

# BIOMASSA

*para energia*



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Reitor  
JOSÉ TADEU JORGE

Coordenador Geral da Universidade  
FERNANDO FERREIRA COSTA



Conselho Editorial

Presidente  
PAULO FRANCHETTI

ALCIR PÉCORÁ – ARLEY RAMOS MORENO  
EDUARDO DELGADO ASSAD – JOSÉ A. R. GONTIJO  
JOSÉ ROBERTO ZAN – MARCELO KNOBEL  
SEDI HIRANO – YARO BURIAN JUNIOR



Luís Augusto Barbosa Cortez  
Electo Eduardo Silva Lora  
Edgardo Olivares Gómez  
(organização)

# BIOMASSA

## *para energia*

EDITORIA UNICAMP

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS DA UNICAMP  
DIRETORIA DE TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO

B521 Biomassa para energia/ organização: Luís Augusto Barbosa Cortez, Electo  
Eduardo Silva Lora, Edgardo Olivares Gómez. – Campinas, SP: Editora da  
UNICAMP, 2008.

1. Biomassa. 2. Energia da biomassa. 3. Álcool como combustível. I. Cortez,  
Luís Augusto Barbosa. II. Lora, Electo Silva. III. Olivares Gómez, Edgardo.  
IV. Título.

ISBN 978-85-268-0783-9

CDD 660.63

662.669

Índices para catálogo sistemático:

1. Biomassa	660.63
2. Energia da biomassa	660.63
3. Álcool como combustível	662.669

Copyright © by organizadores

Copyright © 2008 by Editora da UNICAMP

Nenhuma parte desta publicação pode ser grava, armazenada em  
sistema eletrônico, fotocopiada, reproduzida por meios mecânicos ou  
outros quaisquer sem autorização prévia de editor.

Editora da UNICAMP  
Rua Caio Graco Prado, 50 – Campus UNICAMP  
Caixa Postal 6074 – Barão Geraldo  
CEP 13083-892 – Campinas – SP – Brasil  
Tel./Fax: (19) 3521-7718/7728  
www.editora.unicamp.br – vendas@editora.unicamp.br

## SUMÁRIO

<b>PREFÁCIO .....</b>	<b>11</b>
<b>DISPONIBILIDADE, CARACTERIZAÇÃO, COLETA E PRÉ-TRATAMENTO DA BIOMASSA .....</b>	<b>13</b>
<b>1 — BIOMASSA NO BRASIL E NO MUNDO .....</b>	<b>15</b>
1.1 Introdução .....	15
1.2 Fontes da biomassa .....	18
1.3 Biomassa no Brasil .....	19
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>28</b>
<b>2 — CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA .....</b>	<b>31</b>
2.1 Introdução .....	31
2.2 Propriedades físico-geométricas .....	31
2.3 Critérios de definição de tamanho .....	39
2.4 Composição química elementar e imediata de combustíveis de biomassa .....	47
2.5 Poder calorífico e características de fusão das cinzas .....	51
2.6 O bagaço da cana-de-açúcar: estudo de caso .....	55
2.7 Conclusões .....	59
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>60</b>
<b>3 — COLHEITA E RECUPERAÇÃO DA BIOMASSA .....</b>	<b>63</b>
3.1 Colheita da cana-de-açúcar .....	63
3.2 Colheita da madeira .....	74
3.3 Consumo de madeira de reflorestamento no Brasil .....	76
3.4 Balanço energético .....	86
3.5 Resíduos florestais .....	87
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>90</b>
<b>4 — FLORESTAS ENERGÉTICAS NO BRASIL .....</b>	<b>93</b>
4.1 Introdução .....	93
4.2 Florestas energéticas — Conceito e história .....	94
4.3 Principais espécies .....	95

4.4 Aspectos técnicos.....	99
4.5 Manejo visando à produção de biomassa energética .....	101
4.6 Aspectos socioambientais.....	102
4.7 Principais grupos e linhas de pesquisa na área de biomassa e energia.....	105
4.8 Considerações finais.....	108
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109
<b>5 — PRODUÇÃO DE ETANOL EM REGIÕES SEMI-ÁRIDAS .....</b>	<b>113</b>
5.1 Introdução .....	113
5.2 Outras matérias-primas para a produção de etanol.....	113
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	130
<b>6 — BALANÇO DE MASSA E ENERGIA NOS PROCESSOS DE COMBUSTÃO .....</b>	<b>133</b>
6.1 Cálculo da quantidade teórica de ar necessária para a combustão.....	133
6.2 Coeficiente de excesso de ar. Análise de gases e expressões para a determinação do excesso de ar.....	136
6.3 Equações fundamentais da combustão.....	138
6.4 Equações para o cálculo de $\infty$ .....	139
6.5 Verificação de erros nas medições.....	141
6.6 Aspectos a serem considerados durante a análise de gases utilizando-se o Orsat.....	144
6.7 Cálculo do volume dos produtos da combustão.....	145
6.8 Determinação da entalpia dos produtos da combustão.....	148
6.9 Exemplo de cálculo.....	149
6.10 Comprovação dos resultados da análise dos gases.....	150
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	153
<b>7 — CLASSIFICAÇÃO E BALANÇO TÉRMICO DAS FORNALHAS PARA A COMBUSTÃO DE BIOMASSA .....</b>	<b>155</b>
7.1 Classificação das fornalhas para a combustão de biomassa.....	155
7.2 Aspectos de combustão da biomassa em fornalhas industriais.....	156
7.3 Características técnicas das fornalhas.....	158
7.4 Descrição, características técnicas e parâmetros de projeto dos diferentes tipos de fornalhas a biomassa.....	159
7.5 Eficiência e balanço térmico.....	170
7.6 Cálculo das perdas de calor.....	173
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	178
<b>8 — CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS E AVALIAÇÃO DE CALDEIRAS PARA BIOMASSA .....</b>	<b>179</b>
8.1 Esquema funcional de uma caldeira de vapor a biomassa.....	179
8.2 Caldeiras para bagaço: classificação e parâmetros de operação.....	180
8.3 Características construtivas das superfícies de aquecimento e do sistema de alimentação e queima do bagaço.....	189

