagem (R\$);

COC = Custo da obra civil (R\$).

5.2.3.1.2 Custo anual da caldeira

Segundo Jasper (2006), é a partir de um determinado ponto de vida útil do empreendimento que somente ocorrem os retornos. Diversos são os métodos de análise de investimento citados na literatura, no entanto, além dessas, ainda para cada ano são necessárias as análises da vida útil do sistema.

Neste estudo, foram considerados os seguintes componentes como custo anual da caldeira: depreciação, juros sobre o capital investido e manutenção.

a) Depreciação

A depreciação do ativo imobilizado refere-se à diminuição do valor econômico que resulta do desgaste causado pelo uso, ação da natureza ou obsolescência normal. Nas contas de custos, é registrada periodicamente essa perda de valor, reduzindo o lucro tributável, assim como tornando possível a reposição do mesmo (PINEL1,2005).

Esse método estima uma redução anual constante através da divisão do resultado obtido da diferença do valor do bem e de seu valor residual pelo número de anos de sua vida útil. Segundo Pineli (2005), a depreciação anual apurada é incluída como despesa na demonstração de resultado, reduzindo o lucro tributável, e acumulada em uma conta especial de reserva que será utilizada no futuro, para a aquisição de outro bem que substituirá o equipamento desgastado.

No cálculo da depreciação da caldeira, com uma vida útil de 10 anos, foi utilizado o método de depreciação linear por ser mais comum, mais simples e aceito pela Receita Federal para o cálculo de tributos, tal como o imposto de renda.

Fórmula para o cálculo da depreciação linear:

$$d = \frac{Vi - Vr}{n} \quad (9)$$

Em que:

d = Depreciação Anual (R\$ ano⁻¹);

Vi = Valor inicial (R\$);

Vr = Valor residual (R\$);

n = Vida útil (anos)

b) Juros sobre o capital investido para a instalação da caldeira

Para obtenção dos juros sobre o capital fixo, seguiu Jasper (2006), a equação utilizada foi:

$$j = \left(\frac{Vi + Vr}{2} \right) \cdot i \quad (10)$$

Em que:

j = Custo anual do juro anual do sistema (R\$ ano⁻¹);

Vi = Valor inicial (R\$);

Vr = Valor residual (R\$);

i = Taxa de juro aplicado sobre o capital

c) **Manutenção**

A manutenção que consiste na conservação e reparos, aplica-se a instalações, máquinas e equipamentos. Segundo Sem...(2006), Wagner Topfstedt comenta, que o custo médio anual de manutenção da caldeira não ultrapassa 1% de seu valor. Neste estudo, considerou-se a taxa de 1% sobre o valor inicial da caldeira por ano, sendo este distribuído igualmente durante o ano.

O custo de manutenção foi obtido através da fórmula:

$$CMA = Vi \cdot I_m \quad (11)$$

Em que:

CMA = Custo de manutenção anual da caldeira (R\$ ano⁻¹);

Vi = Valor inicial (R\$);

I_m = Taxa de manutenção

5.2.3.2 Custos Variáveis

Foram considerados como custos variáveis os combustíveis (lenha e cavaco), a energia elétrica, a água, os produtos utilizados para o tratamento da água e a mão-de-obra.

5.2.3.2.1 Custos dos combustíveis

Os custos mensais dos últimos três anos da lenha, obtidos na planilha da fiação e do cavaco e tomados a partir dos preços (já incluído o transporte) praticados na cidade, nesse período (Tabela 7), foram corrigidos pelo Índice Geral de Preço (IGP-M) para uma base comum (dez. de 2006), determinando-se em seguida, o custo médio do consumo de cada combustível.

5.2.3.2.2 Custos dos produtos de tratamento da água

A metodologia adotada para a determinação do custo médio do consumo de produtos usados no tratamento da água foi a mesma do combustível lenha.

5.2.3.2.3 Custo da água

Para determinar os custos mensais da água foi utilizada a tarifa da SABESP, de acordo com os dados da Tabela 9, e as informações de consumo mensal (em m³), obtidas através da planilha da fiação. Determinados esses custos, foram deflacionados pelo IGP-M tendo como referência o mês de dezembro do ano de 2006 como base e em seguida calculou-se o custo médio mensal.

Tabela 9. Tarifas dos serviços de fornecimento de água e/ou coleta de esgoto

Classe de consumo m ³ /mês	Tarifas de de água - R\$	Tarifas de esgoto - R\$
Industrial		
0 a 10	23,95.mês ⁻¹	19,15.mês ⁻¹
11 a 20	2,83.m ⁻³	2,25.m ⁻³
21 a 50	4,60.m ⁻³	3,67.m ⁻³
Acima de 50	5,39.m ⁻³	4,31.m ⁻³

Fonte: SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo).

5.2.3.2.4 Custo da energia elétrica

Segundo o diretor industrial da fiação, atualmente, a caldeira gasta em média, mensalmente, R\$ 4.000,00, valor este deflacionado pelo IGP-M, tomando como base o mês de dezembro do ano de 2006 e, em seguida, calculou-se o custo médio mensal deflacionado.

5.2.3.2.5 Custo da mão-de-obra que opera a caldeira

O cálculo dos custos de mão-de-obra foi realizado de acordo com guia trabalhista: Cálculos de Encargos Sociais e Trabalhistas.

Segundo o guia trabalhista, o cálculo dos custos da mão-de-obra é formado pelas incidências sociais (INSS, FGTS) e trabalhistas (provisão de férias, 13º salário e Descanso Semanal Remunerado) sobre os valores das remunerações pagas.

Considerou-se a situação – Empresa não optante pelo simples – Cálculo sobre um salário de mensalista, por se tratar de uma empresa com aproximadamente 200 funcionários e exportadora.

Tabela 10. Empresa não optante pelo simples – Cálculo sobre um salário de mensalista

Encargos sociais e Trabalhista	%	%
13º salário		8,33
Férias		11,11
INSS	20,00	
SAT (Seguro contra Acidentes)	3,00	
Sal.Educação	2,50	
INCRA/SENAI/SESI/SEBRAE	3,30	
FGTS (a partir de 01.10.2001)	8,50	
FGTS/Rescisão.(a partir de 01.10.2001)	4,00	
Total Previdenciário		41,30
Previdenciário sobre 13º e Férias		8,03
SOMA BÀSICO		68,77

Fonte: Guia Trabalhista,2007

Sobre um salário de mensalista a empresa não optante pelo Simples Federal terá um custo mínimo de encargos de 68,77%.

Para o cálculo do custo total de mão-de-obra, utilizou-se a equação:

$$\text{CTMO} = \text{SM.N.T} \quad (12)$$

Em que:

CTMO = Custo total da mão-de-obra (R\$)

SM = Salário mensal do operador (R\$)

N = Número de operadores

T = Índice de encargos 1,6877

5.2.4 Metodologia utilizada na análise energética

As informações necessárias para o desenvolvimento do estudo energético referente à lenha foram obtidas através de entrevistas com fornecedores de lenha e dados coletados na fiação, durante a alimentação manual da caldeira. As informações sobre a produção, carregamento e transporte do cavaco foram coletadas na Madeireira Dal Fra que produz aproximadamente 1.000t por mês, situada a três quilômetros da fiação.

Para a análise energética do cavaco de madeira, o itinerário técnico delimitado foi o seguinte: produção do cavaco gerado dos resíduos da madeira serrada na madeireira, transporte até a fiação e a condução desse cavaco para a alimentação da caldeira. A quantidade referência para o estudo foi 40t de cavaco, produção média diária da madeireira, enquanto que, para o estudo energético da lenha, delimitou-se como ponto de partida, ela já cortada e empilhada em uma propriedade localizada a uma distância de 40 km da Fiação, visto que, atualmente, os fornecedores obtêm lenha num raio de 40 km em média, e a quantidade referência, utilizada na análise, foram 25m³ de lenha, lotação do caminhão.

Neste trabalho, a unidade adotada para análise energética foi o joule. Para a conversão de caloria (cal) em joule (J), utilizou-se o índice 4,1868. Finalizando, a apresentação dos dados foi feita em megajoules (MJ). Todos os resultados foram aproximados em duas casas decimais.

Os métodos adotados e apresentados a seguir estão embasados em revisão de literaturas já consagradas.

5.2.4.1 Energia direta sob forma elétrica

A conversão da energia elétrica consumida pelo picador em unidades energéticas foi realizada através da equação:

$$\text{TEFE} = 0,745 \cdot 3,6 \cdot P_0 \cdot T_U \quad (13)$$

Em que:

TEFE = total de energia sob forma elétrica (MJ);

P₀ = potência em (HP);

T_U = tempo de utilização (h);

0,745 = índice de conversão do Horse Power(HP) para quilowatt (kW);

3,6 = índice de conversão de quilowatt (kW) em megajoule (MJ).

5.2.4.2 Energia direta em forma de mão-de-obra

Com referência ao cálculo de energia investida pelos trabalhadores nas diferentes operações que caracterizam os itinerários técnicos, seguiu-se a metodologia proposta por Carvalho et al. (1974), descrita em Bueno (2002) e utilizada por Romero (2005). Discriminou-se a mão-de-obra envolvida, anotando as informações individuais obtidas por questionário, que detalham dados do gênero, massa, altura e idade de cada um dos trabalhadores, associando-os a cada operação realizada (Tabela AP4)

Com os dados coletados, determinou-se o GER de cada trabalhador, utilizando-se as equações 3 e 4 de (MAHAN e ESCOTT-STUMP, 1998). As equações determinam o dispêndio energético no repouso em kcal, e o resultado final do gasto calórico diário é apresentado em MJ.

O total de caloria final diária necessária é a somatória da divisão em três períodos, de acordo com a ocupação em número de horas para: tempo de sono, tempo de trabalho e tempo de ocupações não profissionais, que segundo Bramsel (citado por CARVALHO et. al, 1974), são compreendidas por refeições, higiene, deslocamentos,

distrações, etc. Sendo assim, primeiramente dividiu-se o período de 24 em três partes e calculou-se a fração X/6 do GER, mantendo-se sem alteração as frações que correspondem ao tempo de sono (2/6 do GER 24 h) e ocupações não profissionais (3/6 do GER 24 h). O procedimentos de cálculos das necessidades calóricas de 24 horas para cada trabalhador estão apresentados nas Tabelas AP5 e AP6.

5.2.4.3 Energia direta sob forma de combustível, óleo lubrificante e graxa

A partir do consumo do óleo diesel no itinerário técnico da lenha e do cavaco, calculou-se a energia consumida com combustível, lubrificante e graxa. Para o cálculo de óleo lubrificante e graxa, seguiu-se Moreira (2004), sendo considerados 1,5% do consumo de diesel e para graxa 33% do consumo de lubrificante. Esses valores foram utilizados em razão da imprecisão dos dados de consumo desses insumos.

