

## **“Avaliação da Viabilidade Técnica e Econômica da Utilização de Biomassas como Fonte Energética Alternativa em Fornos Industriais”**

Ana Maria Kefalás Oliveira  
Lilian Maluf de Lima  
Paulo de Tarso Carletti Filho  
Renata Cristina Ferrari  
José Vicente Caixeta Filho

**Resumo:** O presente trabalho foi realizado ao longo do ano de 2003, dentro do ambiente de uma grande indústria localizada no Estado de São Paulo e que possuía sua matriz energética predominantemente focada no coque de petróleo, um produto que após a sua queima implica alta emissão de gases (CO e CO<sub>2</sub>) na atmosfera e que é relativamente caro se comparado a uma série de biomassas. Devido à localização geográfica favorável dessa indústria, foram observadas grandes ofertas de biomassas que poderiam ser consideradas como alternativas de combustível para os seus fornos industriais. Diversas biomassas foram analisadas, sendo o bagaço de cana-de-açúcar e resíduos de madeira (serragem e cavaco) aquelas consideradas como as mais indicadas para a indústria em questão.

**Palavras-chave:** biomassa, energia, transporte e otimização

### **1. Introdução**

A busca de fontes alternativas de energia sempre foi foco de discussões tanto no meio acadêmico quanto no meio empresarial. Ao longo da década de 90 tal temática recebeu especial atenção da sociedade, principalmente devido a questionamentos relacionados à preservação do meio-ambiente. Ressaltam-se aqui acordos de preservação ambiental, normas de qualidade visando o meio-ambiente como a ISO 14000, o protocolo de Kyoto e até a criação de diversos cursos de graduação e pós-graduação em Universidades.

Na área de energia, o que vem sendo feito nos últimos tempos é a busca de fontes alternativas de energia, principalmente renováveis, em detrimento das não-renováveis como o petróleo. Sendo assim, o uso de resíduos agroindustriais recebeu destaque em pesquisas e aplicações de cunho industrial. Entra, nesse cenário, o uso de biomassas como fonte renovável de energia (Glossário, 2003).

O presente trabalho foi realizado ao longo do ano de 2003, dentro do ambiente de uma grande indústria localizada no Estado de São Paulo e que possuía sua matriz energética predominantemente focada no coque de petróleo, um produto que após a sua queima implica alta emissão de gases (CO e CO<sub>2</sub>) na atmosfera e que é relativamente caro se comparado a uma série de biomassas. Devido à localização geográfica favorável dessa indústria, foram observadas grandes ofertas de biomassas que poderiam ser consideradas como alternativas de combustível para os seus fornos industriais.

### **2. A Importância da Biomassa como fonte alternativa de energia**

O petróleo, apesar de ser ainda a principal fonte de energia consumida no mundo, vem recebendo aumento de concorrência de outras fontes, diminuindo a sua importância na matriz energética mundial. A Figura 1 mostra evolução do uso de energia no mundo.

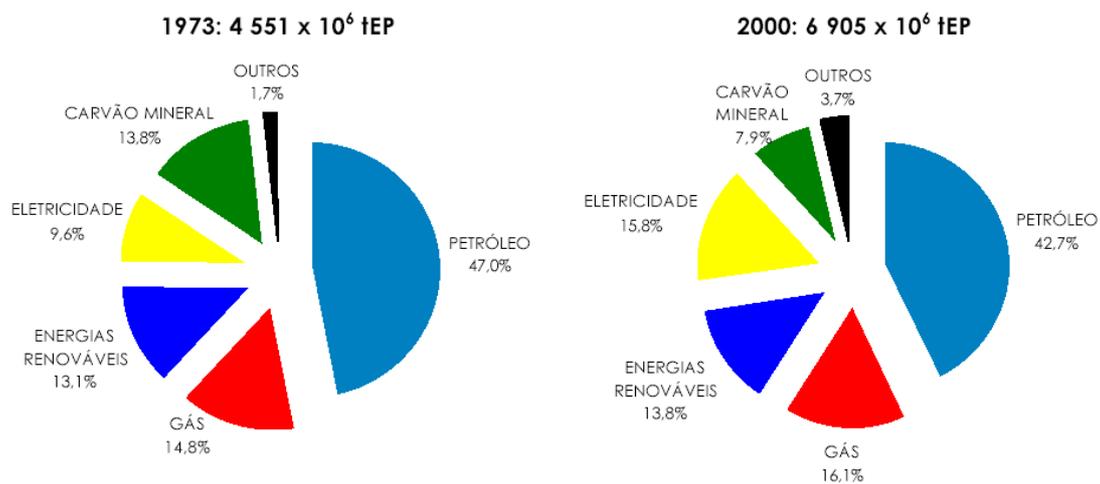


Figura 1 - Consumo mundial de energia por fonte  
 Fonte: BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL (BEN) 2003

Entretanto, o Brasil ainda tem grande dependência do petróleo, seguindo uma tendência contrária à mundial, conforme ilustra a Figura 2.