8.4 Caldeiras e fornos para lenha e outros tipos de biomassa.....	216
8.5 Metodologia e instrumentação para a avaliação de caldeiras.....	224
8.6 Exemplo de resultados de avaliação de caldeiras industriais.....	231
8.7 Conclusões.....	238
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	239
<b>9 — GASEIFICAÇÃO.....</b>	<b>241</b>
9.1 Introdução.....	241
9.2 História.....	243
9.3 Tipos de gaseificadores.....	246
9.4 Fundamentos teóricos da gaseificação.....	258
9.5 Instalações experimentais de gaseificadores em leito fixo convencional.....	261
9.6 Gaseificadores de topo aberto para biomassa polidispersa.....	269
9.7 Gaseificadores comerciais de leito fixo para biomassa.....	273
9.8 Gaseificadores de leito fluidizado.....	277
9.9 Algumas das principais pesquisas em gaseificação de biomassa em leito fluidizado no Brasil.....	311
9.10 Metodologia de cálculo para o dimensionamento preliminar de gaseificadores de leito fluidizado para biomassa.....	324
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	327
<b>10 — PIRÓLISE E TORREFAÇÃO DE BIOMASSA.....</b>	<b>333</b>
10.1 Processos físico-químicos da pirólise de biomassa.....	333
10.2 Influência da matéria-prima e dos parâmetros do processo.....	334
10.3 Tecnologias para a pirólise de biomassa.....	337
10.4 Torrefação de biomassa.....	345
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	351
<b>11 — PIRÓLISE RÁPIDA DE MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS PARA A OBTENÇÃO DE BIOÓLEO.....</b>	<b>353</b>
11.1 Introdução.....	353
11.2 O processo de pirólise de materiais lignocelulósicos.....	357
11.3 Transformações químicas dos componentes da biomassa.....	362
11.4 Fundamentos da pirólise dos materiais lignocelulósicos.....	373
11.5 Fundamentos da pirólise da celulose, hemicelulose e lignina.....	377
11.6 Distribuição e características dos produtos de pirólise.....	380
11.7 Conceituação da tecnologia de pirólise rápida para produção de bioóleo.....	389
11.8 Reatores para a pirólise rápida de materiais lignocelulósicos.....	392
11.9 Alguns projetos de pirólise rápida no mundo nos últimos 10 a 15 anos.....	398
11.10 Aspectos econômicos da produção do bioóleo.....	410

11.11 Mercados para o bioóleo de pirólise rápida.....	411
11.12 Tendências e desafios para a pirólise rápida no mundo.....	414
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	416
<b>12 — LIQUEFAÇÃO DE BIOMASSAS.....</b>	<b>419</b>
12.1 Introdução.....	419
12.2 Breve histórico.....	420
12.3 Hidrogenólise com CO/base ou formiato.....	421
12.4 Hidrogenação catalítica.....	424
12.5 Solvólise e extração supercrítica.....	425
12.6 Hidrólise.....	426
12.7 Qualidade e refino dos óleos produzidos na liquefação de biomassas.....	427
12.8 Separação dos constituintes da biomassa e liquefação da lignina.....	429
12.9 Conclusões.....	431
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	433
<b>13 — FERMENTAÇÃO, HIDRÓLISE E DESTILAÇÃO.....</b>	<b>435</b>
13.1 Introdução.....	435
13.2 Matérias-primas e fermentação.....	435
13.3 Destilação alcoólica.....	450
13.4 Hidrólise de biomassa.....	463
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	473
<b>14 — A PRODUÇÃO DE ETANOL EM MICRO E MINIDESTILARIAS.....</b>	<b>475</b>
14.1 Introdução.....	475
14.2 Justificativa.....	476
14.3 Tecnologia.....	477
14.4 Estudo de caso.....	480
14.5 Análise emergética da Fazenda Jardim.....	482
14.6 Considerações finais.....	488
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	490
<b>15 — BIODIGESTÃO DE EFLUENTES.....</b>	<b>493</b>
15.1 Introdução.....	493
15.2 Caracterização dos resíduos.....	494
15.3 O processo de biodigestão.....	503
15.4 Aplicações dos produtos da biodigestão.....	521
15.5 A experiência de biodigestão anaeróbia no Brasil.....	526
15.6 Tendências.....	528
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	529
<b>16 — PRODUÇÃO DE ÓLEOS VEGETAIS E BIODIESEL: TECNOLOGIA E ANÁLISE DO CICLO DE VIDA.....</b>	<b>531</b>
16.1 Importância e histórico do uso de diesel no Brasil.....	531



16.2 Biodiesel: conceito e processo de produção .....	538
16.3 Possibilidades da integração entre a produção de álcool de cana e a de biodiesel .....	543
16.4 O uso do biodiesel e suas vantagens ambientais .....	545
16.5 Análise do Ciclo de Vida — Balanço energético .....	549
16.6 Principais impactos sobre a atmosfera incluídos na ACV .....	550
16.7 Estudo de caso na produção do biodiesel de óleo de palma (dendê) nas condições de Brasil e Colômbia .....	561
16.8 Consumo energético na etapa agrícola .....	564
16.9 Consumo energético na extração de óleo .....	565
16.10 Consumo energético na produção do biodiesel .....	566
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	569
 <b>17 — SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE A PARTIR DA BIOMASSA .....</b>	 <b>573</b>
17.1 Introdução .....	573
17.2 Experiências e perspectivas em nível mundial .....	575
17.3 Tecnologias de produção de eletricidade a partir da biomassa .....	584
17.4 A produção de eletricidade a partir da biomassa no Brasil .....	593
17.5 Comentários finais .....	602
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	604
 <b>18 — OUTRAS TECNOLOGIAS PARA A GERAÇÃO DE ELETRICIDADE EM PEQUENA ESCALA A PARTIR DA BIOMASSA: MOTOR <i>STIRLING</i>, CÉLULAS A COMBUSTÍVEL, MICROTURBINAS .....</b>	 <b>609</b>
18.1 Introdução .....	609
18.2 Motores <i>stirling</i> .....	610
18.3 Microturbinas .....	619
18.4 Células a combustível .....	623
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	632
 <b>19 — SUSTENTABILIDADE NA PRODUÇÃO DE BIOMASSA PARA FINS ENERGÉTICOS: O CASO DO ETANOL .....</b>	 <b>633</b>
19.1 Introdução .....	633
19.2 Benefícios ambientais locais: redução da poluição .....	637
19.3 Herbicidas, pesticidas e fertilizantes .....	638
19.4 Proteção do solo e de águas; reflorestamento .....	640
19.5 Geração, qualidade de empregos e investimento .....	640
19.6 Custos de produção, competitividade .....	641
19.7 Conclusões .....	642
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	643
 <b>20 — IMPACTO AMBIENTAL DO USO ENERGÉTICO DA BIOMASSA E TECNOLOGIAS PARA O CONTROLE DE EMISSÕES .....</b>	 <b>645</b>

