

Documentos

ISSN 1678-1953
Dezembro, 2015

200

Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar



ISSN 1678-1953

Dezembro, 2015

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Tabuleiros Costeiros
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 200

Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar

Lizz Kezzy de Moraes
Danilo Eduardo Corsi
João Messias dos Santos
Monalisa Sampaio
Tassiano Maxwell Marinho Câmara
Paulo de Albuquerque e Silva
Geraldo Veríssimo Barbosa
Hermann Paulo Hoffmann
Roberto Giacomini Chapola
Antônio Ribeiro Fernandes Júnior
Rodrigo Gazaffi

Embrapa Tabuleiros Costeiros
Aracaju, SE
2015

Embrapa Tabuleiros Costeiros
Av. Beira Mar, 3250, CEP 49025-040, Aracaju, SE
Fone: (79) 4009-1300
Fax: (79) 4009-1369
www.embrapa.com.br
www.embrapa.br/fale-conosco

Comitê Local de Publicações

Comitê Local de Publicações da Embrapa Tabuleiros Costeiros

Presidente: *Marcelo Ferreira Fernandes*

Secretária-executiva: *Raquel Fernandes de Araújo Rodrigues*

Membros: *Ana Veruska Cruz da Silva Muniz, Carlos Alberto da Silva, Élio César Guzzo, Hymerson Costa Azevedo, João Gomes da Costa, Josué Francisco da Silva Junior, Julio Roberto de Araujo Amorim, Viviane Talamini e Walane Maria Pereira de Mello Ivo*

Supervisão editorial: *Raquel Fernandes de Araújo Rodrigues*
Normalização bibliográfica: *Josete Cunha Melo*
Editoração eletrônica: *Raquel Fernandes de Araújo Rodrigues*
Foto da capa: *Antônio Dias Santiago e Geraldo Veríssimo Barbosa*

1ª Edição

On-line (2015)

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 Tabuleiros Costeiros

Melhoramento genético de cana-de-açúcar / Lizz Kezzy de Moraes
... [et al.] – Aracaju : Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015.
38 p. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN
1678-1953; 200).

Disponível em: <<https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br>>

1. Cana-de-açúcar. 2. Melhoramento genético. 3. Produção.
I. Moraes, Lizz Kezzy. II. Cursi, Danilo Eduardo. III. Santos, João
Messias dos. IV. Carneiro, Monalisa Sampaio. V. Câmara, Tassiano
Maxwel Marinho. VI. Silva, Paulo de Albuquerque e. VII. Barbosa,
Geraldo Veríssimo. VIII. Hoffmann, Hermann Paulo. IX. Chapola,
Roberto Giacomini. X. Fernandes Júnior, Antonio Ribeiro. XI.
Gazaffi, Rodrigo. XII. Série.

CDD 633. Ed. 21

©Embrapa 2015

Autores

Lizz Kezzy de Moraes

Engenheira-agrônoma, doutora em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisadora da Unidade de Execução de Pesquisa de Rio Largo (UEP-Rio Largo) da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Rio Largo, AL

Danilo Eduardo Cursi

Engenheiro-agrônomo, pesquisador do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar da Rede Interuniversitária para Desenvolvimento do Setor Sucroenergético e da Universidade de São Carlos (Ridesa/UFSCar), Araras, SP

João Messias dos Santos

Engenheiro-agrônomo, doutor em Biotecnologia, professor da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), coordenador do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar da Rede Interuniversitária para Desenvolvimento do Setor Sucroenergético e da UFAL (Ridesa/UFAL), Maceió, AL

Monalisa Sampaio Carneiro

Engenheira-agrônoma, doutora em Melhoramento de Plantas, professora da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), pesquisadora do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar da Rede Interuniversitária para Desenvolvimento do Setor Sucroenergético e UFSCar (Ridesa/UFSCar), Araras, SP

Tassiano Maxwell Marinho Câmara

Engenheiro-agrônomo, doutor em Melhoramento Genético Vegetal, pesquisador da Unidade de Execução de Pesquisa de Rio Largo (UEP-Rio Largo) da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Rio Largo, AL

Paulo de Albuquerque e Silva

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Unidade de Execução de Pesquisa de Rio Largo (UEP-Rio Largo) da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Rio Largo, AL

Geraldo Veríssimo Barbosa

Engenheiro-agrônomo, doutor em Produção Vegetal, professor da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), coordenador do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar da Rede Interuniversitária para Desenvolvimento do Setor Sucroenergético e da UFAL (Ridesa/UFAL), Maceió, AL

Hermann Paulo Hoffmann

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR), coordenador do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar da Rede Interuniversitária para Desenvolvimento do Setor Sucroenergético e da UFSCar (Ridesa/UFSCar), Araras, SP

Roberto Giacomini Chapola

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitopatologia, pesquisador do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar da Rede Interuniversitária para Desenvolvimento do Setor Sucroenergético e da Universidade de São Carlos (Ridesa/UFSCar), Araras, SP

Antonio Ribeiro Fernandes Júnior

Engenheiro-agrônomo, mestre em Sistema de Produção, pesquisador do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar da Rede Interuniversitária para Desenvolvimento do Setor Sucroenergético e da Universidade de São Carlos (Ridesa/UFSCar), Valparaíso, SP

Rodrigo Gazaffi

Engenheiro-agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, professor da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), pesquisador do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar da Rede Interuniversitária para Desenvolvimento do Setor Sucroenergético e UFSCar (Ridesa/UFSCar), Araras, SP

Apresentação

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é a principal fonte para a produção de açúcar e a cultura mais importante para a produção de energia, bem como seus derivados, o etanol e fibras. Com um genoma complexo, a planta tem suas espécies derivadas de híbridos oriundos de cruzamentos entre espécies do gênero *Saccharum*, que foram à base para programas de melhoramento de cana em todo o mundo. A produção de cana tem aumentado em todo o mundo devido aos programas de melhoramento que tem destinado seus esforços em desenvolver clones produtivos para usos específicos e adaptados a diferentes condições climáticas.

O objetivo futuro de programas de melhoramento é desenvolver clones de cana-de-açúcar com alta produtividade, alto teor de sacarose, tolerância à seca, alta produção de etanol e de biomassa, isto é, uma planta com elevado teor de fibra e com paredes celulares fáceis de serem quebradas, favorecendo a produção de etanol a partir do bagaço, o chamado etanol lignocelulósico, bagaço para queima e cogeração de energia, e também o desenvolvimento de plantas eficiente que demandam baixo uso de fertilizantes nitrogenados entre outros, reduzindo assim os impactos ambientais.

Atualmente, o uso por produtos derivados da cana está crescendo e o etanol é um subproduto apontado como fonte importante para alimentar a demanda por energia renovável em substituição aos combustíveis fósseis. O direcionamento do planeta para um futuro energético sustentável depende do incremento no uso de diferentes fontes renováveis de energia aliada à redução dos impactos ambientais, e emissão de gases de efeito estufa.

O Brasil apresenta parte de sua matriz energética proveniente de fontes renováveis, considerado um modelo em geração sustentável de energia. Os programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar contribuirão para a disponibilização de matérias-primas diversificadas e de alta produção, adaptadas a ambientes menos favoráveis, e para o aprimoramento de seus sistemas produtivos, visando à mitigação dos reveses agroclimáticos e de mercado. Este documento descreve o melhoramento genético da cana-de-açúcar e seus objetivos atuais.

Manoel Moacir Costa Macêdo

Chefe-geral da Embrapa Tabuleiros Costeiros

Sumário

Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar	7
Introdução	7
Taxonomia e domesticação	9
Produção de cana-de-açúcar no Brasil e no mundo	10
Recursos genéticos	12
Cana-energia	17
Objetivos do melhoramento e características importantes	18
Realizações do melhoramento genético da cana-de-açúcar	23
Melhoramento e integração com novas biotecnologias	25
Obtenção de sementes de cana-de-açúcar para programas de melhoramento	28
Cana-de-açúcar e cenário atual	30
Referências	32

Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar

Lizz Kezzy de Morais

Daniilo Eduardo Cursi

João Messias dos Santos

Monalisa Sampaio Carneiro

Tassiano Maxwell Marinho Câmara

Paulo de Albuquerque e Silva

Geraldo Veríssimo Barbosa

Hermann Paulo Hoffmann

Roberto Giacomini Chapola

Antonio Ribeiro Fernandes Júnior

Rodrigo Gazaffi

Introdução

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) provavelmente é o material vegetal produzido em maior quantidade no mundo, considerada a maior fonte de produção de açúcar excedendo a beterraba sacarina (*Beta vulgaris* L.) e, sem dúvida, a cultura mais importante para a produção de energia além dos bioprodutos como açúcar; fibras: papel, cartão, plástico (CORDEIRO et al., 2007; ROBERT HENRY, 2010). Segundo Morais et al. (2015), mais de 1.000 milhões de toneladas de cana são colhidas a cada ano, este excede o nível de produção das principais culturas alimentares como trigo, arroz e milho, cada um dos quais tem cerca de produção de 600 milhões de toneladas por ano. A produção de cana no Brasil evoluiu expressivamente nas últimas décadas: de 80 milhões de toneladas em 1970, para 149 milhões de toneladas em 1980; 222 milhões de toneladas em 1990; 256 milhões de toneladas em 2000 (MACEDO et al., 2006), segundo Villela et al. (2015), 627 milhões de toneladas em 2010. A produção média das cultivares de cana-de-açúcar pode variar de 40 a 70 toneladas por hectare dependendo do país, algumas variedades específicas são capazes de chegar a 150 toneladas por hectare em condições experimentais (MORAIS et al., 2015).

A produção da cana-de-açúcar tem se expandido em ambientes tropicais e subtropicais. À medida que avança o processo de mecanização de suas lavouras, passa a aumentar a disponibilidade de

uso da biomassa, ou seja, com o aumento da mecanização da colheita da cana-de-açúcar e a diminuição da prática da queima prévia da palha no campo, cresce significativamente a quantidade de palha disponível. Ainda não está clara qual a tendência predominante quanto ao uso da biomassa adicional, mas pode ser utilizada na co-geração de energia, como combustível suplementar para caldeiras convencionais de alta pressão, possibilitando um aumento de geração de energia, na proteção do solo de erosão, e também na conversão em etanol celulósico ou de segunda geração (VILLELA et al., 2015).