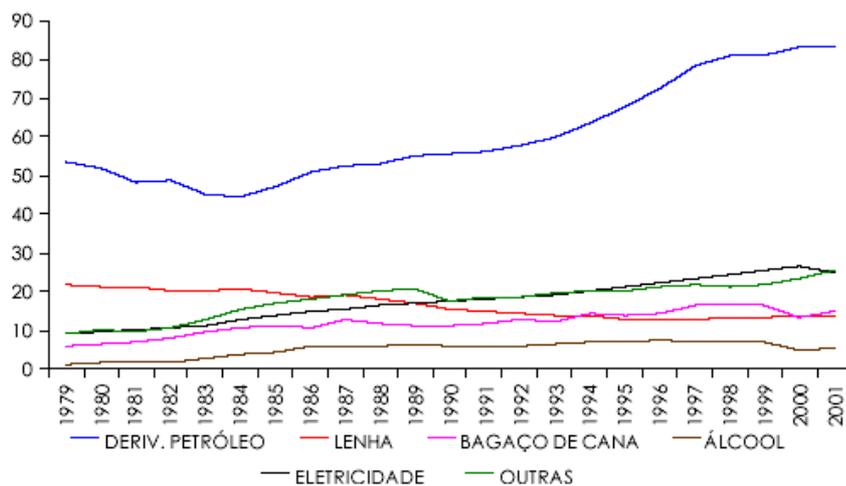


Figura 2 - Consumo brasileiro por fonte  
 Fonte: BEN (2003)

Por outro lado, o governo brasileiro tem incentivado o uso de biomassas, através de programas específicos, tais como o Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), Programa de Incentivos a Energias Renováveis (PIER), dentre outros. Essa busca da necessidade de novas fontes de energia, principalmente renováveis, pode ser contemplada pela atuação do atual governo federal que estimula a pesquisa de energias advindas de produtos totalmente nacionais, como carnaúba, babaçu e mamona, típicos do Nordeste do país. Tal fato também pode ser visualizado a partir da Figura 2, ao se observar o aumento quase dobrado do uso de bagaço de cana e álcool nos últimos vinte anos.

O uso de fontes alternativas de energia vem se disseminando no mundo, principalmente em países desenvolvidos cuja necessidade energética é suprida predominantemente por produtos importados, tais como petróleo, óleo mineral, gás natural, urânio, dentre outros. Loefsted (1996) cita a cidade de Vaxjo na Suécia, cuja usina fornecedora de energia é alimentada totalmente por biomassa da madeira. Bastianoni & Marchettini (1996) citam o caso da produção de etanol por biomassa na Itália. Sokhansanj et al. (2002) realizaram estudos sobre a coleta de restos de milho para geração de biomassa e sobre o seu potencial como fonte energética.

Por meio de entrevistas realizadas com agentes do setor, percebeu-se que no Brasil há diversas práticas de sucesso envolvendo a utilização de biomassas, tal como o caso das indústrias de cimento no Estado do Rio Grande do Sul que utilizam a casca do arroz para os seus fornos. O mesmo acontece com a co-geração de energia pelo uso do bagaço da cana-de-açúcar em diversas usinas de açúcar e álcool do Estado de São Paulo. Destaque-se também o caso da indústria madeireira que utiliza os resíduos de madeira para geração de vapor em suas caldeiras.

### **3. Metodologia**

Para a realização deste trabalho, quatro atividades-macro foram especificadas: a primeira relacionada ao levantamento de fontes de biomassa, a partir da busca exaustiva sobre literatura existente e através de visitas a agentes de mercado relacionado à oferta ou demanda de alguma biomassa mais específica; a segunda atividade esteve relacionada à classificação das fontes de energia; a terceira atividade envolveu a avaliação técnico-econômica das biomassas selecionadas; e por fim foi elaborada ferramenta gerencial, incorporando modelo matemático de programação linear, para facilitar a atualização dos dados das biomassas assim como para auxiliar as tomadas de decisão relacionadas à utilização de biomassas.

### **4. Principais resultados observados**

#### **4.1 Levantamento de fontes de Biomassa**

Para essa atividade, realizaram-se buscas exaustivas de literatura existente, tanto em bibliotecas especializadas, dissertações, teses, artigos, jornais e Internet. Tais documentos, 197 no total, foram classificados a partir dos seguintes relacionadores: “Aplicações e experiências”, “Estatísticas”, “Legislação”, “Teoria e Definições” e “Outros”. Cada documento também foi devidamente sumarizado, sendo que tais resumos foram disponibilizados ao longo do estudo para todos os membros da equipe.