20.1 Introdução .....	645
20.2 Emissões produto da queima da cana antes da colheita .....	648
20.3 Emissões resultantes da queima industrial da lenha e do bagaço de cana .....	648
20.4 Separadores ciclônicos .....	654
20.5 Experiências de utilização de separadores ciclônicos em caldeiras a bagaço .....	657
20.6 Lavadores de gás .....	657
20.7 Experiências de utilização de lavadores de gás em caldeiras a bagaço .....	659
20.8 Estudo de caso da aplicação de sistemas combinados multiciclone/lavador de gás e sistemas simples com lavadores de gás para o controle de material particulado em caldeiras a bagaço .....	660
20.9 Estudo de caso da dispersão dos óxidos de nitrogênio emitidos durante a queima de bagaço de cana numa usina de açúcar .....	667
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	671
<b>21 — BIOMASSA E O MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO .....</b>	<b>673</b>
21.1 Introdução .....	673
21.2 Histórico — UNFCCC .....	674
21.3 O que é mecanismo de desenvolvimento limpo .....	676
21.4 MDL e biomassa .....	683
21.5 Como MDL afeta o fazer biomassa .....	685
21.6 Estudo de casos .....	687
21.7 Comentários finais .....	695
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	697
<b>22 — ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS DO USO ENERGÉTICO DA BIOMASSA DE CANA-DE-AÇÚCAR .....</b>	<b>699</b>
22.1 Introdução .....	699
22.2 O modelo básico de insumo-produto .....	700
22.3 O modelo de insumo-produto com tecnologias mistas .....	707
22.4 Base de dados .....	712
22.5 Indicadores socioeconômicos .....	716
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	729
<b>23 — EPÍLOGO .....</b>	<b>731</b>
<b>LISTA DE AUTORES .....</b>	<b>733</b>

## PREFÁCIO

Como a fênix, renasce de suas próprias cinzas a energia da biomassa. Há menos de 50 anos, mais de 50% da energia consumida no Brasil provinha da madeira e esta não era uma contingência peculiar nossa. Mais de metade da população do mundo se valia desse mesmo energético predominantemente. O uso da lenha foi até recentemente considerado um indício de atraso, não apenas econômico ou tecnológico, mas até quanto ao nível de civilização de uma nação.

Pois bem, a história está às portas de uma revolução conceitual. E isso se deve principalmente a dois fatores. Em primeiro lugar, começa a se fortalecer o conceito de que o uso do combustível fóssil é uma prática meramente extrativista, de exploração primitiva da natureza, não muito diferente daquela com que os primatas colhem seu alimento de árvores. Enquanto isso, hoje, o aproveitamento da biomassa é associado a estágios mais elevados de produção, envolvendo sofisticadas técnicas agrícolas e o processamento físico e químico dos insumos.

A segunda razão para essa mudança de percepção é a crescente conscientização de que o uso de combustíveis fósseis, e o conseqüente aumento da temperatura média do globo devido ao efeito estufa, provocará a médio, se não a curto prazo, perturbações climáticas catastróficas.

Não é, portanto, de estranhar que não apenas venha a comunidade acadêmica brasileira, tanto quanto a internacional, recuperar e revisar tecnologias já desenvolvidas e ainda propor inovações significativas para o aproveitamento da biomassa na produção de energéticos.

Portanto, o livro *Biomassa para energia*, editado por três dos mais renomados especialistas brasileiros, Luís Cortez, Electo Lora e Edgardo Gómez, é extremamente oportuno não apenas por atender a uma demanda crescente no setor, como também por sua abrangência e indiscutível competência. Esta é uma contribuição que servirá permanentemente ao profissional, mas também a estudantes e acadêmicos com interesse na área de energia.

*Rogério Cezar de Cerqueira Leite*



## DISPONIBILIDADE, CARACTERIZAÇÃO, COLETA E PRÉ-TRATAMENTO DA BIOMASSA



## CAPÍTULO 1

# BIOMASSA NO BRASIL E NO MUNDO

*Luís Augusto Barbosa Cortez  
Electo Eduardo Silva Lora  
Juan Arturo Castañeda Ayarza*

### 1.1 Introdução

Apenas há pouco mais de 100 anos a biomassa começou a perder cada vez mais sua liderança histórica para a energia do carvão, e depois, com o crescimento contínuo do petróleo e do gás natural, a utilização da biomassa foi reduzida praticamente às residências particulares em regiões agrícolas.

Porém hoje, em maior ou menor intensidade, a maioria dos países, sejam eles desenvolvidos ou não, está promovendo ações para que as energias alternativas renováveis tenham participação significativa em suas matrizes energéticas. A motivação para essa mudança de postura é a necessidade de redução do uso de derivados do petróleo e, conseqüentemente, a dependência energética desses países em relação aos países exportadores de petróleo. Além disso, a redução no consumo dos derivados do petróleo também diminui a emissão de gases promotores do efeito estufa.

Analisando as tecnologias das fontes energéticas alternativas renováveis, já suficientemente maduras para serem empregadas comercialmente, somente a biomassa, utilizada em processos modernos com elevada eficiência tecnológica, possui a flexibilidade de suprir energéticos tanto para a produção de energia elétrica quanto para mover o setor de transportes.

A biomassa tem origem em resíduos sólidos urbanos — animais, vegetais, industriais e florestais — e, voltada para fins energéticos, abrange a utilização desses vários resíduos para a geração de fontes alternativas de energia. Apresenta diferentes tecnologias para o processamento e transformação de energia, mas todas as tecnologias de biomassa atualmente usadas no mundo possuem dois problemas cruciais: o custo da biomassa e a eficiência energética de sua cadeia produtiva.

A Agência Internacional de Energia (AIE) calcula que dentro de aproximadamente 20 anos cerca de 30% do total da energia consumida pela humanidade será proveniente das fontes renováveis, que hoje representam 14% da energia produzida no mundo, em que

a biomassa tem 11,4% na participação da oferta (Ministério de Minas e Energia — BEN, 2004).

A Tabela 1.1 mostra a produção de energia nas principais regiões no mundo até o ano 2003. O petróleo continua sendo a principal fonte energética em produção e consumo no mundo inteiro ( $26\,389,37 \times 10^6$  bep). As principais regiões produtoras de energia da biomassa são Ásia e Austrália, América Latina e Caribe, que também são as regiões com o maior potencial para incrementar o uso dessa fonte renovável. As regiões como Europa e Oriente Médio têm a menor disponibilidade de biomassa e, conseqüentemente, a produção de energia com essa fonte é a mais baixa no mundo.

**Tabela 1.1 — Produção de energia das principais regiões no mundo ( $10^6$  bep)**

Região	Petróleo	Gás Natural	Carvão Mineral	Elettricidade (hidráulica)	Biomassa	Total
América Latina e Caribe	3.556,5	1.242,06	315,66	572,02	764,33	6.450,57
África	2.869,65	917,28	990,78	157,32	726,98	5.662,01
Ásia e Austrália	2.707,67	2.013,98	9.494,88	1.754,01	1.557,80	17.528,34
Oriente Médio	7.880,85	1.670,99	4,32	21,62	7,93	9.585,71
América do Norte	3.480,33	4.734,11	4.212,42	2.512,25	599,12	15.538,23
União Soviética antiga	3.697,29	4.689,44	1.516,68	779,00	312,85	10.995,26
Europa	2.197,07	1.950,57	1.610,58	2.544,17	255,46	8.557,85
Total	26.389,36	17.218,43	18.145,32	8.340,39	4.224,47	74.317,97

Fonte: Olade, 2004

A produção de energia da biomassa nessas regiões, de 1999 até 2003, é apresentada na Tabela 1.2, que mostra um incremento do uso da biomassa como fonte energética, acompanhada em paralelo pelo desenvolvimento da tecnologia e pela redução dos custos, motivados pela alta dependência de petróleo e necessidade de redução dos gases de efeito estufa.

