

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Informática Agropecuária  
Embrapa Agrobiologia  
Embrapa Solos  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos

Volume 1

*Fábio Cesar da Silva  
Bruno Jose Rodrigues Alves  
Pedro Luiz de Freitas*

Editores Técnicos

**Embrapa**  
*Brasília, DF*  
2015

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Informática Agropecuária**

Av. André Tosello, no 209  
Campus da Unicamp, Barão Geraldo  
Caixa Postal 6041  
CEP 13083-886 Campinas, SP  
Fone: (19) 3211-5700  
Fax: (19) 3211-5754  
www.embrapa.br  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

**Embrapa Agrobiologia**

Rodovia BR-465, Km 7 (antiga Rodovia  
Rio/São Paulo)  
Bairro Ecologia  
Caixa Postal 74.505  
CEP 23891-000 Seropédica, RJ  
Fone: (21) 3441-1500  
Fax: (21) 2682-1230  
www.embrapa.br  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

**Embrapa Solos**

Rua Jardim Botânico, nº 1.024  
Bairro Jardim Botânico  
CEP 22460-000 Rio de Janeiro, RJ  
Fone: (21) 2179-4500  
Fax: (21) 2179-5291  
www.embrapa.br  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

**Unidade responsável pelo conteúdo**

Embrapa Informática Agropecuária  
Embrapa Agrobiologia  
Embrapa Solos

**Embrapa Informação Tecnológica**

Parque Estação Biológica (PqEB)  
Av. W3 Norte (Final)  
70770-901 Brasília, DF  
Fone: (61) 3448-4236  
Fax: (61) 3448-2494  
www.embrapa.br/livraria  
livraria@embrapa.br

**Unidade responsável pela edição**

Embrapa Informação Tecnológica

**Coordenação editorial**

*Selma Lúcia Lira Beltrão*  
*Lucilene Maria de Andrade*  
*Nilda Maria da Cunha Sette*

**Supervisão editorial**

*Erika do Carmo Lima Ferreira*  
*Wyviane Carlos Lima Vidal*

**Revisão de texto**

*Corina Barra Soares*  
*Francisca Elijani do Nascimento*  
*Maria Cristina Ramos Jubé*

**Normalização bibliográfica**

*Luisa Veras de Sandes Guimarães*  
*Marcia Maria Pereira de Souza*

**Projeto gráfico, editoração eletrônica,**

**tratamento das ilustrações e capa**  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

**Fotos da capa**

*Bruno Jose Rodrigues Alves*

**1ª edição**

1ª impressão (2015): 1.500 exemplares

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,  
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Informação Tecnológica

Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de  
energia e alimentos / Fábio Cesar da Silva, Bruno Jose Rodrigues Alves, Pedro  
Luiz de Freitas, editores técnicos. – Brasília, DF : Embrapa, 2015.

2 v. [v. 1 (586 p.)] : il. color. ; 16 cm x 22 cm.

ISBN 978-85-7035-513-3

1. Bioenergia. 2. Produção agrícola. 3. Mecanização agrícola. 4. *Saccharum  
officinarum*. I. Silva, Fábio Cesar da. II. Alves, Bruno Jose Rodrigues. III. Freitas,  
Pedro Luiz de. IV. Embrapa Informática Agropecuária. V. Embrapa Agrobiologia.  
VI. Embrapa Solos.

CDD 633.61

© Embrapa, 2015

## Editores técnicos

### **Fábio Cesar da Silva**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

### **Bruno Jose Rodrigues Alves**

Agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ

### **Pedro Luiz de Freitas**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

### **Antonio Celso Joaquim**

Engenheiro-agrônomo, mestre em Engenharia Agrícola, pesquisador e consultor do Centro de Tecnologia Canavieira, Piracicaba, SP

### **Antônio Márcio Buainain**

Economista, doutor em Economia, professor livre docente da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP

### **Arnaldo José Raizer**

Engenheiro-agrônomo, mestre em Genética e Melhoramento de Plantas, gerente de seleção varietal do Centro de Tecnologia Canavieira, Piracicaba, SP

### **Aryeverton Fortes de Oliveira**

Economista, doutor em Economia Aplicada, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

### **Bárbara Andrade Dias**

Bióloga, mestre em Botânica, analista da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF

### **Caroline Nascimento Pereira**

Economista, mestre em Desenvolvimento Econômico, doutoranda em Desenvolvimento Econômico no Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP

### **Décio Barbin**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Estatística e Experimentação Agronômica, professor titular da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq/USP), Piracicaba, SP

## Autores

### **Adilson Kenji Kobayashi**

Biólogo, doutor em Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF

### **Alexandre Camargo Coutinho**

Biólogo, doutor em Ciências Ambientais, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

### **Alexandre de Castro**

Físico, doutor em Biomatemática, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

### **André Pereira de Godoy**

Engenheiro eletricitista, mestre em Engenharia Elétrica, engenheiro de instrumentação e controle da Eletrobras Eletronuclear, Angra dos Reis, RJ

**Djalma Euzébio Simões Neto**  
Engenheiro-agrônomo, doutor em  
Ciência do Solo, coordenador da Estação  
Experimental de Cana-de-açúcar do  
Carpina da Universidade Federal Rural  
de Pernambuco, Carpina, PE

**Eder Gustavo Dias dos Santos**  
Engenheiro-agrônomo, mestre em  
Genética e Melhoramento de Plantas,  
diretor da Vignis S.A., Santo Antônio de  
Posse, SP

**Edgar Gomes Ferreira de Beauclair**  
Engenheiro-agrônomo, doutor em  
Solos e Nutrição de Plantas, professor  
da Escola Superior de Agricultura Luiz  
de Queiroz (Esalq/USP), Piracicaba, SP

**Elísio Contini**  
Economista-agrícola, doutor em  
Economia Pública, pesquisador  
da Secretaria de Inteligência e  
Macroestratégia da Embrapa, Brasília,  
DF

**Fábio Cesar da Silva**  
Engenheiro-agrônomo, doutor  
em Solos e Nutrição de Plantas,  
pesquisador da Embrapa Informática  
Agropecuária, Campinas, SP

**Fernando Cesar Bertolani**  
Engenheiro-agrônomo, doutor em  
Engenharia Agrícola, pesquisador  
do Centro de Tecnologia Canavieira,  
Piracicaba, SP

**Fernando José Freire**  
Engenheiro-agrônomo, doutor em  
Solos e Nutrição de Plantas, professor  
associado da Universidade Federal  
Rural de Pernambuco, Recife, PE

**Guilherme Rossi Machado Junior**  
Engenheiro-agrônomo, mestre em  
Produção Vegetal, diretor da G. Rossi  
Consultoria e Representações SC Ltda.,  
Piracicaba, SP

**Henrique Dantas Neder**  
Engenheiro mecânico, doutor em  
Economia, professor titular do Instituto  
de Economia da Universidade Federal  
de Uberlândia (UFU), Uberlândia, MG

**Hugo Bruno Correa Molinari**  
Engenheiro-agrônomo, doutor em  
Produção Vegetal, pesquisador da  
Embrapa Agroenergia, Brasília, DF

**João Francisco Gonçalves Antunes**  
Matemático, doutor em Engenharia  
Agrícola, pesquisador da Embrapa  
Informática Agropecuária, Campinas, SP

**Jorge Luis Donzelli**  
Engenheiro-agrônomo, especialização  
em Manejo Agronômico da cana-de-  
-açúcar, gerente de assistência técnica  
do Centro de Tecnologia Canavieira,  
Piracicaba, SP

**José Maria Ferreira Jardim  
da Silveira**  
Engenheiro-agrônomo, doutor em  
Economia, professor associado do  
Instituto de Economia da Universidade  
Estadual de Campinas, Campinas, SP

**José Paulo Stupiello**  
Engenheiro-agrônomo, doutor em  
Agronomia, professor aposentado da  
Escola Superior de Agricultura Luiz  
de Queiroz (Esalq/USP), Presidente da  
Sociedade dos Técnicos Açucareiros e  
Alcooleiros do Brasil (STAB), Piracicaba, SP

**José Ruy Porto de Carvalho**

Estatístico, Ph.D. em Estatística, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

**Júlio César Dalla Mora Esquerdo**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Engenharia Agrícola, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

**Júlio César Garcia**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios/Instituto Agronômico de Campinas, Ribeirão Preto, SP

**Luis Fernando Sanglade Marchiori**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, diretor técnico da Estação Experimental Fazenda Areão da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq/USP), Piracicaba, SP,

**Luiz Carlos Corrêa Carvalho**

Engenheiro-agrônomo, pós-graduado em Agronomia e em Administração, diretor da Canaplan, Piracicaba, SP