Em seguida, foi realizada a leitura completa dos documentos selecionados a partir de uma lista prévia de biomassas que incluiu: madeira, cana-de-açúcar, briquetes, biodiesel, resíduos industriais (bagaço de laranja, café, licor-negro e embalagens Tetra-Pak), biogás, resíduos de arroz, carvão vegetal, resíduos agrícolas e bambu. Cada uma dessas biomassas foi especificada e estudada a fim de se obter uma prévia dos problemas a serem enfrentados nas fases seguintes do estudo.

Nesse sentido, foram agendadas e realizadas visitas a 11 empresas que utilizavam biomassa como fonte de energia interna para o processo industrial ou que poderiam ser potenciais fornecedoras de biomassa. Tomou-se também como referência a “área de influência” da indústria, conforme ilustrado na Figura 3.



Figura 3 - Áreas de influência consideradas para a análise de oferta de biomassas

#### 4.2. Classificação das Fontes de Energia

Na segunda fase, foram aplicados critérios de seleção para as biomassas originalmente consideradas, sendo que em função das pesquisas e visitas realizadas, foram excluídas as seguintes biomassas: biogás, licor negro e resíduos de cervejaria.

O biogás foi excluído devido à não existência de uma infra-estrutura de captação desse combustível nos aterros sanitários municipais. Já o que motivou a exclusão do licor negro foi a constatação de que a maioria das empresas de papel e celulose reaproveitam esse produto - em um

ciclo de recuperação química - para reutilização na extração da celulose. Além disso, identificou-se uma quantidade muito pequena de informações na literatura sobre a queima desse resíduo em empresas que não sejam do ramo de papel e celulose. Também a falta de referências bibliográficas relacionadas às experiências de queima de resíduos de cervejaria para geração de energia, somada à confirmação da visita à empresa de que esses são vendidos para alimentação animal, contribuíram para a exclusão dessa biomassa.

Assim sendo, foram consideradas nas análises subseqüentes as seguintes biomassas:

- Bagaço de Cana
- Biodiesel (Óleo de Fritura)
- Briquetes Comerciais (aparas de madeira)
- Briquetes Comerciais (casca de arroz)
- Briquetes Comerciais (madeira de lei)
- Briquetes Comerciais (serragem)
- Briquetes Comerciais Geral
- Casca de Arroz
- Embalagens Tetra-Pak
- Farelo de Polpa Cítrica
- Gás Natural
- Lixo Urbano
- Resíduos de Café
- Resíduos de Madeira (Cavaco)
- Resíduos de Madeira (Serragem)

Para cada uma dessas biomassas, foram atribuídas notas de 1 a 5 (1 - indesejável; 2 - pouco desejável; 3 - desejável; 4 - muito desejável; 5 - altamente desejável) para uma série de critérios, relacionados a:

- **Custo**  
Qual o custo em R\$/Gcal?  
Quanto menor o custo, maior a nota.
- **PCI**  
Qual o PCI (Poder Calorífico Inferior) em kcal/kg?  
Quanto mais alto é o valor do PCI, maior a nota.
- **Teor de cinzas**  
Qual o teor de cinzas em porcentagem?  
Quanto menor é o teor de cinzas, maior a nota.
- **Densidade**  
Qual é a densidade em kg/m<sup>3</sup>?  
Quanto maior a densidade, maior a nota.
- **Umidade**  
Qual é a umidade média em porcentagem?

Quanto menor a umidade, maior a nota.

– **Nível de emissão de gases**

Quais os gases emitidos na queima da biomassa?

Quanto menor o nível de gases do efeito estufa emitidos, maior a nota.

– **Necessidade de pré-processamento**

Existe necessidade de pré-processamento da biomassa para a queima na caldeira?

Se não houver necessidade de pré-processamento, maior será a nota atribuída.

– **Experiência de uso**

Existe experiência de queima da biomassa em caldeiras?

Se houver experiência, maior a nota.

– **Uso concorrente para geração de energia**

Existe concorrência de uso da biomassa para geração de energia?

Se não houver uso concorrente, maior a nota.

– **Disponibilidade na área de influência**

Qual a disponibilidade da biomassa, em Gcal, na área de influência da empresa?

Quanto maior a disponibilidade na área, maior a nota.

– **Armazenagem**

Existe necessidade de uma estrutura específica para o armazenamento da biomassa?

Se não houver, maior a nota.

– **Sazonalidade**

Existe sazonalidade na oferta da biomassa?

Se não houver sazonalidade, maior a nota.

– **Licenciamento**

A empresa possui licenciamento dos organismos ambientais (Cetesb, por exemplo) para a queima de cada fonte de biomassa?

Se sim, maior a nota atribuída.

– **Legislação**

Qual o nível de “burocracia” legal para a queima de cada biomassa?

