

# A evolução das tecnologias agrícolas do setor sucroenergético: estagnação passageira ou crise estrutural?

Diego Nyko, Marcelo Soares Valente,  
Artur Yabe Milanez, Alexandre Kiyoshi Ramos Tanaka  
e Alexandre Velloso Pereira Rodrigues

<http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>

## A evolução das tecnologias agrícolas do setor sucroenergético: estagnação passageira ou crise estrutural?

Diego Nyko

Marcelo Soares Valente

Artur Yabe Milanez

Alexandre Kiyoshi Ramos Tanaka

Alexandre Velloso Pereira Rodrigues\*

### Resumo

A produtividade agrícola do setor sucroenergético sofreu quedas consideráveis nas últimas três safras. Especialistas atribuem a fatores conjunturais, como a adversidade climática e a renovação inadequada de canaviais, grande parte da responsabilidade pela situação atual. Contudo, ao considerar na análise uma série histórica longa, observa-se queda pronunciada do ritmo de ganhos de rendimento agrícola, bem como a deterioração de importantes indicadores de difusão tecnológica. Diante desse cenário, o artigo argumenta, com base em quase trinta entrevistas com especialistas e na literatura, que, além dos já alardeados fatores conjunturais, existem fatores estruturais gerando efeitos negativos sobre os resultados das tecnologias agrícolas e, conseqüentemente, sobre o próprio desempenho do setor.

---

\* Respectivamente, economista, engenheiro, gerente do Departamento de Biocombustíveis da Área Industrial do BNDES e engenheiros do Departamento de Energia e Tecnologias Limpas da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep). Os autores agradecem as sugestões e os comentários de Fabrício Brollo Dunham, engenheiro da Área Industrial do BNDES, e Luiz Augusto Horta Nogueira, professor titular da Universidade Federal de Itajubá (Unifei). Os autores reconhecem ainda a importância de todos os entrevistados pelos valiosos *insights* sobre o tema. Quaisquer erros ou omissões, contudo, são de inteira responsabilidade dos autores.

## Introdução

A produtividade agrícola da lavoura brasileira de cana-de-açúcar atingiu, em 2007, a marca histórica de 11.200 kg de Açúcares Totais Recuperáveis (ATR)<sup>1</sup> por hectare (ATR/ha), nível quase 130% superior ao verificado em 1975, no início do Programa Nacional do Álcool (Proálcool). Essa evolução se deveu, em boa medida, ao desenvolvimento das tecnologias agrícolas de produção, notadamente pela introdução de novas variedades de cana. Desse modo, até o fim da década passada, a produção brasileira de cana-de-açúcar era celebrada como paradigma mundial de eficiência agrícola.

Contudo, a *performance* nos últimos anos passou a apresentar trajetória distinta, com anos seguidos de reduções de produtividade, ainda que, no longo prazo, a trajetória continue crescente. Em 2011 e 2012, por exemplo, a produtividade da lavoura canavieira ficou abaixo do patamar de 10.000 kg de ATR/ha. Como resultado, a afirmação de que o Brasil tem a indústria de cana mais competitiva do mundo deixou de ser verdadeira.

Diversos fatores conjunturais podem explicar essa tendência, como a baixa renovação de canaviais e as adversidades climáticas verificadas nos últimos anos. Contudo, quando se analisa a curva de produtividade de longo prazo, verifica-se uma clara redução dos incrementos ao longo dos anos, sugerindo a influência de fatores de caráter estrutural. Seria, então, a redução do ritmo de aumento de produtividade fruto de uma estagnação tecnológica do setor? Esta é a questão a que este artigo pretende responder.

Para tanto, foram realizadas quase trinta entrevistas com especialistas do setor, que envolveram os diretores agrícolas dos principais grupos sucroenergéticos, gerentes de pesquisa e desenvolvimento (P&D) de empresas fabricantes de máquinas e implementos agrícolas e também diversos pesquisadores envolvidos no melhoramento genético da cana-de-açúcar.

Depois desta introdução, este artigo apresenta, nas duas seções seguintes, um breve histórico da evolução tecnológica ocorrida no Brasil. São abordados tanto o desenvolvimento de novas variedades quanto o de máquinas e implementos voltados para cana-de-açúcar. Nessas primeiras seções, à luz das entrevistas e de artigos técnicos, também são discutidas eventuais de-

---

<sup>1</sup> Indicam a quantidade total de açúcares (sacarose, glicose e frutose) presente na cana. A concentração de açúcares na cana fica geralmente entre 13% e 17,5%. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_138\\_22122006154842.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_138_22122006154842.html)>. Acesso em: 7 fev. 2013.

ficiências dessas tecnologias agrícolas e possíveis razões para seu desempenho aquém do desejado.

A quarta parte deste trabalho procura quantificar o recente apoio de BNDES e Finep ao desenvolvimento das inovações agrícolas aqui estudadas e, na seção subsequente, são sugeridas alternativas de política capazes de reverter o atual quadro de estagnação tecnológica vivenciado pelo setor sucroenergético. A parte final expõe as principais conclusões.