**Márcia Justino Rossini Mutton**

Engenheira-agrônoma, doutora em Solos e Nutrição de Plantas, professora livre docente da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, SP

**Marco Antonio Azeredo Cesar**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, professor aposentado da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq/USP), Piracicaba, SP

**Marcos Guimarães de Andrade Landell**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Produção Vegetal, pesquisador do Instituto Agronômico de Campinas, Ribeirão Preto, SP

**Margareth Simões**

Engenheira civil, doutora em Geomática, pesquisadora da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

**Maximiliano Salles Scarpari**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador do Instituto Agronômico de Campinas, Ribeirão Preto, SP

**Miguel Angelo Mutton**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, professor assistente da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp, Jaboticabal, SP

**Pedro Abel Vieira Junior**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Secretaria de Inteligência e Macroestratégia da Embrapa, Brasília, DF

**Polyana Kelly Martins**

Bióloga, doutora em Genética e Melhoramento, Brasília, DF

**Ricardo Augusto de Oliveira**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Produção Vegetal, professor adjunto do Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR

**Rodrigo Peçanha Demonte Ferraz**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências do Meio Ambiente,

pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

**Rubens Augusto Camargo Lamparelli**

Engenheiro agrícola, doutor em Engenharia de Transportes, pesquisador do Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético, Unicamp, Campinas, SP

**Rubens Leite do Canto Braga Junior**

Estatístico, mestre em Estatística e Experimentação Agronômica, Líder de Planejamento e Análise de Dados do Centro de Tecnologia Canavieira, Piracicaba, SP

**Sizuo Matsuoka**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitopatologia, presidente da Vignis S.A., Santo Antônio de Posse, SP

**Sônia Maria De Stefano Piedade**

Engenheira-agrônoma, doutora em Estatística e Experimentação Agronômica, professora do Departamento de Ciências Exatas da

Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq/USP), Piracicaba, SP

**Valter Barbieri**

Engenheiro florestal, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, professor do Departamento de Engenharia de Biosistemas da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq/USP), Piracicaba, SP

**Victor Hugo Alvarez Venegas**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, professor titular-voluntário da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG

**Vincent Dubreuil**

Geógrafo, doutor em Geografia, professor da Universidade Rennes 2, França

**Wander José Pallone Filho**

Engenheiro agrícola, mestre em Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável, gerente de soluções de GeoTI para Agronegócios da Santiago e Cintra Consultoria, São Paulo, SP

## Apresentação

A cultura da cana-de-açúcar destaca-se no cenário agrícola brasileiro não somente pela extensão da área plantada, mas também pelos múltiplos potenciais da cultura para alimentação e geração de energia. Ela está entre as culturas que mais experimentaram mudanças nos últimos 20 anos, atendendo às necessidades de maior eficiência em razão de questões socioeconômicas e ambientais. Nesse período, incorporaram-se novas técnicas de plantio e manejo, o que permitiu a integração com culturas anuais, como a soja e o amendoim, especialmente na ocasião de reforma do canavial; e a colheita mecanizada, operação que vem se ajustando às técnicas de agricultura de precisão. A eliminação da queima antes de se realizar a colheita foi um importante passo para a sustentabilidade do sistema de produção, que está se ajustando para que a palha que sobra nos campos seja utilizada na produção de energia, tal como é feito com o bagaço originado do processamento da cana. A compatibilização com os conceitos de sustentabilidade se traduz pelo aumento da diversidade, conservação dos recursos naturais e o equilíbrio da produção de biomassa energética e a de alimentos, sem perda de produtividade.

Na atualidade, a cultura da cana-de-açúcar deve atender a demanda de energia e compatibilizar com a produção de alimentos, criando um cenário desafiador para futuro do setor sucroenergético. A presente publicação traz a descrição de sistemas de produção da cultura e de manejo do solo e da água e das alternativas existentes buscando a sustentabilidade da produção de biocombustível, açúcar, energia e outros derivados.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) tem investido em pesquisas na agroindústria canavieira por meio de projetos articulados que tratam prioritariamente dos focos de pesquisa e desenvolvimento, transferência de tecnologias e desenvolvimento institucional. Um dos exemplos é o Projeto Desenvolvimento e Modelagem de Sistemas de

Produção de Oleaginosas na Reforma de Canavial para Produção Sustentável de Biodiesel na Região Centro-Sul (Rotcana), cujos resultados foram abordados em partes desta obra. No entanto, a construção de um documento que busca o estado da arte dos conhecimentos do setor sucroenergético não poderia ser realizada sem a contribuição dos membros do Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária (SNPA), mais de 80 autores renomados, trazendo consigo as experiências do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC)/Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (Apta), de universidades estaduais – Universidade de São Paulo (USP), Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp) –, de universidades federais – Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), entre outras –, da Canaplan e da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil (STAB).