Se o nível de burocracia for baixo, maior será a nota atribuída.

– **Literatura encontrada**

Qual a quantidade de artigos encontrados para cada biomassa?

Se a quantidade for alta, maior a nota atribuída.

O sumário com as escalas de notas adotadas para cada um dos critérios é apresentado no Quadro 1.

Quadro 1. Escala de notas para os critérios de seleção de biomassas

Critérios	Nota				
	1	2	3	4	5
Custo (R\$/Gcal)	[24 , ...)	[18 , 24)	[12 , 18)	[6 , 12)	[0 , 6)
PCI (kcal/kg)	[0 , 1.500)	[1.500 , 4.000)	[4.000 , 7.000)	[7.000 , 10.000)	[10.000 , ...)
Teor de cinzas (%)	8 ou mais	6 a 8	4 a 6	2 a 4	0 a 2
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	[0 , 200)	[200 , 400)	[400 , 700)	[700 , 1.000)	[1.000 , ...)
Umidade média (%)	[40 , ...)	[30 , 40)	[20 , 30)	[10 , 20)	[0 , 10)
Nível de emissão de gases					
Necessidade de pré-processamento	Sim				Não
Experiência de uso	Nenhuma		Alguma		Muita
Uso concorrente para geração de energia	Muito		Algum		Pouco
Disponibilidade na área de influência (Gcal)	Pouco		Médio		Muito
Armazenagem (investimento em infra-estrutura)	Alto		Médio		Nenhum
Sazonalidade de produção	Sim				Não
Licenciamento	Sim				Não
Legislação (nível de burocracia)	Alta		Média		Baixa
Literatura encontrada (quantidade)	Pouca		Média		Alta

Fonte: Dados de pesquisa

Os limites superior e inferior para cada uma das escalas foram obtidos a partir de estudos e levantamentos realizados nas empresas visitadas e na indústria. Além disso, quando pertinente, tomou-se como referência o coque de petróleo (por exemplo, o item “custo”: o valor máximo que uma biomassa poderia vir a assumir teria que ser igual ao valor praticado na época para aquisição do coque de petróleo). O critério “nível de emissão de gases” não foi utilizado em função da dificuldade para a obtenção desse dado.

Os Quadros 2 e 3 trazem, para cada biomassa, os dados obtidos e as respectivas notas atribuídas.

Quadro 2. Principais dados técnicos das biomassas consideradas

Critérios	Resíduos da Madeira		Bagaço de Cana	Briquetes Comerciais (Geral)	Briquetes Comerciais por tipo				Lixo Urbano (SP)	Biodiesel (óleo de fritura)	Resíduos Industriais		Tetra Pak	Gás Natural	Casca de Arroz
	Serragem	cavacos			Serragem	Aparas de Madeira	Casca Arroz	Madeira de Lei			Farelo de Polpa Cítrica	Resíduos de Café			
Custo R\$/Gcal	14 a 15,50	9,15 a 16,06	11,00 a 17,00	48	47,13	47,92	48,94	19,55	90 a 105	50	200	85,3	3		
PCI (kcal/kg)	2900 a 3200	2000 a 2300	2257	4400	4880	4800	3730	4700	2750 a 3200	8700	3600	3500	1300	13740	2300
Teor de cinzas (%)	0,2 a 0,4%	0,2 a 0,4%	2	1,5	1,5	1,5	1,5	2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0	13 a 21%	
Densidade (kg/m³)	330	303	150 a 250	655	570	565 - 615	610	920	250 a 300	870 a 890	1280	0,6289	76		
Umidade média (%)	11,5%	25%	35	8 a 20	8 a 12	8 a 12	8 a 12	9 a 14	50%	0%	12	30	50	24	11,6
Nível de emissão de gases	16,2% CO2 4,2% H2 4,3% CH4	16,2% CO2 4,2% H2 4,3% CH4	16,3% - CO2 14,3% - H2O 63,1% - N2 atmosferico 6,3% - O2	19,2% - CO2 4,7% - H2 5% - CH4						n.d.	n.d.				12,2% - CO2 4,7% - H2 6,7% - CH4
Necessidade de pré-processamento	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
Experiência de uso	Muita	Muita	Muita	Muita	Muita	Muita	Alguma	Muita	Alguma	Alguma	Pouca	Muita	Muita	Muita	Muita
Uso concorrente	Muito	Muito	Muito	Muito	Muito	Muito	Muito	Muito	Algum	Algum	Pouco	Muito	Pouco	Sim	Muito
Disponibilidade na área de influência	Alta	Alta	Alta	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Alta	Alta	Alta	média	Muito	Média	
Armazenagem	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	Sim	Nenhum	Alto	Médio	Médio	Alto	Média	
Sazonalidade de produção	Não	Não	Sim	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	
Licenciamento	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	
Legislação				Médio	Médio	Médio	Médio	Médio			Alta				
Quantidade de literatura encontrada	alta	alta	alta	média	média	média	média	média	Média	baixa	baixa	baixa	baixa	médio	baixa

