

Volume 2

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

Fábio Cesar da Silva
Bruno José Rodrigues Alves
Pedro Luiz de Freitas

Editores Técnicos



Embrapa

*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 2

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

Editores Técnicos

Embrapa
Brasília, DF
2017

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Informática Agropecuária

Av. André Tosello, nº 209
Campus da Unicamp, Barão Geraldo
Caixa Postal 6041
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
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
22460-000 Rio de Janeiro, RJ
Fone: (21) 2179-4500
Fax: (21) 2179-5291
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Unidades responsáveis 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
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
Wyviane Carlos Lima Vidal

Revisão de texto
Maria Cristina Ramos Jubé

Normalização bibliográfica
Márcia Maria Pereira de Souza

Projeto gráfico, editoração eletrônica,
tratamento das ilustrações e capa
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Fotos da capa
Bruno José Rodrigues Alves

1ª edição
1ª impressão (2017): 1.000 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 José Rodrigues Alves, Pedro
Luiz de Freitas, editores técnicos. – Brasília, DF : Embrapa, 2017.
2 v. [v. 2 (938 p.)] : il. color. ; 16 cm x 22 cm.

ISBN 978-85-7035-778-6

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

CDD 633.61

© Embrapa, 2017

Autores

Aderson Soares de Andrade Júnior

Engenheiro-agrônomo, doutor em Irrigação, pesquisador da Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI

Adilson de Oliveira Júnior

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR

Aldomário Santo Negrisoni Júnior

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitossanidade/Entomologia, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento (UEP), Rio Largo, AL

Alexandre Ferreira da Silva

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Alexandre Puglisi Barbosa Franco

Engenheiro-agrônomo, mestre e doutorando em Solos e Nutrição de Plantas, engenheiro especialista da Aginfo Agricultura de Informação, Piracicaba, SP

Ana Maria Heuminski de Avila

Meteorologista, doutora em Engenharia Agrícola, pesquisadora do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (Cepagri) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Campinas, SP

André May

Engenheiro-agrônomo, doutor em Produção Vegetal, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

Bruno José Rodrigues Alves

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ

Caio Tavora Rachid Coelho da Costa

Biólogo, doutor em Ciências (Microbiologia), professor adjunto da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ

Carla Ruth de Carvalho

Barbosa Negrisoni

Bióloga, doutora em Fitossanidade/Entomologia, professora titular do Centro Universitário de Maceió, Maceió, AL

Cassio Hamilton Abreu Junior

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, professor associado da Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba, SP

Celso Macedo Junior

Bacharel em Meteorologia, mestrando em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas (Feagri/Unicamp), Barueri, SP

Cesar de Castro

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR

Cláudia Pozzi Jantalia

Engenheira-agrônoma, doutora em Fitotecnia, pesquisadora da Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ

Dagma Dionísia da Silva

Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia (Fitopatologia), pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Décio Karam

Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Weed Science, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Denizart Bolonhezi

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador científico VI da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (Apta), Polo Regional Centro Leste, Ribeirão Preto, SP

Éder Antônio Giglioti

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitopatologia, diretor geral da Smarbio Tecnologia, professor das Faculdades Adamantinenses Integradas, Adamantina, SP

Edmilson José Ambrosano

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador científico da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (Apta), Polo Regional Centro Sul, Piracicaba, SP

Eduardo Negrisoni

Engenheiro-agrônomo, doutor em Plantas Daninhas, sócio proprietário da TechField Consultoria Agrícola, Botucatu, SP

Élio César Guzzo

Biólogo, doutor em Entomologia, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento (UEP), Rio Largo, AL

Everton Luis Finoto

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador científico da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (Apta), Polo Regional Centro Norte, Pindorama, SP

Fabiano de Carvalho Balieiro

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

Fábio Bueno dos Reis Junior

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia/Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

Fábio Cesar da Silva

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

Fábio Luis Ferreira Dias

Engenheiro-agrônomo, doutor em Produção Vegetal, pesquisador e diretor científico da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (Apta/IAC), Polo Centro-Sul, Piracicaba, SP

Fábio Martins Mercante**(In memoriam)**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS

Fabício Rossi

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, professor da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, SP

Fernanda Samarini Machado

Médica-veterinária, doutora em Zootecnia, pesquisadora da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG

Fernando César Ferraz Lopes

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência Animal, analista da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG

Gaspar Henrique Korndörfer

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, professor titular da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, MG

Gláucia Maria Bovi Ambrosano

Engenheira-agrônoma, doutora em Ciências, professora titular da Faculdade de Odontologia de Piracicaba da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Piracicaba, SP

Guilherme Kangussú Donagemma

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Heitor Luiz da Costa Coutinho**(In memoriam)**

Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Ciências Biológicas, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Iêda de Carvalho Mendes

Engenheira-agrônoma, doutora em Ciência do Solo, pesquisadora da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

Jairo Antonio Mazza

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, professor e pesquisador da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (Esalq/USP), Piracicaba, SP

Jessica Angela Bet

Engenheira-agrônoma, mestre em Zootecnia, doutoranda em Zootecnia da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, Pirassununga, SP

José Aparecido Donizeti Carlos

Engenheiro-agrônomo, diretor proprietário da empresa Sementes Piraí, Piracicaba, SP

José Francisco Lumbreras

Engenheiro-agrônomo, doutor em Planejamento e Gestão Ambiental, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

José Renato Bouças Farias

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia/Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR

José Tadeu Coleti

Engenheiro-agrônomo, licenciado em Filosofia, consultor independente em cana-de-açúcar, São José do Rio Preto, SP

Jurandir Zullo Junior

Engenheiro agrícola, graduado em Matemática Aplicada, doutor em Engenharia de Computação e Automação, pesquisador do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (Cepagri) e diretor da Coordenadoria de Centros e Núcleos Interdisciplinares de Pesquisa (Cocen) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Campinas, SP

Leonardo Angelo de Aquino

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia (Nutrição de Plantas), professor adjunto da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba, Rio Paranaíba, MG

Lucélia Alves Ramos

Engenheira-agrônoma, doutora em Solos e Nutrição de Plantas, professora da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, MG

Luciano Viana Cota

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Luis Fernando Sangla de Marchiori

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, diretor técnico da Estação Experimental Fazenda Areão da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (Esalq/USP), professor pleno da Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo (Fatec), Piracicaba, SP

Luiz Gustavo Ribeiro Pereira

Médico-veterinário, doutor em Ciência Animal, pesquisador da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG

Magna Soelma Beserra de Moura

Engenheira-agrônoma, doutora em Recursos Naturais, pesquisadora da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE

Mara Cristina Pessôa da Cruz

Engenheira-agrônoma, doutora em Química, professora assistente da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp/FCAV), Jaboticabal, SP

Marcelo Hiroshi Hirakuri

Administrador e Cientista da Computação, mestre em Ciência da Computação, analista da Embrapa Soja, Londrina, PR

Marco Antonio Azeredo Cesar

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

Marco Antonio Nogueira

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR

Maria Aparecida Pessôa da Cruz Centurion

Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia, professora assistente da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, SP

Mariana Magalhães Campos

Médica-veterinária, doutora em Zootecnia, pesquisadora da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG

Mariangela Hungria

Engenheira-agrônoma, doutora em Ciência do Solo, pesquisadora da Embrapa Soja, Londrina, PR

Nivaldo Schultz

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, professor adjunto do

Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ

Paulo Sérgio Machado Botelho

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências/Entomologia, professor adjunto da Universidade Federal de São Carlos, Araras, SP

Pedro Henrique de Cerqueira Luz

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, professor livre docente da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo (FZEA/USP), Pirassununga, SP

Pedro Luiz de Freitas

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

Rafael Augusto da Costa Parrella

Engenheiro-agrônomo, doutor em Produção Vegetal, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Renã Moreira Araújo

Meteorologista, doutor em Produção Vegetal, professor da Universidade Federal do Paraná, Paranavaí, PR

Ricardo Victoria Filho

Engenheiro-agrônomo, doutor em Produção Vegetal, professor titular do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (Esalq/USP), Piracicaba, SP

Robert Michael Boddey

Químico, doutor em Agricultura, pesquisador da Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ

Roberto Estevão Bragion de Toledo

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, gerente de produtos herbicidas e cana-de-açúcar da Ourofino Agrocíencia, Piracicaba, SP

Roberto da Cunha Mello

Engenheiro agrícola, doutor em Agronomia, pesquisador científico do Centro de Engenharia Agrícola do Instituto Agronômico de Campinas, Jundiaí, SP