Variedades altamente produtivas, adaptadas a ambientes diversos e com valor agregado tem sido à base da expansão da cana-de-açúcar em várias regiões do país. Programas de melhoramento genético tem desenvolvido variedades adaptadas a ambientes de condições específicas de solo, clima, época de colheita, maior tolerância ao estresse hídrico, maior resistência às pragas e doenças e melhor adaptação à colheita mecanizada etc.

Atualmente novas linhas de pesquisa no melhoramento de cana-de-açúcar têm sido abertas como estudos destinados ao desenvolvimento de variedades melhoradas para produção de etanol lignocelulósico e alta produção de biomassa. O objetivo principal dos programas de melhoramento de cana-de-açúcar é prover novas cultivares que ampliem a produtividade de energia (açúcar, etanol e fibra), segundo Landell e Bressiani (2008) as cultivares desenvolvidas a partir de seleções regionais atendem às condições edafo-climáticas de cada região específica estudada, promovendo ganhos significativos para nichos específicos de produção. Os programas de melhoramento têm sido executados com sucesso, pois nos últimos 50 anos a cana teve um acréscimo de aproximadamente 40% na sua produtividade, no entanto o melhoramento de cana-de-açúcar requer um tempo de 8 a 12 anos para obtenção de uma nova cultivar.

Abordagens biotecnológicas podem tornar-se cruciais para enfrentar as limitações do melhoramento clássico, pois além do tempo de obtenção de um novo material, a cana-de-açúcar é um organismo complexo, e a sua elevada ploidia (aneuploidia e ploidia) e estrutura do genoma criam desafios para o desenvolvimento de plantas transgênicas que favoreçam o desenvolvimento da planta ideal para o novo seguimento de mercado, produtiva, com alto teor de sacarose (riqueza), tolerância ao déficit hídrico, alta produção de etanol e de biomassa (MORAIS et al., 2015).

A publicação deste documento tem como objetivo principal ser um instrumento orientador e difusor de informações. Os profissionais que o descreveram reuniram os mais relevantes conhecimentos e avanços científicos do melhoramento de cana-de-açúcar vistas ao desenvolvimento de novas variedades modernas, bem como os objetivos atuais.

Taxonomia e domesticação

Classificada como uma planta semi-perene, a cana-de-açúcar pertencente à família da Poaceae, subfamília Panicoideae, tribo Andropogoneae, subtribo Saccharinae e ao gênero *Saccharum* L. (LUCCHESI, 2001).

As variedades desenvolvidas e cultivadas no Brasil e no mundo são híbridos oriundos basicamente do gênero *Saccharum* que inclui seis espécies, sendo duas selvagens, *S. spontaneum* Linnaeus ($2n = 40-128$) e *S. robustum* Brandes e Jeswit ex Grassl. ($2n = 60-205$) e quatro formas cultivadas, *S. officinarum* Linnaeus ($2n = 80$), *S. barberi* Jeswit ($2n = 81-124$), *S. sinensis* Roxb. ($2n = 111-120$) e *S. edule* Hassk. ($2n = 60-80$).

As espécies *S. officinarum* e *S. spontaneum* são as maiores contribuintes para o genoma das variedades modernas. A espécie *S. officinarum* ou cana-nobre são capazes de acumular altos níveis de sacarose no colmo, mas possuem pouca resistência as doenças (MORAIS et al., 2015).

Segundo Landell e Bressiani (2008) a origem proposta para *S. officinarum* foi a partir de acessos de *S. robustum*, selecionados para colmos grossos, com maior teor de sacarose e baixo teor de fibra, as primeiras hibridações, segundo os autores, foram realizadas em Java e Barbados, por volta de 1958 e 1959. A espécie surgiu a partir de hibridações entre *S. spontaneum*, *S. miscanthus* e *Erianthus arundinaceus* e foi base dos programas de melhoramento de cana ao redor do mundo (DANIELS; ROACH, 1987). Segundo Ming et al. (2006), houve seis períodos distintos de hibridações em cana-de-açúcar: i) cruzamentos entre cultivares de *S. officinarum* preservando as características; ii) nobilitação do cruzamento *S. officinarum* x *S. spontaneum*, onde o processo de nobilitação é a não-redução do número de cromossomos e a introgressão de genes através do cruzamento de clones de *S. spontaneum* (com colmos finos, baixo teor

de sacarose, alto teor de fibra e tolerância ao frio) com *S. officinarum* chamado de cana nobre por apresentarem por apresentarem alto teor de açúcar; iii) cruzamento entre canas nobilizadas produzindo híbridos, cruzamentos entre esses híbridos e cruzamentos para aumentar a base genética da cana-de-açúcar.

O cultivo consecutivo e a alta suscetibilidade a doenças levaram os países produtores de cana a iniciarem programas de melhoramento visando cruzar a espécie *S. officinarum* com outras diferentes espécies, ricas em sacarose, mas que fossem resistentes às doenças da época. Assim, as canas plantadas atualmente apresentam a denominação *Saccharum* spp. e não somente *S. officinarum* (CHEAVEGATTI-GIANOTTO et al., 2011).

O centro de origem dos acessos de *S. officinarum* e *S. robustum*, selecionados para colmos mais grossos, com maior teor de sacarose e baixo teor de de é a Nova Guiné, a domesticação da cana-de-açúcar em Nova Guiné é aceita pela maioria dos melhoristas. Considera-se que da Nova Guiné os acessos se espalharam para a Indonésia, China, Índia, Micronésia e Polinésia, durante os tempos pré-históricos. Atualmente, os centros onde se encontram maior diversidade são: Nova Guiné para *S. officinarum* e *S. robustum*, a China para *S. sinense* e o norte da Índia para *S. barberi* (DANIELS, ROACH, 1987).

Produção de cana-de-açúcar no Brasil e no mundo

A cana-de-açúcar apresenta grande importância econômica, sendo cultivada em diversos países de clima tropical e subtropical. Seus principais produtos são o açúcar, o etanol e, mais recentemente, a cogeração de energia elétrica. Mundialmente, destaca-se como a principal cultura açucareira, ocupando cerca de 27 milhões de hectares plantados em mais de 130 países (FAO, 2013).

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com uma produção de 768 milhões de toneladas, seguido pela Índia, com 341 milhões de toneladas; China, com 129 milhões de toneladas; e Tailândia, com 100 milhões de toneladas (Figura 1). Paquistão, México, Colômbia, Indonésia, Filipinas, Estados Unidos, Austrália, Guatemala, Argentina, Vietnã, África do Sul, Cuba, Egito, Venezuela, Camarões e Paraguai estão entre os 20 maiores produtores, com produção variando de 64 milhões (Paquistão) a 5 milhões de toneladas (Paraguai) (FAO, 2013).

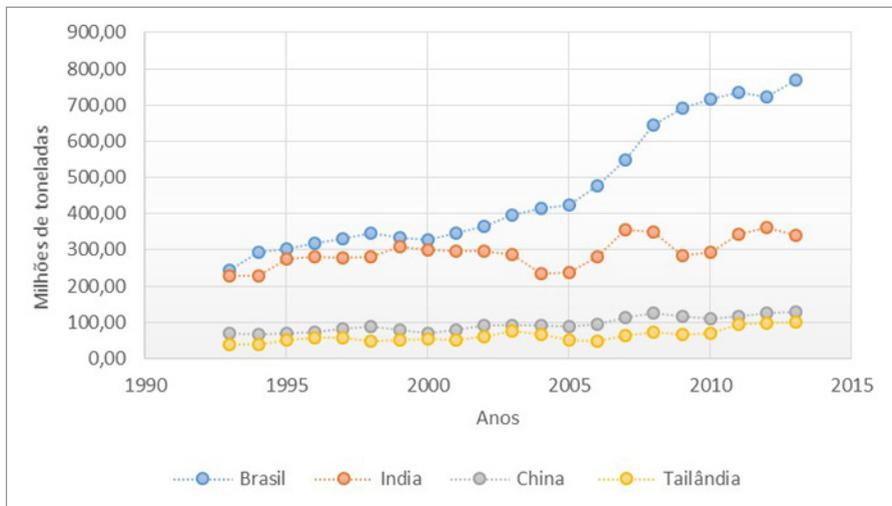


Figura 1. Produção de cana-de-açúcar dos quatro principais países produtores do mundo entre os anos de 1990 e 2013.

Fonte: FAO (2013).

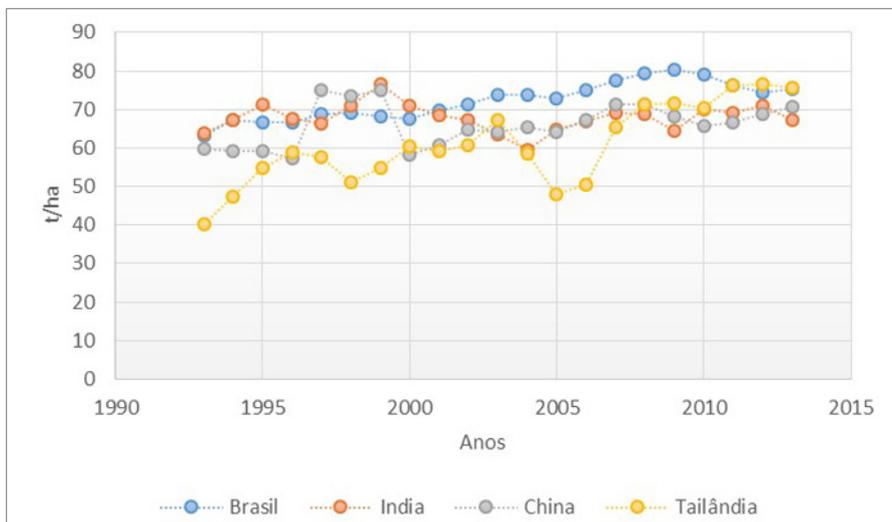


Figura 2. Produtividade média (t/ha) dos quatro principais países produtores do mundo entre os anos de 1990 e 2013.

Fonte: FAO (2013).

Ao considerar o cenário nacional, a produção de cana-de-açúcar está concentrada nas regiões Centro-Sul e Nordeste. A estimativa de área cultivada na safra 2015/2016 é de nove milhões de hectares, sendo os maiores Estados produtores São Paulo, com 51,3% da área, seguido por Goiás (10%), Minas Gerais (9%), Mato Grosso do Sul (7,9%), Paraná (6,8%), Alagoas (4,2%), Pernambuco (3%) e Mato Grosso (2,5%). Estes oito estados são responsáveis por 94,7% da produção nacional, com uma produtividade média de 73 toneladas por hectare (Figura 2) (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2015).

