

Organizador
Luís Augusto Barbosa Cortez

1975 - 2015

PROÁLCOOL 40 anos

Universidades e empresas: 40 anos de ciência e tecnologia
para o etanol brasileiro



Blucher

FAPESP

PROÁLCOOL 40 anos

Luís Augusto Barbosa Cortez (org.)

Carlos Henrique de Brito Cruz
Gláucia Mendes Souza
Heitor Cantarella
Marie-Anne van Sluys
Rubens Maciel Filho

**Universidades e empresas:
40 anos de ciência e tecnologia
para o etanol brasileiro**

Aviso

Esta é uma obra que foi realizada a partir do conhecimento dos autores e pessoas citadas no texto e de informações complementares trazidas de diversas fontes, inclusive da internet. Não se pretendeu, portanto, cobrir todo o assunto, mas somente o que nos pareceu serem os mais relevantes.

Os autores

Agradecimentos

Especiais agradecimentos a: Alfred Szwarc, André Furtado, Antonio Bonomi, Carlos Eduardo Vaz Rossell, Carlos Joly, Carlos Labate, Cylon Gonçalves, Eduardo Pereira de Carvalho, Fernando Landgraff, Francisco Nigro, Francisco Rosillo-Calle, Gonçalo Amarante Guimarães Pereira, Heloisa Lee Burnquist, Henrique Amorim, Henry Joseph Júnior, Isaías Macedo, Jaime Finguerut, José Goldemberg, José Luiz Olivério, José Roberto Moreira, José Roberto Postali Parra, Luiz Augusto Horta Nogueira, Márcia Azanha Ferraz Dias de Moraes, Manoel Regis Lima Verde Leal, Marco Aurélio Pinheiro Lima, Marcos Buckeridge, Marcos Guimarães de Andrade Landell, Nelson Ramos Stradiotto, Octavio Antonio Valsechi, Oscar Antonio Braunbeck, Paulo Mazzafera, Pedro Isamu Mizutani, Plínio Nastari, Raffaella Rossetto, Ricardo Baldassin Júnior, Rogério Cezar de Cerqueira Leite, Sérgio Salles, Sergio C. Trindade, Suani Coelho, Telma Franco, Ulf Schuchardt, Waldyr Luiz Ribeiro Gallo e William Burnquist pelas contribuições na revisão deste texto.

1. Antecedentes: perspectiva histórica

1532: a introdução da cana-de-açúcar no Brasil



Fonte: iStock.

(a)

A criação do Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA) por Getúlio Vargas e o início do uso de álcool na gasolina

- 1920 - fundação da Dedini
- 1950 - fundação da Codistil Dedini
- 1950 - fundação da Zanini.



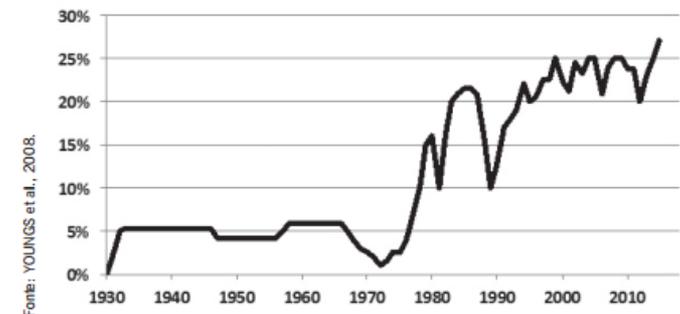
Fonte: AEA, 2014.

Figura 4: Ford modelo T, primeiro flex.



Fonte: Wikimedia Commons.

Figura 6: Getúlio Vargas.



Fonte: YOUNGS et al., 2008.

Figura 7: Teor de etanol na gasolina brasileira entre 1930 e 2010.

2. Da criação ao fim do Proálcool

1973: primeiro choque do petróleo

14 de novembro de 1975: o governo brasileiro cria o Proálcool



Fonte: cortesia de Alyne Bautista.

Figura 10: José Walter Bautista Vidal.



Fonte: cortesia da Petrobras.

Figura 11: Ministro Shigeaki Ueki abastece um carro a álcool.



Fonte: GORDINHO, 2010.

Figura 12: Fernando dos Reis, Lair Antonio de Souza, Maurílio Biagi e Lamartine Navarro Júnior com o Presidente Geisel em 1974.

1963: criação da Sociedade de Técnicos Açucareiros Alcooleiros do Brasil (STAB)

1969: criação do Centro de Tecnologia Copersucar (CTC)

1971: criação do Planalsucar

1978: criação da estação de hibridização de Camamu, Bahia, do Centro de Tecnologia Copersucar



Fonte: cortesia de Jaime Figueiredo.

Figura 18: Estação experimental de Camamu, Bahia.

