



ENERGIA DE BIOMASSA DE CANA-DE-AÇÚCAR

V. 2

LEB 432 – MÁQUINAS E IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS
DEB – ESALQ/USP

ATENÇÃO

**A AVALIAÇÃO DA PRÓXIMA AULA
VERSARÁ SOBRE O DISCUTIDO
NA SALA E O MATERIAL
BIBLIOGRÁFICO INDICADO AO
FINAL DOS SLIDES**

O QUE É BIOMASSA?

Todo material de origem orgânica.

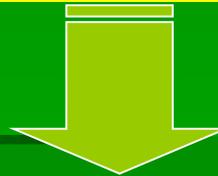
Pode ser proveniente de:

- Colheitas agrícolas e florestais**
- Produtos animais**
- Massa de células microbianas**
- Resíduos em geral e**
- Produtos renováveis em bases anuais**

(Hiller & Stout, 1985)

CONVERSÃO DE BIOMASSA

(fotossíntese)



O_2 + **CARBOHIDRATOS**
(AÇÚCARES E AMIDO)

(a combustão de Carboidratos e O_2 = “respiração”)

PRINCIPAIS PROCESSOS

(DE CONVERSÃO DE BIOMASSA EM OUTRAS FORMAS DE ENERGIA)

COMBUSTÃO DIRETA: QUEIMA PARA

PRODUÇÃO DE CALOR OU SEJA,
COMBUSTÃO DIRETA: QUEIMA PARA PRODUÇÃO DE CALOR, OU SEJA,
AQUECIMENTO GERAL OU ACIONAMENTO DE TURBINAS ELÉTRICAS

AQUECIMENTO GERAL OU

PIRÓLISE: DECOMPOSIÇÃO TÉRMICA DE RESÍDUOS SOB ALTAS
PIRÓLISE: DECOMPOSIÇÃO TÉRMICA DE RESÍDUOS SOB ALTAS
TEMPERATURAS (500 A 900° C) EM ATMOSFERA POBRE EM O₂,
PRODUZINDO UM GÁS OU LÍQUIDO DE BAIXO PODER CALORÍFICO

TEMPERATURAS (500 A 900° C) EM
TEMPERATURAS (500 A 900° C) EM
ATMOSFERA POBRE EM O₂,
PRODUZINDO UM GÁS OU LÍQUIDO
DE BAIXO PODER CALORÍFICO.

PRINCIPAIS PROCESSOS

(DE CONVERSÃO DE BIOMASSA EM OUTRAS FORMAS DE ENERGIA)

COMBUSTÃO DIRETA: QUEIMA PARA PRODUÇÃO DE CALOR, OU SEJA, AQUECIMENTO OU ACIONAMENTO DE TURBINAS ELÉTRICAS

PIRÓLISE: DECOMPOSIÇÃO TÉRMICA DE RESÍDUOS, SOB ALTAS TEMPERATURAS (500 A 900° C) EM ATMOSFERA POBRE EM O₂, PRODUZINDO UM GÁS OU LÍQUIDO DE BAIXO PODER CALORÍFICO.

PROCESSOS BIOQUÍMICOS:

DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS, EM ATMOSFERA POBRE EM O₂, COM PRODUÇÃO DE METANO; OU FERMENTAÇÃO CONTROLADA PARA OBTENÇÃO DE ÁLCOOL.

PODER CALORÍFICO?

“É O NÚMERO DE UNIDADES DE CALOR LIBERADO, PELA COMBUSTÃO DE UMA UNIDADE DE MASSA DE UMA SUBSTÂNCIA, EM BOMBA CALORIMÉTRICA, EM ATMOSFERA DE OXIGÊNIO, A VOLUME CONSTANTE E SOB CONDIÇÕES ESPECÍFICAS DE MODO QUE, TODA ÁGUA PROVENIENTE DA COMBUSTÃO, ESTEJA NO ESTADO LÍQUIDO” (ABNT NBR8633, 1984).

PODER CALORÍFICO SUPERIOR - PCS

- É OBTIDO EM LABORATÓRIO;
- CONSIDERA O MATERIAL COM BASE EM PESO SECO;
- É O MAIOR POSSÍVEL;
- É EXPRESSO NA FORMA DE $\frac{\text{CALOR}}{\text{MASSA}}$

PODER CALORÍFICO INFERIOR - PCI

É obtido analiticamente, considerando o calor latente de vaporização da água formada pela combustão do hidrogênio presente no combustível.

$$PCI^* = PCS - 54H$$

* Equação utilizada para combustíveis sólidos de origem celulósica

H – percentual em massa de hidrogênio presente no material estudado.

$$PCI = PCS - 600.9H/100$$

PODER CALORÍFICO ÚTIL - PCU

É obtido analiticamente, considerando o calor necessário para evaporação da umidade presente no combustível.

$$PCU^* = PCI [(100 - U) / 100] - 6H$$

* Equação utilizada para combustíveis sólidos de origem celulósica

H(%) – teor de hidrogênio presente no material estudado

U(%) – umidade do material estudado

Tabela 5.5. Poderes caloríficos superiores (PCS), em kcal/kg, de diferentes biomassas vegetais obtidos por diversos autores: (1) Sumner et al. (1983); (2) Andrade (1961); (3) Arola (1976); (4) Brito (1979) e (5) Atchison (1977).

Biomassas	PCS	Biomassas	PCS
Painço (1)	4.178	Casca de pecan (1)	4.345
Colmo de sorgo (1)	4.273	Laranja (fruto) (1)	4.464
Folhas de sorgo (1)	4.631	Pecan (fruto) (1)	4.536
Capim napier (1)	4.369	“Grape fruit” (1)	4.464
Gramma Bermuda (1)	4.584	Cone de pinus spp.(1)	4.870
Pinus spp (1)	4.249	Palha de pinus spp.(1)	5.348
Pêssego (fruto) (1)	4.608	Pinus strobus (2)	5.285
Eucaliptus saligna (3)	4.670	Pinus ponderosa (2)	5.000
Eucaliptus robusta (3)	4.774	Eucaliptus tereticornis (4)	8.248
Madeira dura (5)	4.555 a 4.665	Madeira mole (5)	4.665 a 5.550
Palha de cereal (5)	4.445	Bagaço de cana (5)	4.445 a 4.665

BIOMASSA DE CANA-DE-AÇÚCAR



Safra de Cana-de-Açúcar Brasil - 2011

	Total	Centro Sul*	(%)	São Paulo	(%)
Área (Colhida ha)	9.835.000	8.419.000	85,8	4.662.000	47,4
Produção (t)	680.050.000	603.500.000	88,7	339.300.000	51,3

Bagaço (280kg/t)

170.000.000 t

(50% umidade)

MÉDIA:

80 t de Colmos Industrializáveis

+

10 a 25% em peso - Palhiço

CONSTITUIÇÃO DA PARTE AÉREA:

✓ **COLMOS INDUSTRIALIZÁVEIS**

✓ **PALHA**

✓ **FOLHAS VERDES**

✓ **PONTEIROS**



CONVENÇÃO

Sempre que houver incerteza da média consideraremos a média dos extremos.

PORTANTO:

$$\text{MÉDIA DE PALHIÇO} = \frac{10 + 25}{2} = 17,5\%$$

Safra de Cana-de Açúcar Brasil - 2011

	Total	Centro Sul*	(%)	São Paulo	(%)
Área (Colhida ha)	8.670.000	7.436.000	85,8	4.357.000	50,3
Produção (t)	680.050.000	603.500.000	88,7	364.300.000	53,6

Bagaço (280kg/t)

170.000.000 t/ano

(50% umidade)

**PARA EFEITO PRÁTICO
O ÍNDICE DE PALHIÇO
SERÁ CONSIDERADO
COMO MÉDIA DE 15%
EM PESO NO MOMENTO
DA COLHEITA**

Safra de Cana-de Açúcar Brasil - 2011

	Total	Centro Sul*	(%)	São Paulo	(%)
Área (Colhida ha)	8.670.000	7.436.000	85,8	4.357.000	50,3
Produção (t)	680.050.000	603.500.000	88,7	364.300.000	53,6

Bagaço (280kg/t)

170.000.000 t/ano

(50% umidade)