## **A experiência brasileira no desenvolvimento genético da cana-de-açúcar**

### **Breve histórico dos principais programas de P&D agrícola**

A história da cana-de-açúcar no Brasil é secular e, em diversos momentos, confunde-se com a própria história do país, que atualmente é o maior produtor de cana do mundo, mesmo com a queda na competitividade da indústria. Nas últimas três safras, a produção nacional girou em torno de seiscentos milhões de toneladas de cana (MTC), atingindo seu recorde de 620 MTC na safra 2010-2011, quando esse volume gerou quase 38 milhões de toneladas de açúcar e mais de 27 bilhões de litros de etanol.

Esses valores são expressivos, sobretudo quando comparados ao cenário vigente no período imediatamente anterior ao início do Proálcool, marco na história dos biocombustíveis no Brasil. Na safra 1975-1976, a produção nacional de cana foi de 68,3 MTC, volume que gerou apenas 0,6 bilhão de litros de etanol e 5,9 milhões de toneladas de açúcar.

Esse aumento da produção reflete não apenas os esforços de investimento produtivo dos grupos econômicos do setor, mas também significativos esforços de P&D agrícola e industrial, que se revelaram fundamentais para o êxito da cultura da cana nessas últimas décadas. De fato, a inovação desempenhou papel de destaque durante esse período, especialmente a partir do Proálcool, que possibilitou o uso de biocombustíveis em larga escala.

A associação entre inovação na cadeia produtiva da cana e o Proálcool é constante na literatura.<sup>2</sup> Contudo, Dunham, Bomtempo e Fleck (2011) demonstram que a estruturação do Sistema de Produção e Inovação

---

<sup>2</sup> Ver, por exemplo, Ueki (2007), BNDES (2008) e Maia (2010).

Sucroalcooleiro (SPIS)<sup>3</sup> no período anterior ao Proálcool foi essencial para o sucesso desse programa e, conseqüentemente, do setor nos anos seguintes.<sup>4</sup>

A análise dos autores compreende o período entre 1875 e 1975, quando importantes eventos e atividades contribuíram para formar as principais bases da futura pesquisa agrícola no setor, foco desta seção. Entre esses eventos, os autores apontam o surgimento do mosaico da cana na década de 1920 como fator determinante para a estruturação do SPIS. O mosaico devastou boa parte da lavoura de cana, notadamente no estado de São Paulo, que ainda não figurava entre os maiores produtores de cana do Brasil. Para superar a crise, dois elementos foram essenciais: (i) direcionar a pesquisa agrícola (P&D); e (ii) alterar a conduta dos empresários da época (difusão tecnológica).

A estratégia vencedora para direcionar a pesquisa agrícola foi a seleção de variedades de cana existentes tanto no Brasil quanto no exterior. Essa atividade ocorreu na Estação Experimental de Cana de Piracicaba (EECP) e em outras oito usinas paulistas com seus campos de experimentação próprios. Na visão de Dunham, Bomtempo e Fleck (2011), essa relação que se estabeleceu entre a instituição pública de pesquisa e as empresas do setor se revelou fundamental para o sucesso da empreitada, já que permitiu ampla difusão das novas variedades e das técnicas de manejo mais adequadas.<sup>5</sup>

Nesse contexto, a superação da crise do mosaico foi um evento importante em si, mas ainda mais importante por seu legado à pesquisa agrícola.

O início da década de 1930 trouxe um dos mais complexos motores de transformação do SPIS. Trata-se do motor de desenvolvimento

<sup>3</sup> Segundo os autores, o conceito de sistema de inovação (SI) foi utilizado porque “oferece uma visão abrangente da inovação, possibilitando identificar os agentes envolvidos e o papel por eles desempenhado. [...] Ao se utilizar a abordagem de SI, é possível compreender como os agentes (empresas, instituições de pesquisa, fornecedores de tecnologias etc.) se relacionam entre si. A análise destas relações se mostra fundamental para entender como o Sistema de Produção e Inovação Sucroalcooleiro – SPIS estava estruturado antes do lançamento do Proálcool” [Dunham, Bomtempo e Fleck (2011, p. 37)].

<sup>4</sup> Os autores argumentam que açúcar e etanol, apesar de estarem inseridos em mercados distintos, são obviamente produtos bastante relacionados, já que têm origem na mesma matéria-prima. Por essa razão, inovações desenvolvidas nessa cadeia, especialmente para a etapa agrícola, têm potencial para gerar efeitos positivos em ambos os mercados. Desse modo, concluem os autores que “ainda que tenham sido motivadas para a produção açucareira, diversas atividades influenciaram a estrutura disponível quando da implementação do Proálcool” [Dunham, Bomtempo e Fleck (2011, p. 38)].