**Tabela 1.2 — Produção de energia da biomassa nas principais regiões do mundo ( $10^6$  bep)**

Anos	África	América do Norte	Ásia e Austrália	Europa Ocidental	América Latina	Oriente Médio	Rússia — Europa Oriental	Total
1999	721,2	591,71	1.545,39	253,42	700,25	7,93	310,36	4.130,26
2000	722,64	593,55	1.548,49	253,93	678,54	7,93	310,98	4.116,06
2001	724,08	595,40	1.551,58	254,44	697,41	7,93	311,60	4.142,44
2002	725,53	597,26	1.554,68	254,95	712,78	7,93	312,23	4.165,36
2003	726,98	599,12	1.557,79	255,46	764,33	7,93	312,85	4.224,46

Fonte: Olade, 2004



A Tabela 1.2 mostra a América Latina como a região que mais incrementou a produção de energia com a biomassa, em média 2,28% por ano. O crescimento médio mundial é 0,57% por ano.

A principal fonte para gerar energia da biomassa está nos resíduos. Os resíduos gerados em todo o mundo são recurso de grande potencial para a obtenção de energia apenas sob uma adequada exploração.

Houve muitas tentativas para estimar a produção e o uso dos resíduos globais, mas todas apresentaram muitas variações, pela existência dos diferentes usos alternativos, como a ração animal, o controle de erosão, o uso como fertilizante e medicinal; e também pela necessidade de se determinar o que é e o que não é um resíduo reutilizável para a obtenção de energia, e assim determinar sua verdadeira disponibilidade.

Os principais resíduos utilizados em nível mundial na tentativa de se estimar o potencial energético são os resíduos vegetais, que ultrapassam  $10 \times 10^9$  bep, segundo Smill (1999). Atualmente a produção mundial dos principais produtos agrícolas utilizados na obtenção de energia é grande, e tem muitas possibilidades de incrementar sua competitividade energética, como é apresentado na Tabela 1.3.

**Tabela 1.3 — Produção mundial dos principais produtos para a obtenção de energia**

Matéria-prima	Produção (Mt)*	Produção de resíduos (Mt)**
Cana (bagaço)	1.318.178.070	395.453.421
Arroz (casca)	608.496.284	172.934.643,9
Mandioca (rama)	195.574.112	58.261.527,96
Milho (palha e sabugo)	705.293.226	934.442.995,1
Soja (restos de cultura)	206.409.525	320.966.811,4
Algodão	67.375.042	16.843.760,5
Beterraba	237.857.862	—

\* FAO, 2004.

\*\* Calculado.

A cana-de-açúcar é a matéria-prima de maior produção em todo o mundo, produção esta encabeçada pelo Brasil com quase 400 milhões (Mt) de produção anual, seguido por Índia, China, Tailândia, Paquistão e México. A China é o maior produtor de arroz (187 milhões de Mt), os Estados Unidos são o maior produtor de milho (300 milhões de Mt) e de soja (86 milhões de Mt), a União Européia é a maior produtora de beterraba com quase 127 milhões de Mt. A Europa e os Estados Unidos são os principais concorrentes do maior produto energético obtido da biomassa, o álcool da cana-de-açúcar, já que a beterraba e o milho são utilizados por esses países para a obtenção do produto emergente.

Outros resíduos importantes são os resíduos sólidos urbanos e industriais, que estão sendo utilizados em alguns países devido a seu avanço tecnológico. Mas é difícil desenvolver uma análise relevante em âmbito mundial, dado que sua natureza compreende muitos

materiais orgânicos e não-orgânicos, e a proporção da composição dos resíduos varia de acordo com o nível econômico e o desenvolvimento industrial de cada país, e também pelos diversos destinos desses resíduos.

Os resíduos florestais constituem parte importante na disponibilidade da biomassa em alguns países pelas grandes quantidades geradas na colheita e na ação industrial. Essa fonte energética está encontrando mercado, em consequência do desenvolvimento tecnológico e dos baixos custos que representa sua utilização eficiente.

Os resíduos animais representam importante quantidade de matéria-prima para a obtenção de energia gerada pelos principais rebanhos (bovino, ovino e suíno), e os países que possuem maior possibilidade para o seu aproveitamento são o Brasil em gado bovino e a China nos gados ovino e suíno, ultrapassando 160 milhões de cabeças para cada rebanho.

Quando se busca determinada disponibilidade de biomassa energética em um país ou região, é importante considerar as restrições de ordem ecológica, econômica (incluindo a social e a política) e tecnológica. Somente assim toda a biomassa potencialmente disponível (recurso) pode assumir o conceito de reserva, a partir do qual se determina o potencial anual de produção. As restrições ecológicas estão associadas à preservação do meio ambiente e à qualidade de vida. As limitações econômicas são analisadas em dois níveis. Em primeiro lugar, é necessário saber se a biomassa a ser explorada energeticamente não tem outros usos mais econômicos (industrial ou alimentício). Em segundo lugar, se todos os custos da biomassa explorada são compatíveis com os benefícios energéticos e comparáveis com os demais combustíveis. Finalmente, as restrições tecnológicas se devem à existência ou não de processos confiáveis e operações para conversão da biomassa em combustíveis de uso mais geral (Nogueira et al., 2000). O álcool combustível da cana-de-açúcar no Brasil é o principal exemplo da produção em grande escala de energia da biomassa, e que ainda tem um interessante crescimento pela frente. Outros exemplos são o aproveitamento do biogás na China, o aproveitamento do bagaço de cana nas Ilhas Maurício e atualmente no Brasil, e o coque vegetal também no Brasil.

## 1.2 Fontes da biomassa

A biomassa pode ser obtida de vegetais não-lenhosos, de vegetais lenhosos, como é o caso da madeira e seus resíduos, e também de resíduos orgânicos, nos quais encontramos os resíduos agrícolas, urbanos e industriais. Assim como também se pode obter biomassa dos biofluidos, como os óleos vegetais (por exemplo, mamona e soja).

A Figura 1.1 mostra um esquema das fontes de biomassa.