Palhiço

100.000.000 t/ano

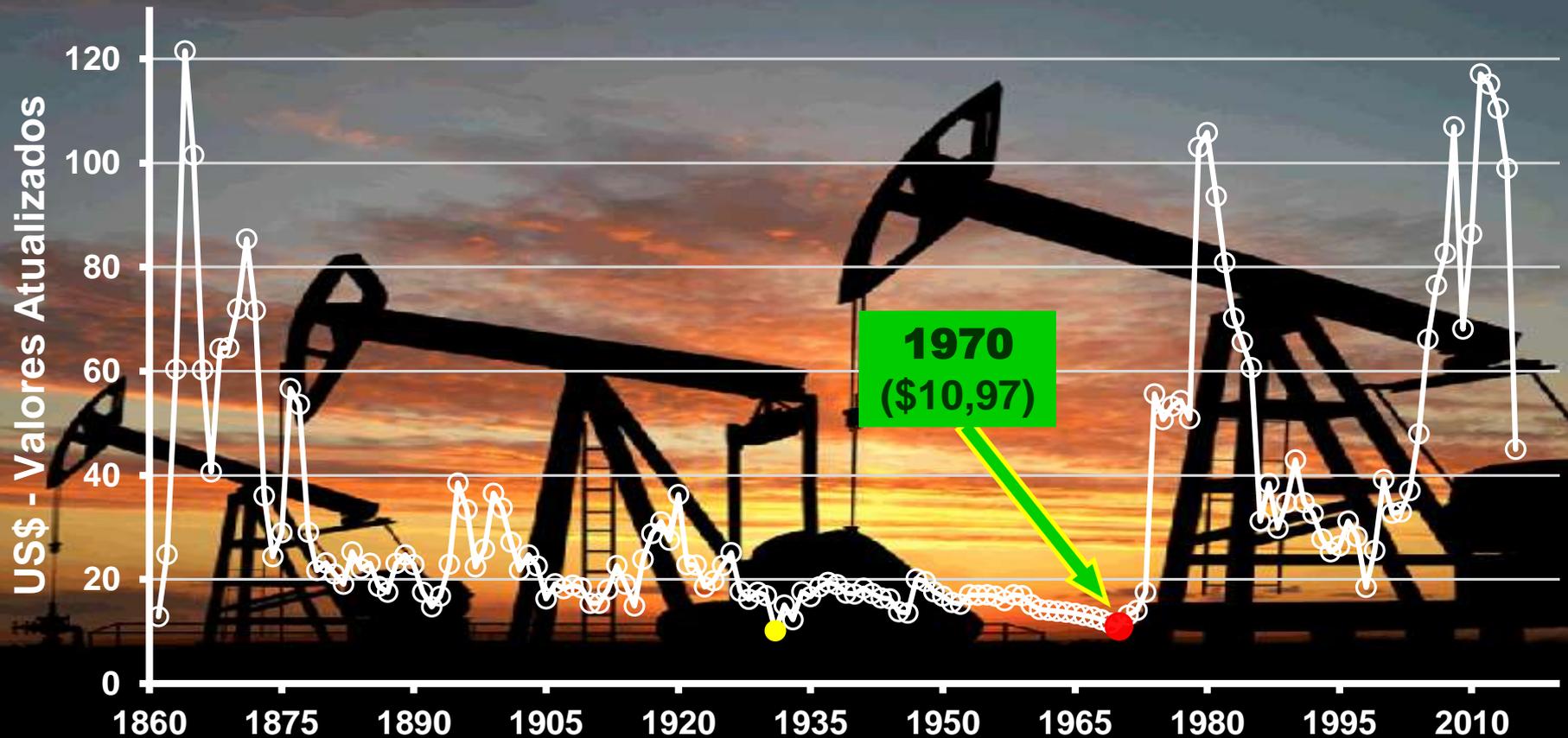
(25% umidade)



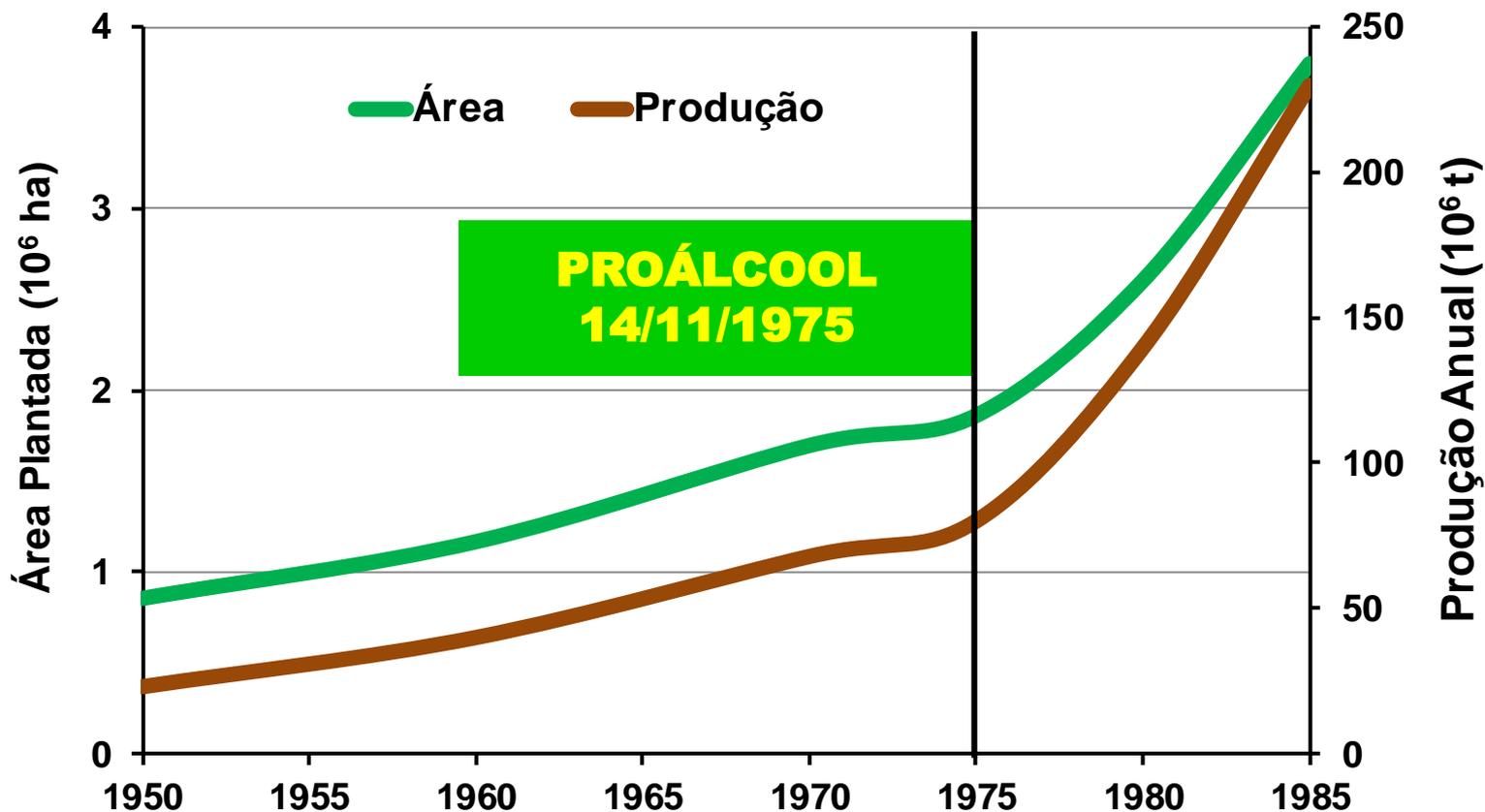
**COLHEITA DE CANA
SEM QUEIMA
PRÉVIA**

**UM BREVE
HISTÓRICO**

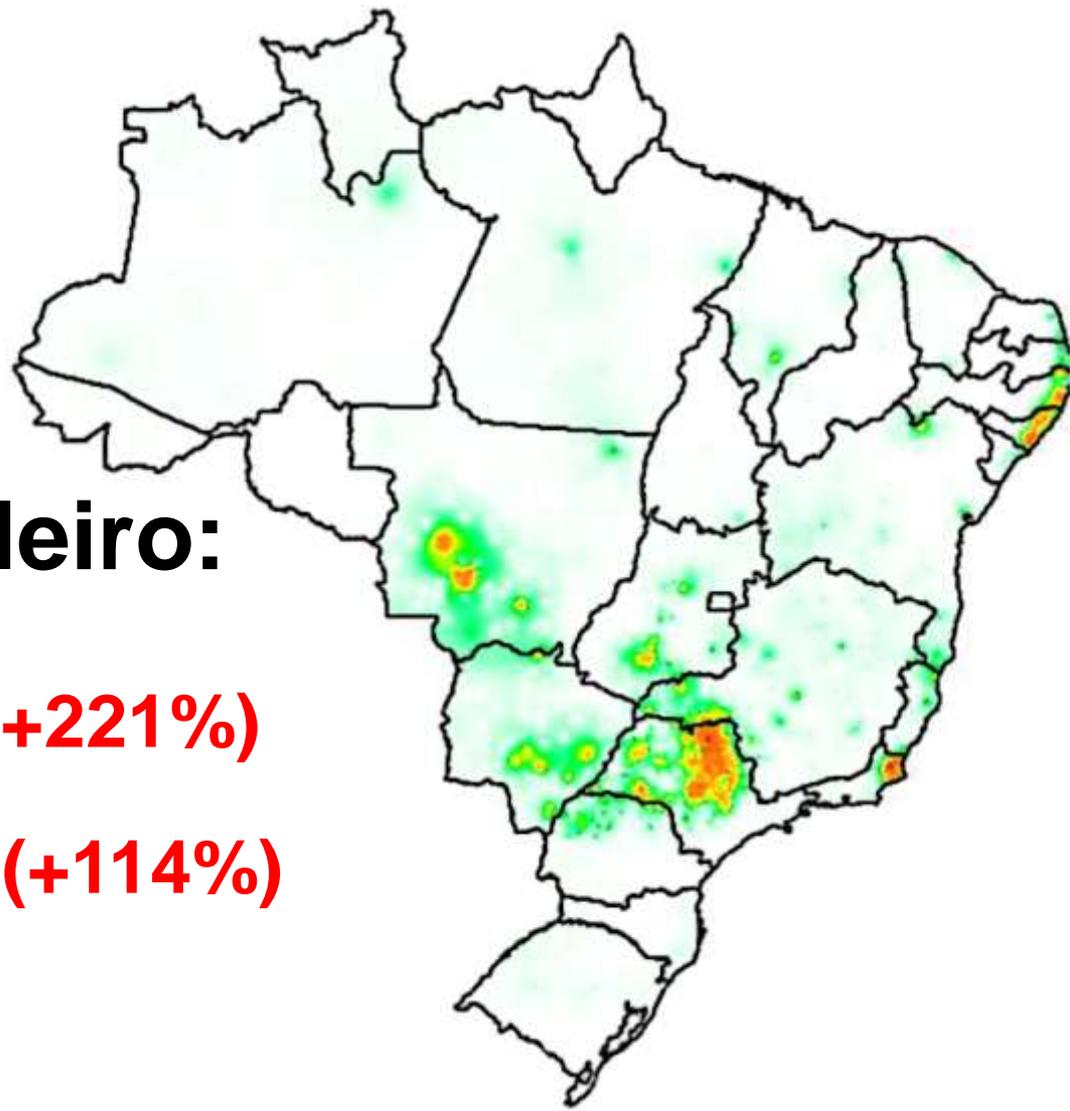
CRISES DO PETRÓLEO



Evolução do Canavial Brasileiro 1950 a 1985



1975
1985



Canavial Brasileiro:

- 3.800.000 ha (+221%)
- 230.000.000 t (+114%)
- 60,5 t/ha

Sistema Convencional de Corte Manual



5

Linhas

Sistema de Corte “Amontoado”



**MOVIMENTO
DE GUARIBA
(1984)**

7

Linhas



Orestes Quercia
Governador – SP
(1987-1991)

Decreto Estadual - 28.848
30/08/1988

PROIBIÇÃO DA
QUEIMADA DE
CANA-DE-AÇÚCAR
EM TODO O
ESTADO DE SÃO
PAULO

Legislação Paulista

Decreto Estadual 42.056, de 6/8/97:

...determinando, dentre outras providências, a proibição da prática da despalha de cana através de sua queima como método auxiliar da colheita, admitindo-a apenas excepcionalmente e em caráter transitório, mediante prévia autorização da Secretaria Estadual da Agricultura e Abastecimento e conforme planos bienais de "*evolução da eliminação da despalha por queima*", apresentados pelos produtores de açúcar e álcool... planos deveriam obrigatoriamente prever, em relação às áreas em que a colheita fosse "mecanizável" (assim qualificadas, no próprio decreto, como aquelas com declividade inferior a 12%) redução de 25% da área queimada a cada dois anos, de modo que a queima da cana restasse completamente eliminada em oito anos (isto é, a partir de 2006). Quanto às áreas não mecanizáveis, a redução mínima deveria ser de 13,35% a cada dois anos, de modo a eliminar a prática ao fim de 15 anos (ou seja, a partir de 2013).

Legislação Paulista

Lei Estadual 10.547/00 (maio de 2000, regulamentada pelo decreto 41.273/00):

Restou autorizada a prática da queima da palha de cana nas áreas não mecanizáveis (desde que atendidas as condições e os pressupostos ali fixados), assim como foi fixado novo prazo para a sua redução - direcionada à completa eliminação da técnica - nas áreas mecanizáveis (que passou a ser exigida em no mínimo 25% a cada período de 5 anos a contar do início de vigência daquela lei).

Legislação Paulista

Lei Estadual 11.241/02 (19/09/2002) e pelo decreto 47.700/03 (11/03/2003):

Foram estabelecidos percentuais crescentes para a proibição da prática, até sua eliminação total em 2021 (áreas mecanizáveis) e 2031 (áreas não mecanizáveis) e fixados novos requisitos e limites para a queima da palha da cana

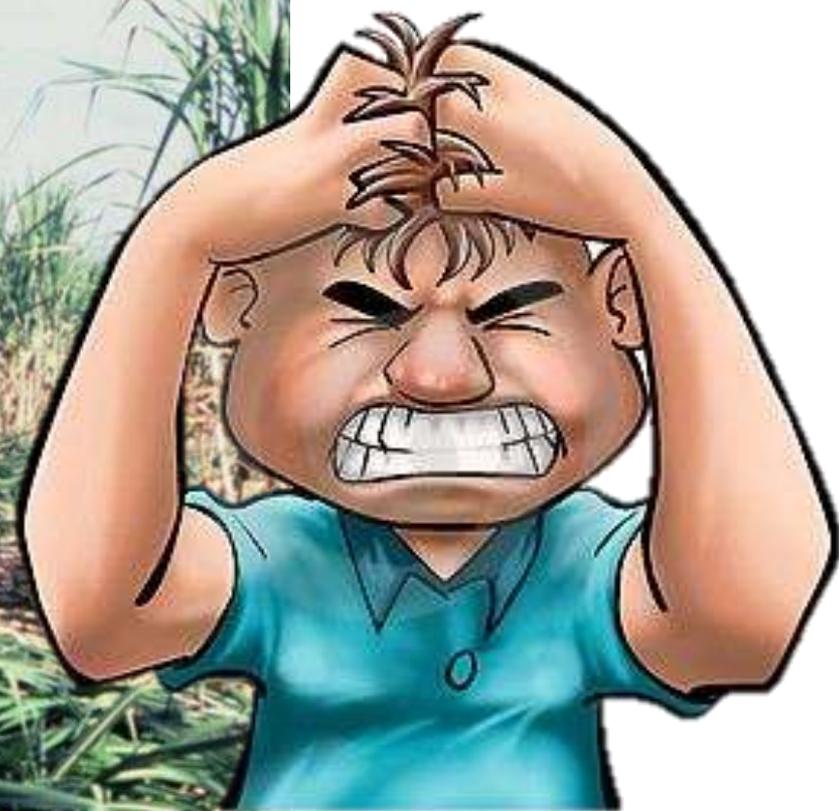
Legislação Paulista

Em 04/06/2007, foi firmado

Protocolo de Cooperação entre o Governo do Estado de São Paulo, as Secretarias do Meio Ambiente e da Agricultura e Abastecimento e a entidade que congrega a agroindústria canavieira de São Paulo (UNICA - União da Agroindústria Canavieira de São Paulo),

por intermédio do qual, dentre outros compromissos assumidos objetivando "consolidar o desenvolvimento sustentável da indústria da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo", foram substancialmente antecipados os prazos finais para a eliminação da queima da palha da cana: 2014 (ao invés de 2021) para os terrenos com declividade até 12% e 2017 (ao invés de 2031) para aqueles com declividade superior.

Sistema de Corte “Sem Queima”



A photograph of a sugarcane field after harvest. A dirt path leads through the field, flanked by rows of cut sugarcane stalks. The background shows a line of trees under a clear sky.

**COLHEITA DE CANA
SEM QUEIMA
PRÉVIA**

**FONTE
DE ENERGIA**



**Usina
Sucroalcooleira**



***Cana
De
Açúcar***



PALHIÇO

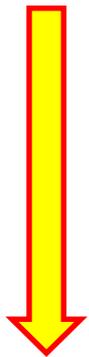


MELAÇO



ETANOL

$23,7 \cdot 10^9$ L/ano



$5,546 \cdot 10^{11}$ MJ = $86,9 \cdot 10^6$



BAGAÇO

170.000.000 t/ano
(50% umidade)



$1,299 \cdot 10^{12}$ MJ = $203,5 \cdot 10^6$



PALHIÇO

100.000.000 t/ano
(25% umidade)

**RESÍDUO NO
CAMPO APÓS
A COLHEITA**



PALHIÇO

100.000.000 t/ano
(25% umidade)

DÁ PRA USAR?