<sup>5</sup> Segundo Dunham, Bomtempo e Fleck (2011), essa rede de oito usinas representava 55% da produção paulista de açúcar, o que facilitava a difusão tecnológica no período.

de variedades de cana-de-açúcar. A transformação do SPIS ocorreu em torno da mesma tecnologia básica: desenvolvimento/seleção de variedades de cana. Entretanto, a motivação não era mais vencer o mosaico. *O objetivo era aumentar a produtividade agroindustrial por meio da maximização do rendimento agrícola, o que seria obtido com o desenvolvimento de variedades de maior conteúdo de sacarose e de maior resistência a pragas e doenças* [Dunham, Bomtempo e Fleck (2011, p. 57); grifo nosso].

Como identificam os autores, o modelo empreendido pela EECP para pesquisa, por meio da seleção de variedades, e para difusão tecnológica, por meio de redes com agentes produtivos, foi futuramente replicado por importantes instituições no melhoramento genético da cana, como pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), quando este sucedeu à EECP, em 1935, e pelo Centro de Tecnologia da Coopersucar (CTC), criado em 1969.<sup>6</sup> Além disso, é interessante notar que a relação entre instituições de pesquisa e agentes produtivos de São Paulo provocou a capacitação das usinas paulistas e a mobilização de recursos para incrementar a produtividade de seus negócios.

O modelo criado nas décadas de 1920 e 1930 também serviu de base para a criação do Plano Nacional de Melhoramento de Cana-de-Açúcar (Planalsucar), em 1971, sob responsabilidade do Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA). Como destacado em Dunham (2009), a criação do Planalsucar foi a resposta às demandas por aumento de produtividade agrícola, que deveria se traduzir em ganhos de competitividade do açúcar brasileiro no mercado externo. Nas palavras do autor:

A criação do Planalsucar tinha por objetivo reunir as condições técnicas e administrativas destinadas à implementação de projetos de pesquisa em genética, fitossanidade e agronomia, com o objetivo principal de obter novas variedades de cana, com alto índice de produtividade e adaptadas às condições de solo e clima [Dunham (2009, p. 4)].

---

<sup>6</sup> Os autores argumentam que havia outras iniciativas de melhoramento genético de cana no período, tal como ocorria na Estação Experimental de Cana de Campos (EECC), no norte fluminense, onde novas variedades eram desenvolvidas. Contudo, o sucesso das iniciativas não foi uniforme. O estado de São Paulo foi aquele que obteve os resultados mais significativos. Entre os fatores explicativos, os autores chamam atenção para a rede formada entre instituições de pesquisa (principalmente o IAC) e os agentes produtivos, o que garantia assistência técnica e difusão tecnológica das inovações. Esse arranjo institucional não foi eficiente em outros estados. As novas variedades desenvolvidas no EECC, por exemplo, eram recomendadas e difundidas pelo IAC.

O Planalsucar contou com várias estações experimentais pelo Brasil, com foco no desenvolvimento de novas variedades de cana e de novas técnicas de manejo, na análise de solos e fertilizantes, entre outros. Como defendem Dunham (2009) e Dunham, Bomtempo e Fleck (2011), o Planalsucar incrementou a capacidade de gerar variedades e, conseqüentemente, de aumentar a produtividade da cultura. Com a criação do Proálcool, tal capacidade ampliou-se ainda mais, o que permitiu lançar, entre 1977 e 1988, 19 novas variedades pelo Planalsucar.

A despeito de seu sucesso, o Planalsucar foi influenciado pela mudança da conjuntura econômica na segunda metade da década de 1980. Como destacado em Milanez, Cavalcanti e Faveret Filho (2010) e Milanez e Nyko (2012), a redução persistente dos preços do petróleo a partir de 1986 levou à retirada gradual dos incentivos estatais ao setor sucroalcooleiro, processo concluído apenas em 1999. Nesse novo contexto, o Planalsucar foi transferido do IAA, que seria extinto em 1990, para o Ministério da Agricultura em 1988.

Em termos práticos, tal medida significou a descontinuação do Planalsucar. No entanto, para substituí-lo e dar lugar a seus antigos ativos e pesquisadores, sete universidades federais firmaram convênio entre si e assumiram os trabalhos de melhoramento genético da cana, criando a Rede Interuniversitária de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (Ridesa)<sup>7</sup> [Dunham (2009)].

A Ridesa vem obtendo resultados positivos no trabalho herdado do Planalsucar. Em vinte anos de existência (1991-2011), a instituição liberou 65 novas variedades desenvolvidas nas 31 estações experimentais que lhe pertencem.<sup>8</sup>

Além da Ridesa, outro importante ator da pesquisa agrícola no SPIS é o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC). Como dito anteriormente, o CTC nasceu no fim da década de 1960 como instituição de pesquisa da Copersucar, tradicional *trading* de açúcar e etanol do setor. Com a criação do CTC, as usinas de São Paulo almejavam variedades de cana e tecnologias

<sup>7</sup> As universidades que originalmente compuseram a Ridesa são: Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Universidade Federal de Alagoas (Ufal), Universidade Federal de Sergipe (UFSE), Universidade Federal de Viçosa (UFV), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR) e Universidade Federal do Paraná (UFPR). Ao longo dos anos, outras três universidades foram incorporadas à Ridesa: a Universidade Federal de Goiás (UFG), a Universidade Federal do Piauí (UFPI) e a Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT).