Fonte: Dados de pesquisa

Quadro 3. Notas atribuídas aos principais dados técnicos das biomassas consideradas

Critérios	Resíduos da Madeira		Bagaço de Cana	Briquetes Comerciais Geral	Briquetes Comerciais por Produto				Lixo Urbano (SP)	Biodiesel (óleo de fritura)	Resíduos Industriais			Gás Natural	Casca de Arroz
	Serragem	cavacos			Serragem	Aparas de Madeira	Casca Arroz	Madeira de Lei			Farelo de Polpa Cítrica	Tetra Pak	Resíduos de Café		
Custo R\$/Gcal	3	4	3	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	5	
PCI (kcal/kg)	2	2	2	3	3	3	3	3	2	4	2	1	2	5	
Teor de cinzas (%)	5	5	4	5	5	5	5	5					5	1	
Densidade (kg/m³)	2	2	2	3	3	3	3	4	2	4			5	1	
Umidade média (%)	4	3	2	4	4	4	4	4	1	1	4	1	2	3	
Nível de emissão de gases															
Necessidade de pré-processamento	5	5	5	5	5	5	5	5	1	5	5	1	5	5	
Experiência de uso	5	5	5	3	3	3	3	3	3	3	1	3	5	5	
Uso concorrente	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	5	5	1	1	
Disponibilidade na área de influência	5	5	5	1	1	1	1	1	5		5		3	5	
Armazenagem	3	3	3	3	3	3	3	3	5	1	3	3	3	1	
Transporte (distância em Km)															
Sazonalidade de produção	5	5	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	1	5	
Licenciamento	5	5	5	5	5	5	5	5	1	1	5	5	5	1	
Legislação															
Quantidade de literatura encontrada	5	5	5	3	3	3	3	3	3	1	1	1	3	3	

Fonte: Dados de pesquisa

Os dados dos Quadros 2 e 3 foram então retrabalhados, a partir da especificação de três cenários que consideraram de maneira distinta o grau de importância de cada nota atribuída para cada biomassa. Assim sendo, no primeiro cenário foram atribuídos pesos iguais para todos os critérios (vide Quadro 4). No segundo cenário foram aplicados pesos distintos para cada critério (vide Quadro 5). No terceiro e último cenário distinguiu-se apenas a influência do critério “custo” (vide Quadro 6).

Quadro 4. Ponderações adotadas para o Cenário 1

<b>Crítérios</b>	<b>Ponderação</b>
Custo R\$/Gcal	1
PCI (kcal/kg)	1
Teor de cinzas (%)	1
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	1
Umidade média (%)	1
Nível de emissão de gases	1
Necessidade de pré-processamento	1
Experiência de uso	1
Uso concorrente	1
Disponibilidade na área de influência	1
Armazenagem	1
Transporte (distância em Km)	1
Sazonalidade de produção	1
Licenciamento	1
Legislação	1
Quantidade de literatura encontrada	1

Fonte: Dados de pesquisa

Quadro 5. Ponderações adotadas para o Cenário 2

<b>Crítérios</b>	<b>Ponderação</b>
Custo R\$/Gcal	5
PCI (kcal/kg)	4
Teor de cinzas (%)	2
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	4
Umidade média (%)	3
Nível de emissão de gases	3
Necessidade de pré-processamento	2
Experiência de uso	2
Uso concorrente	4
Disponibilidade na área de influência	5
Armazenagem	2
Transporte (distância em Km)	4
Sazonalidade de produção	2
Licenciamento	4
Legislação	3
Quantidade de literatura encontrada	1

Fonte: Dados de pesquisa

Quadro 6. Ponderações adotadas para o Cenário 3

<b>Critérios</b>	<b>Ponderação</b>
Custo R\$/Gcal	5
PCI (kcal/kg)	1
Teor de cinzas (%)	1
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	1
Umidade média (%)	1
Nível de emissão de gases	1
Necessidade de pré-processamento	1
Experiência de uso	1
Uso concorrente	1
Disponibilidade na área de influência	1
Armazenagem	1
Transporte (distância em Km)	1
Sazonalidade de produção	1
Licenciamento	1
Legislação	1
Quantidade de literatura encontrada	1

Fonte: Dados de pesquisa

A classificação final das biomassas foi obtida a partir da média aritmética dos ordenamentos de cada uma das biomassas nos três cenários especificados. Os resultados foram organizados em três categorias (A, B e C), aos moldes de uma curva ABC tradicional (Ballou, 2001). O Quadro 7 traz um sumário desses resultados.