A obra intitulada Sistema de Produção Mecanizada da Cana-de-Açúcar Integrada à Produção de Energia e Alimentos possui 35 capítulos, distribuídos em dois volumes, que trazem uma visão atualizada das perspectivas e da sustentabilidade do sistema de produção para a geração de alimento, biocombustíveis e energia. Aborda vários temas, fornecendo orientações sobre planejamento estratégico e operacional e sobre implantação sustentável da cultura de cana-de-açúcar com colheita mecanizada, sem queima.

No primeiro volume, dividido em três partes, mostram-se os cenários e as estratégias socioeconômicas do setor sucroenergético; os múltiplos atores do setor e a competição com outras fontes energéticas. Trata-se ainda dos aspectos econômicos e institucionais da rotação de cana-de-açúcar com espécies vegetais; bem como do melhoramento genético e da biotecnologia aplicada ao sistema de produção de cana-de-açúcar. Apresentam-se também a ecofisiologia da brotação e desenvolvimento

da cana-de-açúcar; a fisiologia da maturação e uso de amadurecedores na cultura; bem como se analisa a qualidade da cana como matéria-prima para a industrialização do açúcar, etanol e energia elétrica.

Abordam-se também, no primeiro volume, temas como: o sistema de classificação edafoclimática para cana-de-açúcar; as ferramentas do sensoriamento remoto aplicado ao monitoramento dessa cultura; e o sistema de indicadores para avaliação da sustentabilidade hídrica da atividade canavieira em bacias hidrográficas, no estudo de caso Bacia do Rio Verde, GO. Apresentam-se, também, os modelos ecofisiológicos empregados na dinâmica da estimativa de biomassa da cana-de-açúcar; os modelos de simulação de sistemas de adubação e a calagem para cultura; o planejamento otimizado da cana-de-açúcar para colheita e reforma do canavial; e o planejamento da experimentação em áreas de produção de biocombustíveis e alimentos que permite a obtenção de resultados confiáveis e consistentes da pesquisa.

No segundo volume, que está dividido em cinco partes, há contribuições acerca dos aspectos de sustentabilidade do sistema de produção, como as mudanças climáticas, o balanço de energia e de gases de efeito estufa, a utilização do recurso água, a biologia e o manejo de plantas daninhas e a aplicação de agrotóxicos, o manejo de pragas e nematoides, assim como o manejo sustentável das doenças da cultura da cana-de-açúcar e a sua integração com outras culturas, como soja, amendoim, sorgo sacarino e adubos verdes na reforma do canavial. Aspectos sobre planejamento conservacionista e qualidade do solo na produção mecanizada da cana-de-açúcar, apresentando os resultados do manejo cultural na reforma, e da minimização das práticas de revolvimento do solo (plantio direto), o planejamento conservacionista e o controle de tráfego na colheita e suas consequências sobre o funcionamento biológico, a estrutura física com diferentes texturas e a fertilidade do solo também são descritos nesse volume. São avaliados os aspectos de nutrição mineral, fertilização, calagem,

gessagem e silicatagem, manejo de nitrogênio (N), fixação biológica e balanço de N no sistema de produção. Para finalizar, apresenta-se a utilização de resíduos da indústria sucroalcooleira e a utilização da cana-de-açúcar na alimentação de rebanhos leiteiros.

Esta obra tem o mérito de reunir, em dois volumes, informações detalhadas que se encontravam dispersas em artigos, e em outros documentos, públicos ou privados, as quais foram sistematizadas e organizadas por especialistas em sistemas de produção de cana-de-açúcar integrados com biomassa e alimentos.

A Embrapa e as instituições parceiras, ao elaborar a presente obra, buscam trazer subsídios e alternativas para a produção técnica, econômica e ambientalmente sustentada, em benefício da sociedade brasileira e, em especial, para a produção de energia de biomassa.