<sup>8</sup> Informações obtidas em: <<http://www.ridesa.agro.ufg.br/pages/38059>>. Acesso em: 16 jan. 2013.

industriais cada vez melhores, de modo a permitir incrementos constantes de produtividade.

Em 2004, o CTC passou por sua primeira grande mudança institucional, quando deixou de ser Centro de Tecnologia Copersucar para se tornar Centro de Tecnologia Canavieira. Essa reestruturação do CTC buscou transformá-lo no “principal centro de desenvolvimento e integração de tecnologias disruptivas da indústria sucroenergética”,<sup>9</sup> expandindo suas atividades para todas as regiões canavieiras do Brasil.

Em 2011, o CTC passou novamente por uma grande mudança, tornando-se uma empresa de Sociedade Anônima. Hoje, seus acionistas são responsáveis por cerca de 60% da moagem de cana da Região Centro-Sul do Brasil, o que facilita a difusão de inovações. Na avaliação geral de Dunham, Bomtempo e Fleck (2011, p. 59), o diferencial desse arranjo paulista reside na “precisão da combinação de variedades e técnicas de cultivo”. Com o maior banco de germoplasma do mundo, o CTC lançou 24 novas variedades no mercado no período entre 2005 e 2011.

Em síntese, a história da dinâmica da pesquisa agrícola e dos eventos e das atividades a ela relacionados mostra como se formou o SPIS que hoje vigora no Brasil. Ridesa e CTC são os dois principais atores desse sistema, mas convivem com outras importantes empresas e instituições, como o IAC. Contudo, como avaliam Dunham, Bomtempo e Fleck (2011, p. 59), os resultados não foram homogêneos. Nas palavras dos autores:

O primeiro [resultado distinto] foi o fortalecimento da produtividade agroindustrial de São Paulo. As empresas participantes do trabalho com o IAC ou com o CTC tiveram acesso a uma ampla rede de difusão de conhecimentos. [...] A mobilização de recursos das empresas paulistas foi indispensável para alcançar estes resultados. O reconhecimento da importância dos trabalhos de experimentação agrícola culminou na criação do CTC, que, além de fortalecer a assistência técnica, passou a gerar tecnologias e conhecimentos próprios.

Outro ponto destacado pelos autores é o caráter exógeno das inovações, ou seja, usinas sucroenergéticas são usuárias de tecnologia e dependem de seus fornecedores e parceiros para darem saltos tecnológicos. Todavia, é igualmente importante ressaltar que o arranjo consagrado em São

---

<sup>9</sup> Disponível em: <<http://www.ctcanavieira.com.br/nossahistoria.html>>. Acesso em: 16 jan. 2013.

Paulo contempla o CTC, empresa privada cujos acionistas são as próprias usinas de açúcar e etanol. Isso não significa dizer que as instituições públicas de pesquisa não tiveram relevância nesse estado. Pelo contrário, o papel dessas instituições vem sendo fundamental para garantir aumentos de produtividade agrícola da cana [Dunham, Bomtempo e Fleck (2011)]. A diversificação de variedades no canavial é fator de segurança e ativo estratégico para os agentes produtivos. Da mesma forma, é salutar para o mercado haver diferentes atores provedores de tecnologia agrícola, incluindo novas variedades de cana.

### Principais resultados alcançados

Uma vez estabelecido, o SPIS não tardou a entregar resultados significativos por meio de melhores variedades de cana (melhoramento convencional) e melhores práticas agronômicas. Como efeito, os últimos quarenta anos testemunharam ganhos substanciais da produtividade agrícola, que é uma boa medida para avaliar o desempenho das inovações no período. O Gráfico 1 mostra a evolução da produtividade média desde a criação do Proálcool até o período recente.