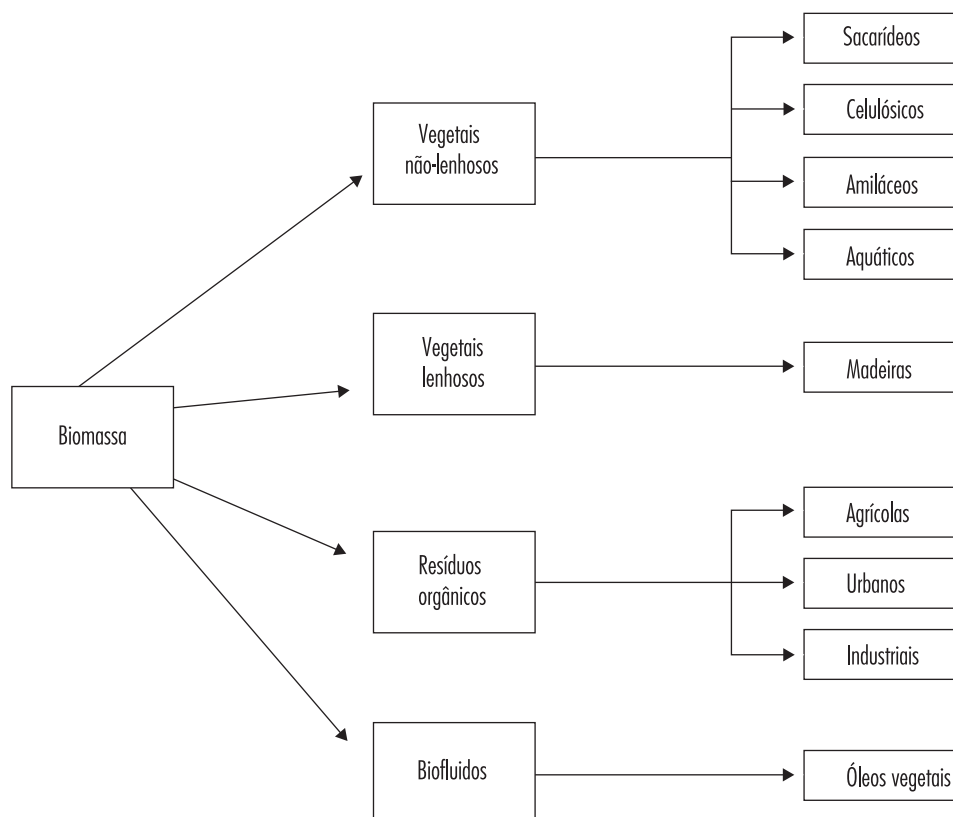


Figura 1.1 — Fontes de biomassa  
Fonte: Ministério de Minas e Energia, 1982

## 1.3 Biomassa no Brasil

As primeiras biomassas no Brasil: resíduos vegetais, resíduos sólidos urbanos, resíduos industriais, resíduos animais e resíduos florestais. A seguir, analisa-se cada um deles.

### 1.3.1 Resíduos vegetais

Os resíduos vegetais são produzidos no campo, resultantes das atividades da colheita dos produtos agrícolas. O Brasil é um grande produtor agrícola, e nos últimos anos a área plantada e a produção agrícola tiveram um crescimento importante.

Essa produção agrícola gera uma grande quantidade de resíduos que são aproveitados energeticamente em virtude das tecnologias existentes. Mas atualmente o Brasil não aproveita mais de 200 milhões de toneladas de resíduos agroindustriais.<sup>1</sup> Parte dos

<sup>1</sup> CIRAD — Centro de Cooperação Internacional em Pesquisa Agrônômica para o Desenvolvimento, 2004.

resíduos não aproveitados energeticamente encontra usos na ração animal, e nas áreas de medicina e fertilizantes.

Da Tabela 1.4 é possível inferir que, na atividade agrícola, o Brasil é um grande produtor de cana-de-açúcar, mas também outras culturas importantes, como a de arroz, mandioca e soja, podem e são aproveitadas energeticamente, como é o caso da cana-de-açúcar e de seu principal resíduo, o bagaço.

**Tabela 1.4 — Produção de matéria-prima e seus resíduos no Brasil em 2004**

Matéria-prima	Produção agrícola (tons)*	Produção de resíduos (t/ha)**	Matéria seca (%)**	Produção total de resíduos (tons)***
Cana (bagaço)	396.012.158	7,0 - 13,0	23,4	59.401.824
Arroz (casca)	10.334.603	4,0 - 6,0	89,0	2.937.094
Café (casca) em coco	2.454.470	—	—	1.662.658
Mandioca (rama)	21.961.082	6,0 - 10,0	90,4	6.542.206
Milho (palha e sabugo)	48.327.323	5,0 - 8,0	90,5	64.028.870
Soja (restos de cultura)	51.919.440	3,0 - 4,0	88,5	80.746.839
Mamona	111.100	—	—	—
Algodão	2.199.268	—	—	—

\* IBGE, 2004.

\*\* Nogueira et al., 2000.

\*\*\* Calculado em base seca.

Os resíduos agrícolas são constituídos basicamente de palha, folhas e caules, e têm um poder calorífico médio de 15,7 MJ/kg de matéria seca.

De acordo com o último levantamento da produção agrícola feito pelo IBGE,<sup>2</sup> a região Nordeste responde por 7,87% da produção total, e as regiões Norte, Sudeste e Centro-Oeste são responsáveis, respectivamente, por 2,40%, 13,30% e 32,03%; a região Sul tem uma participação de 44,40%. Constatou-se um crescimento médio de 12,22% em comparação à safra anterior em todo o país, tendo como principais culturas a cana-de-açúcar, o milho e a soja.

Dos principais fatores de crescimento, tem-se o zoneamento, refletido num melhor planejamento da ação agrícola, permitindo economia dos recursos e menor expectativa de frustração da safra; e também as tecnologias desenvolvidas nos últimos anos no país.

### 1.3.2 Resíduos sólidos urbanos

Os resíduos sólidos urbanos são obtidos dos resíduos domiciliares e dos resíduos comerciais. Segundo a VEJA Engenharia, empresa de limpeza pública de atuação nacional, há um crescimento em torno de 5% ao ano na quantidade de lixo gerado.

<sup>2</sup> Levantamento sistemático da produção agrícola, Safra 2003-2004.