Rodrigo Veras da Costa

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia (Fitopatologia), pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Palmas, TO

Rogério Ferreira da Silva

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, professor da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (Uems), Campus de Glória de Dourados, Dourados, MS

Ronaldo Souza Resende

Engenheiro-agrônomo, doutor em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE

Roni Fernandes Guareschi

Técnico Agropecuário, Tecnólogo em Produção de Grãos, doutor em Agronomia, pesquisador colaborador da Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ

Rubismar Stolf

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, professor associado da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, SP

Sebastião Barreiros Calderano

Geólogo, mestre em Geologia, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Segundo Sacramento**Urquiaga Caballero**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ

Sergio de Oliveira Procópio

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE

Silvio Tavares

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador científico da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (Apta), Polo Regional Extremo Oeste, Andradina, SP

Simone Martins Mendes

Engenheira-agrônoma, doutora em Entomologia, pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Sizuo Matsuoka

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

Thályta Fraga Pacheco

Engenheira química, mestre em Engenharia Química, analista da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF

Thiago Aristides Quintino

Engenheiro-agrônomo, MBA em Gestão Empresarial, sócio-diretor da Agro Ativa Consultoria Agronômica LTDA., Piracicaba, SP

Thierry Ribeiro Tomich

Médico-veterinário, doutor em Ciência Animal, pesquisador da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG

Thomaz Adolpho Rein

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Cerrados, Brasília, DF

Valter Barbieri

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

Veronica Massena Reis

Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia (Ciência do Solo), pesquisadora da Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ

Victor Paschoal Cosentino**Campanelli**

Administrador de empresas, MBA em Agronegócios e MBA Executivo FIA, diretor da Agropastoril Paschoal Campanelli, Bebedouro, SP

Vinicius Bof Bufon

Engenheiro agrícola, doutor em Agronomia e Eficiência de Uso de Água, pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

Wenceslau Geraldes Teixeira

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

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 à 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 tratem prioritariamente dos focos de pesquisa e desenvolvimento, transferência de tecnologias e desenvolvimento institucional. Um dos exemplos são 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) e Desenvolvimento de Sistemas de Cultivo de Cana-se-Açúcar no Cerrado, 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), Instituto Agrônomo de Campinas (IAC)/ Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (Apta), universidades estaduais – Universidade de São Paulo (USP), Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp) –, 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 36 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 e a eficiência energética da produção de etanol, o manejo racional do recurso água, a biologia e o manejo de plantas daninhas, o manejo de pragas e nematoides, assim como o manejo 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, com ênfase ao manejo cultural e a sistemas de produção adotados por ocasião da reforma do canavial e da minimização das práticas de revolvimento do solo (plantio direto), planejamento conservacionista e controle de tráfego e suas consequências sobre o funcionamento biológico, estrutura física com diferentes texturas e a fertilidade do solo também são descritos nesse volume. São apresentados também aspectos de nutrição mineral, fertilização, calagem,

gessagem e silicatagem, fixação biológica e do balanço de nitrogênio no sistema de produção. Para finalizar, apresenta-se a utilização de resíduos da indústria sucroalcooleira e 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, protecionistas 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 do volume 1 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 essa 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, nesse 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 palhicho 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 desfavo-

ráveis. 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, no volume 2 da presente obra, discutem-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 Unidades Descentralizadas 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 Agrônômico de Campinas (IAC), a Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (Esalq/USP), a Unicamp, a Fatec e a Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE), com 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 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.

Nesse 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 e da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil (Stab).

Ao longo dos 36 capítulos, distribuídos em dois volumes, este livro é um roteiro para conhecer boa parte dessa 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 4

Sistema de produção de cana-de-açúcar – Mudanças climáticas, balanço energético, manejo cultural e irrigação 23

Capítulo 1

Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil..... 24

Capítulo 2

Balanço e eficiência energética da produção
de etanol da cana-de-açúcar no Brasil 54

Capítulo 3

Irrigação em cana-de-açúcar 98

Capítulo 4

Manejo de pragas e nematoides na cultura de
cana-de-açúcar e interação com oleaginosas..... 148

Capítulo 5

Manejo sustentável das doenças da cana-de-açúcar 262

Capítulo 6

Biologia e manejo de plantas daninhas em cana-de-açúcar
e na sucessão com culturas anuais nas áreas de reforma..... 310