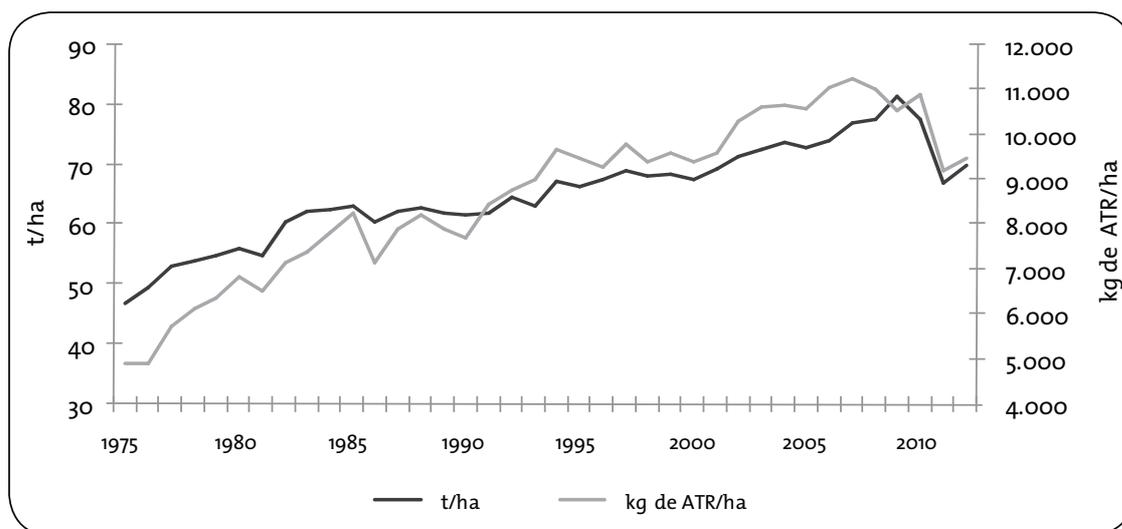
Em 1975, a produtividade agrícola média girava em torno de 45 toneladas de cana por hectare (t/ha). Já na década passada, esse valor esteve em torno de 75 t/ha, chegando a mais de 80 t/ha em alguns anos. Também se observa tal crescimento quando são considerados outros indicadores. Por exemplo, nos dez primeiros anos de Proálcool, eram produzidos, em média, 6.400 kg de ATR/ha plantado com cana. De 2005 até 2012, o valor médio para esse indicador foi de cerca de 10.509 kg de ATR/ha.

Se, por um lado, é amplamente reconhecido o crescimento de produtividade da cultura da cana desde a criação do Proálcool, pelo outro, esse crescimento não vem sendo uniforme ao longo do tempo. A Tabela 1 exhibe os ganhos de produtividade, desde a criação do Proálcool, em 1975.

Há decréscimo das taxas de crescimento a cada período analisado, o que produz o alerta sobre a *performance* recente da inovação agrícola.<sup>10</sup> Essa queda é ainda mais pronunciada se as duas últimas safras forem consideradas, quando a produtividade agrícola estagnou-se e, até mesmo, reduziu-se de maneira surpreendente (Gráfico 1).

<sup>10</sup> Outros trabalhos, como Dal-Bianco *et al.* (2011), também demonstram que os ganhos de produtividade estão se tornando cada vez menos pronunciados, ou seja, há crescimento, mas seu ritmo é decrescente.

Gráfico 1 | Evolução da produtividade agrícola entre 1975 e 2012\*



Fonte: Elaboração própria, com base em dados de CTC, Unica, Conab, IBGE e Mapa *apud* Brasil (2009).

\* A série para a produtividade medida em toneladas de cana por hectare (t/ha) é anual, enquanto a série para quilogramas de ATR por hectare de cana está disponibilizada por ano-safra.

Tabela 1 | Produtividade média e crescimento de produtividade entre períodos

| Período   | Kg de ATR/ha | Crescimento (%) |
|-----------|--------------|-----------------|
| 1975-1984 | 6.351        | -               |
| 1985-1994 | 8.299        | 30,7            |
| 1995-2004 | 9.810        | 18,2            |
| 2005-2012 | 10.509       | 7,1             |

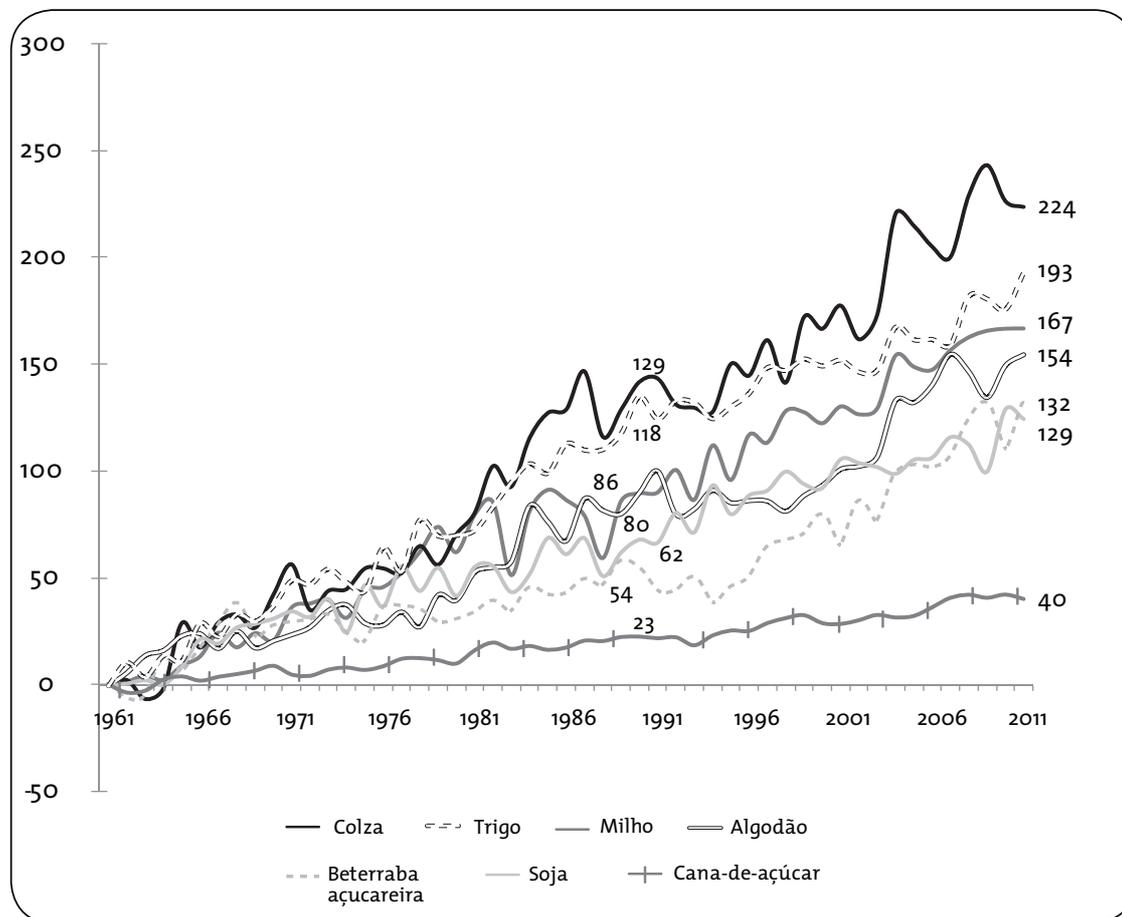
Fonte: Elaboração própria, com base em dados de CTC, Unica, Conab, IBGE e Mapa *apud* Brasil (2009).