Segundo a CETESB — Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, para estimar a quantidade de resíduos sólidos dispostos, adotaram-se os índices de produção por habitante no estado de São Paulo, o que é mostrado na seguinte tabela:

**Tabela 1.5 — Índices de produção per capita de resíduos sólidos domiciliares em função da população urbana**

POPULAÇÃO (hab.)	PRODUÇÃO (kg/hab. dia)
Até 100.000	0,4
De 100.001 a 200.000	0,5
De 200.001 a 500.000	0,6
Maior que 500.001	0,7

Fonte: CETESB, 2004

Em pesquisa feita no ano de 2004, a CETESB coletou as informações dos 645 municípios do estado de São Paulo. Essas informações permitiram conhecer o IQR (Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos), cuja pontuação varia de 0 a 10. Já as quantidades de resíduos gerados nos municípios foram calculadas com base na população urbana de cada cidade e nos índices de produção de resíduos por habitante. Como referência oficial do número de habitantes, foi adotado o censo demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística — IBGE, publicado em 2000 e atualizado para 2004, com a aplicação de índices de crescimento fornecidos pelo próprio IBGE. Foram considerados os resíduos de origem domiciliar, ou seja, aqueles gerados nas residências, no pequeno comércio e em empreendimentos de pequeno porte.

**Tabela 1.6 — Geração de resíduos domiciliares nos municípios de São Paulo**

População do município (hab.)	IQR médio (2004)	Municípios	Quant. de resíduos gerados (t/dia)	%
Até 100.000	6,8	578	3.762	13,7
De 100.001 a 200.000	7,7	34	2.374	8,6
De 200.001 a 500.000	7,7	25	4.249	15,4
Maior que 500.001	9,0	10	17.170	62,3
Total	—	647	27.557	100

Fonte: CETESB, 2004

É apresentada adiante a Tabela 1.6, na qual se mostra a distribuição do IQR médio em 2004. Aqui é possível apreciar que o total de produção de resíduo domiciliar gerado em São Paulo é de 27.557 toneladas por dia. Para aproveitar energeticamente esses resíduos, é preciso considerar uma população mínima de 300 mil habitantes num município, e no

estado temos 35 municípios com população igual ou maior, como por exemplo, São Paulo, Campinas, São Bernardo do Campo, São José dos Campos, Santo André, Ribeirão Preto, Piracicaba, Osasco e Guarulhos.

O IQR mostra que nas maiores cidades do estado existem condições mais adequadas nos aterros sanitários, mas no geral a maioria dos municípios do estado de São Paulo tem suas condições controladas no tratamento e/ou na destinação dos resíduos sólidos domiciliares.

O teor de matéria orgânica (C, H, O, N) do lixo brasileiro está em 60% aproximadamente, o que lhe confere bom potencial energético. O Poder Calorífico Inferior (PCI) médio do resíduo domiciliar é de 1.300 kcal/kg (5,44 MJ/kg).

### 1.3.3 Resíduos industriais

Os resíduos industriais são considerados aqueles provenientes do beneficiamento de produtos agrícolas e florestais, do uso de carvão vegetal no setor siderúrgico de ferro-gusa e aço e do gás de alto-forno a carvão vegetal.

A indústria madeireira — serrarias e mobiliário — produz resíduos a partir do beneficiamento de toras. Os tipos de resíduo produzidos são casca, cavaco, costaneira, pó de serra, maravalha e aparas. As indústrias de alimentos e de bebidas produzem resíduos na fabricação de sucos e aguardente (laranja, caju, abacaxi, cana-de-açúcar etc.), no beneficiamento de arroz, café, trigo, milho (sabugo e palha), coco da Bahia, amendoim, castanha-de-caju etc.

O uso energético dos resíduos agroindustriais é obtido, na maioria dos casos, por meio da queima direta em fornos e caldeiras ou, de maneira mais inovadora, através da biodigestão anaeróbia.

O que determina o processo utilizado de conversão energética dos resíduos é seu teor de umidade, pois, em termos práticos, só é possível queimar resíduos com até 50% de umidade. Então, resíduos como a vinhaça resultante da produção de álcool, os afluentes de matadouros, os derivados do leite etc., são apropriados para a produção de biogás.

A Tabela 1.7 a seguir resume os potenciais de produção de resíduos, com seu poder calorífico, umidade e capacidade de suprimento energético (vapor e eletricidade) de três dos principais resíduos aproveitados pela indústria.

**Tabela 1.7 — Disponibilidade de resíduos agroindustriais**

Resíduos	Produção	Poder Calorífico Superior (MJ/kg) base seca	Disponibilidade
Bagaço da cana-de-açúcar	250 - 300 kg/ton cana	18,4	100 %
Licor negro	2,5 - 2,8 ton/ton celulose	12,5	80%
Borra de café	4,5 ton/ton café solúvel	14,6	60 a 80%

No setor de papel e celulose, existem indústrias individuais de papel e de celulose, e também indústrias integradas, ou seja, que produzem ambos os produtos. Haverá nesses casos diferenças nos tipos de resíduos produzidos. Ainda assim, em linhas gerais, esse setor produz como resíduos casca, cavaco e lixívia. Existem 220 companhias no Brasil com unidades industriais localizadas em 16 estados, utilizando madeira de reflorestamento, das espécies eucalipto (62%) e pínus (36%).

O setor siderúrgico a carvão vegetal também possui unidades integradas que produzem ferro-gusa e aço. O ferro-gusa é um produto intermediário para a produção do aço e importante produto de exportação. O gás de alto-forno é produzido durante a reação do carbono do carvão vegetal com o ferro do minério de ferro e reutilizado no processo, possibilitando o reaproveitamento do calor.

A siderurgia a carvão vegetal é responsável por cerca de 30% da produção siderúrgica brasileira e está concentrada principalmente no estado de Minas Gerais, com algumas unidades no Espírito Santo, Maranhão, Pará, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Mato Grosso do Sul.

Os resíduos industriais no Brasil ainda são pouco controlados, de acordo com o estudo feito pela Fundação Getúlio Vargas,<sup>3</sup> que revela que o país desconhece dados sobre a própria geração de resíduos industriais.

Só para se ter uma idéia do tamanho problema, dos 5.471 municípios do país, apenas 551 fizeram o controle dos resíduos gerados pelo setor produtivo privado em 2003, e foram 1,4 milhão de toneladas de resíduos gerados somente nos principais pólos industriais do Brasil. De acordo com esse estudo, são geradas anualmente no Brasil aproximadamente 2,9 milhões de toneladas de resíduos sólidos industriais, sendo 600 mil toneladas, um valor próximo de 22%, que recebem tratamento adequado.

#### 1.3.4 Resíduos animais

São determinados pela capacidade de produção de excrementos das criações mais importantes. Essa produção de excrementos varia de acordo com as práticas culturais, pois, no caso de criações em confinamento, o custo e a viabilidade da coleta são grandemente melhorados.

Os mais importantes resíduos gerados pela atividade biológica são os do gado bovino, suíno, caprino e ovino, que são criações relevantes e justificariam seu aproveitamento energético. Na Tabela 1.8 é apresentada a quantidade de animais vivos por tipo de rebanho em Brasil no ano de 2003. O gado bovino e o suíno são os principais rebanhos criados no país.