RESÍDUO
CANA

CA

RECOLHIMENTO DE PALHIÇO

PALHIÇO PARCIALMENTE DECOMPOSTO



BROTAÇÃO SOBRE PALHIÇO



ANCINHO ENLEIRADOR HORIZONTAL



ANCINHO ROTATIVO VERTICAL



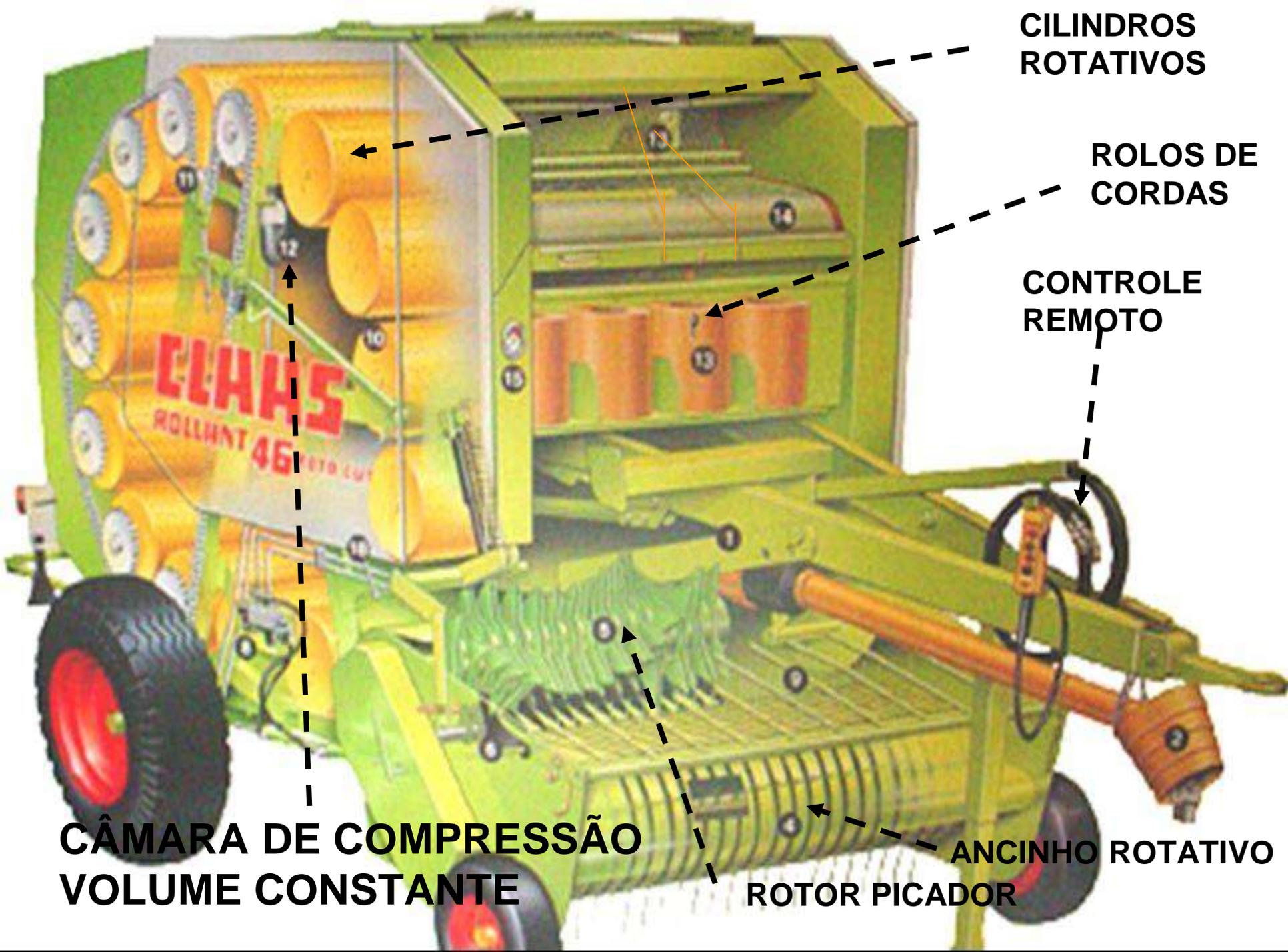
ANCINHO ENLEIRADOR CONVENCIONAL UTILIZADO NA CULTURA DE CANA-DE- AÇÚCAR



***ENFARDADORA
AUTOPROPELIDA
PRISMÁTICA
OPERANDO
SOBRE PALHIÇO***







**CILINDROS
ROTATIVOS**

**ROLOS DE
CORDAS**

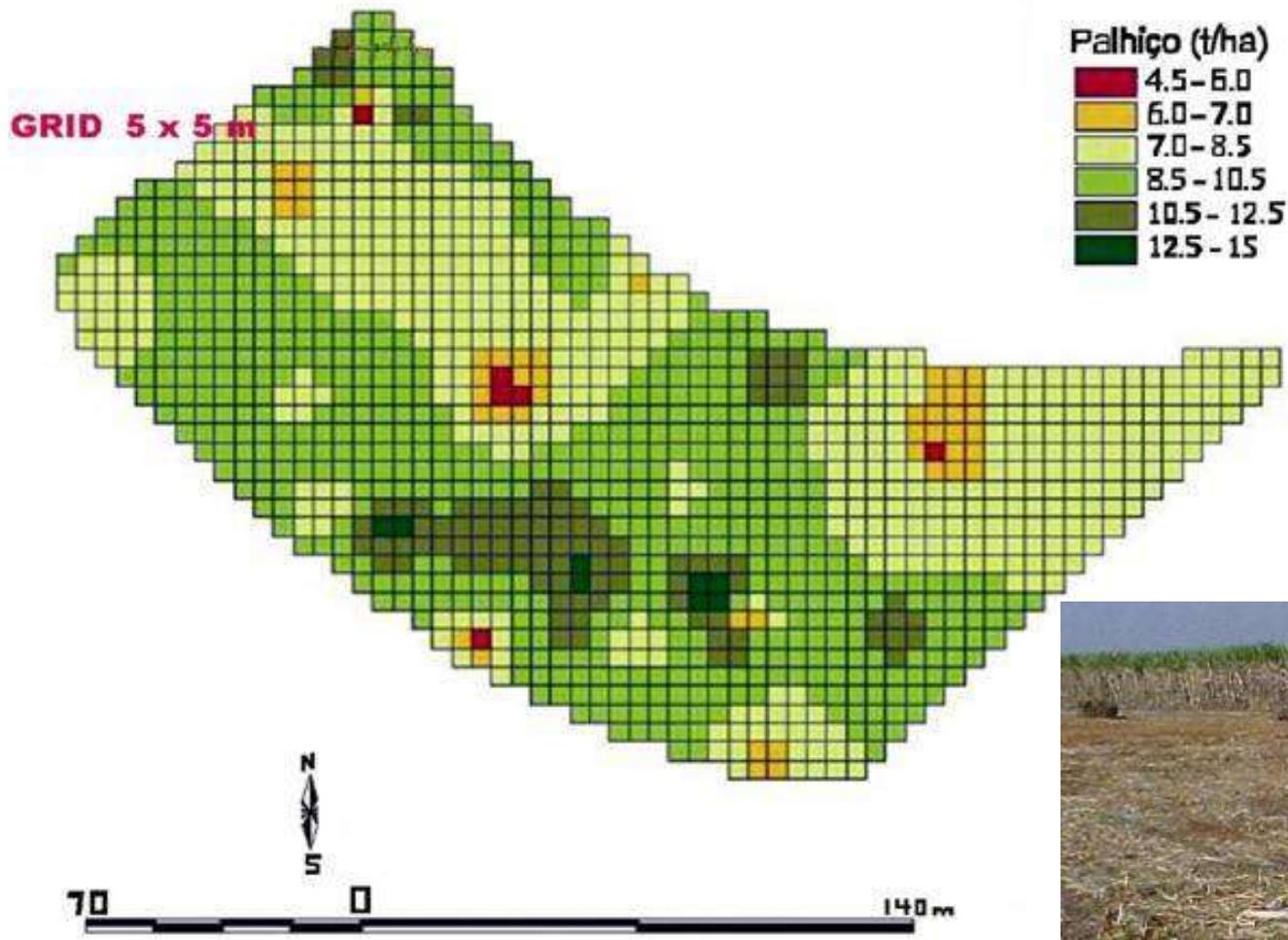
**CONTROLE
REMOTO**

**CÂMARA DE COMPRESSÃO
VOLUME CONSTANTE**

ANCINHO ROTATIVO
ROTOR PICADOR

ENFARDADORA DE VOLUME CONSTANTE





Variabilidade Espacial do Palhiço



RECOLHEDORA DE FORRAGEM MONTADA (TDP)



RECOLHEDORA DE FORRAGEM AUTO PROPELIDA





RECOLHEDORA DE FORRAGEM AUTOPROPELIDA



CARGA DE DECORRENTE DE OPERAÇÃO COM RECOLHEDORAS DE FORRAGEM (À GRANEL)