Considerando a importância da cultura em outros países, na Índia, a cana-de-açúcar é uma das mais importantes culturas industriais, ocupando cerca de cinco milhões de hectares; seus principais estados produtores são Uttar Pradesh, Maharashtra, Karnataka e Tamil Nadu (MORAIS et al., 2015), com uma produtividade média de 66 toneladas por hectare (USDA, 2013). A China é considerada o terceiro maior produtor, com uma produção de 129 milhões de toneladas de cana em 2013, em uma área de 1,8 milhões de hectares e produtividade média de 66,5 toneladas por hectare. Nesse país, a cana-de-açúcar é cultivada nas regiões Sul e Sudoeste, incluindo as províncias de Guangxi, Guangdong e Yunnan, as quais são responsáveis por 80% de toda a produção de açúcar (FAO, 2015).

Recursos genéticos

O melhoramento genético da cana-de-açúcar é realizado em diferentes instituições públicas e privadas que contam com seus bancos de germoplasma, cujos tamanhos em número de acessos são bastante variáveis. O sucesso desses programas está condicionado principalmente à correta identificação e utilização dos recursos genéticos disponíveis para o desenvolvimento de novas cultivares de cana-de-açúcar.

No início dos trabalhos de melhoramento, final do século 19 e início do 20, várias coletas foram realizadas nos centros de diversidade, tanto para uso comercial quanto para fonte de germoplasma (MATSUOKA et al., 1999). As primeiras coletas intencionadas na formação de coleções de germoplasma foram realizadas por pesquisadores de Java (Indonésia), por meio da coleta de genótipos com origem principalmente no Arquipélago Malaio e Índia (BERDING, ROACH, 1987).

Atualmente, existem inúmeras coleções e bancos de germoplasma do gênero *Saccharum* (*S. officinarum*, *S. barberi*, *S. sinense*, *S. robustum*, *S. edule*, *S. spontaneum*), *Erianthus* spp. e outros gêneros relacionados. Índia e Estados Unidos são os principais países repositórios mundiais do germoplasma, sendo reconhecidos pela International Society of Sugar Cane Technologists (ISSCT) como detentores da coleção mundial de acessos do complexo *Saccharum* e outros gêneros relacionados (MORAIS et al., 2015).

Na Índia, o Sugarcane Breeding Institute (SBI) com sede em Coimbatore é um dos pioneiros em pesquisas com a cultura, tendo iniciado suas atividades em 1912. O SBI conta com mais de 4.600 acessos entre espécies e híbridos interespecíficos do programa local e de outras instituições (ICAR, 2013).

Nos Estados Unidos, a coleção mundial de cana-de-açúcar está localizada em Miami, Estado da Flórida, e conta com mais de 2.400 acessos das espécies do complexo *Saccharum* e gêneros relacionados, principalmente, *S. arundinaceum* (124), *S. officinarum* (748), *S. spontaneum* (635), *S. barberi* (57), *S. sinense* (61) e híbridos de *Saccharum* (383) (MORAIS et al., 2015). Diversas informações sobre esses acessos estão disponíveis para consulta na base de dados do Germplasm Resources Information Network (GRIN), mantida pelo National Plant Germplasm System (NPGS) do United States Department of Agriculture (USDA) (USDA, 2013).

No Brasil, os programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar com tradição são: Instituto Agrônomo de Campinas, que desenvolve cultivares da sigla IAC; Centro de Tecnologia Canavieira, que desenvolve cultivares da sigla CTC, que incorporou o programa das cultivares SP da Copersucar; e Rede Interuniversitária para Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (Ridesa), que desenvolve cultivares da sigla RB.

O programa da Ridesa tem acentuada contribuição para a matriz energética do Brasil, pois na safra 2014/2015 foi responsável por 68% das variedades de cana cultivadas no País (DAROS et al., 2015). Essas variedades têm sua origem no Banco de Germoplasma (BAG) da Cana-de-açúcar da Estação de Floração e Cruzamento Serra do Ouro, em Murici, AL. Esse BAG foi implantado em 1967 pela Estação Experimental da Cana-de-açúcar de Alagoas, por meio de convênio estabelecido entre o Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA) e o Sindicato da Indústria do Açúcar e do Alcool no Estado de Alagoas (Sindaçúcar).

Em 1971, este BAG passou para o PLANALSUCAR, órgão instituído pelo IAA para desenvolver pesquisa com a cultura da cana-de-açúcar em todo o Brasil (BARBOSA, 2014).

Em 1990, ocorreu a extinção do IAA e, conseqüentemente, do Plano Nacional de Melhoramento de Cana-de-açúcar (Planalsucar). A incorporação de unidades do extinto Planalsucar por universidades federais abriu novas perspectivas, tanto para os pesquisadores quanto para o setor canavieiro. As estruturas físicas, tecnológicas e de recursos humanos do IAA foram transferidos para a Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Universidade Federal de Rural de Pernambuco (UFRPE), Universidade Federal de Viçosa (UFV), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Universidade Federal de Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Universidade Federal de Paraná (UFPR) e Universidade Federal de Sergipe (UFS) (Figura 3).

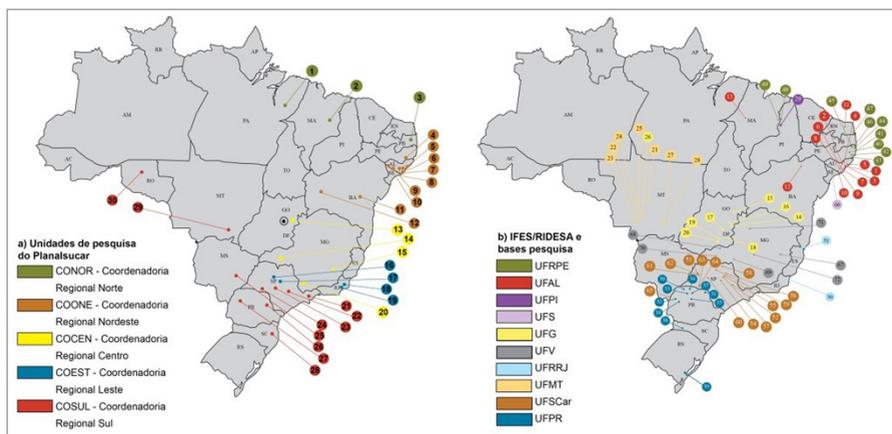


Figura 3. Áreas das unidades de pesquisa do Plano Nacional de Melhoramento de Cana-de-açúcar (Planalsucar): a) coordenadorias regionais e 30 estações experimentais; b) Instituições Federais de Ensino Superior (IFES) da Rede Interuniversitária para Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (Ridesa) e 72 bases de pesquisa.

Fonte: Barbosa et al., 2012a.

Atualmente, o acervo do BAG da Serra do Ouro é composto de 3.090 acessos, entre espécies e híbridos de diversas origens do mundo (Tabela 1). Esse acervo tem possibilitado anualmente a realização de aproximadamente 3.000 cruzamentos genéticos (Figura 4) para atender as universidades da Ridesa que desenvolvem seus programas regionais de obtenção de cultivares RB, no âmbito do Planalsucar. Desde o início das atividades do BAG da Serra do Ouro, foram liberadas 94 novas cultivares para o setor canavieiro nacional.

Tabela 1. Número de acessos do Banco de Germoplasma da Cana-de-açúcar da Serra do Ouro, da Rede Interuniversitária para Desenvolvimento do Setor Sucreenergético (Ridesa). Murici, Al, 2015.

Espécies / Híbridos	Acessos
<i>Saccharum officinarum</i>	45
<i>Saccharum sinense</i>	7
<i>Saccharum robustum</i>	9
<i>Saccharum spontaneum</i>	40
<i>Saccharum barberi</i>	6
<i>Saccharum edule</i>	1
<i>Erianthus arundinaceus</i>	6
Miscanthus	2
Híbridos: B ⁶⁷ , BJ ¹⁵ , CL ¹⁸ , CR ¹⁴ , CP ¹⁵² , Co ⁵⁷ , CB ¹⁵¹ , CTC ²³ , DB ¹¹ , F ³⁵ , H ¹³³ , IAC ⁶⁹ , IANE ¹⁵ , L ¹³ , LAICA ²² , MEX ²³ , N ¹² , NA ²⁰ , POJ ¹¹ , PR ²³ , Q ⁷⁸ , R ²⁶ , RB ^{1.568} , ROC ¹¹ , SP ¹³⁵ , TUC ⁵⁷ , TCP ¹⁴ , US ¹⁷ , outros ¹⁶⁴	2.974
Total	3.090