A densidade da graxa utilizada na conversão de quilograma (kg) para litro (L) seguiu Bovolenta (2007), $0,88 \text{ t.m}^{-3}$

Os poderes calóricos foram os mesmos que Romero (2005) utilizou em seu trabalho. Para o óleo diesel, o valor $9.763,87 \text{ kcal} \cdot \text{L}^{-1}$ ($40,87 \text{ MJ} \cdot \text{L}^{-1}$), para óleo lubrificante, $9.016,92 \text{ kcal} \cdot \text{L}^{-1}$ ($37,75 \text{ MJ} \cdot \text{L}^{-1}$) e para graxa, $10.361,52 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$ ($43,38 \text{ MJ} \cdot \text{Kg}^{-1}$).

Para a obtenção dos conteúdos energéticos foi utilizado o fator 1,14 que corresponde a 14% do gasto energético utilizado para a produção do óleo diesel. .

Obteve-se o total de energia dos combustíveis, a partir da equação:

$$\text{TEC} = \sum (\text{PC} \cdot \text{Q}) \quad (14)$$

Em que:

TEC = total de energia consumida (MJ);

PC = poder calorífico ($\text{MJ} \cdot \text{L}^{-1}$);

Q = Quantidade de combustível consumida (L);

5.2.4.4 Energia indireta sob forma de máquinas e equipamentos

A determinação total de energia indireta, embutida nas máquinas e implementos, seguiu Moreira (2004) e foi baseada no peso dos equipamentos e fundamentada no conceito de valor adicionado. O cálculo foi realizado pela depreciação energética, segundo os dias de utilização em função da vida útil dos equipamentos.

O total de energia indireta de máquinas e implementos foi obtido através da equação.

$$\text{TEMI} = [(\text{CE} \cdot \text{P}) : \text{VU}] \quad (15)$$

Em que:

TEMI = total de energia indireta da máquina ou implementos (MJ);

CE = coeficiente energético ($\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$);

P = peso da máquina (kg);

Q = quantidade de horas trabalhadas (h);

VU = vida útil (h).

Os coeficientes energéticos utilizados no estudo para máquinas e implementos são os mesmos estabelecidos por Macedônio e Picchioni (1985), e citados por Bueno (2002): a quantidade de energia embutida no maquinário como sendo igual a $1669 \times 10^4 \text{ kcal} \cdot \text{t}^{-1}$ ($69,88 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$) para tratores, e $1.367 \times 10^4 \text{ kcal} \cdot \text{t}^{-1}$ ($57,23 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$) para implementos e outros equipamentos não motorizados.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Realizou-se a análise econômica (custos) e a energética para verificar se é viável a substituição da biomassa lenha por cavaco, como combustível na caldeira para gerar vapor d'água na fiação.

6.1 Análise econômica

Na análise econômica buscou-se a otimização do custo a partir da simulação na substituição da lenha por cavaco na caldeira, utilizando-se como referência o consumo mensal de lenha na fiação, nos anos 2004, 2005 e 2006, para produzir o vapor e a função do custo total.

A função do custo total foi obtida a partir do somatório do custo fixo e custos variáveis que foram formados de acordo com as seguintes composições:

6.1.1 Composição do custo fixo

O custo fixo foi obtido a partir dos investimentos necessários para implantação da caldeira. A Tabela 11 apresenta os investimentos, a vida útil e a taxa de depreciação de cada item.

Tabela 11. Investimentos necessários para instalação da caldeira, vida útil e taxas de depreciação

Itens	Investimento (R\$)	Anos	% a ser depreciada por ano
Equipamento	480.000,00	10	10%
Obra civil	55.823,00	25	4%
Montagem	18.500,00	5	20%
Despesas Pré-operacionais e Amortizações (transporte e hospedagem)	70.950,00	5	20%
Total	625.273,00		

Fonte: Woiler e Mathias (1996) e Dados da pesquisa de campo, ano 2007

A partir desses valores, determinou-se o custo anual de depreciação, de amortização, o custo referente à despesa anual de manutenção e o valor do juro anual, caso o valor total de investimento fosse aplicado.

O cálculo dos custos de depreciação foi realizado segundo Woiler e Mathias (1996) que afirmam: “Uma distinção contábil interessante é a que separa, *depreciação* de *amortização*”. Nesse caso, equipamentos são chamados de bens físicos e são depreciados, enquanto os gastos pré-operacionais recebem o nome de bens intangíveis e são amortizados.

Os custos com manutenção representam 1 %, ao ano, do valor do equipamento (caldeira).

E a taxa de juros foi de 0,6699% ao mês (taxa média), equivalente ao índice de poupança acumulado no ano de 2006.

Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Custo anual dos componentes que formam o custo fixo.

Anos	Depreciação			Amortização (R\$)	Manutenção (R\$)	Juro (R\$)	Custo Anual (R\$)
	Equipamento (R\$)	Obra Civil (R\$)	Montagem (R\$)				
0	---	---	---	---	---	---	
1	48.000,00	2.232,92	3.700,00	14.190,00	4.800,00	27.477,68	100.400,60
2	48.000,00	2.232,92	3.700,00	14.190,00	4.800,00	27.477,68	100.400,60
3	48.000,00	2.232,92	3.700,00	14.190,00	4.800,00	27.477,68	100.400,60
4	48.000,00	2.232,92	3.700,00	14.190,00	4.800,00	27.477,68	100.400,60
5	48.000,00	2.232,92	3.700,00	14.190,00	4.800,00	27.477,68	100.400,60
6	48.000,00	2.232,92			4.800,00	27.477,68	82.510,60
7	48.000,00	2.232,92			4.800,00	27.477,68	82.510,60
8	48.000,00	2.232,92			4.800,00	27.477,68	82.510,60
9	48.000,00	2.232,92			4.800,00	27.477,68	82.510,60
10	48.000,00	2.232,92			4.800,00	27.477,68	82.510,60
Valor Residual	---	33.494,40	---	---	---		
Total	480.000,00	55.823,60	18.500,00	70.950,00	48.000,00	274.776,80	914.556,00

O juro (R\$ 27.477,68) foi obtido a partir da equação 10, utilizando-se o valor inicial de R\$ 625.273,00, o valor residual de R\$ 33.494,40 e taxa referente ao índice de poupança acumulado no ano de 2006.

A partir da somatória dos custos anuais (R\$914.556,00) determinou-se a média anual e obteve-se o custo fixo médio anual (R\$ 91.455,60) e a partir do total de horas de operação da caldeira no ano (5400 h), obteve-se o custo fixo por hora (R\$ 16,94).

Verifica-se, pela análise da Tabela 12, que a maior participação na formação do custo fixo, foi a depreciação dos equipamentos com um percentual de 52,48%, seguida do custo com juros (30,04%). A menor participação ficou com a depreciação da montagem do equipamento (2,02%).

6.1.2 Composição do Custo variável

O custo variável foi gerado dos custos incidentes no processo de produção do vapor na caldeira da fiação, durante os anos de 2004, 2005 e 2006 (Tabelas 4 e 5), referentes às despesas originadas do consumo de energia elétrica, água, produtos de tratamento da água, mão-de-obra e combustíveis (lenha e cavaco). Esses custos foram

corrigidos pelos índices do IGP-M do período referente, utilizando-se como data base o mês de dezembro de 2006, gerando os valores discriminados na Tabela 13.

Tabela 13. Componentes e respectivos custos utilizados na formação do custo variável.

Componentes	Média dos custos
Energia elétrica	8,89 R\$. h ⁻¹
Água	14,78 R\$. h ⁻¹
Produtos para o tratamento da água:	
ZEW 141	0,92 R\$. h ⁻¹
ZEW 142	0,34 R\$. h ⁻¹
ZEW 151	1,69 R\$. h ⁻¹
ZEW 172	0,52 R\$. h ⁻¹
Sal	0,07 R\$. h ⁻¹
Mão de obra	10,05 R\$. h ⁻¹
Total	37,26 R\$. h⁻¹
Combustível:	
Lenha	33,64 R\$. m ⁻³
Cavaco	45,53 R\$. t ⁻¹

Na formação do custo variável, a Tabela 13 mostra que as médias dos preços do metro cúbico de lenha e da tonelada de cavaco comercializado no período em estudo foram, respectivamente, R\$ 33,64 e R\$ 45,53.

Mostra, ainda, que a participação da despesa com água (R\$ 14,78.h⁻¹) é a que gerou o maior custo, devido ao alto consumo para produzir o vapor d'água. Já a participação da despesa com produtos para o tratamento da água (R\$ 3,54.h⁻¹), que equivale a 23,85% da despesa com água, foi o menor custo.

A participação da despesa com mão-de-obra (R\$ 10,05.h⁻¹) foi importante para a formação do custo.

A partir dos valores apresentados na Tabela 13, chegou-se à função do custo variável (CV) que, somado ao custo fixo (CF), resultou na função custo total (CT) da produção de vapor por hora:

$$CT = 33,64 x + 45,53 y + 37,26 + 16,94$$

$$CT = 33,64 x + 45,53 y + 54,20 \quad (16)$$

Em que:

CT = Custo total (R\$)

x = Quantidade de lenha (m³)

y = Quantidade de cavaco (t)

6.1.3 Procedimento para o cálculo do vapor produzido e do consumo de cavaco

A Tabela 14 apresenta os PCIs do cavaco e da lenha a uma umidade de 20%, que foram calculados por interpolação a partir PCIs obtidos na literatura, bem como os dados utilizados na equação 7 (HUGOT,1977) para determinar a produção do vapor e o consumo de cavaco.

Tabela 14. Dados utilizados para calcular a produção de vapor e o consumo de cavaco

Itens	Valores
Regime de operação da caldeira	18 horas por dia 25 dias por mês 450 horas por mês
Teor de umidade da lenha e do cavaco	20%
Poder Calorífico Inferior (PCI):	
Lenha	3.315 kcal . h ⁻¹
Cavaco	3.030 kcal . h ⁻¹
Entalpia:	
Vapor	663,9 kcal . h ⁻¹
Água	185,6 kcal . h ⁻¹
Rendimento da caldeira	85%

Fonte: Dados da pesquisa de campo, ano 2007

A Tabela 15 apresenta a produção média mensal de vapor (2.968,80 kg . h⁻¹) e o consumo mensal médio de cavaco (551,34 kg .h-1), obtidos a partir do consumo real mensal de lenha, em m³, utilizados na caldeira.