**Maurício Antônio Lopes**

*Presidente da Embrapa*

## Prefácio

O setor sucroenergético sofreu nos últimos anos um duro desmanche, notadamente em função das inadequadas políticas públicas: para combater a inflação, um dos mecanismos escolhidos pelo governo foi segurar os preços dos combustíveis. A Petrobras passou anos comprando gasolina no mercado internacional por um preço e vendendo no mercado interno por outro, menor. Com isso, cada litro vendido gerava um prejuízo para a empresa, que perdeu valor de forma espetacular.

Por outro lado, o etanol só é competitivo nos postos de abastecimento se seu preço for até 70% da gasolina. Ora, a cana, produto agrícola, teve seus custos crescentes no período, de modo que o custo de produção de etanol também cresceu, até ultrapassar o limite dos 70%. A partir daí, deixou de competir com a gasolina. Embora medidas pontuais possam trazer algum alívio ao setor, os benefícios seriam momentâneos, como no campo tributário (volta da Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico incidindo sobre a gasolina) ou novas correções de preços da gasolina adequando-os ao mercado internacional. O que é necessário mesmo é um marco regulatório para a agroenergia.

A estes fatores determinantes da crise do setor se somaram outros: anos de clima irregular, ou por excesso de chuva, ou por seca inclemente, reduziram a produção ou inibiram a colheita. O açúcar brasileiro perdeu a competitividade que tinha frente a países como Índia e Tailândia, protectionistas do produto. Ora, preços baixos e produtividade baixa do canavial formam o cenário perfeito para quebrar qualquer setor. Tais aspectos são encontrados nos primeiros dois capítulos da presente obra sobre economia do setor, elaborados pela Canaplan e pela equipe do Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e Universidade de São Paulo (USP), procurando explicar as políticas públicas que poderiam alavancar a cadeia

produtiva. Com esta crise, dezenas de usinas pararam suas atividades, muitas estão em recuperação judicial, a indústria de equipamentos foi à bancarrota, 70 mil produtores independentes estão na pior, em um efeito dominó que derrubou o PIB e o IDH dos municípios canavieiros em todo país.

Mas só teremos uma solução definitiva quando for estabelecida qual a matriz energética ideal para o país e qual o papel da agroenergia nela. Aí sim, seriam tomadas medidas estruturantes que sinalizariam o futuro da atividade com segurança e sem intervencionismos casuísticos.

As lideranças setoriais estão tratando de dialogar com representantes do governo e neste diálogo devem entrar outros segmentos da cadeia produtiva sucroenergética, desde a indústria de equipamentos agrícolas e industriais, passando pelos produtores, trabalhadores, indústria automobilística, indústria de petróleo, distribuidores, exportadores, governo, parlamento (hoje há uma Frente Parlamentar sucroenergética muito dedicada e eficiente), entre outros atores.

Enquanto isso não avança, uma surda revolução tecnológica vem acontecendo às margens das políticas públicas e da ação de produtores.

É o caso da mudança no sistema de produção da cana-de-açúcar, em função de alguns condicionantes fundamentais: I) a proibição do processo de queima do palhço da cana por meio da Lei nº 11.241/2002 e regulamentada pelo Decreto no. 47.700/2013, para fins de colheita, com tempo para seu encerramento; II) a proibição do sistema de plantio com pessoas em cima dos caminhões, estabelecida na Portaria MTE nº 2.546, que alterou a redação da NR 31; III) o aumento dos custos de produção pela substituição do uso de mão de obra no plantio e no corte da cana pelos processos mecanizados.

Tem havido uma perda de produtividade dos canaviais em face da adaptação ao novo sistema produtivo e das condições climáticas desfavoráveis. Avança-se em novas variedades de cana, muito mais produtivas – as chamadas canas de três dígitos (melhoramento e biotecnologia juntos)

já estão sendo testadas. Adubação com fertilizantes especiais e aprimoramento das recomendações de adubação e calagem estão em uso. As mudas pré-brotadas (MPB) estão em franca evolução e uma espécie de “semente” da cana vem sendo experimentada. Tudo isso implica um conjunto de novidades que mudará o paradigma agroindustrial de forma notável, quase tanto ou até mais do que aconteceu quando se criou o Sistema de Pagamento por Teor de Sacarose.