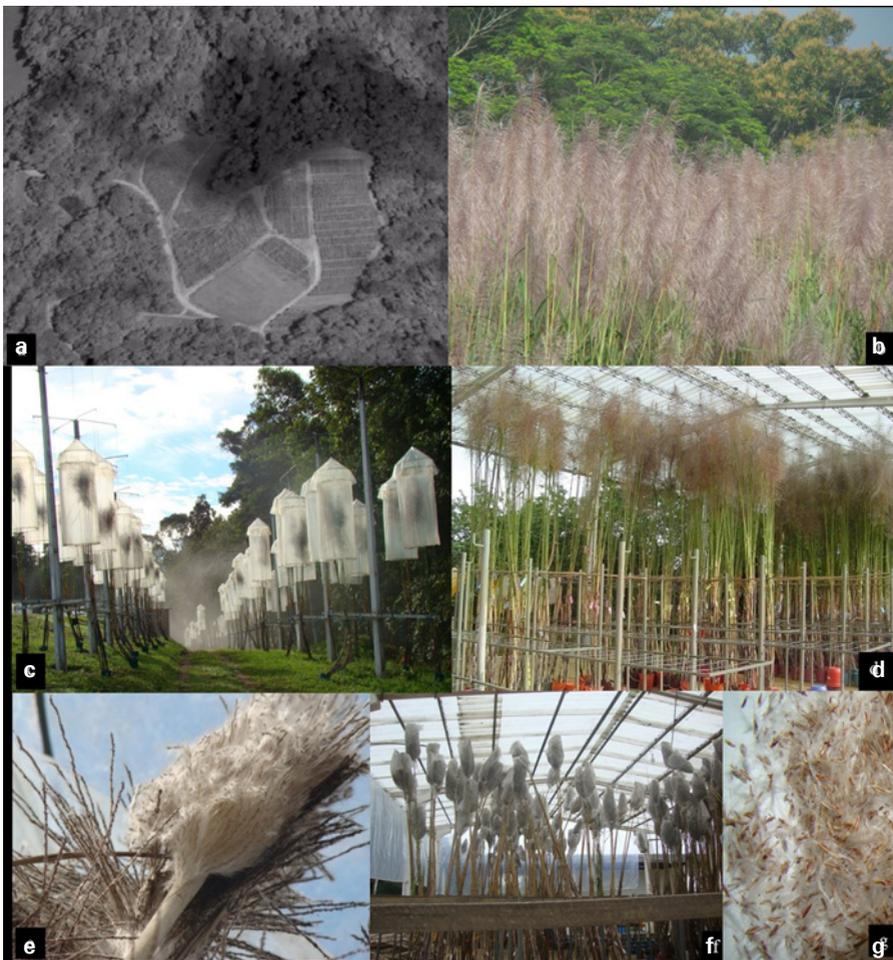


Figura 4. Ilustrações e procedimentos de hibridação da cana-de-açúcar na Estação de Floração e Cruzamento Serra do Ouro da Ridesa, Murici, Alagoas. a) vista aérea da Serra do Ouro; b) campo com profuso florescimento da cana; c) cruzamentos do tipo Bi-Parental; d) cruzamentos do tipo Multi-Parental; e) panícula com espiguetas/cariopses; f) amadurecimento das espiguetas/cariopses; f) espiguetas com destaque de cariopses.

Cana-energia

A biomassa é atualmente uma das mais importantes fontes para produção de energia, sendo considerada uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética de vários países, e consequente redução da dependência dos combustíveis fósseis (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2008).

Com o aumento do interesse pela biomassa como fonte de energia renovável e o conhecimento de que gramíneas tropicais são altamente eficientes na conversão de energia solar em energia química, alguns programas de melhoramento de cana-de-açúcar estão investindo significativa parcela de seu esforço para desenvolver cana energia (MING et al., 2006).

Para obtenção de cultivares do tipo cana-energia, são realizados cruzamentos genéticos entre híbridos modernos de cana-de-açúcar com espécies de cana selvagem do complexo *Saccharum* (*S. spontaneum*, *S. robustum*, *Erianthus* e *Miscanthus*), principalmente *S. spontaneum* (ARRUDA, 2012; MING et al., 2006). Esse tipo de cana tem sido idealizado para ter características de alto teor de fibra, baixo conteúdo de sacarose e elevada produtividade de biomassa (KIM; DAY, 2011).

Cruzamentos interespecíficos utilizando acessos com essas características foram frequentes antes de 1930, entretanto, somente a partir de 1960 é que o conceito de cana-energia começou a ser desenvolvido com a utilização de espécies selvagens do gênero *Saccharum*, em particular *S. Spontaneum*, para obter clones com maior potencial de produção de biomassa, tornando-se parte integrante de alguns programas de melhoramento, principalmente na Austrália (BERDING; ROACH, 1987), Porto Rico (LEAL, 2007), Barbados, Índia, Taiwan, Louisiana e no Havaí (MING et al., 2006).

Alexander (1985) argumentou, com base em sua experiência, que a produtividade de biomassa de cultivares de cana-energia pode ser 2 a 3 vezes a mais das cultivares de cana-de-açúcar. Entretanto, um dos desafios para atingir essas produtividades é investir em pesquisa e desenvolvimento, principalmente, com ênfase no melhoramento genético na obtenção de cultivares apropriadas.

Em Alagoas, foi implantada em 2014, a primeira biorrefinaria da América do Sul para produção de etanol celulósico a partir de resíduos da cana-de-açúcar, o Grupo Brasileiro GranBio, indústria de inovação

para geração de etanol através de conversão de biomassa (palha residual da colheita mecanizada e excedente de bagaço da moagem) em São Miguel dos Campos, AL. Desde 2007, o Programa de Melhoramento Genético do Centro de Ciências Agrárias da UFAL vêm desenvolvendo pesquisa direcionada à obtenção de cultivares RB de cana-energia, utilizando como fonte de variação genética do BAG da Serra do Ouro.

O programa de melhoramento da Ridesa tem como objetivo desenvolver dois tipos de cana-energia. Um primeiro tipo de cana-energia que mantenha o teor de açúcar das atuais cultivares, em torno de 15% de sacarose, com acréscimo na quantidade de fibra, onde as cultivares convencionais apresentam atualmente 14%, chegando as cultivares de cana-energia à 18%. Esse tipo será para atender as atuais empresas do setor sucroenergético brasileiro, para a produção de açúcar, etanol e eletricidade. Um segundo tipo de cana-energia, com reduzido teor de sacarose, próximo a 6%, e fibra próxima a 25%. Esse perfil de cana-energia é para atender grandes consumidores de vapor, calor, energia térmica e elétrica. A biomassa é transformada em combustíveis sólidos compactos (briquetes e pellets), para exportação e uso em calefação, queima em fornalhas, produção de vapor e geração de energia renovável em substituição às energias fósseis. Além dessas finalidades, esses tipos também poderão ser utilizados em biorrefinarias para a produção de etanol de segunda geração (etanol celulósico).

Assim, no Brasil, através dos programas de melhoramento de cana-de-açúcar, espera-se obter nos próximos anos cultivares de cana-energia que possam atender à ascendente demanda de empresas para a produção de etanol celulósico, bioeletricidade e bioquímicos diversos.

Objetivos do melhoramento e características importantes

Os programas de melhoramento buscam o desenvolvimento de cultivares geneticamente superiores, que combinem o máximo de caracteres desejáveis para contribuir de forma positiva para o setor sucroenergético.

Além do melhoramento genético, o ganho econômico na produção da cana-de-açúcar pode ser alcançado de outras formas, dentre elas, por meio da expansão da área de cultivo, melhoria no sistema de gestão,

produção e colheita, e através da inovação e tecnificação das usinas produtoras de açúcar e etanol (SCORTECCI, 2012).

Entretanto, o melhoramento da cana-de-açúcar é amplamente reconhecido como o principal método para o aumento da produtividade na maioria dos países produtores, pois contribui nesse sentido sem o aumento dos custos de produção, além de ser considerado como o principal método para o controle de doenças. Adicionalmente, o melhoramento possibilita contribuições significativas em caracteres agroindustriais e na qualidade do açúcar produzido (BERDING, 2004).

Um programa de melhoramento de cana-de-açúcar do início até o lançamento de uma cultivar pode demandar de 10 a 15 anos, sendo realizadas inúmeras etapas visando selecionar genótipos de interesse para diferentes características, avaliadas em diferentes cortes e locais (MATSUOKA et al., 1999; GAZAFFI et al., 2010; LANDELL; BRESSIANI, 2009). Isso se faz necessário, pois em avaliação, há caracteres qualitativos e quantitativos. Os caracteres qualitativos são controlados por um ou poucos genes e sofrem baixa influência ambiental; neste caso, o fenótipo observado em campo pelo melhorista reflete o mérito genético do indivíduo, tornando a seleção mais eficiente. Um exemplo de caráter qualitativo para cana-de-açúcar é o teor de sacarose.

Por outro lado, os caracteres complexos ou quantitativos, tais como produtividade, altura e peso de colmos são controlados por muitos genes, apresentando elevada ação ambiental e possível interação entre genótipos e ambientes. A influência do ambiente é um complicador, pois ao se observar um indivíduo produtivo, é necessário se certificar que esta superioridade se deve ao potencial genético, e não decorrente da ação de fatores ambientais. Para contornar esse cenário, o melhorista pode utilizar ferramentas de biometria e genética quantitativa, as quais são usadas a partir de resultados experimentais. Outro fator que dificulta o melhoramento é a presença da interação entre genótipos e ambientes, que essencialmente pode ser definida como o comportamento diferencial que os genótipos apresentam quando avaliados em diferentes condições locais e/ou ambientes, ou seja, a capacidade que diferentes genótipos expressam a determinadas condições. A principal consequência é a verificação de genótipos que são superiores para determinadas condições e/ou locais, obrigando o melhorista a fazer recomendações regionalizadas (CROSBIE, 2006; LYNCH; WALSH, 1998).

Descrição dos caracteres que apresentam importância na seleção de clones nos programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar tradicional:

- 1. Resistência a doenças e pragas:** resistência varietal é um caráter extremamente importante e valioso para as variedades de cana-de-açúcar, pois dispensam a necessidade de uso de defensivos na lavoura, reduzindo custos de produção e impactos ambientais. Entre as doenças que apresentam mecanismos de resistência genética destacam-se a ferrugem alaranjada (*Puccinia kuehni*), a ferrugem marrom (*Puccinia melanocephala*), o carvão (*Ustilago scitaminea*) e o mosaico (SCMV – Sugar Cane Mosaic Virus). Vale destacar que o raquitismo-das-soqueiras (*Leifsonia xyli* subsp. *xyli*) pode ser manejado eficientemente através de termoterapia durante o processo de produção de mudas para viveiros. Por outro lado, as pragas da cana-de-açúcar como as brocas (*Diatrea saccharalis* e *Diatrea flavipennella*) têm sido combatidas através de controle biológico e químico, mas também é desejável a resistência genética, pois apresentaria as mesmas vantagens de redução de custos e menor impacto ambiental, resultando em um manejo integrado eficiente (BARBOSA, 2012b.).
- 2. Produtividade:** para cana-de-açúcar, a produtividade é definida por dois fatores de igual importância; o primeiro é o teor de açúcar (sacarose invertida) no colmo (POL% cana) e o segundo fator é a produção de colmos em toneladas por hectare (TCH), sendo que, para obter esse quesito, ainda há componentes indiretos, tais como: número de colmos (perfilhamento) e massa de colmo, sendo este último composto por componentes secundários, como diâmetro, estatura e densidade de colmos (ALMEIDA, 2010). Por exemplo, uma característica importante no melhoramento é a obtenção de genótipos que apresentem colmos uniformes, com diâmetros médio/grosso e que não quebrem com facilidade, visando ao aumento do rendimento e à redução das perdas na colheita mecanizada.
- 3. Época de maturação:** uma classificação para as variedades atuais é com relação à época de colheita, sendo divididas em grupos de variedades hiperprecoces e precoces são colhidas no início da safra; as médias no meio da safra; e as tardias no final da safra, devido à variabilidade em relação ao acúmulo de açúcar nos colmos. Dessa forma, o melhoramento contempla a obtenção de genótipos específicos para cada época de colheita, visando maximizar a produção de açúcar ao longo da safra.