Quadro 7. Média final para os três cenários especificados e classificação das biomassas.

	<b>Biomassa</b>	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Cenário 3</b>	<b>Média</b>
1	Resíduos de Madeira (Cavaco)	2	1	1	1,33
2	Resíduos de Madeira (Serragem)	1	2	2	1,67
3	Bagaço de Cana	4	4	4	4,00
4	Farelo de Polpa Cítrica	3	3	7	4,33
5	Briquetes Comerciais (madeira de lei)	5	6	6	5,67
6	Resíduos de Café	10	5	5	6,67
7	Casca de Arroz	12	7	3	7,33
8	Briquetes Comerciais Geral	6	9	8	7,67
9	Briquetes Comerciais (serragem)	7	10	9	8,67
10	Briquetes Comerciais (aparas de madeira)	8	11	10	9,67
11	Gás Natural	11	8	12	10,33
12	Briquetes Comerciais (casca de arroz)	9	12	11	10,67
13	Lixo Urbano	14	14	13	13,67
14	Biodiesel (Óleo de Fritura)	13	13	14	13,33
15	Embalagens Tetra-Pak	15	15	15	15,00

Fonte: Dados de pesquisa

Para a fase seguinte, focou-se apenas nas biomassas que obtiveram a melhor classificação, ou seja, resíduos de madeira e bagaço de cana-de-açúcar.

#### 4.3 Avaliação técnico-econômica

Durante a terceira fase foi realizada uma busca exaustiva das localizações de todas potenciais fontes das biomassas na área de influência, envolvendo serrarias, indústrias moveleiras e usinas de açúcar e álcool na área de influência. De posse desses dados, o contato direto via telefone foi realizado a fim de se confirmar: o valor praticado no mercado tanto para venda como para frete dos produtos até a indústria; localização/endereço da empresa; quantidade de biomassa disponível.

Para a biomassa “bagaço de cana-de-açúcar”, foram contatadas 83 usinas de açúcar e álcool, sendo 57 localizadas no Estado de São Paulo (70%) e 26 localizadas no Estado do Paraná (30%).

Já para a biomassa “resíduos de madeira”, foram contatadas 500 serrarias e madeireiras, todas localizadas no Estado de São Paulo. Desse total, cerca de 60% responderam pelo menos parte das informações solicitadas. Desse montante, 40% (24% do total) se mostraram minimamente viáveis, ou seja, produziam pelo menos 12 toneladas por semana, o que seria suficiente para encher um “truck”. Em números, 48 serrarias e madeireiras poderiam fornecer serragem ou cavaco para a indústria.

#### 4.4 Elaboração de instrumento de atualização

A quarta fase foi realizada em paralelo com a terceira fase. Toda estrutura de modelagem matemática sobre otimização para a captação de biomassa, levando em consideração o custo do material e frete, foi realizada de maneira que se disponibilizasse ferramenta gerencial para apoiar a tomada de decisão pela indústria durante a aquisição das biomassas. Nesse sentido, os produtos dessa última fase foram: mapeamento da oferta de biomassa, planilha de controle de entrada e saída de fornecedores das biomassas e dados sobre distâncias, modais de transporte e informações comerciais. Para o processar-se o modelo de otimização especificado, utilizou-se o “solver” do Microsoft Excel como ferramenta de programação linear.

A ferramenta foi aplicada para as biomassas “resíduos de madeira” (serragem e cavaco) e “bagaço de cana-de-açúcar”, sendo denominada “Biomática”.

Com o cadastro de todos os fornecedores de resíduos de madeira e bagaço de cana-de-açúcar, a planilha os classificou de acordo com o custo de aquisição da biomassa e frete relacionado à movimentação daquela biomassa. Dessa forma, a empresa pode visualizar quais são os fornecedores, onde estão localizados, qual a distância até a indústria, qual o preço a ser pago, separado por frete, produto e potencial margem de negociação para aquisição das biomassas. Todos esses valores eram também comparados com os valores pertinentes do coque de petróleo.

### 5. Discussão dos Resultados

Os resultados obtidos no mercado específico de cada biomassa seguem nos Quadros 8 e 9. A principal resposta obtida disse respeito à indicação dos mercados fornecedores de cada uma das

biomassas selecionadas, o que basicamente se refletiu na distância máxima a ser percorrida a partir da sede da empresa para a aquisição da biomassa específica.