Tabela 15 Quantidade mensal de lenha consumida (Ql), quantidade de vapor (Qv) mensal produzida e quantidade mensal de cavaco (Qcav) necessária para produzir a mesma quantidade de vapor no período de 2.004 a 2.006, em $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$.

MÊS/ANO		QUANTIDADE					
		Lenha Ql (M3)	Lenha Ql($\text{kg} \cdot \text{mês}^{-1}$)	Lenha Ql ($\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$)	Vapor Qv ($\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$)	Vapor Qv ($\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$)	Cavaco Qcav ($\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$)
jan/04	1	727,15	254.502,50	565,56	3.331,82	3,33	618,76
fev/04	2	566,81	198.383,50	440,85	2.597,14	2,60	482,32
mar/04	3	779,66	272.881,00	606,40	3.572,42	3,57	663,44
abr/04	4	658,21	230.373,50	511,94	3.015,94	3,02	560,09
mai/04	5	586,50	205.275,00	456,17	2.687,36	2,69	499,07
jun/04	6	675,61	236.463,50	525,47	3.095,66	3,10	574,90
jul/04	7	605,00	211.750,00	470,56	2.772,13	2,77	514,82
ago/04	8	631,39	220.986,50	491,08	2.893,05	2,89	537,27
set/04	9	543,00	190.050,00	422,33	2.488,04	2,49	462,06
out/04	10	489,42	171.297,00	380,66	2.242,54	2,24	416,46
nov/04	11	391,89	137.161,50	304,80	1.795,65	1,80	333,47
dez/04	12	714,27	249.994,50	555,54	3.272,80	3,27	607,80
jan/05	13	738,28	258.398,00	574,22	3.382,82	3,38	628,23
fev/05	14	645,51	225.928,50	502,06	2.957,74	2,96	549,29
mar/05	15	690,64	241.724,00	537,16	3.164,53	3,16	587,69
abr/05	16	709,00	248.150,00	551,44	3.248,66	3,25	603,31
mai/05	17	661,73	231.605,50	514,68	3.032,06	3,03	563,09
jun/05	18	643,04	225.064,00	500,14	2.946,43	2,95	547,19
jul/05	19	767,11	268.488,50	596,64	3.514,92	3,51	652,76
ago/05	20	652,00	228.200,00	507,11	2.987,48	2,99	554,81
set/05	21	625,58	218.953,00	486,56	2.866,42	2,87	532,33
out/05	22	456,50	159.775,00	355,06	2.091,70	2,09	388,45
nov/05	23	612,50	214.375,00	476,39	2.806,49	2,81	521,20
dez/05	24	846,22	296.177,00	658,17	3.877,40	3,88	720,08
jan/06	25	625,50	218.925,00	486,50	2.866,05	2,87	532,26
fev/06	26	611,30	213.955,00	475,46	2.800,99	2,80	520,18
mar/06	27	717,50	251.125,00	558,06	3.287,60	3,29	610,55
abr/06	28	771,20	269.920,00	599,82	3.533,66	3,53	656,24
mai/06	29	810,70	283.745,00	630,54	3.714,65	3,71	689,85
jun/06	30	797,20	279.020,00	620,04	3.652,79	3,65	678,37
jul/06	31	686,80	240.380,00	534,18	3.146,94	3,15	584,42
ago/06	32	675,90	236.565,00	525,70	3.096,99	3,10	575,15
set/06	33	586,90	205.415,00	456,48	2.689,19	2,69	499,41
out/06	34	352,90	123.515,00	274,48	1.617,00	1,62	300,29
nov/06	35	604,00	211.400,00	469,78	2.767,54	2,77	513,96
dez/06	36	668,30	233.905,00	519,79	3.062,17	3,06	568,68
Média		647,92	226.772,97	503,94	2.968,80	2,97	551,34

A Tabela 15 mostra que, para produzir, em média, 2.968,80 kg.h⁻¹ são necessários, em média, 551,34 kg.h⁻¹ de cavaco, enquanto que, no período em estudo, para produzir a mesma quantidade de vapor, foram utilizados, em média, 503,94 Kg.h⁻¹ de lenha, com um aumento de 9,41% de combustível.

6.1.4 Otimização do custo

Para encontrar a quantidade ideal que otimiza o custo de produção foi realizada a simulação, com o uso de 100% de cavaco e de proporções distintas do uso simultâneo de cavaco e lenha.

Aplicando-se o método dos mínimos quadrados, ajustou-se uma função linear de substituição da lenha por cavaco que garantisse a quantidade de calor produzida na caldeira, sem ocorrerem perdas.

$$y = -1,0941x + 551,34 \quad (17)$$

Em que:

y = quantidade de cavaco (kg)

x = quantidade de lenha (kg)

A Figura 2 mostra a representação gráfica dessa função .

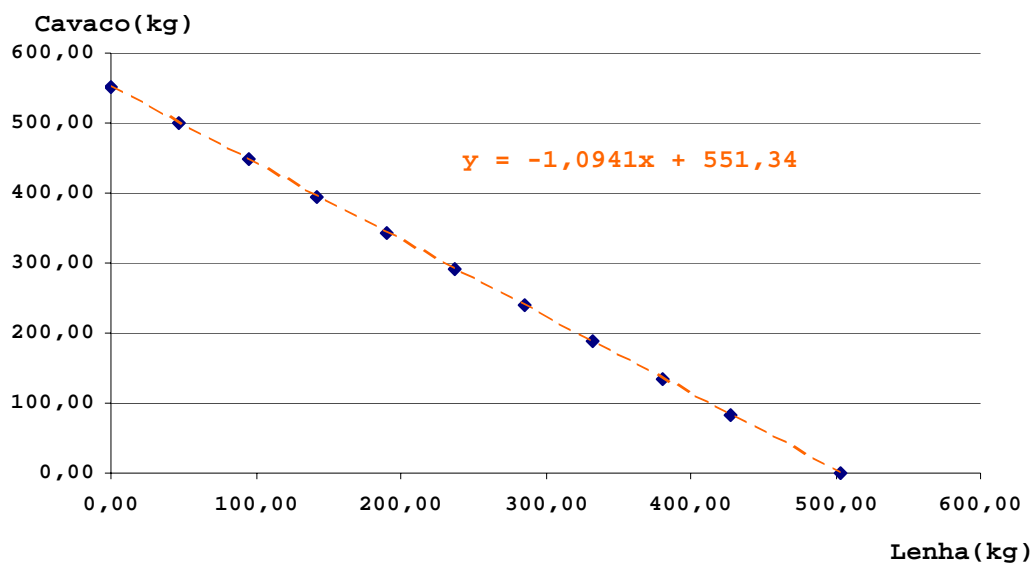


Figura 2. Representação gráfica da função de substituição de lenha por cavaco na caldeira.

A Tabela 16 mostra a média de produção da caldeira no período em estudo, utilizando-se a lenha, a simulação e os resultados das quantidades de cavaco e de lenha que são necessárias para produzir $2.968,50 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ de vapor.

As quantidades de cavaco foram obtidas aplicando-se a função ajustada de substituição da lenha pelo cavaco na caldeira, sem perder a quantidade de calor produzida na caldeira, usando-se como referência a quantidade média de $503,94 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ (100%) de lenha.

Tabela 16 Simulação de porcentagens da quantidade de lenha e cavaco para produção de $2.968,80 \text{ kcal} \cdot \text{h}^{-1}$ de vapor.

PRODUÇÃO DE VAPOR Kcal.h ⁻¹	TRATAMENTO		QUANTIDADE				
	Lenha (%)	Cavaco (%)	Lenha Q _{lenh} (kg.h ⁻¹)	Cavaco Q _{cav} (kg.h ⁻¹)	Lenha Q _{len} (m ³ .h ⁻¹)	Cavaco Q _{cav} (m ³ .h ⁻¹)	Cavaco Q _{cav} (t.h ⁻¹)
2.968,80	100	0	503,94	(0,00)	1,44	0,00	0,00
2.968,80	90	10	453,55	55,13	1,30	0,16	0,06
2.968,80	80	20	403,15	110,27	1,15	0,32	0,11
2.968,80	70	30	352,76	165,40	1,01	0,47	0,17
2.968,80	60	40	302,36	220,54	0,86	0,63	0,22
2.968,80	50	50	251,97	275,67	0,72	0,79	0,28
2.968,80	40	60	201,58	330,80	0,58	0,95	0,33
2.968,80	30	70	151,18	385,94	0,43	1,10	0,39
2.968,80	20	80	100,79	441,07	0,29	1,26	0,44
2.968,80	10	90	50,39	496,21	0,14	1,42	0,50
2.968,80	0	100	-	551,34	-	1,58	0,55

A Tabela 17 apresenta os resultados do custo total encontrados em cada tratamento, com a aplicação da função $CT = 33,64 x + 45,53 y + 54,20$. Observa-se, que dentre os resultados obtidos, o menor deles é R\$ 79,24, ou seja, o custo mínimo e o maior R\$ 102,64 por hora.

Tabela 17 Custo total de cada tratamento

Cavaco (%)	Lenha (%)	Cavaco Qcav(t.h⁻¹) “y”	Lenha Qlen(m³.h⁻¹) “x”	Custo total (R\$.h⁻¹)
0	100	0,00	1,44	102,64
10	90	0,06	1,30	100,66
20	80	0,11	1,15	97,89
30	70	0,17	1,01	95,92
40	60	0,22	0,86	93,15
50	50	0,28	0,72	91,17
60	40	0,33	0,58	88,74
70	30	0,39	0,43	86,42
80	20	0,44	0,29	83,99
90	10	0,50	0,14	81,67
100	0	0,55	0,00	79,24

Portanto, o melhor tratamento é a utilização de 100% de cavaco, pois a quantidade 0,55 t.h⁻¹ de cavaco é a que otimiza o custo total de produção de vapor, resultando num custo médio mínimo hora de R\$ 144,07.t⁻¹, isto é, R\$ 0,14 . kg⁻¹

E o tratamento 100% de lenha que utiliza 1,44 m³. h⁻¹, praticado atualmente na caldeira da fiação, é o que gera maior custo.

Em busca da possibilidade de o custo da produção de vapor com o uso da lenha como combustível ser vantajoso em relação ao cavaco, realizou-se uma simulação considerando-se para o preço da lenha, valores obtidos a partir de percentuais do preço do cavaco.

O percentual de 73,89%, referente ao preço médio mensal da lenha em relação ao preço médio do cavaco, praticado nos anos de 2004 a 2006 na região da cidade de Duartina SP, foi utilizado como referencia para a simulação.

A Tabela 18 apresenta os custos obtidos nas diversas alternativas simuladas.