4. **Teor de fibra:** a fibra tem sido importante para cogeração de energia elétrica, visando atender as necessidades das usinas e destilarias, assim como para venda do excedente de energia. Para os processos industriais atuais, a quantidade ideal de fibra varia entre 12 e 13%. Contudo, para o conceito de cana-energia, que se fundamenta em uma planta com maior concentração de fibra e menos açúcar, voltada para a produção de energia, seja pela queima do bagaço ou pela produção de etanol de segunda geração, a seleção de novos genótipos deve contemplar quantidade e qualidade de fibra. Barbosa et al. (2004) conduziram estudos visando identificar cruzamentos com alto potencial para produção de fibra, porém novos estudos ainda precisam ser conduzidos para melhor caracterização do teor de fibra e com relação ao seu poder calorífico para cogeração de energia elétrica, bem como sua conversibilidade para produção de etanol celulósico (BARBOSA, 2012b.).
5. **Velocidade de crescimento e perfilamento:** as variedades devem apresentar rápido desenvolvimento inicial e elevada população de colmos, possibilitando o fechamento de entrelinhas e minimizando a competição com plantas infestantes (BARBOSA, 2012b.).
6. **Ausência de florescimento:** florescimento excessivo pode causar danos à qualidade da matéria-prima, devido à isoporização dos colmos, aumento do teor de fibra e da brotação das gemas laterais, diminuição do caldo extraído pelas moendas e paralisação do desenvolvimento dos colmos floridos, que acarretam queda de produtividade.
7. **Hábito de crescimento ereto:** uma cana ereta é importante em vários aspectos, possibilita a de formação de canaviais uniformes, facilita a colheita mecanizada, em que, a mecanização da colheita da cana-de-açúcar não só aumenta o rendimento operacional do procedimento como também reduz seu impacto ambiental, por dispensar a queima de resíduos. Plantas mais eretas estão sempre mais saudáveis, pois o tombamento excessivo gera aumento de impurezas minerais e vegetais, reduzindo a qualidade do caldo, além de provocar enraizamento dos colmos; conseqüentemente, eleva-se o teor de fibras e reduzem-se a densidade dos colmos, a extração do caldo e o rendimento de corte (BARBOSA, 2012b.).
8. **Despalha fácil ou natural:** assim como uma planta ereta auxilia na colheita mecanizada, colmos com fácil despalha permitem fornecer para a usina matéria-prima com menos impurezas, resultando

em um material de melhor qualidade para o processamento. Vale destacar que essa é uma característica que ganhou importância principalmente após a implementação da colheita mecanizada de cana crua.

9. **Brotação e longevidade:** diferentemente de outras culturas como milho e soja, a cana-de-açúcar é tratada como cultura semiperene, pois após a colheita as plantas apresentam capacidade de rebrota. No entanto, a cada ano a produtividade é reduzida, até que a produção comercial não se torna economicamente viável, quando se procede a reforma do canavial. Quanto maior a longevidade do canavial, menos frequente será a necessidade de reforma, o que garante menor custo de produção à lavoura. Destaca-se que, no caso de colheita mecanizada crua, as novas variedades devem apresentar alta capacidade de brotação sob a palha.
10. **Adaptabilidade e estabilidade:** adaptabilidade pode ser definida como a capacidade do genótipo se adaptar às diferentes condições ambientais, desde ambientes marginais a ambientes favoráveis. De forma geral, variedades que respondem a melhorias ambientais, mais responsivas, são alocadas preferencialmente em ambientes favoráveis; já as menos responsivas, mais rústicas, são alocadas em áreas marginais. A estabilidade pode ser definida como a previsibilidade que os materiais apresentam quando alocados em diferentes condições ambientais.
11. **Estresses abióticos:** a expansão da cultura para áreas marginais sinaliza a necessidade de liberação de variedades tolerantes às condições adversas, tais como: seca, alta concentração de alumínio, baixo nível de fósforo, baixas temperaturas e geadas.

Conforme apresentado, as características desejáveis são muitas, e as reunir em um só genótipo não é simples. Vale reforçar que, sendo o melhoramento uma atividade que demanda entre 10 a 15 anos, neste intervalo de tempo novas tecnologias poderão ser incorporadas no processo produtivo, assim como novas doenças e pragas poderão ser introduzidas no país, tornando assim a lista de prioridades variável ao longo do tempo. Nesse caso, o conhecimento da cultura e a capacidade de prospecção são fundamentais ao melhorista no desenvolvimento de uma futura variedade.

Realizações do melhoramento genético da cana-de-açúcar

Para o desenvolvimento de novas variedades, é necessário que o melhorista compreenda as necessidades da cultura e do mercado para definir quais as características devem ser consideradas ao longo do processo de seleção. Porém, algumas realizações obtidas nas últimas décadas ilustram como o melhoramento genético influenciou positivamente o setor. Entre as contribuições, destacam-se o desenvolvimento de variedades rústicas, voltadas para áreas marginais de produção; a ampliação do período de colheita, com variedades com diferentes épocas de maturação; a resistência genética a doenças; e a diversificação genética dos canaviais.

O Brasil apresenta um longo histórico de experiência com a cultura da cana-de-açúcar, porém muito do processo de expansão desta cultura ocorreu devido ao interesse na produção de etanol, impulsionado por iniciativas como o Programa Nacional de Álcool (ProÁlcool), entre os anos de 1975 e 1989 e, mais recentemente, no início dos anos 2000, devido a questões de sustentabilidade social e ecológica (GONÇALVES, 2009; KOHLHEPP, 2010). De forma geral, essa expansão ocorreu para áreas marginais de produção, sendo que a ausência de genótipos adaptados a estas condições era um fator limitante de produção. Por exemplo, a variedade RB867515 é um caso de genótipo adaptado a condições restritivas, sendo inclusive o material mais cultivado no Estado de São Paulo e, conseqüentemente, no Brasil (CHAPOLA, et al., 2014), devido a sua elevada produtividade em regiões adversas (DAROS, et al., 2010).

Outro exemplo de contribuição do melhoramento para o setor foi a possibilidade de se ampliar a safra da cana-de-açúcar, com o desenvolvimento de variedades (hiper) precoces, como a RB855156. O desenvolvimento de genótipos mais precoces permitiu a ampliação do período de colheita, aumentando a produção anual de açúcar e etanol do país. Ao observar o setor sucroenergético nacional, não há registros de quebra significativa de produtividade devido à entrada de alguma nova doença, diferentemente do que se observa em outros países. Para exemplificar esse cenário, podem-se citar duas doenças recentes no Brasil; a ferrugem-marrom (*P. melanocephala*) e a ferrugem-alaranjada (*P. kuehni*), a primeira relatada pela primeira vez em 1987 e a segunda em 2009 (FIGUEIREDO et al., 2011; CHAPOLA, 2013). Essas doenças induziram a substituição de variedades suscetíveis tais como a SP70-

1143 e a RB835486 (ferrugem-marrom); e a RB72454, a SP81-3250 e a SP89-1115 (ferrugem-alaranjada), mas não causaram impactos muito significativos ao setor, devido à substituição por outras variedades cultivadas resistentes a essas doenças. A produtividade brasileira de cana-de-açúcar aumentou 66% em toneladas por hectare e 34% em teor de açúcar por tonelada entre os anos de 1975 e 2010 (DAL-BIANCO, 2012), Figuras 5 e 6.

Por fim, com esse cenário formado, considerando diferentes ambientes de produção e diferentes épocas de colheita, atualmente, o canavial brasileiro é cultivado por uma maior gama de materiais genéticos e, inclusive, com menor coeficiente de parentesco do que em décadas passadas, Figura 6 (DAL-BIANCO et al., 2012), garantindo maior segurança genética da cultura para possíveis novos eventos de crise.

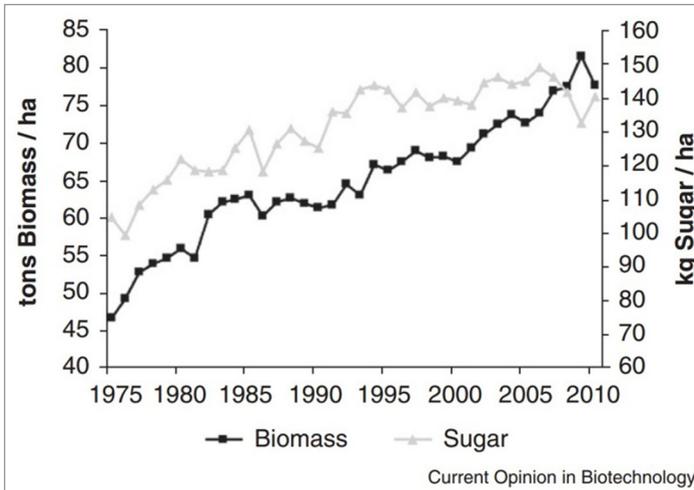


Figura 5. Evolução da produtividade da cana-de-açúcar e do teor de açúcar entre os anos de 1975 e 2010, no Brasil.

Fonte: Dal-Bianco (2012).