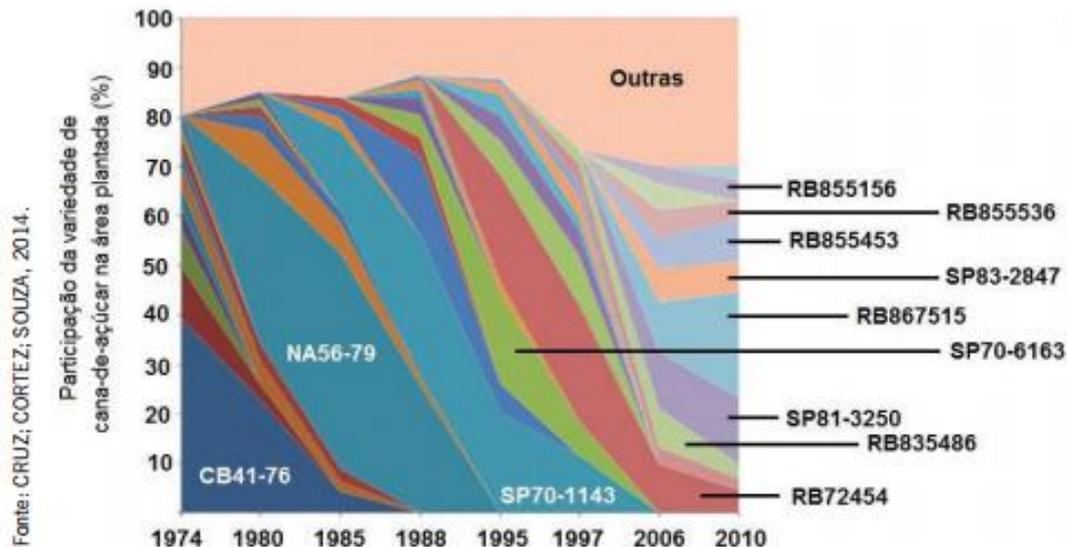


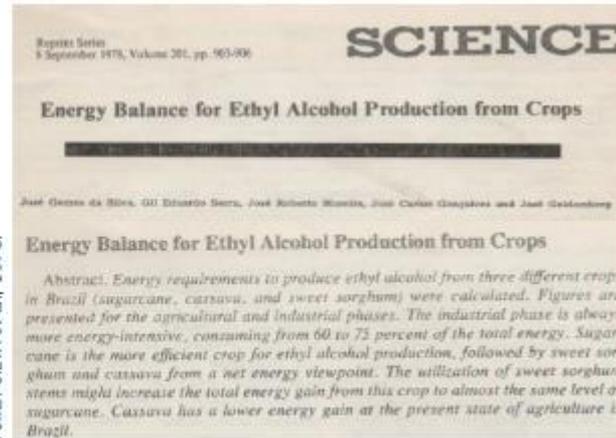
Figura 13: Uso crescente de variedades comerciais de cana-de-açúcar de 1974 a 2010 no Brasil.

1977: primeira publicação sobre balanço energético do álcool



Fonte: EcoD, 2016.

Figura 14: José Goldemberg.



Fonte: SILVA et al., 1978.

Figura 15: Artigo científico pioneiro tratando o balanço energético do etanol de cana-de-açúcar.

Desenvolvimento de motores (álcool e flex-fuel)



Fonte: AETA, 2016.

Figura 16: Urbano Ernesto Stumpf.



Fonte: cortesia da Volkswagen Brasil.

Fonte: cortesia da Volkswagen Brasil.

Fonte: cortesia de Eugênio Coelho.

Figuras 20a, 20b e 20c: Em 1979, montadoras de veículos entraram num acordo com o governo brasileiro para a produção de veículos a álcool no Brasil (Gordinho, 2010).

Fonte: Brasil Açucareiro, 1970.

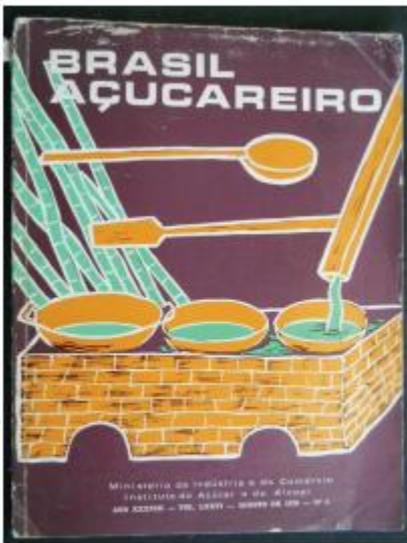


Figura 32: *Brasil Açucareiro* (edição de 1970).

Fonte: CGEE; BNDES, 2008.



Figura 17: BNDES publica *Bioetanol de Cana-de-Açúcar*.

Fonte: ANA et al., 2009.

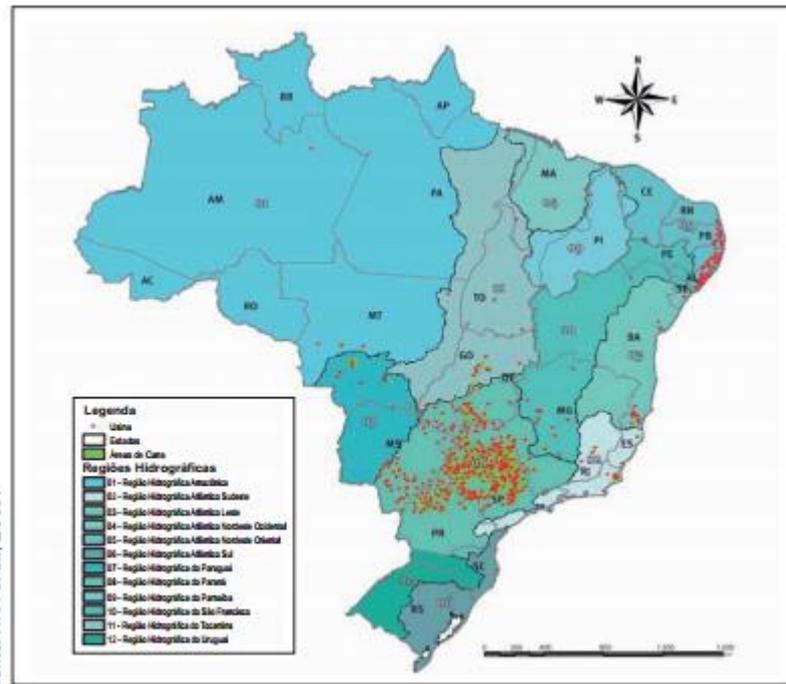


Figura 28: Localização das usinas no Brasil e no estado de São Paulo.

Fonte: cortesia de Luiz Augusto Horta Nogueira.



Figura 137: Luiz Augusto Horta Nogueira.

1975-1983: a evolução da tecnologia industrial da produção de álcool



Fonte: cortesia de Henrique Vianna de Amorim.

Figura 22: Henrique Vianna de Amorim.

1980: Amorim, da ESALQ/USP, desenvolve com a empresa Zanini o Sistema Zanifloc

1979-1987: avançam as pesquisas do IPT sobre o etanol



Fonte: cortesia de Francisco Nigro.

Figura 45: Francisco Nigro.



Fonte: ESALQ, 2016.

Figura 26: Nadir Almeida da Glória.



Fonte: cortesia de Jaime Finguerut.

Figura 27: Fertirrigação com vinhaça.

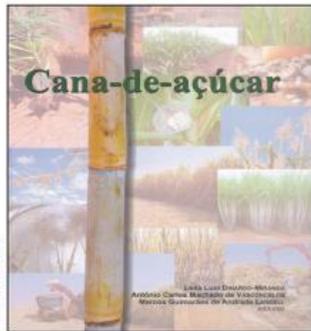
Uso da vinhaça como fertilizante (fertirrigação)

3. 1985-2003: estagnação, crise e crescimento

1989: maior crise do Proálcool⁵, faltou álcool...