Além dos usos energéticos, os dejetos de suínos são utilizados como fertilizantes, diminuindo a poluição, e nas culturas de milho, melhorando as características físicas, químicas e biológicas do solo.

<sup>3</sup> Revista Brasileira do Aço, edição 64, 2004.

Tabela 1.8 — Quantidade de animais no Brasil em 2003

Tipo de rebanho	Cabeças	Tipo de rebanho	Cabeças
Bovino	195.551.576	Coelhos	335.555
Suíno	32.304.905	Ovino	14.556.484
Equino	5.828.376	Galinhas	183.799.736
Asinino	1.208.660	Galos, frangas, frangos e pintos	737.523.096
Muar	1.345.389	Codornas	5.980.474
Bufalino	1.148.808	Caprino	9.581.653

Fonte: IBGE, 2004

Na Tabela 1.9 apresenta-se a quantidade de excremento produzido por tipo de rebanho, destacando-se o gado bovino no maior volume de excremento produzido, além de ser o rebanho com maior quantidade de cabeças de gado vivas. O esterco seco pode ser queimado diretamente e tem um poder calorífico típico de 14,6 MJ/kg.

Tabela 1.9 — Quantidade de excremento produzido por diferentes animais

Animal	Massa animal (kg)	Volume excremento (m³/dia)	Massa úmida excremento (kg/dia)	Matéria seca (%)**
Gado de corte*	500	0,028 - 0,037	27,7 - 36,6	10
Gado de leite*	500	0,031 - 0,035	30,2 - 35,0	10
Suínos*	100	0,0056 - 0,0078	5,4 - 7,6	10
Equinos*	500	0,025	28,0	20
Aves*	2,5	0,00014 - 0,00017	0,14 - 0,17	20
Ovelhas*	---	---	2,0	20

\* FAO.

\*\*Díaz e Goluené, 1985.

### 1.3.5 Resíduos florestais

Os resíduos florestais são constituídos por todo aquele material que é deixado para trás na coleta da madeira, tanto em florestas e bosques naturais como em reflorestamento, e pela serragem e aparas produzidas no processamento da madeira. Esses resíduos deixados no local de coleta são as folhas, os galhos e o material resultante da destoca.

Para todos esses casos, incluindo o dos resíduos de serragem, que pode ser superior à produção de madeira trabalhada, deve ser assumido o poder calorífico da madeira de 13,8 MJ/kg de resíduo produzido.

O Brasil tem 5 milhões de quilômetros quadrados de floresta nativa, o que representa 64% de sua área e, segundo a FAO, 29 mil km² de seu território são reflorestados com



eucalipto, o que coloca o país em segundo lugar nesse *ranking*, atrás da Índia. O Brasil é o maior produtor de madeira proveniente de bosques cultivados (sobretudo de eucalipto), com mais de 2.965.000 ha<sup>4</sup> e uma área plantada de pinus de 1.840.050 ha. Estima-se que 1 milhão de ha<sup>5</sup> estão destinados à produção de lenha e carvão vegetal.

Neste momento não é fácil obter estatísticas precisas sobre os resíduos florestais no Brasil, já que o volume e os tipos de pedaços e/ou fragmentos gerados são dependentes de vários fatores, dos quais se destacam o diâmetro das toras e o uso final das peças serradas.

De modo geral, os resíduos gerados em uma cadeia produtiva de serrados constituem-se 7% de casca, 10% de serragem e 28% de pedaços, isso sem considerar as perdas na extração da madeira. Por exemplo, só com o setor de primeira transformação dos bosques tropicais na região da Amazônia, estima-se que quase 50 milhões de m<sup>3</sup> de troncos são transformados ao redor de 20 milhões de toneladas de madeira serrada.

Os cerrados são o principal destino da madeira. Então um mínimo de 18 milhões de toneladas de resíduos de madeira ficaria nas serrarias. Se essa quantidade for somada aos resíduos de madeira provenientes do processamento industrial e da exploração florestal sustentável no país todo, a quantidade de resíduos pode chegar a 50 milhões de toneladas/ano.<sup>6</sup> Na Tabela 1.10 é indicado o consumo de madeira industrial em toras no Brasil no ano de 2001.

Tabela 1.10 — Consumo industrial de madeira em toras no Brasil (1.000 m<sup>3</sup>)

Produto	Nativas	Plantadas	Total
Celulose e papel	—	32.000	32.000
Carvão vegetal	11.800	33.400	45.200
Lenha industrial	16.000	13.000	29.000
Serrados	34.000	15.100	49.100
Lâminas e compensados	2.050	3.960	6.010
Painéis reconstituídos*	—	5.000	5.000
Total	63.850	102.460	166.310

\* Incluem: aglomerados, chapas de fibra e MDF.

Fonte: SBS, 2001

Em 2003 a madeira diretamente utilizada pelas indústrias para a geração de energia no Brasil atingiu 4 milhões de m<sup>3</sup>, como é apreciado na Tabela 1.11.

Na última década, porém, o setor experimentou um salto tecnológico surpreendente, que resultou no aprimoramento de técnicas de implantação, manejo e exploração. E como

4 Sociedade de Silvicultura, 2001.

5 FAO, 2004.

6 CIRAD, 2004.

consequência, em 2000, o setor de papel e celulose tinha toda a sua matéria-prima proveniente de reflorestamento.

O fornecimento para o setor de produção de carvão vegetal saltou, em uma década, de 34% para 72%. Nessa tabela, observa-se que o eucalipto ainda não representa a principal fonte de energia para as empresas, mas já apresenta menor tempo de crescimento (4 a 8 anos) depois do replante para sua disponibilidade industrial e energética, ao contrário do pinus, cujo crescimento está num mínimo de 12 anos, mas tem o maior volume de consumo para a geração de energia nas empresas brasileiras, fato que se deveria mudar na procura de uma exploração sustentável.

**Tabela 1.11 — Volume de madeira consumida pelas empresas para a geração de energia**

Gênero	Volume (m³)
Eucalipto	1.823.204
Pinus	2.013.607
Araucária	1.451
Acácia	0
Outros	531.475
Total	4.369.738

Fonte: BRACELPA, 2003

Na atualidade a segunda principal fonte de energia no Brasil é proveniente da biomassa. Na utilização das energias renováveis, o Brasil é dos poucos países no mundo com potencial para substituir as energias fósseis.

Na Tabela 1.12 mostra-se a produção de energia primária. A biomassa, com índice de 32,7%, situa-se como a segunda fonte energética primária, atrás do petróleo e derivados, que representam 41,9%.