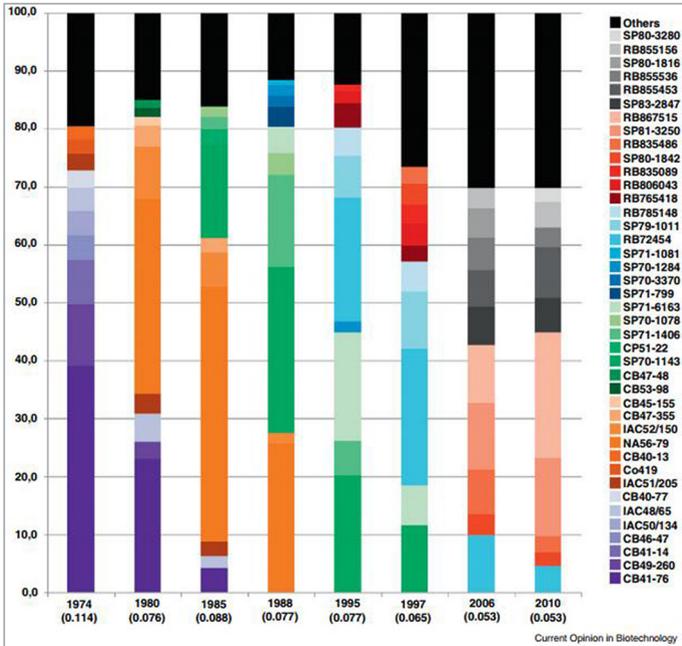


Figura 6. Aumento do número de variedades de cana-de-açúcar em uso no Brasil. Os números entre parênteses são a média do coeficiente de parentesco entre as dez principais variedades do determinado ano.

Fonte: Dal-Bianco (2012).

Melhoramento e integração com novas biotecnologias

A biotecnologia tem revolucionado a agricultura com modernas técnicas que nos permitem identificar e selecionar genes que codificam características benéficas para serem usados como marcadores moleculares nos processos de seleção assistida, ou ter a expressão de um determinado gene em outro organismo por transgenia e, assim, com maior precisão, obter novas características agronômicas e nutricionais desejáveis nos cultivos de plantas (CARRER et al. 2010). O estabelecimento de uma agricultura sustentável, que preserve o meio ambiente e proporcione segurança alimentar futura, é um fator primordial para o desenvolvimento da humanidade ante as mudanças climáticas e o declínio das reservas energéticas não renováveis. Diante

das previsões de crescimento populacional mundial, atingindo nove bilhões de habitantes em 2050 (ASH et al., 2010 citado por CARRER et al., 2010), existe o desafio de criar métodos avançados e eficientes para aumentar a produção de alimentos e energia renovável sem, contudo, esgotar os recursos naturais. Nesse cenário, a biotecnologia de plantas ocupa papel central na busca de soluções para atenuar os problemas, atuais e futuros, causados pelo estilo de vida adotado pelo homem.

O etanol obtido da cana-de-açúcar tem se mostrado um combustível promissor como alternativa aos combustíveis fósseis, reduzindo a dependência do Brasil. O desenvolvimento de plantas adaptadas a diversas condições ambientais com potencial energético como a cana-de-açúcar em adição às ferramentas utilizadas na biotecnologia pode potencializar o aumento da produção de biocombustíveis, atualmente utilizando algas transformadas geneticamente para a produção de etanol lignocelulósico. Nesse contexto, o aproveitamento de biomassas lignocelulósicas abundantes e de baixo custo, como o bagaço e a palha de cana-de-açúcar, para produção de etanol de segunda geração surge como uma promissora alternativa, gerando novas possibilidades para empreendimentos no setor. Atualmente, o principal fator limitante para conversão eficiente da energia contida na biomassa lignocelulósica em etanol consiste na indisponibilidade de tecnologias de baixo custo, em especial, no que diz respeito à desconstrução da holocelulose presente na parede celular vegetal em açúcares fermentescíveis por meio de hidrólise enzimática. Essa etapa depende de celulasas, que podem ser produzidas por microrganismos como fungos filamentosos, leveduras e bactérias, mas que apresentam alto custo de produção, baixa taxa de conversão enzimática e retro-inibição pelo produto final. Frente a esse panorama, a utilização de organismos geneticamente modificados ganha destaque como uma alternativa para a produção de enzimas em grandes quantidades e com propriedades desejáveis.

Outros estudos têm sido direcionados visando análise funcional de genes envolvidos na fotossíntese da cana-de-açúcar, ao aumento do teor de sacarose, à obtenção de plantas que apresentem tolerância a seca, entre outros. O objetivo comum desses estudos é o desenvolvimento, em curto prazo, de tecnologias que permitam uma produção eficiente de energia renovável. O estudo e sequenciamento de Expressed Sequence Tags (ESTs) de cana-de-açúcar têm contribuído para o processo de descoberta de genes, como por exemplo, Iniciativa Sugarcane EST Projeto (SUCEST) que contribuiu com 291.904 ESTs de

cana-de-açúcar (HOTTA et al., 2010). As informações do SUCEST, o Índice de Gene Canavieira (SGI), os dados de expressão de genes, e os registros das características agrônômicas, fisiológicos e bioquímicos de cultivares de cana estão todos integrados na base de dados SUCEST-FUN (<http://diversão.sucest- Org>) (DAL-BIANCO et al., 2012).

No melhoramento da cana, a escolha dos genitores para o cruzamento requer cuidadosa caracterização e avaliação do germoplasma, bem como o planejamento para que objetivo seja direcionado a nova cultivar. Os marcadores moleculares podem nesse momento serem utilizados como ferramentas para ajudar e orientar a escolha do genitor, bem como os melhores híbridos. Essa tecnologia pode ser usada para estudos de diversidade genética na identificação de cultivares promissoras e no mapeamento genético. Além disso, também podem ser usados em testes de diagnóstico molecular para detectar vários agentes patogênicos de cana-de-açúcar em diferentes laboratórios em todo o mundo (MORAIS et al., 2015).

Os programas de melhoramento genético podem ser acelerados com o desenvolvimento mapas genético-moleculares, com o mapeamento de marcadores moleculares fortemente ligados a genes que controlam as características de interesse. Adicionalmente, a utilização dos marcadores em estudos de mapeamento genético e de QTL's pode proporcionar um importante progresso no conhecimento da estrutura genética e genômica da cana-de-açúcar. Os ESTs são utilizados no desenvolvimento de marcadores genético-moleculares funcionais, viabilizando a construção de mapas genéticos funcionais, os quais servem de base para a estratégia de genes candidatos. Assim pode-se construir um mapa genético-molecular funcional altamente saturado com marcadores funcionais obtidos a partir de ESTs de interesse. Porém, são difíceis de construir em espécies poliplóides como a cana, por várias razões como elevados níveis de ploidia; número de cromossomos irregulares; uma vasta gama de genótipos é esperada na população segregante devido a heterozigose e ploidia (HOARAU et al., 2001). Ao longo das últimas duas décadas de estudos iniciais de mapas genéticos de cana, existem atualmente 19 mapas de ligação que foram construídos a partir dos 13 pedigrees, mas ainda estão incompletos (DAL BIANCO et al., 2012).

A transgenia vem sendo aplicada nas atividades agrícolas para viabilizar o cultivo de espécies vegetais mais adaptadas às necessidades humanas, como resistência à seca, incidência de pragas, adaptação

a determinadas regiões, entre outras. No Brasil, muitas variedades transgênicas já foram desenvolvidas por empresas públicas e pela iniciativa privada, como: soja (*Glycine max*), cana-de-açúcar (*S. officinarum*), resistentes ao glifosato e estudos recentes para cana reportam o desenvolvimento e inclusão do gene Bt; batata (*Solanum tuberosum*) com estudos para o vírus Y e P, o vírus do enrolamento das folhas; mamão (*Carica papaya*) com o vírus da mancha anelar e feijão resistente ao vírus do mosaico dourado. As duas principais instituições relacionadas com o estudo de produção de cultivares transgênicas são a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e Centro de Tecnologia Canavieira (CTC).

No caso da cana-de-açúcar, já foram inseridos genes para tolerância a herbicidas, resistência a insetos (genes Cry), resistência a doenças (mosaico (Vírus do Mosaico da cana-de-açúcar – SCMV), amarelinho (vírus ScYLV) e escaudadura(*Xanthomonas albilineans*), resistência a estresses abióticos (maior acúmulo de prolina e de trealose), maior acúmulo de sacarose, supressão do florescimento, entre outras características (SUPRASANNA et al., 2011).

Uma das principais dificuldades encontradas nas pesquisas com cana transgênica é o silenciamento gênico, provavelmente causado pela alta complexidade do genoma (poliploidia e aneuploidia). Para conseguir eventos com expressão estável do transgene, alguns grupos têm estudado a influência de diferentes promotores. Além do silenciamento gênico, outra dificuldade é a impossibilidade de se fazer retrocruzamento com a espécie. Isso significa que cada genótipo de cana transgênico para o mesmo gene deve ser transformado separadamente, o que depende da capacidade de regeneração e também encarece o processo. Instituições de vários países (Argentina, Austrália, Brasil, Colômbia, Estados Unidos, África do Sul, Índia, China e Indonésia) já obtiveram cana transgênica em laboratório. Teste a campo com eventos transgênicos também têm sido realizados em vários países, mas nenhuma liberação comercial foi feita. Por causa do crescente interesse pela produção e uso de biocombustíveis, várias empresas multinacionais que possuem eventos comerciais com outras culturas (soja (*G. max*) e milho (*Zea mays*), por exemplo) começaram a investir em pesquisas com cana transgênica, o que aumenta a chance de uma liberação comercial nos próximos anos (MORAIS et al., 2015).

O Brasil possui legislação específica para tratar da produção de transgênicos e da sua liberação no meio ambiente. A Lei 8.974/95

fez criar a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) como entidade responsável pela elaboração das instruções normativas relativas aos transgênicos.

Obtenção de sementes de cana-de-açúcar para programas de melhoramento

A cana-de-açúcar é uma espécie cultivada propagada vegetativamente nos plantios comerciais, alógama de reprodução sexuada. A propagação por sementes somente se processa após cruzamentos direcionados realizados nos programas de melhoramento genético, visando à obtenção de novas variedades.

Nos programas de melhoramento genético de cana, a produção de sementes é realizada utilizando basicamente dois tipos de cruzamentos: biparental e múltiplo. No cruzamento biparental a hibridização é realizada entre dois genótipos de interesse, enquanto que no cruzamento múltiplo, apenas a identidade da planta mãe é conhecida, sendo o pólen oriundo livremente de diversos indivíduos (HEINZ; TEW, 1987).

Os processos e técnicas de hibridação variam bastante entre os diferentes programas de melhoramento e diferentes estações de cruzamento. Porém o processo de hibridização consiste em colher no campo os colmos com inflorescências ainda em fase inicial de abertura. O florescimento da cana é um processo fisiológico complexo formado por vários estádios de desenvolvimento e, cada estádio tem sua própria necessidade ambiental e fisiológica (CASTRO, 2001). Entre os fatores que interferem na indução do florescimento podemos destacar o fotoperíodo ideal de 12 a 12,5 horas luz, temperatura máxima inferior a 32 °C e mínima superior a 18 °C com uma amplitude térmica inferior a 13 °C, latitude entre 10 °N a 10 °S, umidade mínima de 60%, entre outros (ARALDI et al., 2010).