Quadro 8. Resultados obtidos para o bagaço da cana-de-açúcar

<b>Preço do bagaço em SP</b>	<b>Preço do bagaço em PR</b>
US\$ 4,21/Gcal + frete	US\$ 1,73/Gcal + frete
US\$ 9,49/t + frete	US\$ 3,90/t + frete
<b>Preço médio do bagaço</b>	<b>Preço médio do coque (frete incluso)</b>
US\$ 3,45/Gcal + frete	US\$ 6,53/Gcal
US\$ 7,79/t + frete	US\$ 52,22/t
<b>Custo médio total estimado do bagaço:</b>	
Bagaço + frete: US\$ 11,04/Gcal	
Distância média: 381 km	
Composição do custo: 70% frete, 30% bagaço	

Fonte: Dados de pesquisa

Quadro 9. Resultados obtidos para resíduos de madeira

<b>Preço médio do cavaco em SP</b>	<b>Preço médio da serragem em SP</b>
US\$ 4,47/Gcal + frete	US\$ 3,26/Gcal + frete
US\$ 13,41/t + frete	US\$ 9,79/t + frete
<b>Preço médio da madeira</b>	<b>Preço médio do coque (frete incluso)</b>
US\$ 3,87/Gcal + frete	US\$ 6,53/Gcal
US\$ 11,60/t + frete	US\$ 52,22/t
<b>Custo médio total estimado:</b>	
Serragem + frete: US\$ 6,36/Gcal	
Cavaco + frete: US\$ 7,56/Gcal	
Distância média (cavaco + serragem): 192 km	
Composição do custo para serragem: 48% frete, 52% serragem	
Composição do custo para cavaco: 41% frete, 59% bagaço	

Fonte: Dados de pesquisa

Para indicar-se a distância máxima necessária a ser percorrida para a aquisição de determinada biomassa, tomou-se como referência o preço médio do coque de petróleo com o frete incluso. Percebe-se que o frete impacta significativamente o preço final da biomassa, o que fez com que maior atenção fosse dada para o transporte.

Note-se que a distância indicada para o bagaço (372 km) foi maior que a observada para resíduos de madeira (192 km) devido ao fato de o custo do bagaço (por Gcal) ser menor que o de resíduos de madeira. Tal fato acaba por implicar maior poder de barganha para o comprador, pois a maiores distâncias, mais fornecedores foram potencializados.

Com as informações de frete obtidas, equações que relacionassem o comportamento dos valores de frete e as distâncias percorridas puderam ser estimadas a partir da utilização de regressões lineares puderam ser obtidas, com a utilização de regressão linear. Tais equações, que

estão plotadas nas Figuras 4 e 5, foram utilizadas como referência na planilha de otimização “Biomática”.

Destaque-se também que o mercado pesquisado sinalizou que transportadoras que realizam a movimentação do bagaço fazem também, na sua maioria, transporte de cavaco e serragem de madeira.

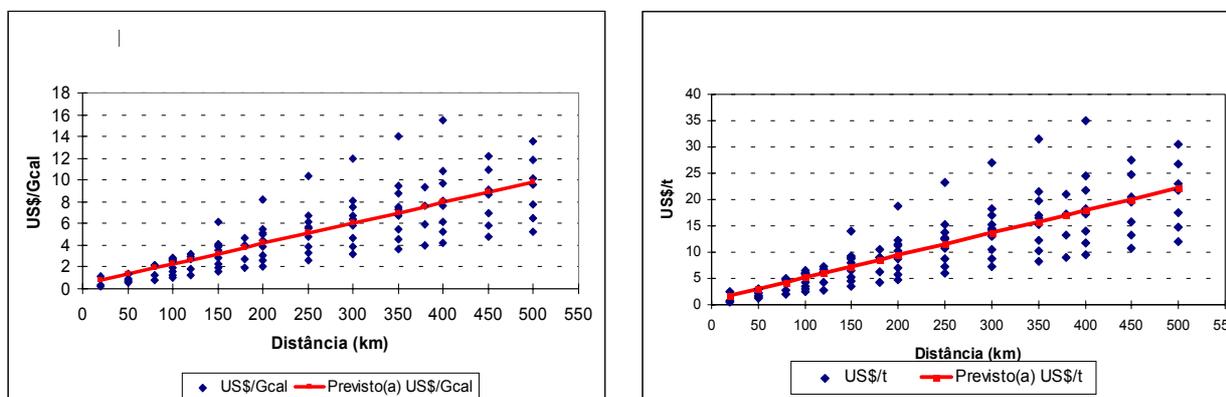


Figura 4 - Frete para bagaço de cana, em US\$/Gcal e em US\$/t, em função da distância percorrida  
Fonte: Dados de pesquisa