Tabela 18 Simulação do Custo Total, considerando-se para o preço da lenha valores equivalentes a percentuais do preço do cavaco

				73,89 %	70%	50%	40%	39%	38%
Tratamento		Quantidade		Custo total	Custo total	Custo total	Custo total	Custo total	Custo total
Lenha	Cavaco	Qlen	Qcav.	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
(%)	(%)	(m ³ .h ⁻¹)	(t.h ⁻¹)						
100	0	1,44	0	102,64	101,13	92,23	86,76	86,18	85,59
90	10	1,30	0,06	100,66	99,36	91,70	86,99	86,49	85,98
80	20	1,15	0,11	97,89	96,80	90,38	86,42	86,01	85,58
70	30	1,01	0,17	95,92	95,03	89,85	86,65	86,32	85,97
60	40	0,86	0,22	93,15	92,48	88,52	86,09	85,83	85,57
50	50	0,72	0,28	91,17	90,71	87,99	86,32	86,14	85,96
40	60	0,58	0,33	88,74	88,47	86,94	85,98	85,88	85,78
30	70	0,43	0,39	86,42	86,38	86,14	85,98	85,96	85,95
20	80	0,29	0,44	83,99	84,15	85,08	85,64	85,70	85,76
10	90	0,14	0,50	81,67	82,05	84,29	85,65	85,79	85,94
0	100	0,00	0,55	79,24	79,82	83,23	85,31	85,53	85,75
				37%	36%	35%	34%	33%	32%
Tratamento		Quantidade		Custo total	Custo total	Custo total	Custo total	Custo total	Custo total
Lenha	Cavaco	Qlen	Qcav.	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
(%)	(%)	(m ³ .h ⁻¹)	(t.h ⁻¹)						
100	0	1,44	0	84,99	84,38	83,76	83,13	82,48	81,83
90	10	1,30	0,06	85,46	84,94	84,41	83,86	83,30	82,75
80	20	1,15	0,11	85,14	84,71	84,26	83,80	83,33	82,87
70	30	1,01	0,17	85,62	85,27	84,90	84,53	84,16	83,78
60	40	0,86	0,22	85,30	85,03	84,76	84,48	84,19	83,90
50	50	0,72	0,28	85,77	85,59	85,40	85,21	85,01	84,81
40	60	0,58	0,33	85,67	85,57	85,46	85,35	85,24	85,12
30	70	0,43	0,39	85,93	85,91	85,90	85,88	85,86	85,84
20	80	0,29	0,44	85,83	85,89	85,96	86,02	86,09	86,16
10	90	0,14	0,50	86,09	86,24	86,39	86,55	86,71	86,88
0	100	0,00	0,55	85,98	86,22	86,45	86,69	86,94	87,19
				31%	30%	29%	28%	27%	26%
Tratamento		Quantidade		Custo total	Custo total	Custo total	Custo total	Custo total	Custo total
Lenha	Cavaco	Qlen	Qcav.	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
(%)	(%)	(m ³ .h)	(t.h ⁻¹)						
100	0	1,44	0	81,17	80,51	79,83	79,14	78,44	77,00
90	10	1,30	0,06	82,18	81,61	81,02	80,43	79,82	78,58
80	20	1,15	0,11	82,39	81,91	81,42	80,92	80,41	79,37
70	30	1,01	0,17	83,39	83,01	82,61	82,21	81,80	80,96
60	40	0,86	0,22	83,60	83,31	83,01	82,70	82,39	81,75
50	50	0,72	0,28	84,61	84,41	84,20	83,99	83,77	83,33
40	60	0,58	0,33	85,01	84,89	84,78	84,66	84,53	84,28
30	70	0,43	0,39	85,83	85,81	85,79	85,77	85,75	85,71

continua...

20	80	0,29	0,44	86,23	86,29	86,36	86,44	86,51	86,66
10	90	0,14	0,50	87,04	87,21	87,38	87,55	87,73	88,09
0	100	0,00	0,55	87,44	87,70	87,95	88,22	88,49	89,04

Analisando-se a Tabela 18 verifica-se que entre todos os tratamentos, com o uso da lenha, o que obteve melhor desempenho, em relação ao custo total, foi o de 100%, referente a $1,44 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ de lenha.

Essa quantidade, quando comparada ao uso do cavaco, passa a ter custo menor, quando os preços da lenha atingem percentuais abaixo de 39% do preço do cavaco e, abaixo ou igual ao percentual de 28% do preço do cavaco, é que o custo total obtém valores menores que o custo mínimo de R\$ 79,24, obtido com o uso do cavaco.

6.2 Análise energética

Os resultados referentes à análise energética da lenha e do cavaco foram apresentados e discutidos separadamente e, em seguida, foi realizada a comparação entre eles, seguindo estas etapas: a primeira apresenta as entradas de energia, em Megajoule por metro cúbico ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-3}$), envolvidas nas diversas operações do itinerário técnico da lenha que engloba o carregamento, o transporte e alimentação da caldeira. Na alimentação da caldeira com lenha, considerou-se a operação manual conforme é praticada pela fiação, atualmente.

A segunda etapa apresenta as entradas de energia relativas ao itinerário técnico do cavaco que abrange a produção, o carregamento, o transporte e a alimentação da caldeira, em Megajoule por tonelada ($\text{MJ} \cdot \text{t}^{-1}$). Na operação de alimentação da caldeira com cavaco estimou-se um sistema de alimentação elétrico, com potência de 4cv.

A terceira compara as entradas de energia da participação da lenha e do cavaco, em Megajoule por hora ($\text{MJ} \cdot \text{h}^{-1}$), para produzir $2.968,88 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ de vapor, produção média da caldeira da fiação nos anos de 2004, 2005 e 2006.

6.2.1 Estrutura dos dispêndios energéticos para o sistema de aproveitamento da lenha

Na Tabela 19 é apresentada a entrada de energia utilizada nas operações previstas no itinerário técnico da lenha. Observa-se uma maior participação de energia do tipo direta (69,29%), destacando-se a utilização de fonte fóssil (88,23%), representada particularmente, sob forma de óleo diesel (98,14%) que foi consumido no transporte da lenha.

A participação de energia do tipo indireta (30,71%) ficou abaixo da energia direta, porém nota-se que, nas formas de energia oriunda da fonte industrial (10,54%), a participação da depreciação sob forma de máquinas mostrou-se importante, sobressaindo-se a depreciação do caminhão (79,32%), devido à distância percorrida. Por outro lado, a participação do implemento (7,4%) teve pouca representatividade.

A fonte de energia biológica (11,77%) do tipo direta e na forma de mão-de-obra, teve uma importante participação, devido, principalmente, ao trabalho humano proveniente da alimentação da caldeira que é feita manualmente.

Tabela 19. Entrada de energia por tipo, fonte e forma, em MJ . m⁻³, e participações percentuais nas operações envolvidas no itinerário da lenha

TIPO, fonte e forma	Entradas de energia	
	(MJ)	(%)
<u>ENERGIA DIRETA</u>	<u>23,78</u>	<u>69,29</u>
<u>Biológica</u>	<u>2,80</u>	<u>11,77</u>
Mão-de-obra	2,80	100,00
<u>Fóssil</u>	<u>20,98</u>	<u>88,23</u>
Óleo diesel	20,59	98,14
Lubrificante	0,29	1,38
Graxa	0,10	0,48
<u>ENERGIA INDIRETA</u>	<u>10,54</u>	<u>30,71</u>
<u>Industrial</u>	<u>10,54</u>	<u>100,00</u>
Caminhão	8,36	79,32
Agralle	1,40	13,28
Implemento	0,78	7,40
TOTAL	34,32	100,00

Fonte: Dados da pesquisa de campo, ano 2007.

6.2.2 Estrutura dos dispêndios energéticos para o sistema de aproveitamento do cavaco

Nesta operação, registrou-se uma maior participação de energia do tipo direta (72,40%), conforme Tabela 20, destacando-se a fonte de energia elétrica (54,5%), representada sob a forma do picador de resíduo (59,06%). Essa tendência pode ser explicada pelo alto consumo de energia resultante da produção do cavaco na madeireira (picador).

A participação da fonte de energia do tipo indireta (27,60%) ficou abaixo da energia do tipo direta, com uma diferença significativa, pois se nota que, nas formas de energia oriundas da fonte industrial, a participação da “depreciação de máquinas” mostrou-se importante, sobressaindo-se a depreciação do alimentador (52,43%), seguido da depreciação do trator (18,83%). Essas tendências podem ser explicadas pelo tempo de uso do alimentador, na fiação, durante a alimentação da caldeira e do trator, na madeireira, para transportar os resíduos até o picador. A participação da depreciação da forma de implementos também foi importante (17,55%), devido ao tempo de uso desses nas operações do itinerário do cavaco.

Tabela 20. Entrada de energia por tipo, fonte e forma, em MJ . t⁻¹, nas operações do itinerário do cavaco

TIPO, fonte e forma	Entradas de energia	
	(MJ)	(%)
ENERGIA DIRETA	51,13	72,40
Elétrica	27,87	54,51
Picador	16,46	59,06
Alimentador da caldeira	11,41	40,94
Biológica	7,92	15,49
Mão-de-obra	7,92	100,00
Fóssil	15,34	30,00
Óleo diesel	15,05	98,11
Lubrificante	0,21	1,37
Graxa	0,08	0,52
ENERGIA INDIRETA	19,49	27,60
Industrial	19,49	100,00
Trator	3,67	18,83
Carregadeira	0,72	3,69
Caminhão	0,58	2,98
Implementos	3,42	17,55
Picador	0,88	4,52
Alimentador	10,22	52,43
TOTAL	70,62	100,00

Fonte: Dados da pesquisa de campo, ano 2007.

A fonte de energia fóssil (30,00%) do tipo direta, teve uma participação importante, destacando-se o óleo diesel (98,11%) consumido no transporte dos resíduos (matéria-prima do cavaco) e no transporte do cavaco. O consumo em forma de graxa e lubrificante não foi significativo.

A fonte de energia biológica (15,49%) do tipo direta, embora com participação inferior à fonte de energia fóssil, mostrou-se importante em relação ao dispêndio energético, em forma de mão-de-obra, principalmente ao trabalho humano proveniente da produção do cavaco e alimentação constante da caldeira.

6.2.3 Comparação das entradas de energia nos itinerários da lenha e do cavaco

A quantidade média de lenha necessária para produzir 2.968,80 kg. h⁻¹ de vapor (produção média da caldeira nos anos 2004, 2005 e 2006) é de 1,44 m³.h⁻¹. Para essa mesma produção de vapor, os cálculos apontam que seriam necessários, em média, 0,55134 t . h⁻¹ de cavaco. Através desses valores, obteve-se a entrada de energia do cavaco e da lenha, em Megajoule por hora (MJ. h⁻¹), conforme mostra a Tabela 21.