Nos capítulos de mecanização agrícola, discutiram-se as novas plantadeiras, novos cultivadores, sistemas de colheita e de tratos culturais que serão desenvolvidos e/ou modificados; testes com transportes virão com certeza.

Também na indústria surgirão grandes mudanças, com ênfase para cogeração de energia e utilização de subprodutos, seja para biorrefinaria, seja para outros fins, inclusive na direção do etanol de segunda geração.

E tudo isso está sendo criado pelas empresas públicas e privadas de inovação tecnológica em um processo que deveria ser mais bem articulado entre elas, tendo em vista economizar e racionalizar os recursos financeiros, humanos e materiais investidos.

A cultura da cana-de-açúcar deve atender à demanda por energia limpa e renovável em compatibilidade com a produção de alimentos, como a rotação de culturas anuais, a meiose e o plantio intercalar. A Embrapa e suas instituições parceiras têm investido em pesquisas para a agroindústria canavieira por meio de projetos articulados em arranjos e portfólios que tratam de múltiplos desafios e oportunidades para o setor.

Diferentes centros da Embrapa (Informática Agropecuária, Solos, Agrobiologia, Agropecuária Oeste, Produtos e Mercado, Soja e Agroenergia), em cooperação com parceiros (13 unidades agroindustriais de cana-de-açúcar na região Centro-Sul, mais a Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (Apta) / Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), a Escola

Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da USP, a Unicamp, a Fatec e a Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE), a União de Produtores de Bioenergia (Udop) e a Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (Abiove), deram forma ao Projeto Desenvolvimento e Modelagem de Sistemas de Produção de Oleaginosas na Reforma de Canavial para Produção Sustentável de Biodiesel na Região Centro-Sul (Rotcana), de 2009 a 2013, que permitiu o zoneamento de áreas aptas para a produção sustentável de biocombustíveis (inclusive óleo a partir da soja, amendoim ou girassol plantados no período de reforma das áreas de produção de cana-de-açúcar na região Centro-Sul). Foram também selecionadas cultivares de soja recomendadas para plantio em rotação com cana nos estados de Goiás, Mato Grosso do Sul e São Paulo. Essa iniciativa permitiu a elaboração e desenvolvimento de resultados descritos em oito capítulos deste livro. A adoção do Sistema de Plantio Direto associado ao plantio de soja ou amendoim na reforma do canavial refletiu em um aumento de sua produtividade de até 10% nos primeiros dois anos. As vantagens observadas na adoção da soja e amendoim vão desde o aumento da produtividade da cana, o que está relatado em diversos capítulos, como maior controle de plantas daninhas, com ganhos econômicos. Outro resultado foi o desenvolvimento de metodologia que permite estimar a necessidade de reposição de N (nitrogênio), P (fósforo) e K (potássio) na cana-de-açúcar por fertilização, baseado em modelagem de balanço de nutrientes.

Foi ainda realizada uma avaliação dos balanços de energia e das emissões de gases de efeito estufa do agrossistema permitindo a verificação da redução das emissões se for utilizado o plantio direto com aplicação de vinhaça.

Neste cenário, a mecanização associada a ferramentas de tecnologia de informação em todas as suas fases terá um papel fundamental na redução dos custos e na otimização dos resultados. Muita tecnologia nova

virá à luz nos próximos anos, gerando maior produtividade agroindustrial, produtos com mais qualidade, custo menor e competitividade.

Esta obra é resultado do esforço de diversos membros do SNPA, representados pelos mais de 80 autores que trazem experiências da Embrapa, do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), do IAC, da Apta, das universidades estaduais – USP, Unicamp e Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp) –, das universidades federais / Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (Ridesa) – Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Universidade Federal de Uberlândia (UFU), UFRPE, dentre outras –, além da Canaplan, Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil (STAB).

Ao longo dos 35 capítulos, distribuídos em dois volumes, este livro é um roteiro para conhecer boa parte desta revolução silenciosa do mundo sucroenergético, e uma pista para quem quiser se aprofundar no assunto.