Quando comparados os rendimentos aos de outras culturas, o patamar de produtividade alcançado pela cana chega a ser decepcionante. Os gráficos 2 e 3 demonstram a discrepância desses ganhos nas últimas décadas.

Apesar de haver crescimento, esses números refletem a defasagem entre os ganhos de produtividade em cana e em cereais, tanto no Brasil quanto no mundo. A situação surpreende ainda mais se for considerado o rendimento teórico máximo da cana-de-açúcar. Diversos trabalhos estimam esse potencial. Em Waclawovsky (2010) *apud* Dal-Bianco (2011), o rendimento teórico máximo da cana é superior a 380 t/ha, enquanto em Moore (2009) chegou a 472 t/ha. Mesmo que esses potenciais não sejam plenamente alcançados na prática, eles oferecem uma ideia da dimensão da defasagem tecnológica

hoje existente. Na última safra, por exemplo, o rendimento médio foi inferior a 70 t/ha na Região Centro-Sul do Brasil.

Gráfico 2 | Ganho de produtividade mundial histórica (base 1961, em %)



Fonte: FAOSTAT.

Obs.: Milho – ganho de 167% no período 1961-2011; cana-de-açúcar – ganho de 40% no período 1961-2011.

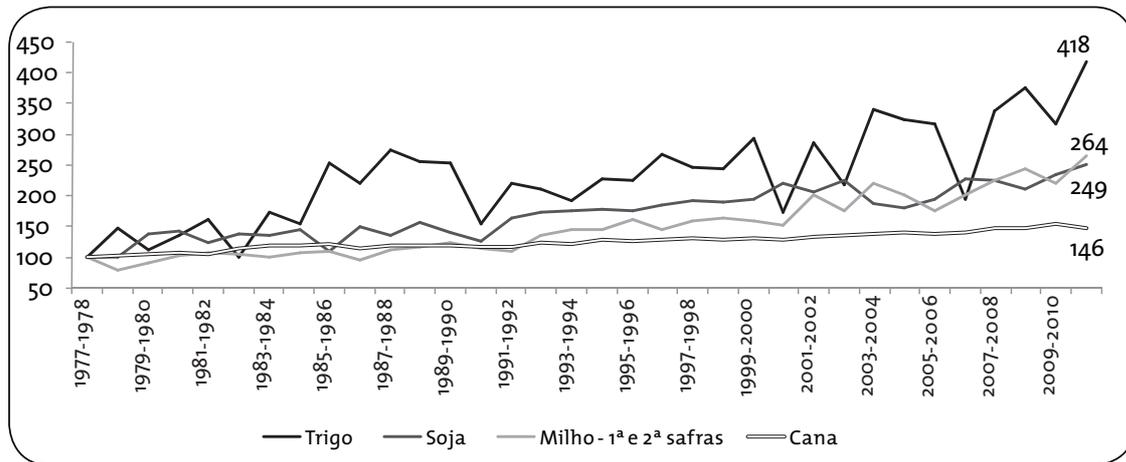
Além dos indicadores de produtividade, é possível avaliar o desempenho das inovações tecnológicas por meio de outros dois indicadores: o Índice de Atualização Varietal (IAV) e o Índice de Concentração Varietal (ICV), cujos resultados são exibidos Gráfico 4.