Observa-se que a energia do tipo direta utilizada no itinerário da lenha (34,24MJ.h⁻¹) foi superior à utilizada no itinerário do cavaco (28,20 MJ.h⁻¹).

Destacou-se, nas operações da lenha, a participação da forma de energia óleo diesel (29,65 MJ.h⁻¹) oriunda da fonte fóssil. Isso pode ser explicado pelo alto consumo de combustível utilizado no transporte da lenha. Nas operações do cavaco, o destaque ficou com a participação da forma de energia picador (9,08 MJ.h⁻¹), originada da fonte elétrica . Essa tendência pode ser explicada pelo alto consumo de energia do picador de resíduos na produção do cavaco na madeireira.

No que diz respeito à energia do tipo indireta, observa-se que a sua utilização nas operações do itinerário da lenha (15,18 MJ.h⁻¹) também foi superior ao itinerário do cavaco (10,75MJ.h⁻¹).

Nesse caso, destacou-se, nas operações da lenha, a forma de energia do caminhão (12,04 MJ.h⁻¹) de fonte industrial, enquanto nas operações do cavaco foi a forma de energia alimentador (5,63 MJ.h⁻¹) também de fonte industrial. Essas tendências podem ser

explicadas pela distância percorrida no transporte da lenha e o uso constante da esteira alimentadora durante a alimentação da caldeira com cavaco.

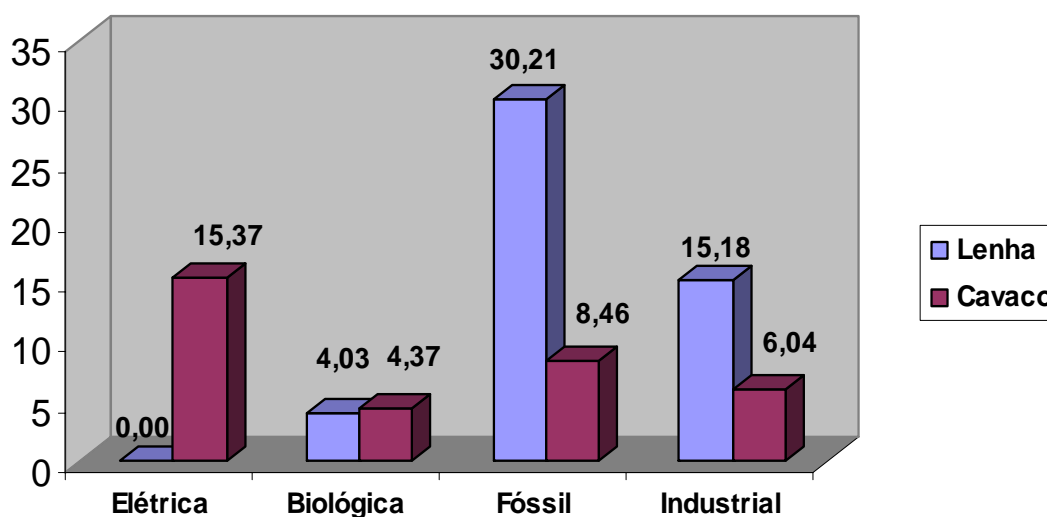
Tabela 21. Entrada de energia por tipo, fonte e forma, em MJ.h⁻¹, e participações percentuais nas operações envolvidas no itinerário do cavaco e da lenha.

TIPO, fonte e forma	Entradas de energia	
	CAVACO (MJ)	LENHA (MJ)
<u>ENERGIA DIRETA</u>	<u>28,20</u>	<u>34,24</u>
Elétrica	15,37	---
Picador	9,08	---
Alimentador da caldeira	6,29	---
Biológica	4,37	4,03
Mão-de-obra	4,37	4,03
Fóssil	8,46	30,21
Óleo diesel	8,30	29,65
Lubrificante	0,12	0,42
Graxa	0,04	0,14
<u>ENERGIA INDIRETA</u>	<u>10,75</u>	<u>15,18</u>
Industrial	10,75	15,18
Trator	2,02	---
Carregadeira	0,40	---
Caminhão	0,32	12,04
Agralle		2,02
Implementos	1,89	1,12
Picador	0,49	
Alimentador	5,63	
TOTAL	38,95	49,42

Fonte: Dados da pesquisa de campo, ano 2007.

Analisando-se as fontes de energia do tipo direta, na Figura 3, observa-se que a participação da energia de fonte fóssil nas operações do itinerário técnico da lenha foi bem superior ao itinerário do cavaco, predominando e destacando-se entre todas as outras. Esse fato pode ser explicado pelo alto consumo de óleo diesel (98,14%) no transporte da lenha. A fonte de energia elétrica não teve participação nas operações do itinerário da lenha, mas nas do cavaco foi relevante, fato que pode ser explicado pelo consumo de energia elétrica que o picador de resíduos utiliza para produzir o cavaco de madeira, bem como na utilizada pela esteira alimentadora da caldeira.

Porém, em relação ao dispêndio de energia da fonte biológica (Figura 3), a participação relativa ao cavaco teve um consumo um pouco superior em relação à lenha, o qual pode ser explicado pelo trabalho humano utilizado na produção do cavaco. Em relação à fonte de energia industrial do tipo indireta, a participação referente às operações da lenha também superou a do cavaco.



Fonte: Dados da pesquisa de campo

Figura 3. Participação, por hora, das diversas fontes de energia nos itinerários da lenha e do cavaco.

A Tabela 22 apresenta as diferenças de consumo energético das formas de energia do tipo direta e indireta, entre a lenha e o cavaco, e os percentuais dessas formas de energia, no aproveitamento da lenha e do cavaco.

Nessa tabela, pode-se observar que dentre as formas de energia do tipo direta, a diferença de consumo de óleo diesel ($21,35\text{MJ.h}^{-1}$), ao mudar da lenha para o cavaco, destacou-se, principalmente devido ao transporte da lenha oriunda de uma propriedade localizada a uma distância de 40km da fiação. A diferença das formas de energia mão-de-obra, lubrificante e graxa foi pouco expressiva.

Observa-se, também, que o consumo de energia direta em forma do picador ($9,08\text{MJ.h}^{-1}$) e alimentador ($6,29\text{MJ.h}^{-1}$), verificado somente no itinerário do cavaco, foi relevante com relação ao primeiro, devido ao consumo de energia elétrica utilizada na produção do cavaco.

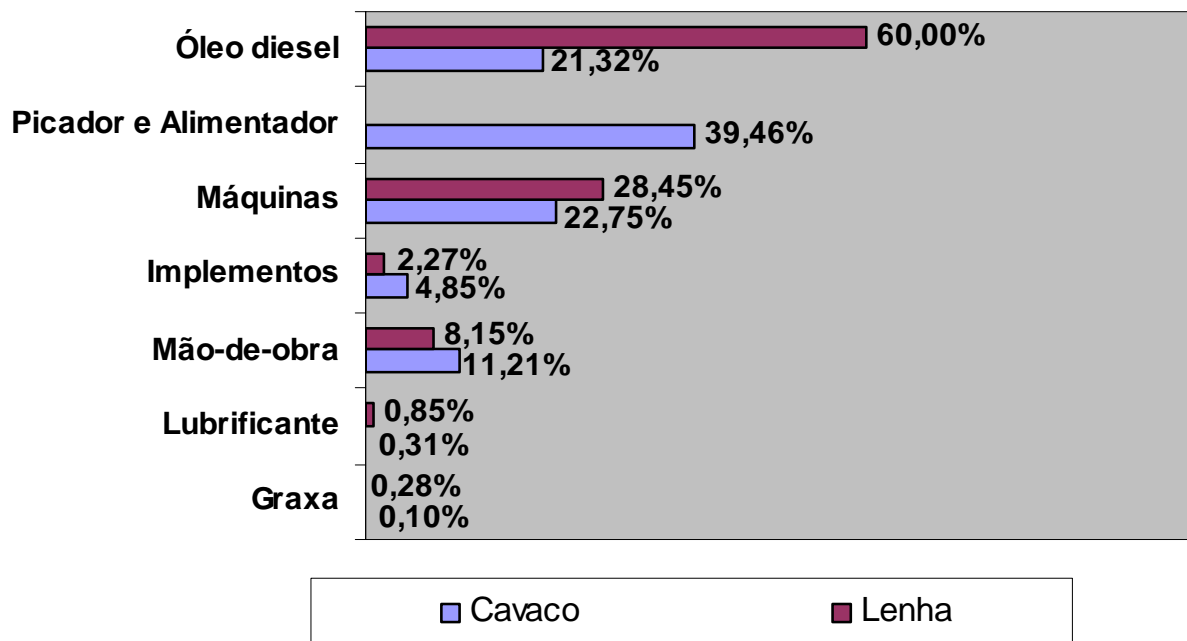
Quanto à diferença entre as formas de energia do tipo indireta, o destaque ficou com a “depreciação do caminhão” ($11,72\text{MJ.h}^{-1}$), devido ao tempo de uso no itinerário da lenha. A diferença de consumo, entre os itinerários em estudo, das demais formas de energia do tipo indireta não foi expressiva.

Pode-se observar, ainda, que dentre as formas de energia indireta, destacou-se a forma de energia alimentador ($5,63\text{MJ.h}^{-1}$), devido ao tempo de uso durante a alimentação da caldeira com cavaco.

Tabela 22. Diferença no consumo energético entre os itinerários estudados e percentual da participação das formas de energia nesses itinerários.

Tipo de energia	Formas	Consumo energético por tratamento(MJ h^{-1})		Diferença MJ h^{-1}	Percentual da participação das formas de energia por hora	
		Lenha	Cavaco		Lenha	Cavaco
Direta	Picador	-----	9,08	- 9,08	----	23,31
	Alimentador da caldeira	-----	6,29	- 6,29	----	16,15
	Mão-de-obra	4,03	4,37	- 0,34	8,15	11,21
	Óleo diesel	29,65	8,30	21,35	60,00	21,32
	Lubrificante	0,42	0,12	0,30	0,85	0,31
	Graxa	0,14	0,04	0,10	0,28	0,10
Subtotal de energia direta		34,24	28,20	6,04	69,28	72,40
Indireta	Trator	-----	2,02	- 2,02	----	5,19
	Carregadeira	-----	0,40	- 0,40	----	1,03
	Caminhão	12,04	0,32	11,72	24,36	0,82
	Agralle	2,02	-----	2,02	4,09	
	Implementos	1,12	1,89	- 0,77	2,27	4,85
	Picador	-----	0,49	- 0,49	----	1,26
	Alimentador	-----	5,63	5,63	----	14,45
Subtotal de energia indireta		15,18	10,75	4,43	30,72	27,60
Total de energia consumida		49,42	38,95	10,47	100,00	100,00

A Figura 4 mostra que o óleo diesel se destaca com uma participação de 60% no itinerário técnico da lenha e com 21,32%, no do cavaco. Em seguida, aparece o picador e alimentador com uma participação relevante de 39,46% no aproveitamento do cavaco.