DESCARREGAMENTO DO PALHIÇO, A GRANEL, NO PÁTIO DA USINA

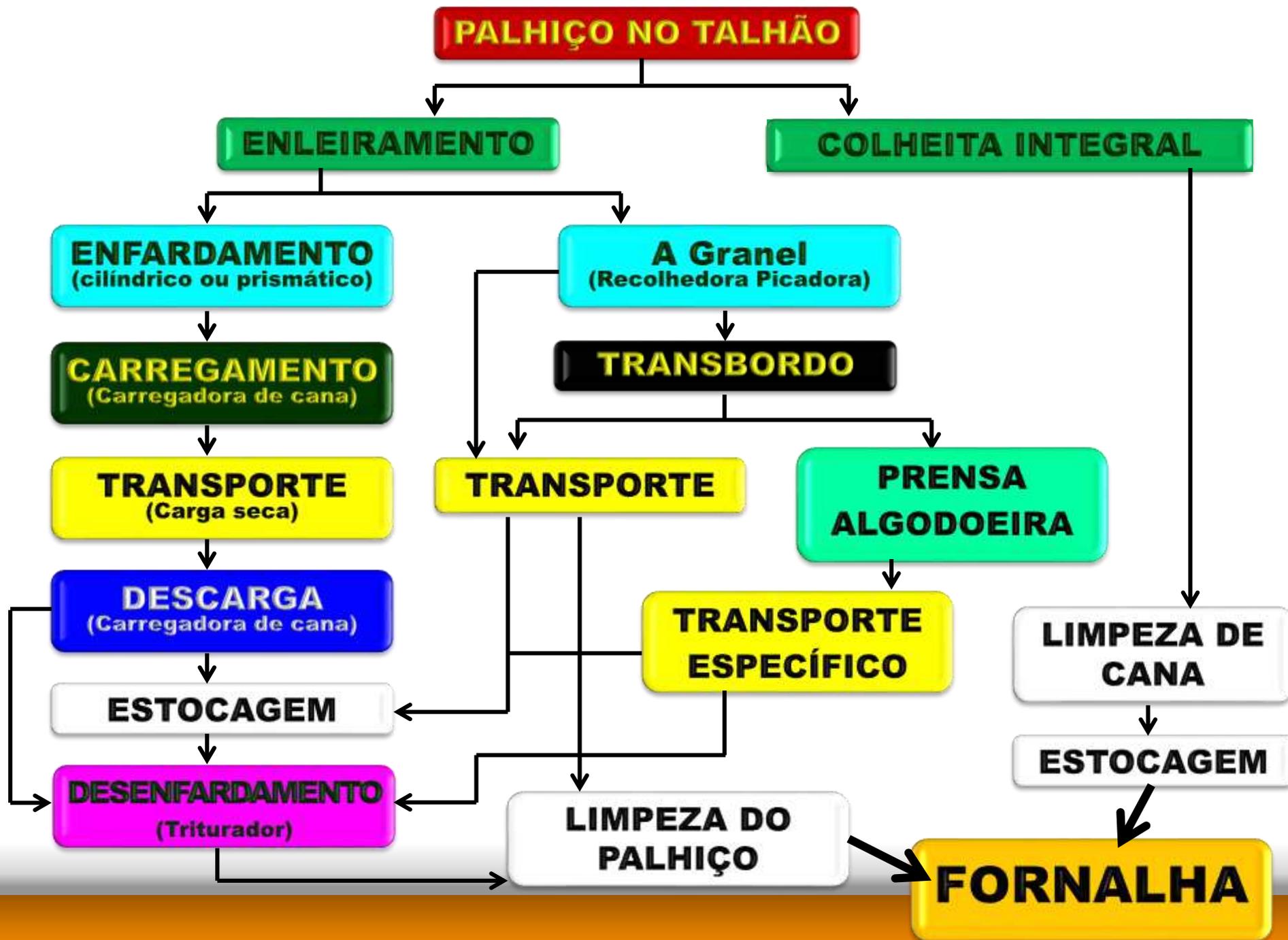


SISTEMA DE RECOLHIMENTO DO PALHIÇO COM COLHEITA INTEGRAL DA CANA-DE-AÇÚCAR

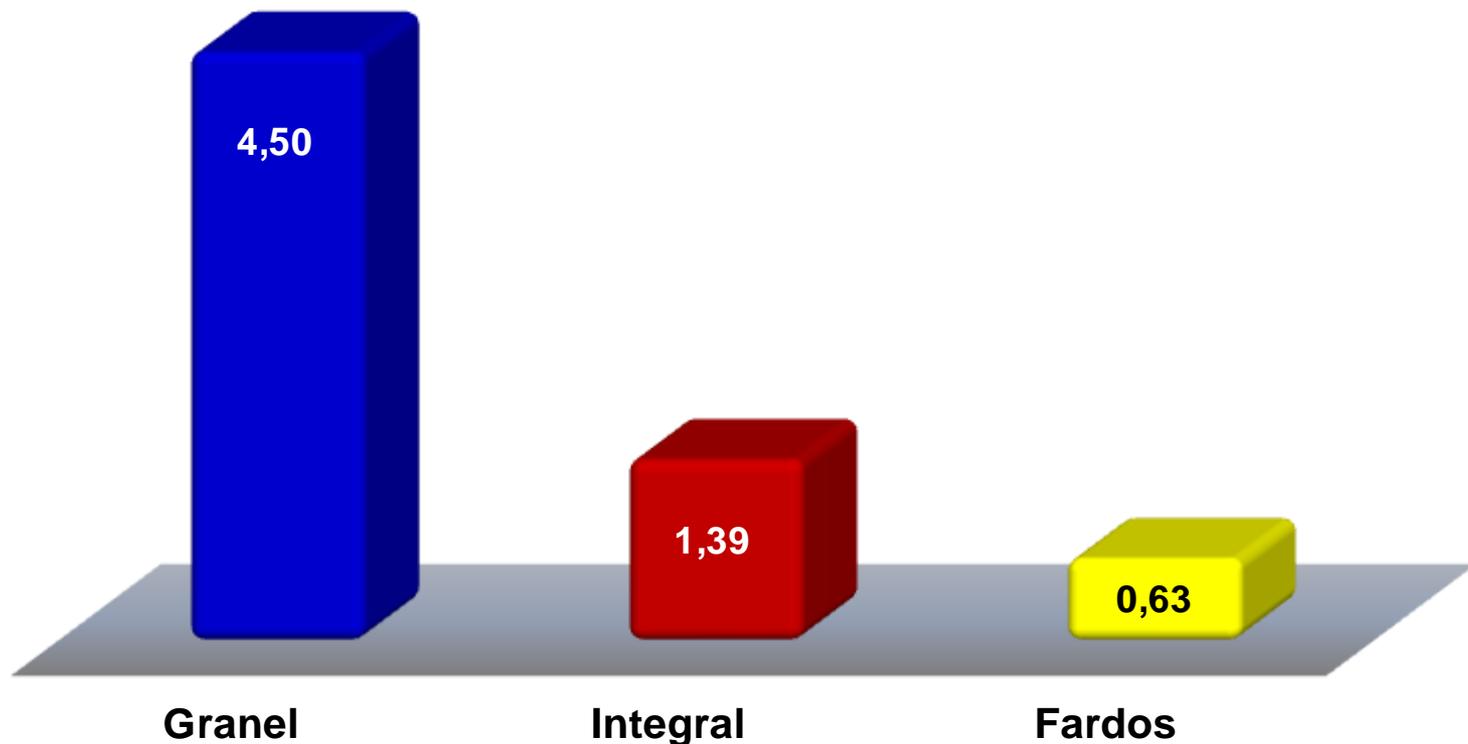


SISTEMA DE LIMPEZA
DA COLHEDORA
DESLIGADO

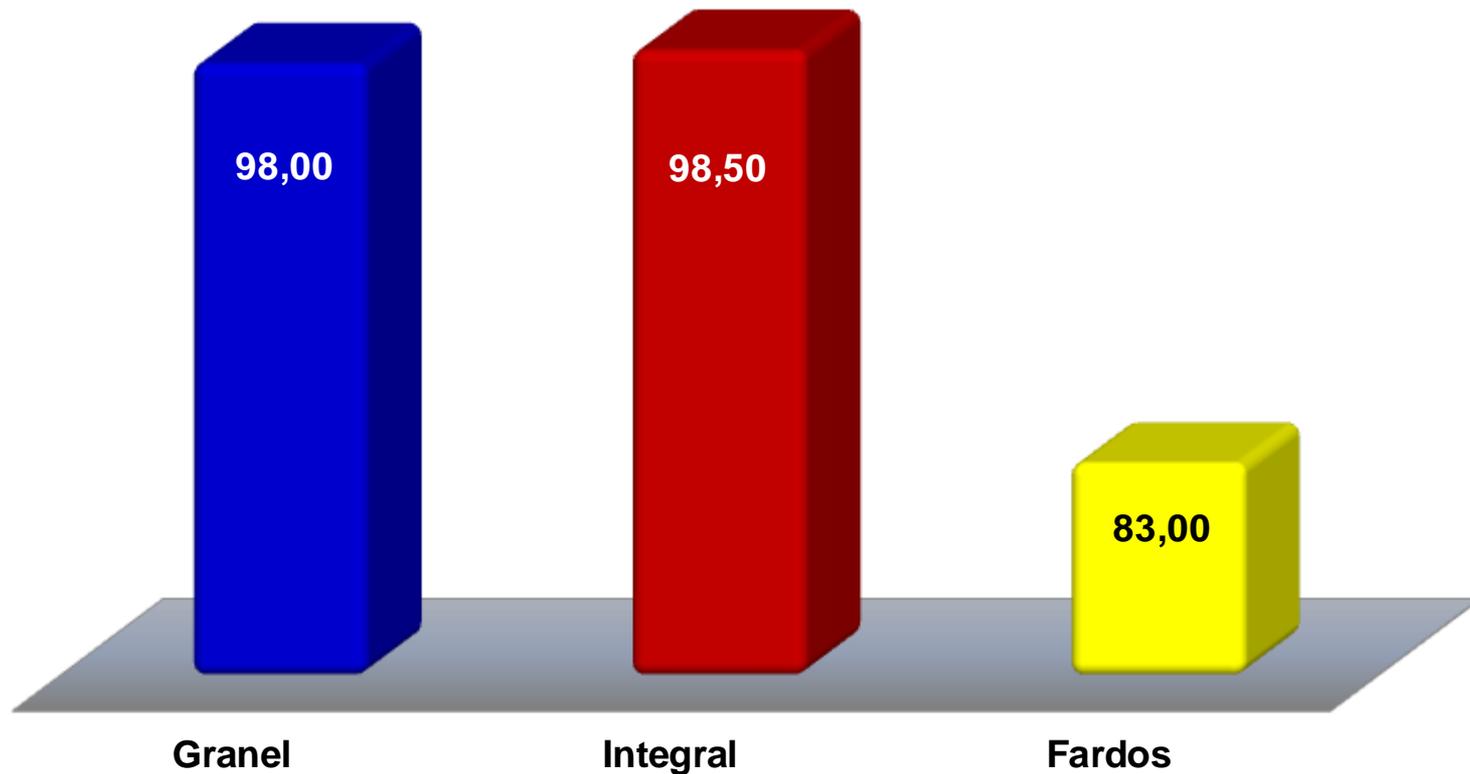
SEPARAÇÃO DO PALHIÇO DOS REBOLOS
DE COLMOS FEITOS NA USINA



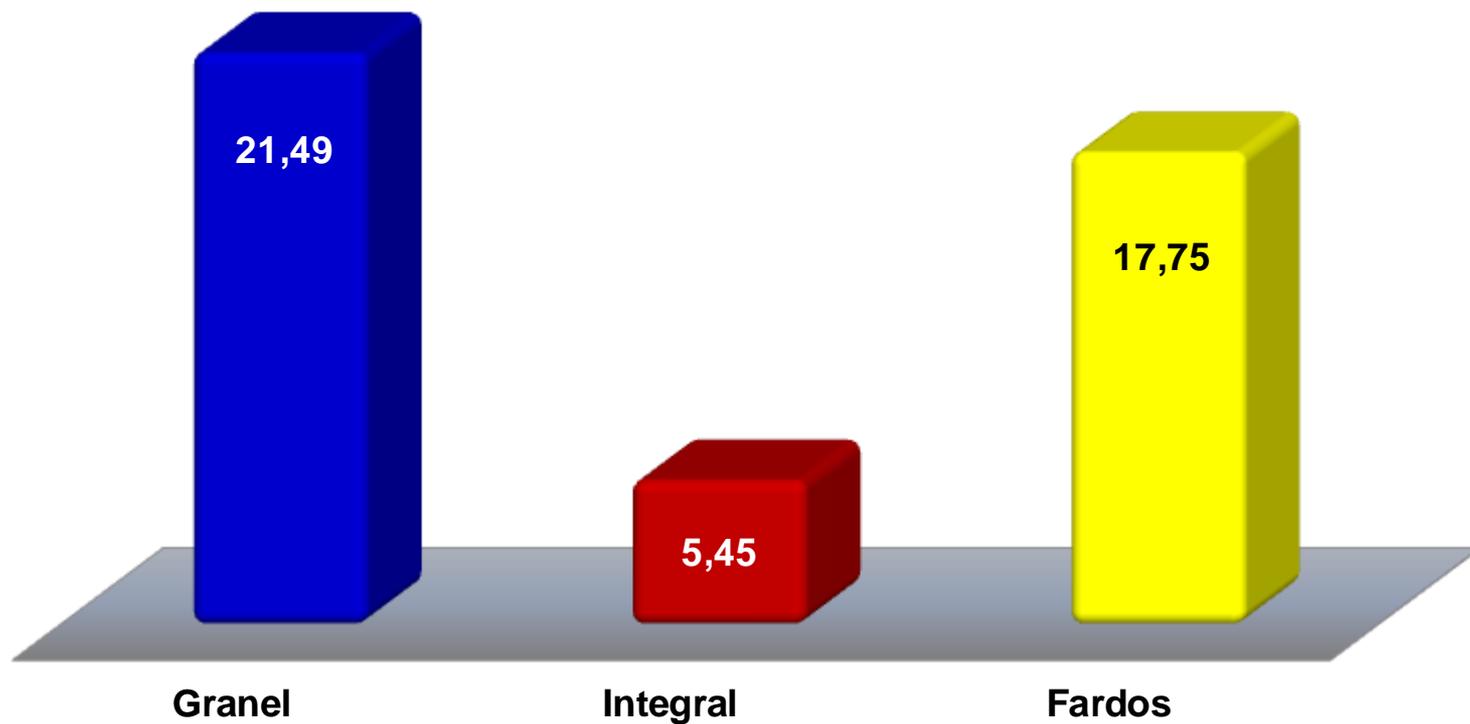
Impureza Mineral (%) no Palhiço entregue na Usina



Eficiência Energética (%) de Recolhimento



Custo (R\$/t) de Recolhimento



RELAÇÃO PALHIÇO/BAGAÇO

1 t Palhiço = 1,63 t Bagaço

1 t Bagaço ≈ R\$ 15

1 t Palhiço ≈ R\$ 25

EFICIÊNCIA DE RECOLHIMENTO

50%

PALHIÇO

100.000.000 t
(25% umidade)



50.000.000 t
(25% umidade)

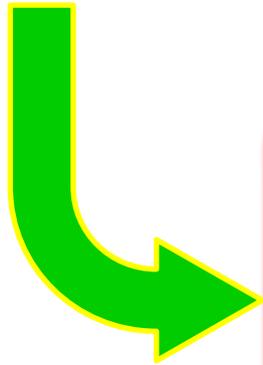


PALHIÇO

50.000.000 t/ano
(25% umidade)



5,77 t/ha



1 ha de Cana equivale a
0,18 ha Madeira



1 ha Eucalipto
31,5 t/ano
(25% umidade)





**CANAVIAL
100%