1992: extinção do IAA e desregulamentação do setor sucroalcooleiro

1994: Criado o Programa Cana IAC, da APTA



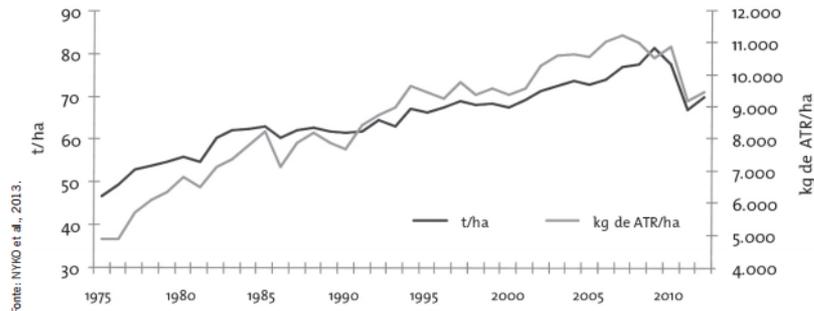
Fonte: DINARDO-MIRANDA; VASCONCELOS; LANDELL, 2008.

Figura 33: Livro *Cana-de-açúcar*, publicado em 2008 pelo Centro Cana.



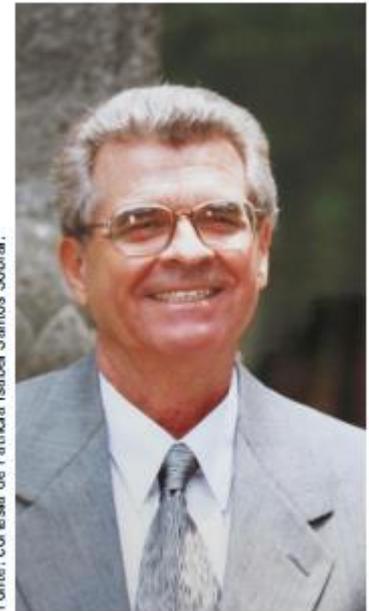
Fonte: Portal JornalCana, 2016.

Figura 77: Foto aérea do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) em Piracicaba.



Fonte: NYKO et al., 2013.

Figura 34: Evolução da produtividade agrícola da cana-de-açúcar entre 1975 e 2010 no Brasil.



Fonte: cortesia de Patrícia Isabel Santos Sobral.

Figura 31: Manoel Sobral Júnior.

A contribuição da pesquisa desenvolvida pelas empresas

Fonte: cortesia de José Olivério.



Figura 38: José Luiz Olivério (Dedini).

Fonte: cortesia de Jaime Finguerut.



Figura 39: Jaime Finguerut (CTC).



Fonte: cortesia de José Olivério.

Figura 41: Usina Sustentável Dedini (USD, a usina 6 Bios).

1996: criação do Cenbio

Fonte: cortesia de Colombo Celso Galletta Tassinari.



Figura 42: Cenbio.

Fonte: cortesia de Colombo Celso Galletta Tassinari.



Figura 43: Grupo de pesquisa em bioenergia do IEE/USP.

Pagamento da cana pela qualidade

Anos 2000

Fim das queimadas de cana-de-açúcar

Fonte: iStock.

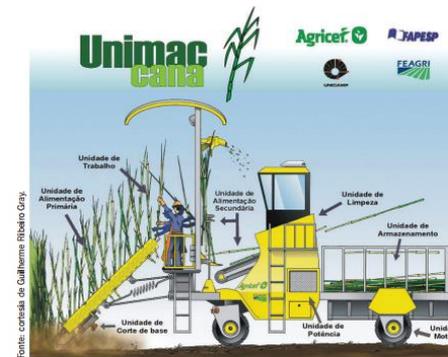


Figura 49: Colheita mecanizada de cana-de-açúcar, sem queima.

Fonte: cortesia de Suani Coelho.



Figura 44: Suani Coelho.



Fonte: cortesia de Guilherme Ribeiro Gray.

Figura 50: Projeto Unimac desenvolvido como sistema "semimecanizado" de colheita de cana-de-açúcar.

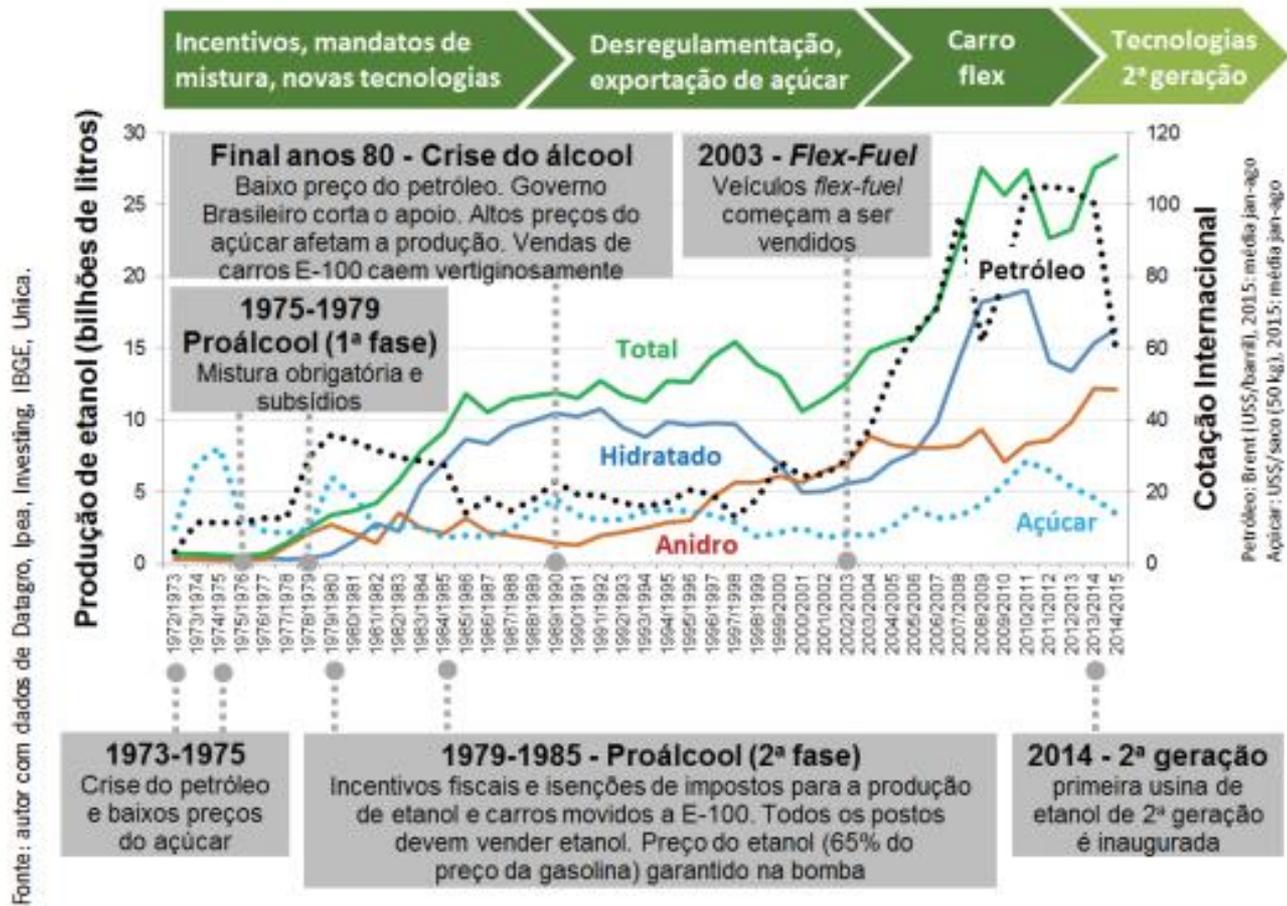


Figura 46: Fases do Proálcool 1972-2015.