Fonte: Dados da pesquisa de campo

Figura 4. Participação, por hora, das diversas formas de energia nos itinerários da lenha e do cavaco.

As depreciações das máquinas tiveram participação importante, com 28,45% no aproveitamento da lenha e 22,75% no do cavaco. A participação da mão-de-obra foi intermediária, com 11,21% para o cavaco e 8,15% para a lenha. A participação das depreciações dos implementos foi baixa, com 4,85% para alternativa do cavaco e 2,27% para a lenha, enquanto as participações do lubrificante e graxa foram inexpressivas em ambos os tratamentos (Figura 4).

7 CONCLUSÕES

Baseando-se nos resultados obtidos e nas discussões apresentadas neste trabalho, pode-se concluir que: para as condições dos preços dos combustíveis envolvidos, no período em estudo, a análise econômica mostrou que para produzir o vapor necessário, o percentual de 100% de cavaco foi o que gerou o custo mínimo de produção (R\$ 79,24) dentre todos os percentuais da quantidade de cavaco e /ou lenha simulados;

O uso de 100% de lenha, que é praticado atualmente pela fiação, só atingiria um custo menor que o custo mínimo de R\$ 79,24 quando o preço da lenha atingir valores menores ou iguais a 28% do preço do cavaco;

A análise energética mostrou que o consumo de energia nas operações do itinerário da lenha ($49,42 \text{ MJ.h}^{-1}$) foi maior que o consumo ocorrido nas do cavaco ($38,95 \text{ MJ.h}^{-1}$);

A forma de energia que apresentou maior participação no consumo, no itinerário da lenha, foi o óleo diesel, devido ao transporte de propriedades distantes da fiação. Já no itinerário do cavaco, a maior participação no consumo foi a forma de energia elétrica utilizada na produção de cavaco e alimentação da caldeira.

Nas condições deste estudo, a utilização do cavaco constituiu-se na melhor opção, tanto economicamente, pela minimização do custo, quanto ambientalmente pelo menor consumo de óleo diesel.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRASSEDA. **Estatística da Associação Brasileira de Fiações de Seda**. São Paulo, 2004

AMBIENTE BRASIL. **Biomassa**. Disponível em < [http:// www.ambientebrasil.com.br](http://www.ambientebrasil.com.br)>
Acesso em: 30 mai.2007.

ANUÁRIO DE TABELAS PRÁTICAS DE INSTRUÇÕES - 2006. **Taxas de depreciação de bens do ativo imobilizado**. São Paulo: Thonson –IOB. p. 126.

BEBER, J. A. C. **Eficiência energética e processos de produção em pequenas propriedades rurais, Agudo, RS** Santa Catarina, 1989. 295p. Dissertação (Mestrado em Extensão Rural) – Universidade Federal de Santa Maria.

BOVOLENTA, F. C. **Análise energética comparativa na logística de transporte multimodal da soja**. 2007, 59 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu,2007.

BRANCO, S. M. **Energia e meio ambiente**. São Paulo: Moderna, 1990. 96p.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego.**NR 13**: normas reguladoras: caldeira e vasos de pressão. Disponível em <<http://www.mte.gov.br>> Acesso em: 19 maio 2007.

BRITO, O.J.; FERREIRA,J.M.; BARRICHELO, L.E.G.; CAMARGO, L.E.A. Estimativa de preço máximo de madeira para substituição de óleo combustível. **IPEF**, v. 25, n. 41, p. 41-44,1983.

BRITO, J. O. Madeira para a floresta: a verdadeira realidade do uso de recursos florestais. **Sivicultura**, v. 11, n. 41, p. 188-193, 1986.

BUENO, O.C., CAMPOS, A.T., CAMPOS, A.T. **Balanco de energia e contabilização da radiação global: simulação e comparativo**. In: Avances em ingenieria agrícola. Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomia, 2000. p. 477-82.

BUENO, O. de. C. **Análise energética e eficiência cultural do milho em assentamento rural, Itaberá-SP. 2002**. 146f. Tese (doutorado) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

BUSSAB, W. de. O; MORETTIN. **Estatística básica**. 5.ed.São Paulo: Saraiva,2002. p.526.

CÁLCULO de encargos sociais e trabalhistas. **Guia Trabalhista**. Disponível em <<http://www.guiatrabalhista.com.br>> Acesso em: 19 mai.2007.

CAMPOS, A. T.. **Balanco energético relativo à sua produção de feno de “coast-cross” e alfafa em sistema intensivo de produção de leite**. 2001. 236f. Tese(Doutorado em Agronomia-Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista , Botucatu, 2001.

CARIOCA, J.O.B.; ARORA, H.L.**Biomassa: fundamentos e aplicações tecnológicas**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, BNB, [1984?].644 p.

CARMO, M.S., COMITRE, V., DULLEY, R.D. Balanco energético de sistemas de produção na agricultura alternativa. **Agric. São Paulo**, v.35, n.1, p.87-97, 1988.

CARMO, M.S., COMITRE, V. Evolução do balanço energético nas culturas de soja e milho no estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 29, 1991, Campinas. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 1991. p.131 –149.

CARVALHO, A.; GONÇALVES, G.G; RIBEIRO, J. J. C. **Necessidades energéticas de trabalhadores rurais e agricultores na sub-região vitícola de “Torres”**.Oeiras: Instituto Gulbenkian de Ciências – Centro de Estudos de Economia Agrária, 1974. 79 p.

CARVALHO, S.M.R. **Balanco energético e potencial de produção de biogás em granja de postura comercial, na região de Marília**. 1999. 89 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1999.

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITTKKE, B.H. **Análise de investimento**: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial. 9.ed. São Paulo: Atlas, 2000. 458p.

CERVINKA, V. Fuel and energy efficiency. In PIMENTEL, D. **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton, Florida: CRC Press Inc., 1980. p. 15-22.

COMITRE, V. **Avaliação energética e aspectos econômicos da filière soja na região de Ribeirão Preto – SP**. Campinas 1993. 152p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Planejamento Agropecuário) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.

COMPOSIÇÃO de custos **Revista Construção**. nº 68. Ano 60.março 2007.São Paulo: PINI Publicidade, Engenharia, Administração e Redação, 2007

CORRADELLO, E. de F. A.. **Bicho-da-seda e amoreira: da folha ao fio, a trama de um segredo milenar**. São Paulo: Ícone Editora Ltda, 1987. 101 p.

DAL FARRA, F.C.P; ESPERANCINI. M.S.T. **Análise econômico-energética de utilização de resíduo industrial florestal para geração de energia térmica**: um estudo de caso.Energ.Agric. Botucatu: v.20,n.3, 2005. p.76-88.

DOERING III, O.C. Accounting for energy in farm machinery and building. In: PIMENTEL, D.(Ed.), **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton, Flórida: CRC Press Inc.,1980.p.9-14.

DOVRING, F. Energy use in Unites States agriculture: a critique of recent research. **Energy Agric**. v. 4, p. 79-86, 1985

FONSECA, A. da S.; FONSECA, T. C.. **Cultura da amoreira e criação do bicho-da-seda: sericicultura**. 2.ed. São Paulo: Nobel, 1988. 246p.

GARCIA, Jr. J. B. **O capital social e a seda na América Latina**. In: XVII Congresso Latino Americano de Estratégia (SLADE), Camboriú, Brasil, 2004.

GOLDEMBERG, J. **Energia, meio ambiente & desenvolvimento**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001. 234 p.

HANADA, Y.; WATANABE, J. K. **Manual de criação do bicho-da-seda**. Curitiba: COCAMAR, 1986. 224p.

HAZZAN; S., POMPEO; J. N. **Matemática financeira**. 5.ed. São Paulo: Saraiva, 2003. p. 71-96.

HOFFMANN, R.et al. **Administração da empresa agrícola**. 5.ed. São Paulo: Pioneira, 1987. p.325.

HUGOT, E. **Producción de Vapor**. In: Manual para ingenieros azucareros. 1.ed.(1963) 4.imp.México: Companhia Editorial Continental, S.A, 1976. p.603-705.

JASPER, S.P. **Análise econômica de dois sistemas naturais de tratamento de água residual na suinocultura**. 2006. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

JUNQUEIRA, A. A. B.; CRISCUOLO, P. D.; PINO, F.A. O uso da energia na agricultura paulista. **Agric.São Paulo**, v.29,tomos I e II, p.55-100, 1982.

LIMA, A. G. B. de. **Estudo da secagem e dimensionamento de secador de casulos do bicho-da-seda**. 1995. 144f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1995.

LIMA, A. G. B. de; MATA, S. F. da. **Princípios Gerais sobre sericicultura(I): aspecto científicos do casulo e fio-de-seda produzidos pelo Bombix mori L.** . Fortaleza: Revista engenharia, Ano XI, nº 13, 1995. p.25-30.

MACEDÔNIO, A. C., PICCHIONI, S.A. **Metodologia para o cálculo do consumo de energia fóssil no processo de operação agropecuária**, v.1. Curitiba: Secretaria de Estado da Agricultura, 1985. 95 p.

MAHAN, L. k.; ESCOTT-STUMP, S. **Alimentos, nutrição e dietoterapia**. 9ª. Ed. São Paulo: Roca 1998. 1.179 p.

MELO, B. **Bicho da seda: Produção cresce entre os pequenos, Estado de São Paulo**, 23 fev. 2007. Disponível em < <http://www.seagri.ba.gov.br>> Acessado em 06 jun. 2007

MELLO, R. **Análise energética de agroecossistemas: o caso de Santa Catarina**.1986.13f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1986.

MELLO, P.C. A seda brasileira luta para sobreviver. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 24 abr. 2005. Caderno B. Economia, p.12

MESNY, M. **Caldera de vapor, decripcion, teoria, manejo y mantenimiento**. 3.ed.Buenos Aires:Librería y Editorial Alsina, 1967. 269 p.

MITAMURA, S.S. Notas de aula.Treinamento de segurança na operação de caldeira, realização Mitamura Engenharia S/S Ltda. (Apostila). Londrina: 01 de mar.à 05 de abr. de 2005.