O IAV é uma medida de difusão tecnológica, ou seja, avalia o ritmo com que as novas variedades lançadas são absorvidas nos canaviais brasileiros.<sup>11</sup>

<sup>11</sup> O IAV “é obtido pela diferença entre o ano atual e o ano de cruzamento da variedade, ponderado pela porcentagem de utilização de cada variedade, na região estudada. Do valor obtido, são subtraídos 20 anos correspondentes ao número médio de anos que uma variedade demora para atingir o seu ápice” [CTC (2012, p. 2)].

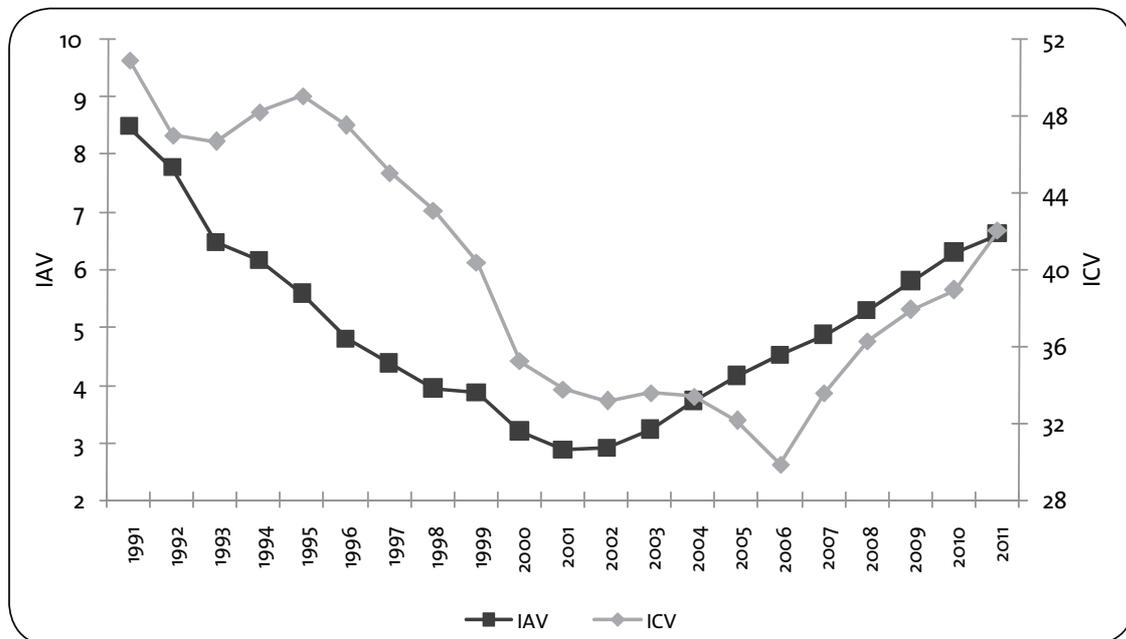
Em CTC (2012), é utilizada a seguinte classificação para esse índice: (i) valores altos e não recomendáveis são aqueles acima de sete anos; (ii) valores intermediários oscilam entre cinco e sete anos; e (iii) valores baixos e adequados são aqueles inferiores a cinco.

Gráfico 3 | Ganho de produtividade (em t/ha) histórico, Brasil (base 100)



Fonte: Conab.

Gráfico 4 | Censo de variedades no Brasil – IAV e ICV



Fonte: CTC (2012).

Por sua vez, o ICV busca avaliar o grau de concentração das principais variedades no canavial brasileiro.<sup>12</sup> Esse índice sinaliza o grau de dependência do canavial em relação às principais variedades utilizadas e, conseqüentemente, os riscos associados a essa dependência. Segundo a classificação do CTC (2012): (i) valores maiores que 50% são considerados altos e não recomendados; (ii) valores entre 40% e 50% são intermediários; e (iii) valores inferiores a 40% são considerados baixos e ideais.

Por meio do cenário traçado pelo Gráfico 4, pode-se depreender que variedades mais antigas vêm ocupando espaço cada vez maior nas lavouras de cana, ou seja, o ritmo de substituição de variedades antigas por novas variedades está se reduzindo constantemente na última década. Hoje, o IAV está bem próximo de valores não recomendados.

Sintomática também foi a proporção de aproximadamente 60% de variedades protegidas (patentes em vigor) na safra 2011-2012. Significa dizer que cerca de 40% da área brasileira de cana foi plantada com variedades que já caíram em domínio público, ou seja, cujo lançamento ocorreu há pelo menos 15 anos.

Quando se considera apenas o ICV, o resultado é similar. Desde meados dos anos 2000, quando o setor sucroenergético acelerou seu ritmo de expansão, a concentração de variedades nos canaviais cresceu vertiginosamente. Enquanto no começo da década passada o canavial contava com condições ideais (baixa concentração e elevada diversificação de variedades), no início da atual década sua situação encontra-se bastante deteriorada (mas ainda intermediária), o que lhe deixa mais suscetível a novas doenças e a fortes variações climáticas.