Fonte: GOLDEMBERG et al., 2004.

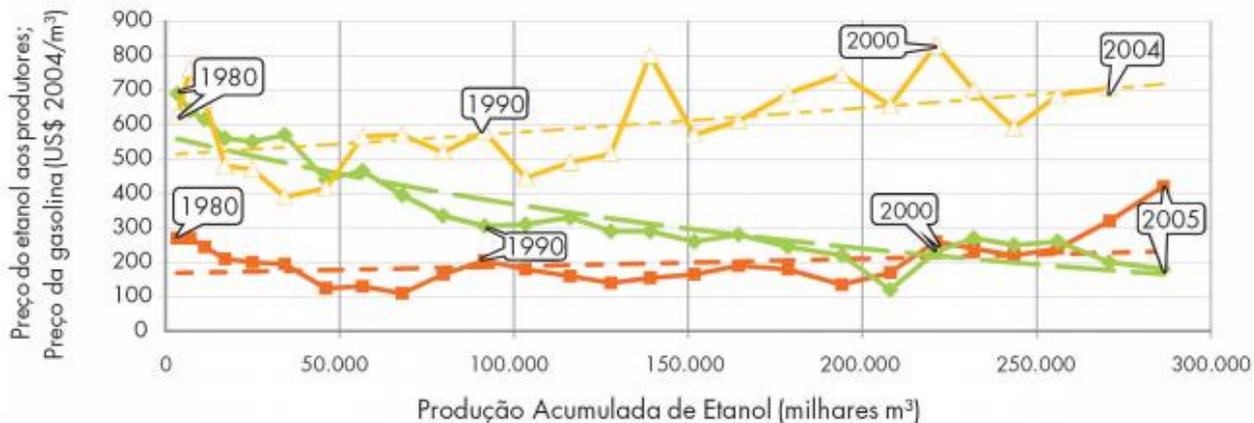


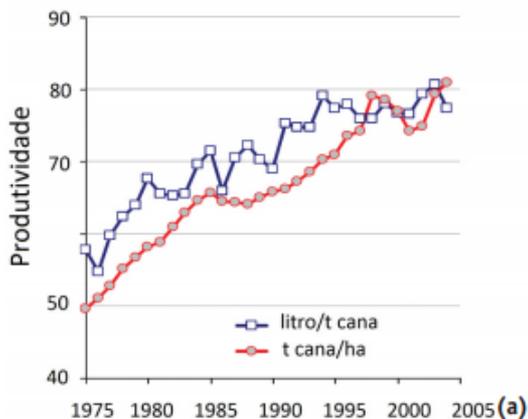
Figura 52: Curva de aprendizado do etanol de cana-de-açúcar no Brasil. Verde, preço do etanol BR; amarelo, preço da gasolina BR; laranja, preço da gasolina Rotterdam.

Fonte: FAPESP, 2016.

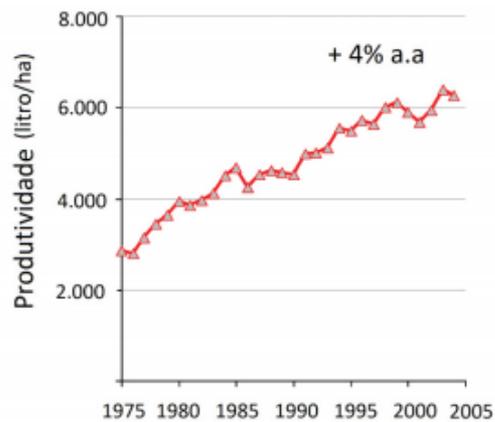


Figura 47: Brasil líder mundial em conhecimento e tecnologia de cana e etanol, uma publicação da Fapesp.

Fonte: CRUZ, 2010.



Fonte: CORTEZ, 2010.



Figuras 53a e 53b: Evolução da produtividade agroindustrial do etanol de cana-de-açúcar no Brasil de 1975 a 2010

Fonte: CORTEZ, 2014a.

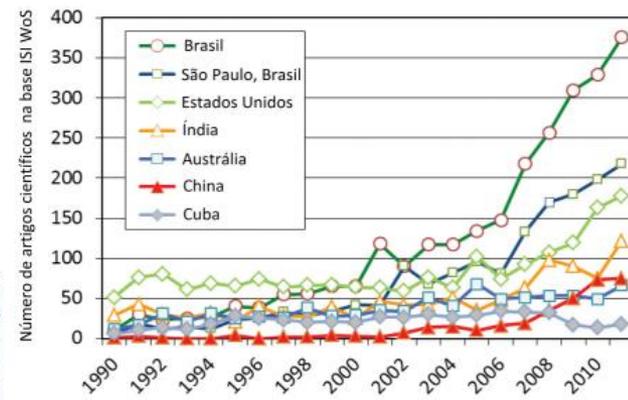


Figura 48: Evolução do número dos artigos científicos citados no ISI WoS em cana-de-açúcar nos principais países produtores de açúcar.

Sustentabilidade na produção do etanol

Fonte: Portal Jornal Cama, 2016.



Figura 57: Isaías Macedo.

Fonte: Universo Agro, 2016.



Figura 58: José Paulo Stupiello.

Fonte: cortesia de Márcia Azanha Ferraz Dias de Moraes.



Figura 122: Márcia Azanha Ferraz Dias de Moraes.

A contribuição do uso do etanol combustível sobre a saúde da população nas grandes cidades brasileiras

Fonte: Pesquisa Médica, 2016.



Figura 60: Paulo Saldiva.

Fonte: Datagro Conferences, 2016.



Figura 61: Alfred Szwarc.

Fonte: cortesia da Unica.

unica

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR

ETANOL • AÇÚCAR • ENERGIA SÃO PAULO • BRASIL

Figura 113: União da Indústria de Cana-de-Açúcar (Unica).