MOREIRA, C. R. **Caracterização energética e nutricional do cultivo de Eucalipto (*Eucalyptus grandis*) com e sem composto orgânico de lixo urbano**. 2004. 60 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

MORETTIN, P.A.; BUSSAB, W.O.; HAZZAN, S. **Cálculo funções de uma e várias variáveis**.São Paulo: Saraiva,2005. p.408.

OPÇÃO VERDE. **Resíduos florestais**. Disponível: em <www.opçãoverde@sorocaba.com.br/residuosflorestais> . Acesso em: 15 janeiro de 2007.

PAZIAN, J.A. **Desenvolvimento de uma metodologia para análise do potencial de cogeração de energia elétrica em usina de açúcar e álcool**. 2004. 205 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2004.

PEREA, L.A. **Avaliação técnico-econômico do processo de cogeração em uma indústria sucroalcooleira**. 2005. 124 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

PEREIRA JUNIOR, V.B. **Alternativas para a cogeração de energia em uma indústria de chapas de fibras de madeira**. 2001.115f. Dissertação (Mestrado em Agronomia /Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

PIMENTEL, D. **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton. 475 p., 1980.

PINELI, G. **Análise de viabilidade econômica e financeira de uma pequena central hidrelétrica**. 2005. 125 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

RESÍDUOS de madeira. **Revista referência**. 24.ed, Julho 2003. Disponível em < <http://www.revista-referencia.com.br>> acesso em 27 julh. 2006.

RISOUD, B. Développement durable et analyse énergétique d'exploitations agricoles. **Économie Rurale**, n.252, p.16-27, juillet-août, 1999.

ROMERO, M.G.C. **Análise energética e econômica da cultura de algodão em sistema agrícola familiar**. 2005. 148f. Dissertação (Mestrado em Agronomia (Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu,2005.

SEM vapor, não há processamento. **Revista Frigorífico**. Campinas.SP: 136.ed. nov. 2006. Disponível em < <http://www.revistafrigorifico.com.br>> Acesso em 18 mai 2007.p.1- 3.

SERRA, G. E.; HEEZEN, A. M.; MOREIRA, J. R.; GOLDEMBERG, J. **Avaliação da energia investida na fase agrícola de algumas culturas**. Brasília: Secretaria de Tecnologia Industrial – Ministério da Indústria e Comércio, 1979, 86 p.

SILVA, C. L. ; KOPITTKE, B. H. Simulações e cenários a partir da cadeia de valor: uma aplicação na indústria de celulose. **FAE**, Curitiba. v. 5, n.1, p. 43-59, jan./abr.2002.

SORDI, A; SOUZA, S. N. M. de; OLIVEIRA, F.H.de. **Biomassa gerada a partir da produção avícola na região do Estado do Paraná: uma fonte de energia**. Maringá, v. 27, n. 2. p. 183-190, July/Dec.,2005.

TOLEDO, G. L; OVALLE, I. I. **Estatística básica**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 1985. 459 p.

TUNDISI, H. S. F. **Usos de energia**. 2.ed. São Paulo: Atual, 1991. 74 p.

VASCONCELLOS, G. F. **Biomassa: a eterna energia do futuro**; coordenação Benjamim Abdala Junior, Isabel Maria M. Alexandre, Editora SENAC São Paulo, 2002

WOILER, S. e MATHIAS, S.F. **Projetos – planejamento, elaboração e análise**. 1.ed. São Paulo: Atlas, 1996. 294 p.

APÊNDICE

TABELA AP1. Máquinas e implementos, peso e vida útil (V.U)

Máquinas e implementos	Peso (kg)	V.U (horas)
Trator 65cv	3.650	14.000
Carreta	1.200	7.000
Carregadeira Cat.924F	11.000	14.000
Agralle 4.100	885	14.000
Carreta	300	7.000
Caminhão M.B 1318	7.100 (Tara)	11.200
Caminhão Ford 1736	5.950 (Tara)	11.200
Caçamba	6.520 (Tara)	8.000
Picador modelo PPK 200	2.700	24.000
Alimentador da caldeira	1.950	24.000

Fonte: Moreira (2004), Romero (2005), Anuário – tabelas práticas e instruções, catálogo Picadores Planato, catálogo Agralle , H Bremer e dados de pesquisa de campo.

TABELA AP2. Máquinas e implementos, peso e vida útil (V.U), operações, consumo por tonelada de **cavaco**.

Máquinas e equipamentos	Operações	Peso (kg)	V.U (horas)	Horas trabalhadas	C.E. (MJ. kg ⁻¹)	ton. (t)	Energia (MJ. t ⁻¹)
Produção							
Trator 65 CV	Transp. resíduo	3.670	14.000	8,0	69,88	40	3,67
Carreta	Transp. resíduo	1.200	7.000	8,0	57,23	40	1,96
Picador	Cavaco	2.700	24.000	4,5	69,88	40	0,88
Carregadeira	Carregar caminhão	11.000	14.000	0,33	69,88	25	0,72
Caminhão F.1731	Transporte cavaco	5.950	11.200	0,39	69,88	25	0,58
Caçamba (duas)	Transporte cavaco	13.040	8.000	0,39	57,23	25	1,46
Alimentador da caldeira		1.950	24.000	18,00	69,88	10	10,22
Total							19,49

TABELA AP3. Máquinas e implementos, peso e vida útil (V.U), operações, consumo por metro cúbico de lenha.

Máquinas e equipamentos	Operações	Peso (kg)	V.U (horas)	Horas trabalhadas	C.E. (MJ. kg ⁻¹)	Energia (MJ. m ⁻³)
Caminhão MB1318	Transporte lenha	7.100	11.200	4,72	69,88	8,36
Agralle	Alimentar caldeira	885	7.000	7,90	69,88	1,40
Carreta	Alimentar caldeira	300	7.000	7,90	57,23	0,78
Total						10,54

TABELA AP4. Massa, altura, idade e GER dos trabalhadores na produção e transporte do cavaco e, transporte da lenha

Operações, atividade dos trabalhadores envolvidos	Dados dos trabalhadores			
	massa (kg)	altura (cm)	Idade (anos completo)	GER (kcal)
Trabalhador tratorista e ajudante (1)	60	165	53	1.357,16
Trabalhador comum (2)	94	180	42	1.974,24
Trabalhador comum (3)	85	175	50	1.771,25
Trabalhador comum (4)	65	177	21	1.702,25
Operador da carregadeira (5)	95	175	25	2.078,25
Motorista do caminhão (6)	70	180	28	1.657,80
Operadores da caldeira				
Operador (7)	76	177	55	1.623,60
Operador (8)	76	175	40	1.715,30
Operador (9)	83	174	45	1.772,65
Operador (10)	80	172	25	1.857,00
Tranporte da lenha				
Motorista (11)	80	182	44	1.778,18
Trabalhador Ajudante (12)	95	180	30	2.069,35

Fonte: Dados da pesquisa de campo

TABELA AP5. Cálculo de necessidades calóricas referentes a 24 horas para cada trabalhador estudado, na produção, transporte e alimentação da caldeira - cavaco

Produção do cavaco 40t

OCUPAÇÃO	HORAS . DIA ⁻¹	MJ . 8 HORAS ⁻¹	MJ . DIA ⁻¹	MJ . h ⁻¹	MJ . t ⁻¹
Trabalhador tratorista e ajudante (1)					
Tempo de sono	8	2/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	1,89	0,08	0,05
Trabalho (tratorista)	1	3/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	0,36	0,01	0,01
(ajudante)	7	7/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	5,80	0,24	0,14
Ocupação não profissional	8	3/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	2,84	0,12	0,07
Total			10,89	0,45	0,27

Fonte: Dados da pesquisa de campo

(*) igual a 5,68 MJ

OCUPAÇÃO	HORAS . DIA ⁻¹	MJ . 8 HORAS ⁻¹	MJ . DIA ⁻¹	MJ . h ⁻¹	MJ . t ⁻¹
Trabalhador (2)					
Tempo de sono	8	2/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	2,76	0,12	0,07
Trabalho	8	7/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	9,65	0,40	0,24
Ocupação não profissional	8	3/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	4,14	0,17	0,10
Total			16,55	0,69	0,41

Fonte: Dados da pesquisa de campo

(*) igual a 8,27 MJ

Continuação TABELA AP5.

OCUPAÇÃO	HORAS . DIA ⁻¹	MJ . 8 HORAS ⁻¹	MJ . DIA ⁻¹	MJ . h ⁻¹	MJ . t ⁻¹
Trabalhador (3)					
Tempo de sono	8	2/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	2,47	0,10	0,06
Trabalho	8	7/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	8,66	0,36	0,22
Ocupação não profissional	8	3/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	3,71	0,15	0,09
Total			14,84	0,61	0,37

Fonte: Dados da pesquisa de campo

(*) igual a 7,42 MJ

OCUPAÇÃO	HORAS . DIA ⁻¹	MJ . 8 HORAS ⁻¹	MJ . DIA ⁻¹	MJ . h ⁻¹	MJ . t ⁻¹
Trabalhador (4)					
Tempo de sono	8	2/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	2,38	0,10	0,06
Trabalho	8	7/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	8,32	0,35	0,21
Ocupação não profissional	8	3/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	3,57	0,15	0,09
Total			14,27	0,60	0,36

Fonte: Dados da pesquisa de campo

1,41

(*) igual a 7,13 MJ

Carregamento do cavaco no caminhão para o transporte (25 t)

OCUPAÇÃO	HORAS . DIA ⁻¹	MJ . 8 HORAS ⁻¹	MJ . DIA ⁻¹	MJ . h ⁻¹	MJ . t ⁻¹
Motorista da carregadeira (5)					
Tempo de sono	8	2/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	2,90	0,12	0,12
Trabalho	0,5	3/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	0,27	0,01	0,01
Ocupação não profissional	15,5	3/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	8,43	0,35	0,34
Total			11,60	0,48	0,47

Fonte: Dados da pesquisa de campo

(*) igual a 8,70 MJ

OCUPAÇÃO	HORAS . DIA ⁻¹	MJ . 8 HORAS ⁻¹	MJ . DIA ⁻¹	MJ . h ⁻¹	MJ . t ⁻¹
Motorista caminhão (6)					
Tempo de sono	8	2/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	2,31	0,10	0,09
Trabalho	0,75	3/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	0,33	0,01	0,01
Ocupação não profissional	15,25	3/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	6,61	0,28	0,27
Total			9,25	0,39	0,37

Fonte: Dados da pesquisa de campo

0,84

(*) igual a 6,94 MJ

Alimentação da caldeira 10,00 t . d⁻¹

OCUPAÇÃO	HORAS . DIA ⁻¹	MJ . 8 HORAS ⁻¹	MJ . DIA ⁻¹	MJ . t ⁻¹
Operador (7)				
Tempo de sono	8	2/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	2,27	0,27
Trabalho	8	7/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	7,93	0,79
Ocupação não profissional	8	3/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	3,40	0,34
Total	24		13,60	1,36