Os colmos colhidos no campo com as inflorescências são levados para o processo de polinização onde algumas cultivares são escolhidas como genitores femininos e outras são escolhidas como genitores masculinos, em que a inflorescência masculina ficará acima da inflorescência determinada feminina. Após 15 dias mantidos em solução nutritiva considera-se a ocorrência de polinização e fecundação, os colmos com inflorescências femininas são encapuzados e transportados

sendo mantidos ainda em solução para maturação das sementes. Aproximadamente com 30 dias, as sementes são colhidas, deslintadas, germinação testada e repassadas a bandejas ou copos individuais para posterior transplântio e distribuição nos campos de seleção.

A produção de sementes de alto potencial fisiológico representa a base de um bom programa de melhoramento genético, pois é a partir delas que serão originadas as plântulas sadias que poderão dar origem a uma futura variedade comercial, o que pode variar entre os diferentes materiais genéticos e seus híbridos.

Cana-de-açúcar e cenário atual

Dentre as biomassas com potencial para produção de energia, a cana-de-açúcar destaca-se no cenário nacional por apresentar uma área plantada de 8,99 milhões de hectares e uma produção de 658,7 milhões de toneladas, área cultivada no Brasil com cana-de-açúcar na safra 2014/15 (COMPANHIA nacional de abastecimento, 2014). São Paulo, maior produtor, possui 52% (4.678,7 mil hectares), seguido por Goiás com 10,1% (908 mil hectares), Minas Gerais com 9% (811,2 mil hectares), Mato Grosso do Sul com 7,5% (677,9 mil hectares), Paraná com 6,6% (596 mil hectares), Alagoas com 3,8% (338,3 mil hectares), Pernambuco com 2,9% (264 mil hectares) e Mato Grosso com 2,6% (230,3 mil hectares). Esses oito estados são responsáveis por 94,5% da produção nacional. Os outros 14 estados produtores possuem áreas menores, totalizando 5,5% da área total do país. Segundo o terceiro levantamento Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), de dezembro de 2015, safra 2015/2016, estima-se que o Brasil teve uma redução na área de 9,3 mil hectares, equivalendo a 0,1% em relação à safra 2014/15. O decréscimo foi reflexo do comportamento da safra em dois grandes estados produtores: Alagoas com redução de 12,2% (47 mil hectares) e Paraná com redução de 6,1% (39 mil hectares) (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2015).

Além dos produtos gerados da cana-de-açúcar como açúcar e etanol, o bagaço da cana-de-açúcar vem sendo utilizado na geração de eletricidade, contribuindo para a diversificação do setor sucroenergético e aumento de sua receita. Com o crescente aumento da colheita mecânica da cana crua, as palhas e pontas, que antes eram queimadas, estão se tornando insumo valioso para cogeração de eletricidade e cada vez mais a cultura vem se destacando como uma biomassa dedicada à produção de energia.

Atualmente as usinas sucroalcooleiras de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Goiás têm melhorado a capacidade de geração de energia elétrica, muitas vezes alimentando o sistema nacional de energia elétrica, através de venda contratada pela operadora nacional. Em muitas usinas sucroalcooleiras, o negócio cogeração de energia elétrica, é, por vezes, mais importante que o negócio etanol, já que apresenta alta fluidez de mercado e preços de venda do KWH atrativos, complementando a receita da usina, amortizando os custos industriais elevados das usinas, correntes nesses ambientes produtivos. Dessa forma, a demanda por biomassa altamente produtiva para a queima direta em caldeiras tem sido crescente.

Pelo grande potencial de uso de biomassa na geração de energia, os programas de melhoramento têm se articulado para o desenvolvimento de biomassas modernas, dedicadas a produção de bioenergia.

Plantas com rápido desenvolvimento, fluxo contínuo de reprodução e estabilidade ao longo dos anos têm sido o ponto focal nesse processo. O melhoramento para a cana com o ideótipo energia busca a variabilidade existente do material selvagem com baixo açúcar grande potencial para produção de biomassa e fibra, e alta rusticidade. Por serem mais rústicas, estas seriam menos exigentes em solo, clima, água e nutrientes, mais resistentes a pragas e doenças e com maior habilidade competitiva com plantas daninhas, resultando em maior eficiência no seu cultivo, ou seja, maior unidade de energia produzida por energia gasta (CARVALHO NETO et al., 2014).

A análise do cenário de oferta e demanda de energia para as próximas décadas estabelece que o agronegócio mundial esteja estruturado em quatro macro-segmentos: alimentação e fibras, plantas ornamentais, nichos especializados e biomassa, sendo esta última a base da energia renovável, servindo também de matéria prima para a indústria química. Dentro desse modelo, culturas como a cana-de-açúcar, capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) e sorgo (*Sorghum bicolor*) são considerados fontes de energia renovável no Brasil, considerando-se o etanol e a cogeração de eletricidade, a partir do bagaço. A cogeração de eletricidade torna-se estratégica para o País, não só pela economia dentro das usinas produtoras de álcool, mas pela venda do excedente, que em época de crise de abastecimento é uma opção para atender a demanda. O Brasil vem se destacando no cenário internacional quanto à produção de energia renovável. As fontes renováveis de energia como biomassa, Pequena Central Hidrelétrica (PCH), eólica, termelétrica e solar representaram 41% da matriz energética brasileira em 2013.

De acordo com o Plano de Expansão Descenal de Energia 2023, 1 bilhão de toneladas de cana serão colhidas em 2023, existe um potencial de geração de até 14,4 GW médio de potência a partir da bioeletricidade, o que representaria uma participação de 10% da matriz energética (MME, 2014). Segundo Villela et al. (2015), com a entrada de usinas otimizadas e fim do corte manual no Centro-Sul, a bioeletricidade seja gerada com 75% de bagaço e 50% da palha/ponta disponível, a bioeletricidade da queima do bagaço e da palha da cana-de-açúcar se apresenta como a melhor alternativa ambiental para o crescimento da matriz energética elétrica brasileira. A previsão é de que as fontes de energia renováveis continuem tendo grande representatividade na matriz energética nacional, com participação, em 2023, de até 42,5%.

A cana-de-açúcar cultivada faz parte da história da civilização. Sua função como planta alimentícia, para a produção de açúcar, fez com que o melhoramento genético estivesse voltado para a obtenção de materiais genéticos com alta produção de sacarose no caldo. Atualmente, além de linhas de pesquisas para alta produção de açúcar e etanol, os programas têm selecionado clones para alta produção de fibra, conhecidos como cana-energia. Esses clones têm em geral, menor teor de sacarose e maior teor de fibras totais, porém, a alta produção de biomassa total para atendimento aos clamores de um novo seguimento econômico para a cultura.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília, DF, 2008. 236 p.

ALEXANDER, A. G. **The Energy Cane Alternative**. New York: Elsevier, 1985. p. 46-60.

ALMEIDA, L. M. **Seleção de famílias de irmãos-completos de cana-de-açúcar e estimativa da diversidade genética via marcador de DNA (ISSR)**. 2010. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goitacazes, 2010.

ARALDI, R.; SILVA, F. M. L.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Florescimento de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 40, n. 3, p. 694-702, 2010.

ARRUDA, P. Genetically modified sugarcane for bioenergy generation. **Current Opinion in Biotechnology**, London, GB, v. 23, p. 315-322, 2012.

BARBOSA, G. V. S. **Contribuição do melhoramento genético da cana-de-açúcar para a agroindústria canavieira de Alagoas**. 2014. 113 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

BARBOSA, M. H. P.; RESENDE, M. D. V.; DIAS, L. A. S; BARBOSA, G. V. S.; OLIVEIRA, R. A.; PETERNELLI, LA; DAROS, E. Genetic improvement of sugar cane for bioenergy: the Brazilian experience in network research with RIDESA. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 12, p. 87-98, 2012a.

BARBOSA, M. H. P., RESENDE, M. D. V., PETERNELLI, L. A., BRESSIANI, J. A; SILVEIRA, L. C. I, SILVA, F. L., FIGUEIREDO, I. C. R. Use of REML/BLUP for the selection of sugarcane families specialized in biomass production. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 4, p. 218-226, 2004.

BARBOSA, M. H. P.; SILVEIRA, L. C. I. MELHORAMENTO GENÉTICO E RECOMENDAÇÃO DE CULTIVARES. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. (Ed.). **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e etanol: tecnologias e perspectivas**. 2. ed. Viçosa, 2012b. cap. 11. p. 313-331.

BERDING, N.; HOGARTH, M.; COX, M. (Plant Improvement of Sugarcane, In: JAMES G. **Sugarcane**. 2. ed. Oxford, UK: Blackwell Science Ltda, 2004.

BERDING, N.; ROACH, B. T. Germplasm collection, maintenance, and use. In: HEINZ D. J. (Ed.). **Sugarcane improvement through breeding**, New York, USA: Elsevier, 1987. p. 143–210.

CARRER, H.; BARBOSA A. L. RAMIRO, D. A. Biotecnologia na Agricultura. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 24, n. 70, p. 149-164, 2010.

CARVALHO NETTO, O. V.; BRESSIANI, J. A.; SORIANO H. L.; FIORI, C. S.; SANTOS, J. M.; BARBOSA, G. V. S.; XAVIER, M. A.; LANDELL, M. G. A.; PEREIRA, G. A. G. The potential of the energy cane as the main biomass crop for the cellulosic industry. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, Portici, ITA, p. 1-20, 2014.

CESNIK, R., MIOCQUE, J. 2004. **Breeding of Sugarcane: in brazilian**. Brasília, DF: Embrapa Technological Information. 307 p.

CHAPOLA, R. G.; HOFFMANN, H. P.; NUNES, I. K.; FERNANDES J. R., AR; CURSI, D. E.; BASSINELLO, AI. Variedades de cana-de-açúcar mais cultivadas nos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul em 2013. **STAB**, Piracicaba, v. 32, p. 26-30, 2014.

CHAPOLA, R. G. **Reação de variedades de cana-de-açúcar à ferrugem alaranjada (*Puccinia kuehni*)**. 2013. 77 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, São Paulo, 2013.