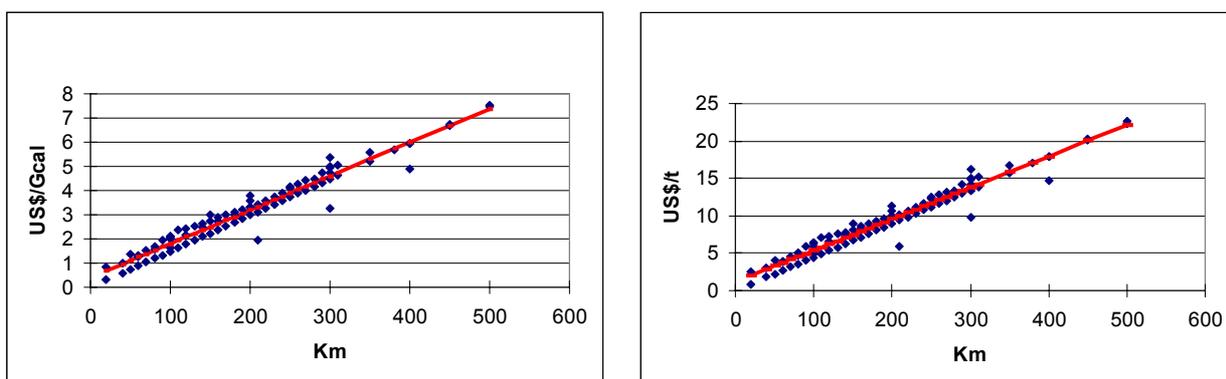


Figura 5 - Frete para serragem e cavaco de madeira, em US\$/Gcal e em US\$/t, em função da distância percorrida  
Fonte: Dados de pesquisa

## 6. Conclusões

O estudo mostrou que a substituição da atual fonte de energia se depara com limitações geográficas, principalmente relacionadas a distâncias a serem percorridas. O custo total da biomassa foi muito influenciado pelo frete relacionado. Da mesma forma, trata-se de um mercado extremamente dinâmico, onde ainda não vigora um determinado padrão de negociação.

Durante a realização dos estudos, algumas particularidades foram identificadas no mercado de resíduos de madeira e bagaço de cana-de-açúcar. Inicialmente, há a figura do “atravessador”, denominação normalmente dada ao profissional que agrega produto para posterior venda no

mercado. Esses profissionais não são facilmente encontrados no mercado, mas possuem um maior poder de barganha quando da negociação com compradores de grandes volumes daquelas biomassas.

Para o bagaço da cana, a concorrência já está elevada devido à co-geração adotada pelas usinas e indústrias de suco de laranja, que já se utilizam dessa biomassa há algum tempo. Além disso, há melhores perspectivas de eficiência de custo e de garantia de fornecimento do bagaço se forem fechados contratos com algumas usinas e/ou transportadoras antes do início da safra, pois trata-se de um produto sazonal.

O transportador também pode vir a se tornar um intermediário no processo de aquisição do bagaço, tendo em vista a informalidade do mercado e dos contatos que elas possuem. É interessante cadastrar a empresa que demanda bagaço nas usinas que ofertam, mesmo as que fazem co-geração, uma vez que há sobras e a sazonalidade do uso pode implicar oferta em períodos distintos durante a safra da cana.

Para o mercado de resíduos de madeira, há melhores perspectivas de eficiência de custo e de garantia de fornecimento dos resíduos se forem fechados contratos com algumas serrarias, madeireiras, transportadoras ou intermediários antes do início do uso dessa biomassa. O transportador também pode vir a se tornar um intermediário no processo de aquisição dos resíduos pelos mesmos motivos do bagaço. Devido à não organização desse mercado, ainda há espaço para busca de novos fornecedores potenciais, assim como há que se ter cuidados adicionais para evitar a aquisição de cargas adulteradas.

Por fim, se por um lado se identificou que ainda há oferta suficiente das biomassas “bagaço de cana-de-açúcar” e “resíduos de madeira” no mercado, há claras oportunidades de negócios para empresas especializadas no fornecimento de biomassas para indústrias, dado o ainda incipiente grau de profissionalização dos fornecedores e intermediários envolvidos nesse mercado.

## 7. Referências Bibliográficas

- BALLOU, R.H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos**: planejamento, organização e logística empresarial. Porto Alegre: Bookman, 2001. 532p.
- BASTIANONI, S.; MARCHETTINI, N. Ethanol production from biomass: analysis of process efficiency and sustainability. **Biomass & Bioenergy**, v.11, n.5, p.411-418, 1996.
- GLOSSÁRIO. <http://www.energiasrenovaveis.com/html/canais/glossario.htm> (10 Fev. 2003)
- BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL (BEN) em <http://www.mme.gov.br> (12 Fev. 2003)
- LOEFSTED, R.E. The use of biomass energy in a regional context: the case of Vaxjo Energi, Sweden. **Biomass & Bioenergy**, v.11, n.1, p.33-42, 1996.
- SOKHANSANJ, S.; TURHOLLOW, A.; CUSHMAN, J.; CUNDIFF, J. Engineering aspects of collecting corn stover for bioenergy. **Biomass & Bioenergy**, v.23, p.347-355, 2002.