Figura 63: Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar no Brasil.

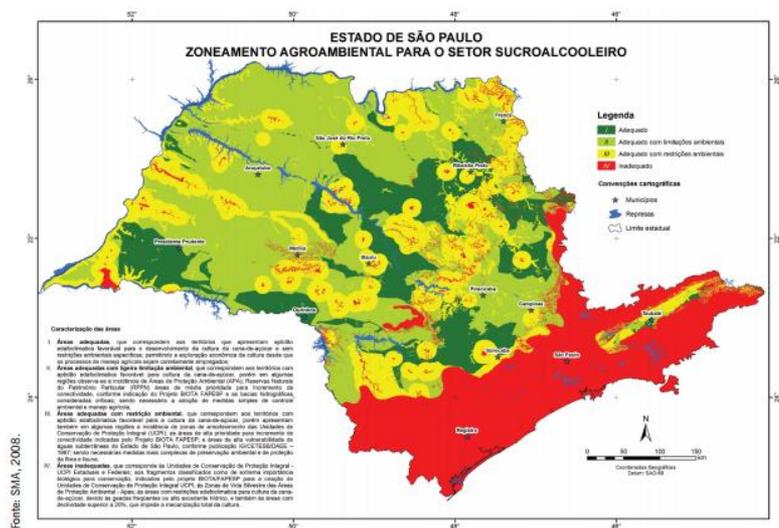


Figura 64: Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar no estado de São Paulo.

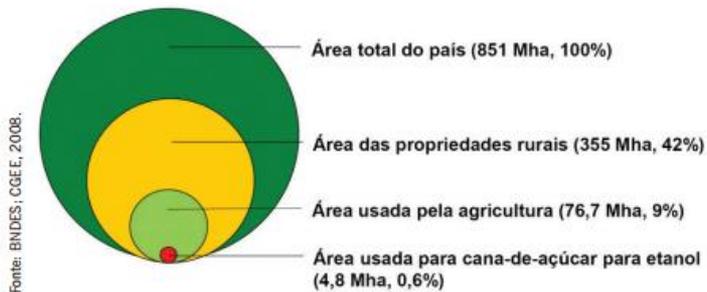


Figura 65: Na produção de etanol de cana-de-açúcar no Brasil utiliza apenas 0,6% da área total do país.

4. O século XXI

2003: a introdução dos carros modelo FFV (*flex-fuel vehicle*)



Figura 75: Gol *flex-fuel* da Volkswagen.



Figura 76: Sonda lambda Magneti Marelli.

Início das pesquisas com hidrólise



Fonte: cortesia de Vera Gerez.

Figura 19: José Carlos Campana Gerez.

Criação da Rede Bioetanol



Can Brazil replace 5% of the 2025 gasoline world demand with ethanol?

Rogério Cezar de Cerqueira Leite^{a,*}, Manoel Regis Lima Verde Leal^b, Luís Augusto Barbosa Cortez^{3,c}, W. Michael Griffin^d, Mirna Ivonne Gaya Scandiffio⁹

^a Interdisciplinary Center for Energy Planning—NPE, State University of Campinas—UNICAMP, P.O. Box 6192, CEP 13083-970, Campinas, São Paulo, Brazil
^b Alternative Energies and Environment Center—CENEA, Av. Dom Luís 500, Sala 1610, Bairro Melhores, CEP 60160-230, Fortaleza, Ceará, Brazil
^c School of Agricultural Engineering—FEAGRI, State University of Campinas—UNICAMP, P.O. Box 6011, CEP 13083-970 Campinas, São Paulo, Brazil
^d Green Design Institute, Tepper School of Business/Engineering and Public Policy, Carnegie Mellon University, 5000 Forbes Ave., Pittsburgh, PA, USA

ARTICLE INFO

Article history:
 Received 12 November 2007
 Available online 21 December 2008

Keywords:
 Fuel ethanol
 Brazilian potential
 Research and development
 New technologies
 Sugarcane

ABSTRACT

Increasing use of petroleum, coupled with concern for global warming, demands the development and institution of CO₂ reducing, non-fossil fuel-based alternative energy-generating strategies. Ethanol is a potential alternative, particularly when produced in a sustainable way as is envisioned for sugarcane in Brazil. We consider the expansion of sugarcane-derived ethanol to displace 5% of projected gasoline use worldwide in 2025. With existing technology, 21 million hectares of land will be required to produce the necessary ethanol. This is less than 7% of current Brazilian agricultural land and equivalent to current soybean land use. New production lands come from pasture made available through improving pasture management in the cattle industry. With the continued introduction of new cane varieties (annual yield increases of about 1.6%) and new ethanol production technologies, namely the hydrolysis of bagasse to sugars for ethanol production and sugarcane trash collection providing renewable process energy production, this could reduce these modest land requirements by 29–38%.

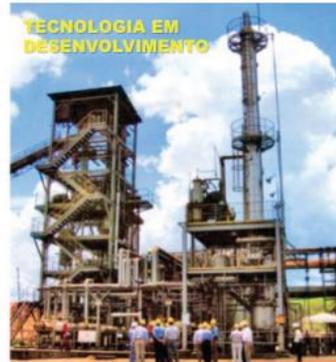
© 2008 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Fonte: LEITE et al., 2009.

Figura 79: Artigo “Can Brazil replace 5% of the 2025 gasoline world demand with ethanol?”

O DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA DHR-DEDINI HIDRÓLISE RÁPIDA

A UNIDADE SEMI INDUSTRIAL - 5.000 L/DIA



Fonte: cortesia de José Olivério.

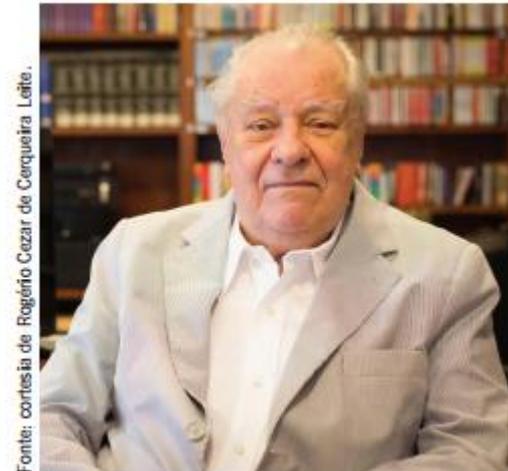
COLUNA DE RECUPERAÇÃO DO SOLVENTE (ETANOL QUE RECIRCULA) E DE SEPARAÇÃO DOS PRODUTOS DA HIDRÓLISE
 COLETA DOS PRODUTOS DA DESTILAÇÃO: HIDROLISADO E LIGNINA



FERMENTAÇÃO E DESTILAÇÃO: UTILIZADAS AS INSTALAÇÕES EXISTENTES

HOJE: PLANTA SEMI-INDUSTRIAL EM FASE DE OPERAÇÃO CONTÍNUA, A FIM DE CONCLUIR A DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE ENGENHARIA QUE SERÃO UTILIZADOS PARA O DIMENSIONAMENTO DE UMA PLANTA EM ESCALA INDUSTRIAL.