**Tabela 1.12 — Produção de energia primária no Brasil em 2003**

Identificação	%	10 <sup>6</sup> tep
Petróleo	41,9	77,2
Biomassa	32,7	60,1
Hidráulica	14,3	26,3
Gás natural	8,5	15,7
Urânio	1,5	2,7
Outros	1,1	1,9

Fonte: Ministério de Minas e Energia, BEN, 2004

Na produção de energia da biomassa estão incluídos álcool, carvão vegetal, bagaço, lenha e outros, que somam  $60,1 \times 10^6$  tep. Os produtos da cana-de-açúcar apresentaram maior crescimento na produção de energia primária da biomassa. Entre 2002 e 2003 a produção de álcool cresceu 15%, atingindo  $249,3 \times 10^3$  barris por dia.

As tecnologias utilizadas para geração de energia elétrica a partir da biomassa são a combustão direta acoplada a um ciclo de vapor e a gaseificação. A primeira é altamente demandada pelo setor sucroalcooleiro, em que o consumo de bagaço de cana cresceu 11,6%, atingindo  $97,3 \times 10^6$  toneladas. Esse aumento no consumo ajudou o Brasil a dominar as tecnologias de projeto e fabricação, sendo hoje capaz de produzir os componentes a custos internacionalmente competitivos. Embora a maioria das plantas trabalhe com sistemas de co-geração, seus projetos primaram pela maximização do consumo da biomassa, produzindo apenas a quantidade de energia suficiente para as necessidades internas da usina.

Os principais consumidores de energia da biomassa são a indústria, 51,9%; o setor residencial, 16,8%, que vem baixando o consumo ao longo do tempo, por representar uma utilização de biomassa insustentável; o setor energético, 14,7%; e o de transportes, 11,5%, que experimentou queda principalmente pela diminuição de 13,4% em comparação ao ano de 2002 no consumo do álcool hidratado.

Para que esse crescimento na expansão continue e melhore o uso da biomassa no Brasil, é preciso que, além do avanço tecnológico, sejam desenvolvidos modelos de gestão que garantam a sustentabilidade técnica, econômica e ambiental dessa fonte energética.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGROGÂNICA. “Riqueza no lixo”. Artigo por Juliana Borges. São Paulo, jun., 2004. Disponível em <www.redcapa.org.br>. Acesso em 19 de janeiro de 2005.
- BRACELPA — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. “Relatório estatístico florestal 2003, 2004.” Disponível em <www.bracelpa.org.br>. Acesso em 19 jan., 2005.
- CETESB — COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. “Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares”. Relatório 2004. Secretaria do Estado do Meio Ambiente. Disponível em <www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em 10 jun., 2005.
- EMBRAPA. “Balanço ambiental 2002”. Brasília, 2002. Disponível em <www21.sede.embrapa.br>. Acesso em 14 jan., 2005.
- FAO. “Agricultural production, crops primary — Live animals in the world”, 2004. Disponível em <www.fao.org>. Acesso em 15, 16 e 17 jan., 2005.
- GREENPEACE. “Energia positiva para o Brasil. Potencial de geração de energia renovável a partir de subprodutos do agronegócio brasileiro (biomassa)”, 2004, pp. 52-61. Disponível em <www.greenpeace.org.br>. Acesso em 19 jan., 2005.
- HALL, D. O. “Biomass energy development and carbon dioxide mitigation options”. International Conference on National Action to Mitigate Global Climate Change. Copenhagen, jun., 1995. Disponível em <http://unepisoe.org/CopenhagenConf/>. Acesso em 10 jan., 2005.
- IEA — INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. “Key world energy extatistics. Total primary supply in the world”, 2004. Disponível em <www.iea.org>. Acesso em 13 fev., 2005.
- INFOPETRO. “Conferência Mundial sobre Energias Renováveis”. Bonn, 1, 4 jun., 2004. Disponível em <www.gasnet.com.br>. Acesso em 20 jan., 2005.
- MACEDO, I. C. “Energy production for biomass sustainability: the sugar cane agro — Industry in Brazil”. Piracicaba: Copersucar, 1999. Disponível em <http://sustsci.harvard.edu>. Acesso em 12 jan., 2005.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. “Balanço Energético Nacional 2004, Ano Base 2003”. Secretaria de Energia, República Federativa do Brasil, 2004.
- MINISTÉRIO DE RELAÇÕES EXTERIORES. “O Brasil em foco, O Brasil e a economia mundial contemporânea — Agroindústria — Biomassa”, 2004. Disponível em <www.mre.gov.br>. Acesso em 22 jan., 2005.
- NOGUEIRA, L. U. H.; SILVA LORA, E. E. e TROSSERO, M. A. *Dendroenergia: fundamentos e aplicações*. Brasília: ANEEL, 2000, pp. 31-54.

- OLADE. “World energy production. Year base 2003. Energy statistic”, 2004. Disponível em <www.olade.org.ec>. Acesso em 20 fev., 2005.
- PORTAL NACIONAL DE MADEIRA. “Oportunidades para o desenvolvimento da biomassa energética no Brasil”. Artigo por Paulo de Tarso e Manoel Martins Nogueira. Ministério de Minas e Energia, 2004. Disponível em <www.remade.com.br>. Acesso em 15 fev., 2005.
- REVISTA ECO 21. “Biodiesel e biomassa: duas fontes para o Brasil”. *Revista Eco 21*, ano XIII, edição 80, jul., 2003. Disponível em <www.eco21.com.br>. Acesso em 10 jan., 2005.
- ROLF-DIETER, L. “Utilização de energias renováveis no mundo”. Conferência em São Paulo, 2000. Disponível em <www.german-renewable-energy.com>. Acesso em 29 jan., 2005.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. “Estatísticas do setor florestal brasileiro”, 2001. Disponível em <www.sbs.org.br>. Acesso em 28 jan., 2005.
- STCP BRASIL. “Biomassa para geração de energia principais fontes da biomassa e tecnologias adotadas”, 2004. Artigo por Francisco José Serra Lopez, consultor da STCP. Disponível em <www.sbs.org.br>. Acesso em 1º fev., 2005.
- SUINF — SUPERINTENDÊNCIA DE INFORMAÇÕES DO AGRONEGOCIO. “Indicadores da agropecuária. Produção brasileira de grãos”, 2004. Disponível em <www.conab.gov.br>. Acesso em 20 jan., 2005.
- UNFPA. “Estado de la población mundial 2004. El Censo Del Cairo diez años después: Población, salud reproductiva y acciones mundiales para eliminar la pobreza”, 2004. Disponível em <www.unfpa.org>. Acesso em 3 fev., 2005.
- WORLD ENERGY COUNCIL. “Focus on renewable energy — Biomass fuels shares of world total primary energy supply”, 2004. Disponível em <www.worldenergy.org>. Acesso em 20 jan., 2005.
- . *Nacional Energy Data Profile. Comitê Brasileiro*, 2004. Disponível em <www.worldenergy.org>. Acesso em 20 jan., 2005.