Fonte: Dados da pesquisa de campo

(*) igual a 6,80 MJ

Operadores da caldeira

OCUPAÇÃO	HORAS . DIA ⁻¹	MJ . 8 HORAS ⁻¹	MJ . DIA ⁻¹	MJ . t ⁻¹
Operador (7)				
Tempo de sono	8	2/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	2,40	0,24
Trabalho	8	7/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	8,40	0,84
Ocupação não profissional	8	3/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	3,60	0,36
Total	24		14,40	1,44

Fonte: Dados da pesquisa de campo

(*) igual a 7,20 MJ

Continuação TABELA AP5. Operadores da caldeira

OCUPAÇÃO	HORAS . DIA ⁻¹	MJ . 8 HORAS ⁻¹	MJ . DIA ⁻¹	MJ . t ⁻¹
Operador (9)				
Tempo de sono	8	2/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	2,47	0,25
Trabalho	8	7/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	8,66	0,86
Ocupação não profissional	8	3/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	3,71	0,37
Total	24		14,84	1,48

Fonte: Dados da pesquisa de campo

(*) igual a 7,42 MJ

Operadores da caldeira

OCUPAÇÃO	HORAS . DIA ⁻¹	MJ . 8 HORAS ⁻¹	MJ . DIA ⁻¹	MJ . t ⁻¹
Operador (10)				
Tempo de sono	8	2/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	2,31	0,23
Trabalho	8	7/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	8,10	0,81
Ocupação não profissional	8	3/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	3,47	0,35
Total	24		13,88	1,48

Fonte: Dados da pesquisa de campo

(*) igual a 6,94 MJ

5,67

TABELA AP6. Cálculo das necessidades calóricas referentes a 24 horas para cada trabalhador estudado, no transporte e na alimentação da caldeira - lenha**Carregamento do caminhão e transporte 25 m³**

OCUPAÇÃO	HORAS . DIA ⁻¹	MJ . 8 HORAS ⁻¹	MJ . DIA ⁻¹	MJ . m ⁻³
Motorista – ajudante (11)				
Tempo de sono	8	2/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	2,48	0,10
Trabalho	4	7/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	4,35	0,18
(motoista)	1	3/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	0,47	0,02
Ocupação não profissional	12	3/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	5,59	0,22
Total			12,89	0,52

Fonte: Dados da pesquisa de campo

(*) igual a 7,45 MJ

OCUPAÇÃO	HORAS . DIA ⁻¹	MJ . 8 HORAS ⁻¹	MJ . DIA ⁻¹	MJ . m ⁻³
Trabalhador (12)				
Tempo de sono	8	2/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	2,89	0,12
Trabalho	4	7/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	5,06	0,20
Ocupação não profissional	12	3/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	6,50	0,26
Total			14,45	0,58

Fonte: Dados da pesquisa de campo

(*) igual a 8,67 MJ

1,10

Operadores da caldeira - alimentação

OCUPAÇÃO	HORAS . DIA ⁻¹	MJ . 8 HORAS ⁻¹	MJ . DIA ⁻¹	MJ . m ⁻³
Operador (7)				
Tempo de sono	8	2/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	2,27	0,09
Trabalho	2	7/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	1,98	0,08
Ocupação não profissional	14	3/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	5,95	0,24
Total	24		10,20	0,41

Fonte: Dados da pesquisa de campo

(*) igual a 6,80 MJ

Continuação TABELA AP6.**Operadores da caldeira**

OCUPAÇÃO	HORAS . DIA ⁻¹	MJ . 8 HORAS ⁻¹	MJ . DIA ⁻¹	MJ . m ⁻³
Operador (8)				
Tempo de sono	8	2/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	2,40	0,10
Trabalho	2	7/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	2,10	0,08
Ocupação não profissional	14	3/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	6,30	0,25
Total	24		10,80	0,43

Fonte: Dados da pesquisa de campo

(*) igual a 7,20 MJ

Operadores da caldeira

OCUPAÇÃO	HORAS . DIA ⁻¹	MJ . 8 HORAS ⁻¹	MJ . DIA ⁻¹	MJ . m ⁻³
Operador (9)				
Tempo de sono	8	2/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	2,47	0,10
Trabalho	2	7/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	2,16	0,09
Ocupação não profissional	14	3/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	6,50	0,26
Total	24		11,13	0,45

Fonte: Dados da pesquisa de campo

(*) igual a 7,42 MJ

Operadores da caldeira

OCUPAÇÃO	HORAS . DIA ⁻¹	MJ . 8 HORAS ⁻¹	MJ . DIA ⁻¹	MJ . m ⁻³
Operador (10)				
Tempo de sono	8	2/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	2,31	0,09
Trabalho	2	7/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	2,02	0,08
Ocupação não profissional	14	3/6 do GER (*) 24 h ⁻¹	6,07	0,24
Total	24		10,4	0,41

Fonte: Dados da pesquisa de campo

(*) igual a 6,94 MJ

1,70

Cálculo do consumo de combustível, lubrificante e graxa no itinerário da lenha e do cavaco

Coefficientes .Energético: C.E

- Óleo diesel: $8.564,80 \text{ kcal} \cdot \text{L}^{-1} \cdot 1,14 = 9.763,87 \text{ kcal} \cdot \text{L}^{-1} = \mathbf{40,88 \text{ MJ} \cdot \text{L}^{-1}}$

- Óleo lubrificante: $9.016,92 \text{ kcal} \cdot \text{L}^{-1} = \mathbf{37,75 \text{ MJ} \cdot \text{L}^{-1}}$

- Graxa: $10.361,52 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} = \mathbf{43,38 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}}$

LENHA

CAMINHÃO: Mercedes Bens 1318

Carga: 25 m³ de lenha

Percurso: 40 km

Consumo no percurso: 11,43 L

Consumo por m³: 0,4572 L . m⁻³

AGRALLE: 4100

Carga da careta: 2 m³

Consumo mensal (p/ 648 m³ de lenha): 30 L

Consumo médio dia (25,92 m³): 1,2 L

Consumo médio (25m³): 1,16 L

Consumo por m³: 0,0464 L . m⁻³

CAVACO**Produção média de 40 toneladas por dia****TRATOR**: Valmet 65

Consumo médio de óleo diesel: 4 litros (L)

Consumo médio por tonelada: 0,1 L . t⁻¹**CARREGADEIRA**: Caterpillar 924 F

Consumo médio de óleo Diesel: 5.5 L

Consumo médio por tonelada: 0,1375 L . t⁻¹**CAMINHÃO**: Ford 1731

Consumo médio de óleo diesel: 1,2 L

Consumo médio por tonelada: 0,1375 L . t⁻¹**TABELA AP7.** Cálculo do consumo de óleo diesel, lubrificante e graxa nas operações do itinerário da lenha.

Diesel					
Operação	Máquina	Quantidade	MJ	Coef. Energ.	Resultado
		L . m ³		Kcal . L ⁻¹	MJ . m ⁻³
Transporte	Caminhão MB 1318	0,4572	0,0041868	9.763,87	18,69
T. alimentação caldeira	Agralle	0,0464	0,0041868	9.763,87	1,90
Total					20,59
Lubrificante					
Operação	Máquina	Quantidade	MJ	Coef. Energ.	Resultado
		L . m ³		Kcal . L ⁻¹	MJ . m ⁻³
Transporte	Caminhão MB 1318	0,006858	0,0041868	9.016,92	0,26
T. alimentação caldeira	Agralle	0,000696	0,0041868	9.016,92	0,03
Total					0,29
Graxa					
Operação	Máquina	Quantidade	MJ	Coef. Energ.	Resultado
		kg . m ³		Kcal . L ⁻¹	MJ . m ⁻³
Transporte	Caminhão MB 1318	0,001992	0,0041868	10.361,52	0,09
T. alimentação caldeira	Agralle	0,000202	0,0041868	10.361,52	0,01
Total					0,10

TABELA AP8. Cálculo do consumo de óleo diesel, lubrificante e graxa nas operações do itinerário do cavaco.

Diesel					
Operação	Máquina	Quantidade	MJ	Coef. Energ.	Resultado
		L t ⁻¹		Kcal . L ⁻¹	MJ . t ⁻¹
Produção	Trator 65	0,1000	0,0041868	9.763,87	4,09
Transporte	Carregadeira 924F	0,1375	0,0041868	9.763,87	8,99
	Caminhão Ford 1731	0,03 00	0,0041868	9.763,87	1,97
Total					15,05

Lubrificante					
Operação	Máquina	Quantidade	MJ	Coef. Energ.	Resultado
		L . t ⁻¹		Kcal . L ⁻¹	MJ . t ⁻³
Produção	Trator 65	0,00150	0,0041868	9.016,92	0,06
Transporte	Carregadeira 924F	0,00210	0,0041868	9.016,92	0,12
	Caminhão Ford 1731	0,00045	0,0041868	9.016,92	0,03
Total					0,21

Graxa					
Operação	Máquina	Quantidade	MJ	Coef. Energ.	Resultado
		kg . m ³		Kcal . L ⁻¹	MJ . t ⁻³
Produção	Trator 65	0,000436	0,0041868	10.361,52	0,02
Transporte	Carregadeira 924F	0,000599	0,0041868	10.361,52	0,04
	Caminhão Ford 1731	0,0001307	0,0041868	10.361,52	0,02
Total					0,08

TABELA AP9. Cálculo da Energia Direta de Fonte Elétrica
PICADOR

Motor: 50 HP 2 Redutores: 4,4 cv = 4,34 HP Total: 54,34 HP

Tempo de uso: 4,5 horas

TEE = 0,746 . 3,6 . 55,34 . 4.5

TEE = 565,70 MJ (40 t) => TEE = 16,46 Mj . t⁻¹

ALIMENTADOR DA CALDEIRA

Alimentador da HBFS -5 (5.000 kg vapor . h⁻¹)

Potência: 4,00 cv = 3,95 HP

Quantidade de cavaco para produzir 5.000 kg vapor . h⁻¹ (Hugot)

$$Q_c = \frac{5000.478}{0,85.3030} = 927,975 \text{ kg.h}^{-1} = 0,93 \text{ t.h}^{-1}$$

Tempo: 1 h

TEE = 0,746 . 3,6 . 3,95 . 1

TEE = 10,61 MJ

10,61 MJ → 0,93 t . h⁻¹ => TEE = 10,61 : 0,93 = **11,41 MJ . t⁻¹**

TEE → 1 t