Figura 37: A Planta DHR de desenvolvimento de processo 5 mil L/dia.



Fonte: cortesia de Rogério Cezar de Cerqueira Leite.

Figura 78: Rogério Cezar de Cerqueira Leite.

Fonte: CNPq, 2016.



Figura 81: Marco Aurélio Pinheiro Lima.

Fonte: cortesia do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol.



Figura 82: Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE).

Fonte: cortesia de Oscar Braunbeck.



Figura 84: Estrutura de Tráfego Controlado (ETC).

Fonte: cortesia de Carlos Vaz Rossell.



(a)

Fonte: cortesia de Antonio Bonomi.



(b)

Fonte: cortesia de Oscar Braunbeck.



(c)

Figura 85: Atuais coordenadores de programas de pesquisa do CTBE: (a) Carlos Vaz Rossell, (b) Antonio Bonomi e (c) Oscar Braunbeck.

Fonte: cortesia de Regis Leal.

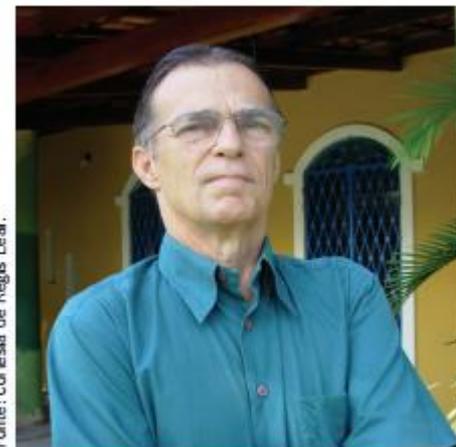


Figura 87: Manoel Regis Lima Verde Leal.

2006: o Ministério da Agricultura e Abastecimento (MAPA) cria o Centro de Agroenergia da Embrapa

O ônibus a etanol começa a rodar em São Paulo

Fonte: cortesia de José Roberto Moreira.



Figura 93: Ônibus a etanol em São Paulo.

Fonte: cortesia de José Roberto Moreira.



Figura 94: José Roberto Moreira.

Fonte: cortesia de Roberto Rodrigues.



Figura 90: Roberto Rodrigues.



Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020

Isaias C. Macedo^{a,*}, Joaquim E.A. Seabra^b, João E.A.R. Silva^c

^aInterdisciplinary Center for Energy Planning (CIEP), State University of Campinas (Unicamp), CEP 13084-071, Campinas, SP, Brazil
^bCollege of Mechanical Engineering, State University of Campinas, Cidade Universitária "Zeferino Vaz", CEP 13083-970, Bunka Gerais, Campinas SP, Brazil
^cCentro de Tecnologia Celuloseira (CTC), CEP 13000-080, Piracicaba, SP, Brazil

Fonte: MACEDO, SEABRA, SILVA, 2008.

ARTICLE INFO

Article history
 Received 13 April 2007
 Received in revised form 27 November 2007
 Accepted 7 December 2007
 Available online 14 January 2008

Keywords:
 Energy balance
 CO₂
 Nitrous oxide
 Methane
 Fertilizers
 Diesel consumption
 Cane residues
 Trash burning
 Avoided emissions
 Ethanol blends

ABSTRACT

This work presents the evaluation of energy balance and GHG emissions in the production and use of fuel ethanol from cane in Brazil for 2005/2006 (as a example of maize processing up to 100 million tons of sugarcane per year), and for a conservative scenario proposed for 2020. Total energy ratio was 9.3 for 2005/2006 and may reach 11.4 in 2020 with technologies already commercial. For dryhrous ethanol production the total GHG emission was 436 kg CO₂-eq m⁻³ ethanol for 2005/2006, decreasing to 345 kg CO₂-eq m⁻³ in the 2020 scenario. Avoided emissions depend on the fuel use: for E100 use in Brazil they were (in 2005/2006) 2185 kg CO₂-eq m⁻³ ethanol, and for E20 they were 2322 kg CO₂-eq m⁻³ ethanol (petroleum). Both values would increase about 20% for the conditions assumed for 2020 mostly due to the large increase in sales of electricity supplies.

A sensitivity analysis has been performed (with 2005/2006 values) to investigate the impact of the huge variation of some important parameters throughout Brazilian mills on the energy and emissions balance. The results have shown the high impact of cane productivity and ethanol yield variation on these balances (and the impacts of average cane transportation distance, level of soil cultivation, and some others) and of bagasse and electricity supplies on GHG emissions avoidance.

© 2008 Elsevier Ltd. All rights reserved.

2008

Publicação de artigo sobre a produção e uso de etanol e as emissões de GEE

Figura 95: Artigo científico sobre as emissões de GEE do etanol de cana-de-açúcar.

Criação do Programa de Pesquisas em Bioenergia (BIOEN) pela Fapesp

Fonte: cortesia de BIOEN/FAPESP.



Figura 96: Programa BIOEN, da Fapesp.

Fonte: cortesia de Carlos Henrique de Brito Cruz.



Figura 97: Carlos Henrique de Brito Cruz.

Fonte: SOUZA et al., 2008.

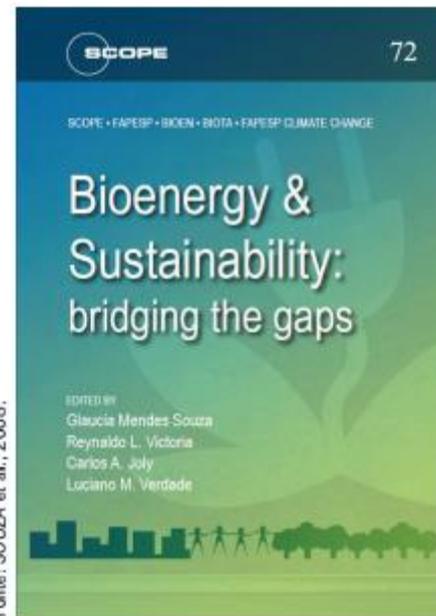


Figura 146: Relatório Scope.

Fonte: cortesia de Gláucia Mendes Souza.