QUEIMADO**



**TODOS
OS
ANOS!**



**1,56
MILHÕES ha
de
Eucalipto**

PALHIÇO

100.000.000 t
(25% umidade)



50.000 t
(25% umidade)

**DÁ PRA USAR,
SIM!**



PALHIÇO



100.000.000 t
(25% umidade)



50.000.000 t
(25% umidade)



$6,23 \cdot 10^{11}$ MJ = $97,6 \cdot 10^6$



Petróleo no Brasil

Produção – $2,137.10^6$ /dia

Consumo – $2,600.10^6$ /dia

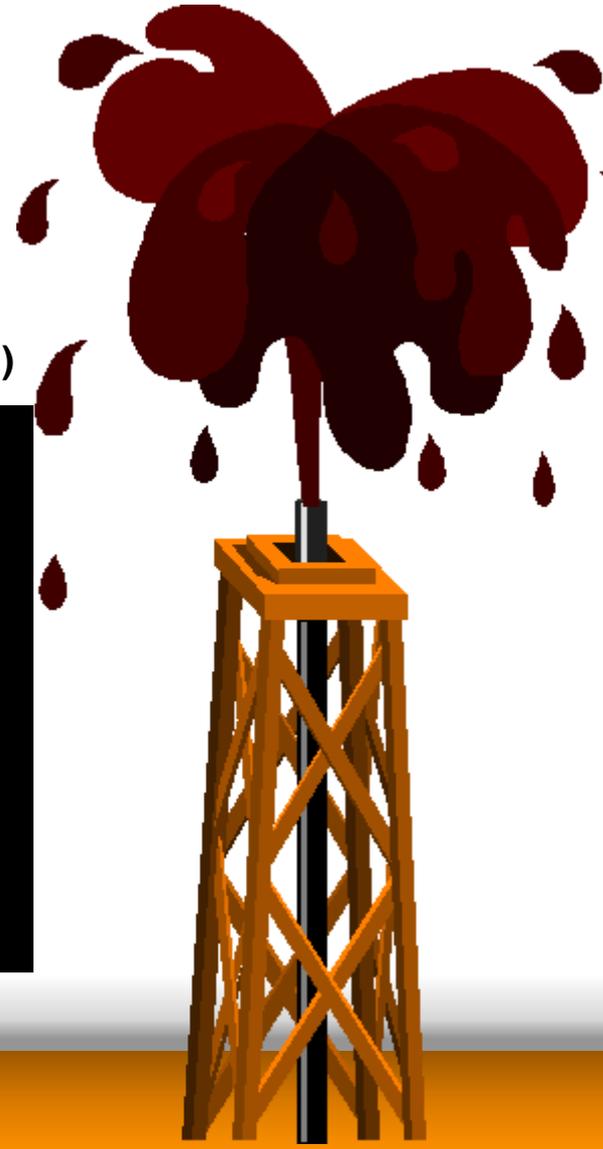
ANP (2011)

Álcool + Bagaço + Palhiço

$1,063.10^6$ /dia

49,8% da Produção

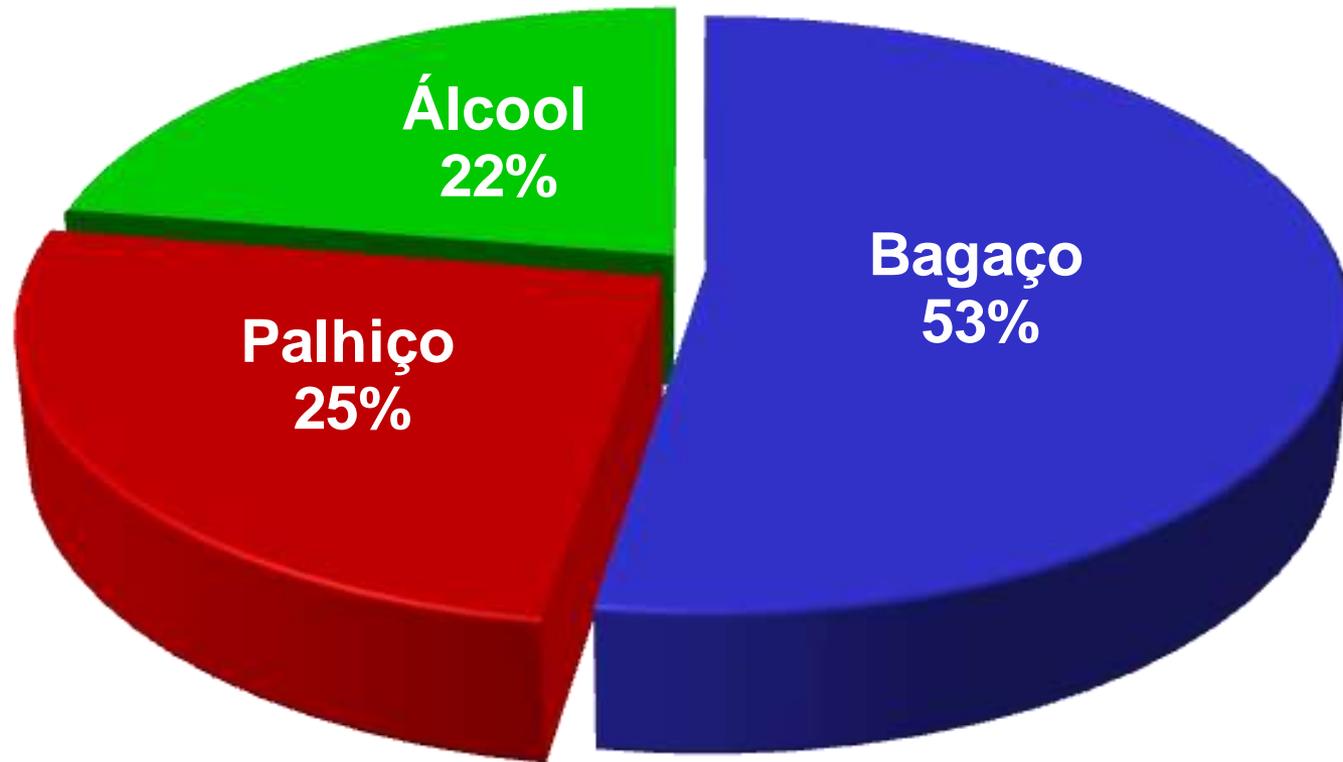
40,8% do Consumo



Países que **CONSOMEM** mais de 1 milhão de barris/dia

PAÍS	BARRIL (10 ⁶)	PAÍS	BARRIL (10 ⁶)
1 EUA	18,69	10 CANADÁ	2,15
2 CHINA	8,20	11 MÉXICO	2,09
3 JAPÃO	4,36	12 FRANÇA	1,88
4 ÍNDIA	2,98	13 IRÃ	1,81
5 RUSSIA	2,74	14 REINO UNIDO	1,67
6 BRASIL	2,46	15 ITÁLIA	1,54
7 ALEMANHA	2,44	16 ESPANHA	1,48
8 ARÁBIA SAUDITA	2,43	17 INDONÉSIA	1,12
9 CORÉIA DO SUL	1,19	18 AUSTRÁLIA	0,95

ENERGIA NO CANAVIAL



TEM MAIS...