**Roberto Rodrigues**

*Coordenador do Centro de Agronegócio da Fundação Getúlio Vargas / Escola de Economia de São Paulo e Embaixador Especial da FAO para as Cooperativas. Ex-Ministro da Agricultura, Pecuária e Abastecimento de 2003 a 2006.*



# Sumário

## Parte 1

### **Cenários e perspectivas do setor sucroenergético e integração à produção de energia e alimentos ..... 19**

#### **Capítulo 1**

Cenários e estratégias do setor sucroenergético: sustentabilidade socioeconômica .....20

#### **Capítulo 2**

Sobrevivência da cana: cenário de múltiplos atores e fontes energéticas.....46

#### **Capítulo 3**

Aspectos econômicos e institucionais da rotação da cana-de-açúcar com espécies vegetais.....92

## Parte 2

### **Sustentabilidade do sistema de produção da cana-de-açúcar: melhoramento, biotecnologia e matéria-prima de qualidade ..... 113**

#### **Capítulo 1**

Melhoramento da cana-de-açúcar ..... 114

#### **Capítulo 2**

Biotecnologia aplicada ao sistema de produção da cana-de-açúcar..... 176

#### **Capítulo 3**

Ecofisiologia da brotação e desenvolvimento da cana-de-açúcar..... 190

#### **Capítulo 4**

Fisiologia da maturação e maturadores em cana-de-açúcar ..... 222

#### **Capítulo 5**

Qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima ..... 288

<b>Parte 3</b>	
<b>Modelagem, monitoramento e planejamento estratégico da produção da cana-de-açúcar .....</b>	<b>361</b>
<b>Capítulo 1</b>	
Sistema de classificação edafoclimática para a cultura da cana-de-açúcar.....	362
<b>Capítulo 2</b>	
Sensoriamento remoto aplicado ao monitoramento da cultura da cana-de-açúcar .....	374
<b>Capítulo 3</b>	
Sistema de indicadores para avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica da atividade canavieira em bacias hidrográficas .....	398
<b>Capítulo 4</b>	
Modelos matemático-fisiológicos para estimativa da produtividade da cana-de-açúcar.....	436
<b>Capítulo 5</b>	
Modelagem para fertilização e calagem na cultura da cana-de-açúcar .....	490
<b>Capítulo 6</b>	
Planejamento otimizado do plantio e colheita da cana-de-açúcar.....	548
<b>Capítulo 7</b>	
Planejamento da experimentação em áreas de produção de bicompostíveis e alimentos.....	562

Parte 1

# Cenários e perspectivas do setor sucroenergético e integração à produção de energia e alimentos

Capítulo 1

# Cenários e estratégias do setor sucroenergético

## Sustentabilidade socioeconômica

Luiz Carlos Corrêa Carvalho

## Introdução

O conceito de cadeia produtiva – que representa os elos do negócio agroindustrial canavieiro, desde bens de capital e insumos modernos, passando pela produção de cana, processamento industrial, distribuição de açúcar no varejo, atacado e exportação, até a distribuição do etanol nos postos de revenda de combustíveis e da energia elétrica produzida – permite visualizar a complexidade de cada agronegócio nas várias fases do seu sistema. No Brasil, a cadeia produtiva da cana-de-açúcar talvez seja a mais complexa, não pela extensão de sua área de cultivo, que é 3,5 vezes menor que a da soja; mas principalmente pela destinação de seus produtos – que atendem concomitantemente os mercados de alimentos, de energia líquida e elétrica, de derivados químicos, etc. –, e de seus subprodutos – que são usados como biofertilizantes, ração animal e combustível (gás). Desse modo, para atender as diferentes demandas, no início dessa cadeia, há um setor de bens de capital bastante diversificado, e, na ponta da cadeia, ou seja, na distribuição dos produtos, há empresas nacionais e grandes multinacionais.

As relações entre as empresas do complexo cana-de-açúcar mostram que há uma grande dependência da produção agrícola (cerca de 70% dos custos finais), o que gera uma competição dos produtos finais pela mesma matéria-prima, especialmente a arbitragem entre a produção de açúcar e etanol (BIOAGÊNCIA – AGÊNCIA DE FOMENTO DE ENERGIA DE BIOMASSA, 2013; CANAPLAN, 2013; SILVA et al., 2013). Diante dessa realidade, há uma tendência para que as indústrias se tornem flexíveis. Atualmente, de acordo com levantamentos da Bioagência – Agência de Fomento de Energia de Biomassa (2013) e da Canaplan (2013), apenas 14% da matéria-prima é processada em destilarias autônomas que produzem apenas etanol, e os outros 86% em usinas de açúcar e etanol. Para essas unidades, a capacidade de produção desses produtos poder ser, a cada safra, em média, de até 10% maior ou menor. Nesse contexto, é importante lembrar também que 88%