(a)

Fonte: cortesia de Rubens Maciel Filho.



(b)

Fonte: cortesia de Heitor Cantarella.



(c)

Fonte: cortesia de Marie-Anne van Sluys.



(d)

Fonte: cortesia de André M. Nassar.



Figura 92: André M. Nassar.

Figura 100: Fotos dos atuais coordenadores do Programa de Bioenergia da Fapesp – BIOEN: (a) Gláucia Mendes Souza, (b) Rubens Maciel Filho, (c) Heitor Cantarella e (d) Marie-Anne van Sluys.

O início do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) do Bioetanol



Fonte: cortesia de Gláucia Mendes Souza.

Figura 101: Grupo de pesquisadores que deram início ao INCT do Bioetanol em 2008.



Fonte: cortesia de Marcos Silveira Buckeridge.

Figura 102: Marcos Silveira Buckeridge.

A criação do Centro Paulista de Bioenergia (SPBioenRC)



Fonte: cortesia da SPBioenRC.

Figura 104: Centro Paulista de Pesquisa em Bioenergia.



Fonte: cortesia de Carlos Labate.

(a)



Fonte: cortesia de Andreas Gombert.

(b)



Fonte: cortesia de Nelson Stradiotto.

(c)

Figura 105: Fotos dos atuais coordenadores do Programa Integrado de Pós-Graduação em Bioenergia: (a) Carlos Labate, da USP, (b) Andreas Gombert, da Unicamp e (c) Nelson Stradiotto, da Unesp.

2010

Biocombustíveis de 3G

Fonte: cortesia de Telma Franco.



Figura 107: Telma Franco.

Fonte: cortesia de Marcus Carmo.



Figura 111a: Cana energia desenvolvida no projeto Granbio.

Fonte: cortesia de Marcus Carmo.



Figura 111b: Projeto Granbio, primeira planta de etanol celulósico do Brasil.

Ações da Associação Brasileira do Agronegócio (ABAG)



Figura 116: Sergio C. Trindade.



Figura 115: Luiz Carlos Corrêa Carvalho.

O International Symposium on Alcohol Fuels (ISAF)



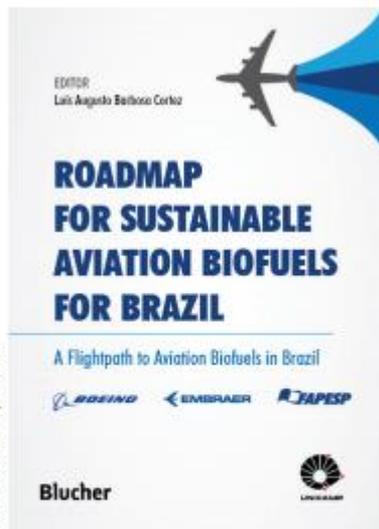
Figura 117: Locais onde aconteceram os simpósios do ISAF.



Figura 114: Plínio Nastari.

Ações da Datagro

5. Acontecimentos recentes e desafios para o futuro



Fonte: CORTEZ, 2014b.

Figura 118: Livro do Projeto PITE/Fapesp Boeing Embraer.

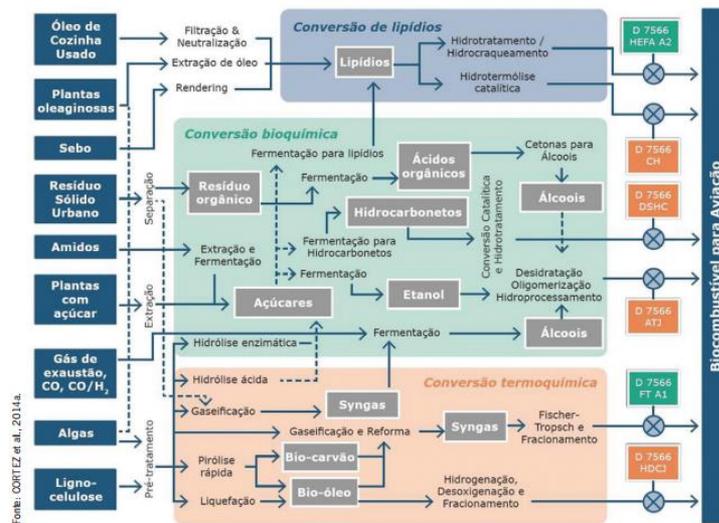


Figura 119: Rotas para a produção de biocombustíveis para a aviação.

Fonte: cortesia de BOEN/FAPESP.



(a)

Fonte: cortesia da Sociedade de Bioenergia.



SBE
Sociedade de Bioenergia

(b)

Figuras 120a e 120b: BBEST e Sociedade de Bioenergia.

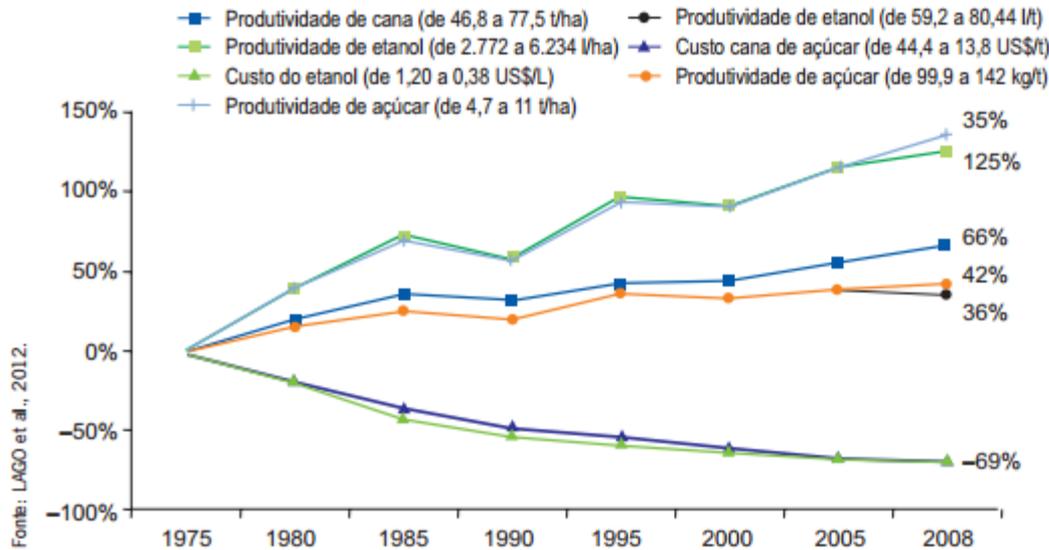


Figura 124: Crescimento da produtividade e redução dos custos de produção da cana-de-açúcar, etanol e açúcar no Brasil, de 1975 a 2008.