CHEAVEGATTI GIANOTTO, A.; ABREU, H. M. C. ARRUDA, P.; BESPALHOK FILHO, J. C.; BURNQUIST, W. L.; CRESTE S. CIERO L.; FERRO, J. A.; FIGUEIRA, A. V. O.; FILQUEIRAS, T. S.; GROSSI-DE-SÁ, M. F.; GUZZO, E. C.; HOFFMANN, H. P.; LANDELL, M. G. A. MATSUOKA, N. M.; REINACH, F. C.; ROMANO, E.; SILVA, W. J.; SILVA FILHO, M. C.; ULIAN, E. C. Sugarcane (*Saccharum x Officinarum*): a reference study for the regulation of genetically modified cultivaras in Brazil. **Tropica Plant Biology**, Kunia, USA, v. 4, p. 62-89, 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar: safra 2015/16.** Brasília, DF, 2015, 70 p. v. 2. n. 2. Terceiro levantamento.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar: safra 2014/15.** Brasília, DF, 2014. v. 1, n. 3. Terceiro levantamento dezembro.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Monitoring of the Brazilian harvest of sugarcane crop 2012/3rd survey.** Brasília, DF: National Supply Company, 2012. 18 p.

CORDEIRO, G. M.; AMOUYAL, O.; ELOITT, F.; HENRY, R. J. Sugarcane. In: KOLE, C. (Ed.). **Pulses, sugar and tuber crops.** Berlin, GER: Springer, 2007. p. 175-204. (Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants, 3).

CROSBIE, T. M.; EATHINGTON, S. R.; JOHNSON, G. R.; EDWARDS, M.; REITER, R.; STARK, S.; MOHANTY, R. G.; OYERVIDES, M.; BUEHLER, R. E.; WALKER, A. K.; DOBERT, R.; DELANNAY, X.; PERSHING, J. C.; HALL MA, LAMKEY KR. Plant breeding: past, present, and future. In: IAMKEY, K. R. Lee, M. (Ed.). **Plant breeding: the arnel r. hallauer international symposium, 2006.** p. 3-50.

DAL-BIANCO, M.; CARNEIRO, M. S.; HOTTA, C. T.; CHAPOLA, R. G.; HOFFMANN, H. P.; GARCIA, A. A.; et al. Sugarcane improvement: how far can we go? **Current Opinion in Biotechnology**, Massachusetts, USA, n. 23, p. 265-270; 2011.

DANIELS, J.; ROACH, B. T. Taxonomy and evolution. In: HEINZ, D. J. (Ed.). **Sugarcane improvement through breeding.** Amsterdam: Elsevier, 1987. DAROS, E.; OLIVEIRA, R. A.; ZAMBON, J. L. C.; BESPALOCK FILHO, J. C. **45 anos de variedades RB de Cana-de-açúcar: 25 anos de RIDESA.** Curitiba: RIDESA, 2010. 136 p.

FAO. Economic and Social Development Department. **Proceedings of the Fiji/FAO 1997 Asia Pacific Sugar Conference.** Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/005/x0513e/x0513e18.htm>>. Acesso em: 06 nov. 2015a.

FAO. FAOSTAT. **Food and Agriculture Organization of the United Nations.** Disponível em: <[http://faostat3.fao.org/compare/E\(2013\)](http://faostat3.fao.org/compare/E(2013))>. Acesso em: 06 nov. 2015b.

FAO, 2010. FAOSTAT- Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at: <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>. Acesso em: 10 fev. 2015.

FIGUEIREDO, P.; LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P.; SCARPARI, M. S.; XAVIER, M. A.; ANJOS, I. A. **O instituto Agrônomo (IAC) e fatos históricos relacionados ao desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar até o fim do século XX**. Campinas: IAC, 2011. 47 p.

FIGUEIREDO, P. Brief history of sugarcane and the role of the Agronomic Institute at its establishment in Brazil. (In Brazilian) In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Sugarcane**. Campinas: Agronomic Institute, 2008. p. 31-44.

GAZAFFI, R.; OLIVEIRA, K. M.; SOUZA, A. P.; GARCIA, A. A. F. Sugarcane: Breeding and genetic mapping. In: CORTEZ, L. A. B. (Org.). **Sugarcane bioethanol: R&D for productivity and sustainability**. São Paulo: BLUCHER, 2010. v. 1. p. 333-344.

GONÇALVES, D. B. Considerações sobre a expansão recente da lavoura canavieira no Brasil. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 39, n. 10, p. 70-82, out. 2009.

HEINZ, D. J.; TEW, T. L. Hybridization procedures. In: HEINZ, D. J. (Ed.). **Sugarcane improvement through breeding**. Amsterdam: Elsevier, 1987. p. 313-342.

HENRY, R. J. Basic information on the sugarcane plant. In: HENRY, R. J.; KOLE, C. (Ed.). **Genetics, genomics and breeding of sugarcane**. Enfield, USA: Science Publishers, 2010.

HOARAU, J. Y.; OFFMAN, B.; D'HONT, A.; RISTERUCCI, A. M.; ROQUES, D.; GLASZMANN, J. C.; GRIVET, L. Genetic dissection of a modern sugarcane cultivar (*Saccharum* spp.). I. Genome mapping with AFLP markers. **Theoretical Applied Genetics**, New York, USA, v. 103, n. 1, p. 84-97, jul. 2001.

HOTTA, C. T.; LEMBKE, C. G.; DOMINGUES, D. S.; OCHOA, E. A.; CRUZ, G. M. Q.; MELOTTO-PASSARIN, D. M.; MARCONI, T. G.; SANTOS, M. O.; MOLINARI, M.; MARGARIDO, G. R. A.; CRIVELLARI, A. C.; SANTOS, W. D. dos; SOUZA, A. P. de; HOSHINO, A. A.; CARRER, H.; SOUZA, A. P.; GARCIA, A. A. F.; BUCKERIDGE, M. S.;

KIM, M.; DAY, D. F. Composition of sugar cane, energy cane, and sweet sorghum suitable for ethanol production at Louisiana sugar mills. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, Hampshire, GB, v. 38, n. 7, p. 803-807, jul. 2011.

KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 24, n. 68, p. 223-253, 2010.

LANDELL, M. G. A. BRESSIANI, A. Melhoramento genético, caracterização e manejo varietal. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Sugarcane**. Campinas: Agronomic Institute, 2008. p. 101-155.

LEAL, M. R. L. V. The potential of sugarcane as an energy source. *Proceedings International Society Sugar Cane Technology*, v. 26, 2007.

LUCCHESI, A. A. SUGARCANE (In Brazilian). In: CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. (Ed.). **Ecophysiology of extractive crops: sugarcane, rubber, coconut, oil palm and olive**. Piracicaba: Cosmópolis Stoller do Brasil, 2001. v. 1. p. 13-45.

LYNCH, M.; WALSH, B. **Genetics and Analysis of Quantitative Traits**. Sunderland, GB: Sinauer Associates, Inc., 1998. 980 p.

MATSUOKA, S.; GARCIA, A. A. F.; ARIZONO, H. Melhoramento da Cana-de-açúcar. In: BORÉM, A. (Org.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: Editora da Universidade Federal de Viçosa, 1999a, v. 1, p. 205-252.

MATSUOKA, S.; GARCIA, A. A.F.; ARIZONO, H. Breeding of sugarcane. (In Brazilian). In: BORÉM, L. (Ed.). **Improvement of cultivated species**. 2. ed. Viçosa-MG/Brazil: Federal University of Viçosa, 2005. p. 225-274.

MATSUOKA, S. 1999. Hibridação da Cana-de-açúcar In: Borém **A hibridação artificial de plantas**. Viçosa: UFV, 1999. p. 221-254.

MENOSSEI, M. SLUYS, M. A. van; SOUZA, G. M. The biotechnology roadmap for sugarcane improvement. **Tropical Plant Biology**, Kunia, USA, v. 3, n. 2, p. 75-87, jun. 2010.

MING, R.; MOORE, P. H.; WU, K. K.; D'HONT, A.; TOMAS, T. 2006. Sugarcane Improvement through Breeding and Biotechnology. **Plant Breeding Reviews**, New York, USA, v. 27, 2006.

MORAIS, L. K.; AGUIAR, M. S.; SILVA, P. A.; CÂMARA, T. M. M.; CURSI, D. E.; FERNANDES JUNIOR, A. R.; CHAPOLA, R. G.; CARNEIRO, M. S.; BESPALHOK FILHO, J. C. Breeding of Sugarcane, In: CRUZ, V. M. V.; DIERIG, D. A. (Ed.). **Industrial Crops: breeding for bioenergy and bioproducts**. New York, USA: Springer, 2015. 444 p.

RODRIGUES, J. D. **Physiology of sugarcane** (In Brazilian). Botucatu: State University of São Paulo (handout), 1995. 99 p.

SCORTECCI, K. C.; FIGUEIRA, A.; LANDELL, M. G. A.; XAVIER, M. A.; CRESTE, A.; CALSA JUNIOR, BENEDITO, V. A. (2012). Challenges, Opportunities and Recent Advances in Sugarcane Breeding, In: ABDURAKHMONOV, I. Y. (Ed.). **Plant Breeding**. Rijek, CRO: Intech, 2012.

SUPRASANNA, P.; PATADE, V. Y.; DESAI, N. S.; DEVARUMATH, R. M.; KAWAR, P. G.; PAGARIYA, M. C.; GANAPATHY, A.; MANICKAVASAGAN, M.; BABU, K. H. Biotechnological Developments in Sugarcane Improvement: An Overview. **Sugar Tech**, Uttar Pradesh, IND, v. 13, n. 4, p. 322–335, 2011.

USDA, A. R. S. National Genetic Resources Program. **Germplasm Resources Information Network (GRIN)**. [Online Database] National Germplasm Resources Laboratory, Beltsville, Maryland. Disponível em: <<http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/site.pl?MIA>>. Acesso em: 25 fev. 2013.

VILLELA, A. A.; MOREIRA, J. R.; FREITAS, M. A. Panorama do uso de energia no Brasil. In: VILELA, A. A.; ROSA, L. P.; FREITAS, M. A. V. (Org.). **O uso de energia de biomassa no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2015. 196 p.

Embrapa

Tabuleiros Costeiros

Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PÁTRIA EDUCADORA