**SORGO
SACARINO**



OPÇÃO PARA A ENTRESSAFRA



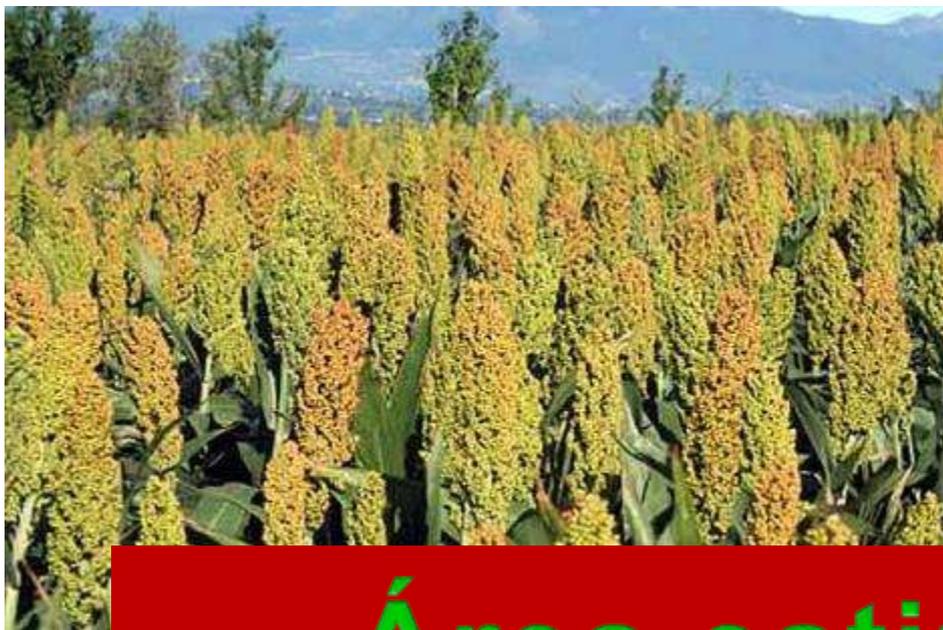
Semeadura: início da estação chuvosa



AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL
CANA						SORGO		CANA			

Colheita em 100 a 120 dias

PRODUTIVIDADE



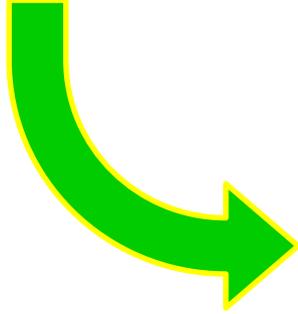
MÉDIA
50t/ha

**Área estimada de
renovação de canavial
 $1,4 \cdot 10^6$ ha ($\approx 16\%$)**

CONVERSÃO EM ETANOL

**1 t Sorgo = 42 litros
Etanol**

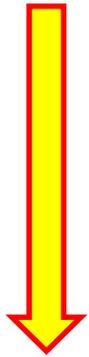
**Área de renovação
de Canavial**



**$2,94 \cdot 10^9$
Litros de
Etanol**

ETANOL

$2,94 \cdot 10^9$ L/ano



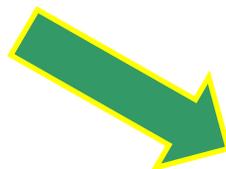
$6,759 \cdot 10^{10}$ MJ = $10,6 \cdot 10^6$



TEM MAIS...



**1 Litro de
Álcool**



**13 Litros
de Vinhaça**





**1 Litro de
Vinhaça**



**0,014 m³
de Biogás**





**$23,7 \cdot 10^9$
Litros de
Álcool**

**SOMENTE
DA CANA!**



**$4,385 \cdot 10^9 \text{ m}^3$
de Biogás**



BIOGÁS DE VINHAÇA



**$4,385 \cdot 10^9 \text{ m}^3$
(23 MJ/m³)**



$1,009 \cdot 10^{11} \text{ MJ} = 15,8 \cdot 10^6$



15,8.10⁶ Bar/ano = 43.300 Bar/dia

Consumo de Alguns Países:

96. Costa Rica – 44.000

103. Etiópia – 38.000

107. Uruguai – 34.670

109. Bolívia – 31.070

110. Estônia – 30.000

111. Nicaragua – 29.000

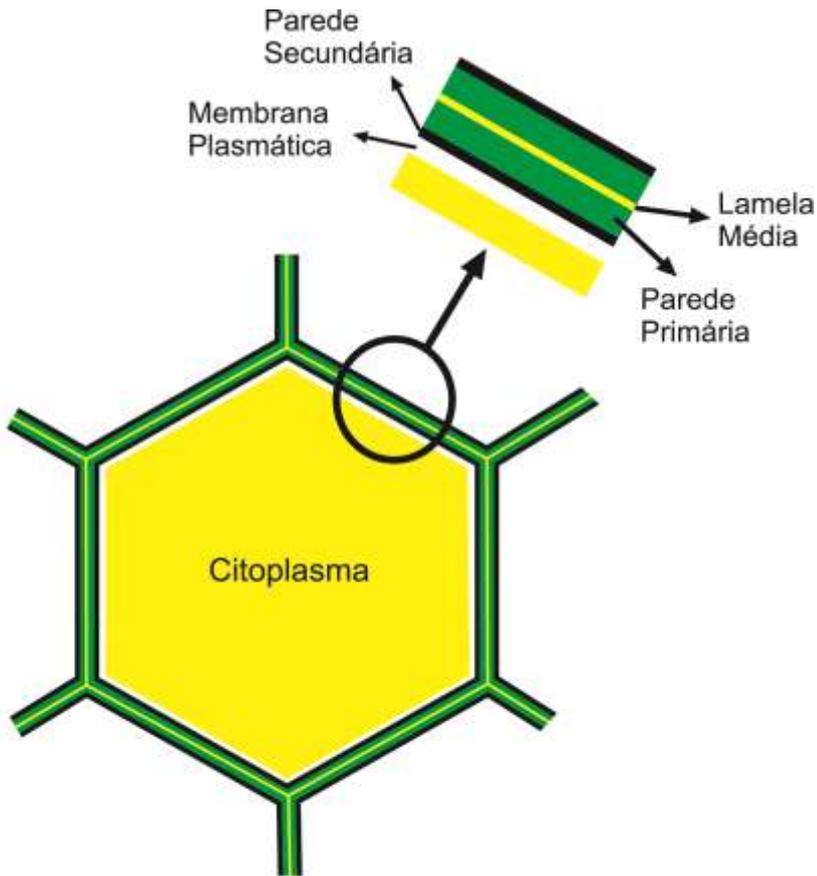
112. Paraguai – 27.000

**206 LOCAIS
LISTADOS**



ETANOL 2.0

Célula Vegetal Típica



Parede Primária:

Água

Celulose

Hemicelulose e

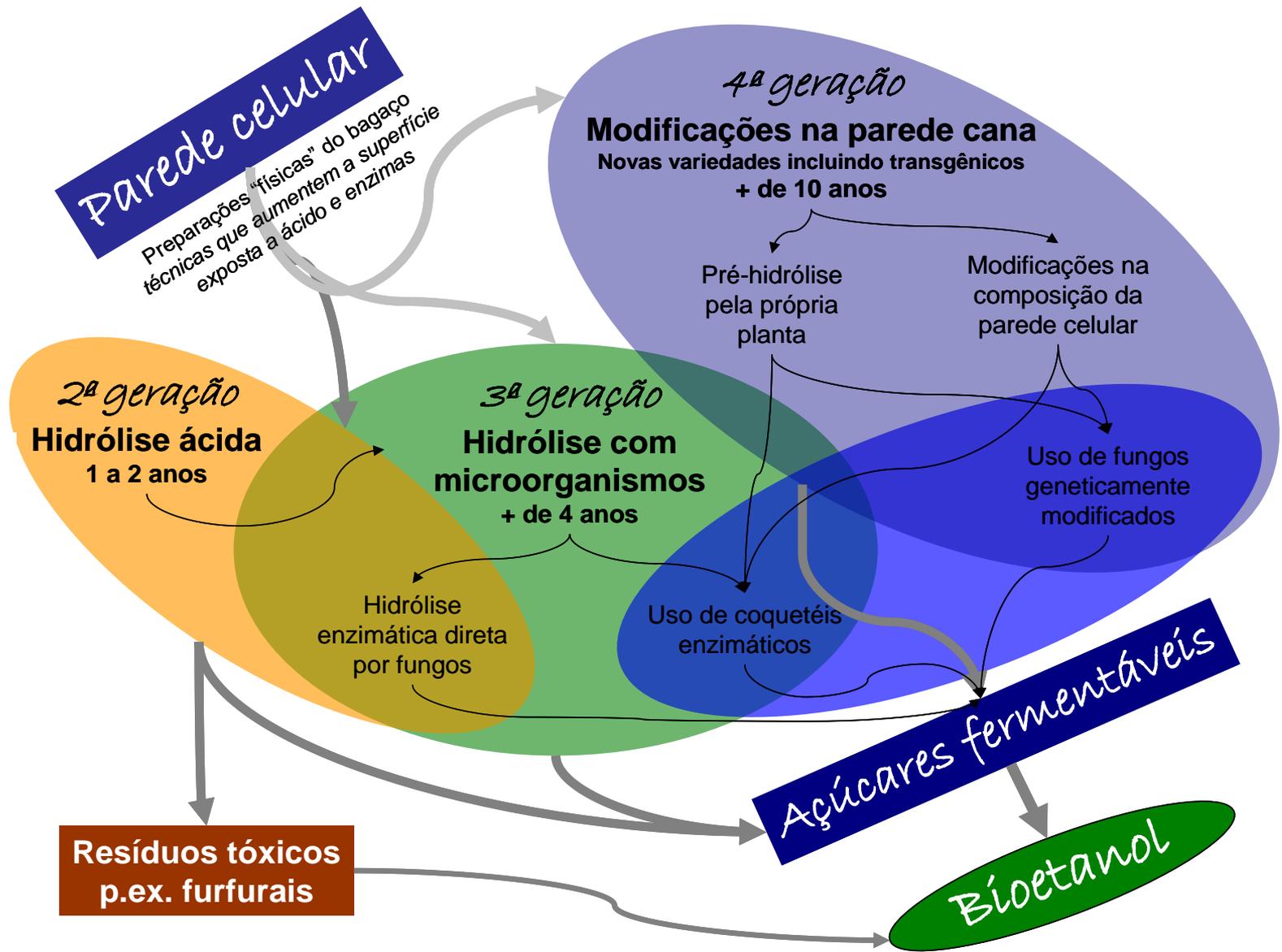
Pectina

Parede Secundária:

Celulose

Hemicelulose e

Lignina



PRODUTIVIDADE



**1 t Cana = 280kg Bagaço
(50% umidade)**

1 t Material Celulósico Seco \approx 260 a 300 Etanol

8 t Cana = 260 a 300 litros de Etanol Celulósico

POSSIBILIDADE

**Cana
Processada
 $680 \cdot 10^6$ t/ano**



**Bagaço Excedente
30%**



$51 \cdot 10^6$ t



CONVERSÃO EM ETANOL

51.10⁶ t/ano
Bagaço
Excedente



3,283.10¹¹ MJ = 51,4.10⁶



VALE TUDO!

Serragem

**Móvel
Velho**



**Papel
Amassado**



**Palha de
Arroz**



**Roupa
Rasgada**



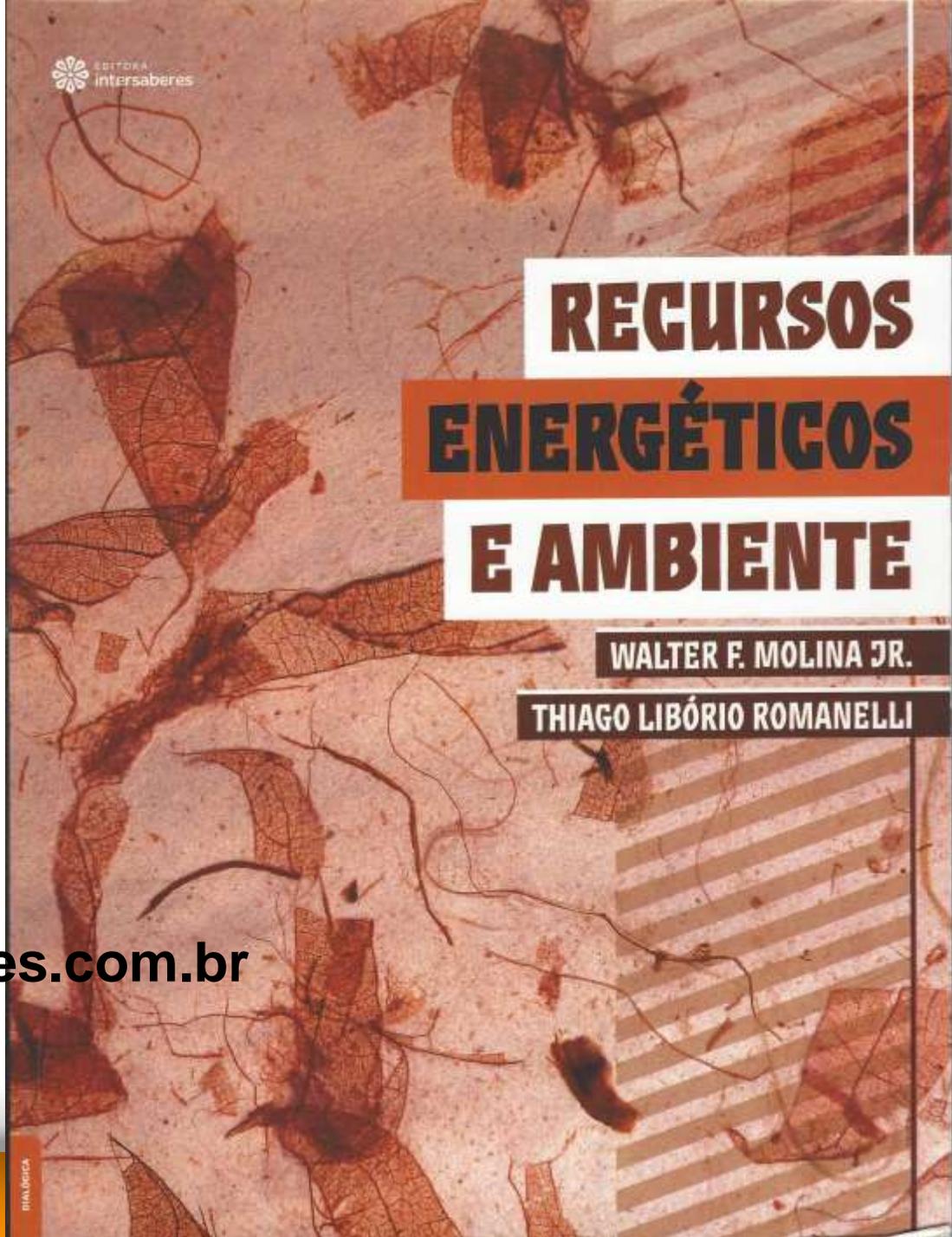
**Vassoura
Usada**



Bibliografia

**Editora Intersaberes
2015**

www.livrariaintersaberes.com.br



Afonso Jr, P.C., Oliveira F^o, D., Costa, D.R. Viabilidade Econômica da produção de lenha de eucalipto para secagem de produtos agrícolas. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.28-35, jan./abr. 2006

ANP. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2011. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/?pg=57890>. Acesso em 28/10/2011.

Buckeridge, M.S., Santos, W.D., Souza A.P. As rotas para o etanol celulósico no Brasil. Disponível em: <http://www.apta.sp.gov.br/cana/coletanea/Buckeridge%5B1%5D.doc>. Acesso em: 02/11/2011.

CANASAT. Mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da terra. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011. Disponível em <http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/>. Acesso em 26/10/2011.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar. Conab, Brasília, 2011. 19p.

IEA. Álcool: projeção da produção e exportação no período 2005/06 a 2015/16. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=4010>. Acesso em: 26/10/2011.

IndexMundi. Comparação entre países: consumo de petróleo. Disponível em: <http://www.indexmundi.com/g/r.aspx?v=91&l=pt>. Acesso em: 02/11/2011.

Inflationdata. Historical Crude Oil Prices. Disponível em: http://inflationdata.com/inflation/inflation_rate/Historical_Oil_Prices_Table.asp. Acesso em: 31/10/2011.

Pompermayer, R. S., Paula Junior, D. R. Estimativa do potencial brasileiro de produção de biogás através da biodigestão da vinhaça e comparação com outros energéticos. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas. **Proceedings online...** Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022000000200055&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 31/10/2011.

Ripoli, T.C.C.; Molina Jr, W.F., Ripoli, M.L.C.. Energetic potential of he sugar cane biomass in Brazil. **Rivista di Ingegneria Agraria**. n.1.p. 2-7. Bologna. 2000.

Ripoli, T. C., Molina Jr., W.F., Ripoli, M.L.C. Energy potential of sugar cane biomass in Brazil. **Sci. agric.**, Piracicaba, v. 57, n. 4, Dec. 2000 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162000000400013&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 30/10/2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162000000400013>.

Ripoli, T.C.C. & Ripoli, M.L.C. Biomassa de Cana-de-Açúcar: Colheita, Energia e Ambiente. Piracicaba, Ripoli, T.C.C. 2004. Cap. 4, 5, 8 e 9.

Salla, D.A. Análise energética de sistemas de produção de etanol de mandioca, cana-de-açúcar e milho. Botucatu, UNESP, 2008. (Tese de Doutorado). 168p.

Souza, Z.J., Azevedo, P.F. Geração de energia elétrica excedente no setor sucroalcooleiro: um estudo a partir das usinas paulistas. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, Brasília, v. 44, n. 2, Jun 2006 . Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032006000200002&lng=en&nrm=iso. Acesso em 26/10/2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-20032006000200002>.

Sturion, J.A., Pereira, J.C.D., Albino, J.C., Morita, M. Variação da densidade básica da madeira de doze espécies de *Eucalyptus plandadas em Uberaba, MG*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 14, p.28-38, jun. 1987.

THE WORLD BANK. Energy use. Disponível em: <http://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.PCAP.KG.OE>. Acesso em 30/10/2011.

Tolmasquim, M.T., Guerreiro, A., Gorini, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos estud. - CEBRAP**, São Paulo, n. 79, Nov. 2007 . Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-33002007000300003&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 25/10/2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-33002007000300003>.

UNICA. Disponível em: <http://www.unica.com.br/noticias/show.asp?nwsCode=%7B7E2BFB4F-7523-497E-AF98-EF308B737F3F%7D> . Acesso em: 25/10/2011.