A internacionalização da cooperação científica para a bioenergia



Fonte: cortesia de Francisco Rosillo-Calle.

Figura 134: Francisco Rosillo-Calle.



Fonte: cortesia de Peter Smyth.

Figura 135: David Hall.



Fonte: cortesia de Helena Chum.

Figura 136: Helena Chum.



Fonte: cortesia de Semida Silveira.

Figura 138: Semida Silveira.



Fonte: cortesia de Guido Zacchi.

Figura 139: Guido Zacchi.



Fonte: cortesia de Lee Lynd.

Figura 140: Lee Lynd.



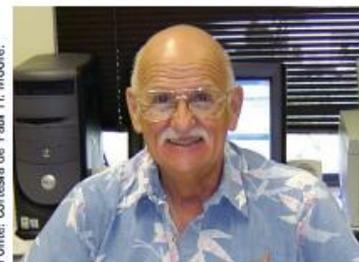
Fonte: cortesia de Patricia Osseweijer.

Figura 143: Patricia Osseweijer.



Fonte: cortesia de Luuk van der Wielen.

Figura 144: Luuk van der Wielen.



Fonte: cortesia de Paul H. Moore.

Figura 145: Paul H. Moore.

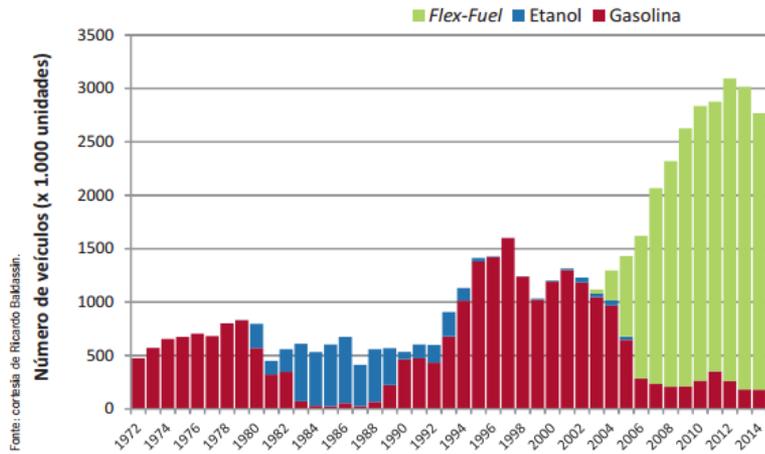


Figura 128: Evolução dos veículos leves no Brasil quanto ao tipo de combustível utilizado.

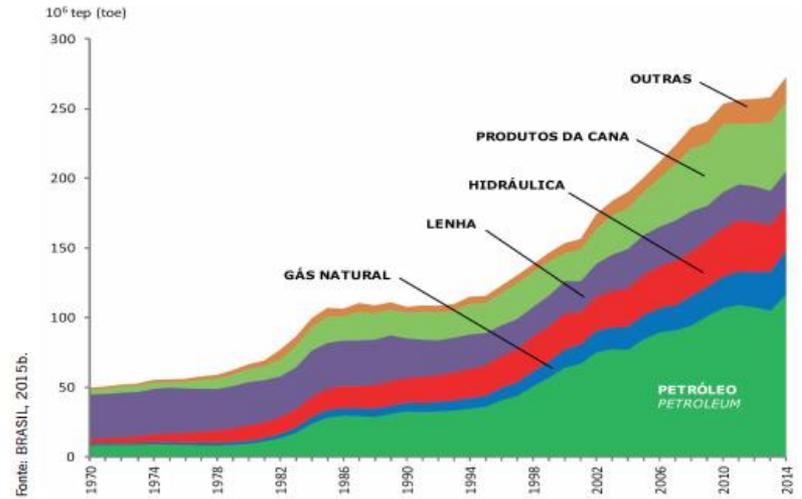


Figura 129: Participação das fontes primárias na matriz energética brasileira.

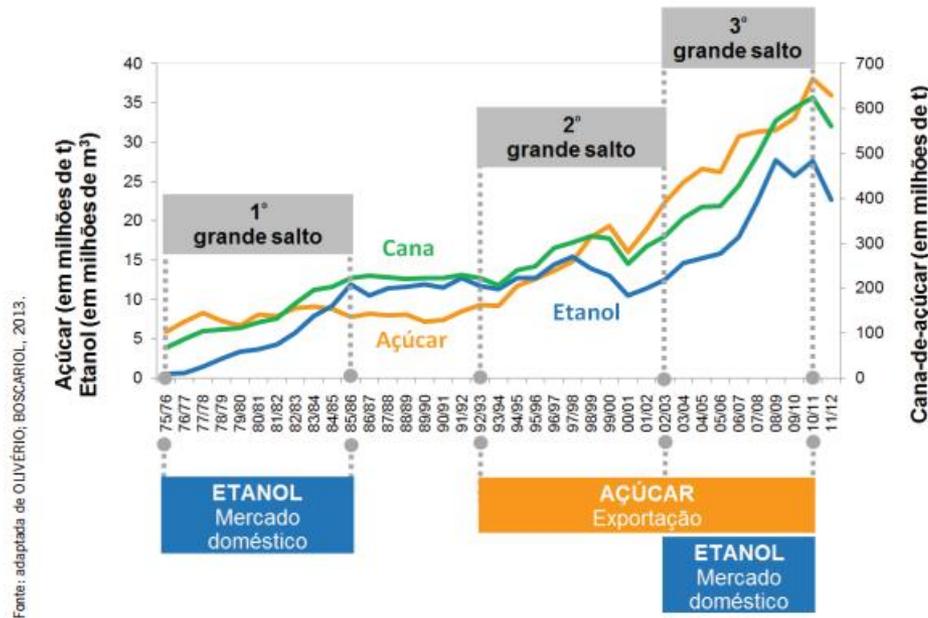


Figura 147: Evolução da produção brasileira de cana, açúcar e etanol e os motivos dessa expansão.

Organizador
Luís Augusto Barbosa Cortez

1975 - 2015

PROÁLCOOL 40 anos

Universidades e empresas: 40 anos de ciência e tecnologia
para o etanol brasileiro



Blucher

FAPESP

PROÁLCOOL 40 anos

Luís Augusto Barbosa Cortez (org.)

Carlos Henrique de Brito Cruz
Gláucia Mendes Souza
Heitor Cantarella
Marie-Anne van Sluys
Rubens Maciel Filho

**Universidades e empresas:
40 anos de ciência e tecnologia
para o etanol brasileiro**