Parte 5

Planejamento conservacionista e qualidade do solo em sistemas de produção mecanizada de cana-de-açúcar 345

Capítulo 1

Manejo e conservação do solo e da água na cultura da cana-de-açúcar
com a intensificação da mecanização na região Centro-Sul do Brasil..... 346

Capítulo 2

Funcionamento biológico do solo em diferentes sistemas de manejo da
cana-de-açúcar 426

Capítulo 3

Cultivo da cana-de-açúcar e seus impactos sobre a biota de solos no Cerrado..... 464

Capítulo 4

Comportamento de solos de textura superficial arenosa influenciado pela produção mecanizada de cana-de-açúcar 478

Capítulo 5

Sistemas mecanizados na lavoura de cana-de-açúcar e a compactação de solo 520

Capítulo 6

Fatores críticos e desempenho de sistemas de produção mecanizada da cultura da cana-de-açúcar 552

Parte 6

Planejamento da produção de alimentos e energia na reforma do canavial573

Capítulo 1

Manejo cultural de sorgo sacarino em áreas de reforma de canaviais 574

Capítulo 2

Sistema de produção de soja na reforma do canavial e identificação de áreas aptas 588

Capítulo 3

Sistema de produção de amendoim na reforma de canavial e a identificação de áreas aptas..... 620

Parte 7

Correção e fertilização do solo para a cultura de cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos655

Capítulo 1

Nutrição e fertilização em cana-de-açúcar 656

Capítulo 2

Fixação biológica de nitrogênio: uso de inoculante na cana-de-açúcar e sua aplicação agrícola na produção integrada de alimentos 732

Capítulo 3

Calagem, silicatagem, gessagem e fosfatagem para cana-de-açúcar 754

Capítulo 4

Uso de plantas para cobertura do solo e adubação verde nas áreas de implantação e reforma da cana-de-açúcar 790

Parte 8

Utilização de resíduos na agroindústria sucroenergética837

Capítulo 1

Aproveitamento, tratamento e disposição de resíduos na cultura de cana-de-açúcar 838

Capítulo 2

Cana-de-açúcar na alimentação de rebanhos leiteiros 900

Parte 4

Sistema de produção de cana-de-açúcar

Mudanças climáticas, balanço
energético, manejo cultural e irrigação

Capítulo 1

Mudanças climáticas e cana-de-açúcar no Brasil

Ana Maria Heuminski de Avila
Jurandir Zullo Junior
Celso Macedo Junior
Renã Moreira Araújo
Valter Barbieri

Introdução

O clima desempenha um papel fundamental na escolha de quais culturas e cultivares agrícolas podem se desenvolver e propiciar maior rentabilidade, em uma determinada localidade. No planejamento das lavouras, o produtor de cana-de-açúcar deve tomar decisões em função dos fatores de produção disponíveis e a probabilidade dos riscos que envolvem a sua atividade, destacando-se as condições climáticas.

A produção agrícola bem sucedida, com alto rendimento, requer a utilização eficiente dos recursos naturais. O clima é um dos fatores que mais afeta o rendimento, em especial sua variabilidade e a probabilidade de risco. Elementos climáticos como a temperatura, a radiação solar e a precipitação afetam diretamente as taxas de crescimento e desenvolvimento das plantas.

Quanto ao risco de quebras de safras no Brasil e no mundo, há diversos exemplos na literatura, influenciando a remuneração do produto nos mercados internacional e nacional, com enormes prejuízos à agricultura e à sociedade, em razão da ocorrência de adversidades climáticas com destaque para chuvas em excesso, secas prolongadas, geada e granizo, entre outras.

A agricultura tropical é afetada principalmente pela disponibilidade de água que determina possíveis estações de desenvolvimento das culturas. Outros elementos, como a temperatura, também influenciam o desenvolvimento das plantas nessas regiões, assim como podem ser um obstáculo quando excedem limites acima ou abaixo dos tolerados pelas diferentes espécies. É importante destacar que as condições climáticas também podem afetar indiretamente o rendimento por meio de sua influência no manejo, como o excesso de chuva pode dificultar o trânsito das máquinas retardando o plantio ou a fase de colheita, além do excesso de umidade do produto no campo que pode elevar o risco de pragas e