Conclui-se, portanto, que o atual SPIS conquistou consistentes ganhos de produtividade na cultura da cana, mas vem enfrentando problemas para manter o ritmo dos resultados alcançados no passado. De fato, o período mais recente pode ser considerado frustrante e, se extrapolado para o futuro, aponta para ganhos de rendimento agrícola cada vez mais reduzidos.

Mas quais são as razões que explicam tais problemas? E quais são seus mecanismos de ação que redundam em efeitos negativos sobre o setor sucroenergético? O tópico a seguir busca responder a essas questões.

<sup>12</sup> O ICV é “obtido com base na participação porcentual das três principais variedades na região estudada” [CTC (2012, p. 2)].

## Principais razões que explicam a recente *performance* das novas variedades de cana

Para explicar os problemas de ganhos decrescentes de produtividade e baixos IAV e ICV, a primeira e mais intuitiva resposta que vem à mente é a ausência de novas variedades. O argumento é simples: *ceteris paribus*, quanto menor o número de variedades novas disponíveis ao longo do tempo, maior será a probabilidade de se alcançar ganhos de produtividade mais reduzidos, já que as variedades existentes, depois de certo tempo, tendem a apresentar rendimentos decrescentes. Além disso, quanto menor o número de novas variedades disponíveis, maiores serão, *ceteris paribus*, as probabilidades de maiores números para IAV e ICV.

Contudo, essa explicação não encontra apoio na realidade. Segundo Braga Jr., Oliveira e Raizer (2011), o país vem sendo palco para o surgimento de um grande número de novas variedades de cana. Os autores ressaltam que foram liberadas no Brasil 207 variedades para uso comercial entre 1970 e 2010. Entre 1990 e 2010, 154 diferentes variedades de cana foram testadas e utilizadas pelos agentes produtivos do setor.<sup>13</sup> Restringindo ainda mais o período de análise, para os últimos dez anos (2003-2012), foram registradas no Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) 74 variedades de cana. Portanto, a ausência de novas variedades é uma possibilidade de resposta que deve ser refutada.

O conceito de “variedade significativa”, explorado em Braga Jr., Oliveira e Raizer (2011), ajuda a lançar luz a essa discussão. Na definição dos autores, são consideradas variedades significativas aquelas cultivadas em, pelo menos, 5% da área de cana no Brasil em um ano do censo varietal do CTC. Definido o conceito, entre 1991 e 2010, apenas 15 variedades, ou cerca de 10% do total de variedades utilizadas, puderam ser consideradas variedades significativas. Portanto, fica evidente a relação entre os dois problemas apontados: a baixa adoção (difusão) sugere haver problemas na *performance* (ganhos de produtividade) das variedades liberadas.

Por sua vez, Joaquim (2012) estima que sejam gastos aproximadamente R\$ 150 milhões para o desenvolvimento completo de uma variedade de cana-de-açúcar superior aos padrões comerciais. Logo, mesmo sem ter acesso aos orçamentos de P&D das principais empresas e instituições do Brasil,

<sup>13</sup> Foram consideradas apenas as variedades que atingiram pelo menos 0,1% da área do país, segundo censo do CTC [Braga Jr., Oliveira e Raizer (2011)].

é possível concluir que os esforços de investimento por cada incremento percentual de produtividade tendem a ser crescentes.

Há outras respostas que tentam explicar o quadro exposto no tópico anterior. De natureza conjuntural, a crise financeira de 2008-2009, por exemplo, deixou em situação frágil a maior parte dos grupos econômicos do setor sucroenergético. Nesse contexto, houve acentuada retração do crédito concedido pelas instituições financeiras às empresas do setor, cujo endividamento foi crescente. Por conta disso, houve redução nos investimentos agrícolas, incluindo aqueles direcionados à renovação dos canaviais. No estado de São Paulo, o estágio médio de corte da cana alcançou 3,7 anos em 2011 [CTC (2012)]. A redução da taxa de renovação e, por consequência, a maior longevidade dos canaviais redundam em menor taxa de difusão das novas variedades.

Nos últimos três anos, o setor também enfrentou adversidades climáticas, acusadas frequentemente de serem as principais responsáveis pela drástica redução de produtividade. Além disso, muitos argumentam que o recente movimento de mecanização, tanto da colheita quanto do plantio, gerou efeitos deletérios na produtividade agrícola.<sup>14</sup> Sem negar os impactos que clima e mecanização vêm gerando sobre o canavial, Demattê (2012) argumenta que esses dois fatores apontam para um problema com raízes mais profundas: a questão varietal. Para o autor, a tendência à estagnação da produtividade agrícola está mais relacionada à *performance* das novas variedades de cana, que ainda é bastante influenciada pelas condições climáticas marginais, e ao fato de essas variedades não estarem satisfatoriamente adequadas à mecanização. Contudo, as relações entre as novas variedades e a mecanização, por exemplo, não ocorrem em um único sentido. A mecanização do plantio e da colheita, bem como as técnicas de manejo associadas, deve estar adequada às variedades desenvolvidas, ou seja, o desenvolvimento tecnológico deve ser integrado. Como tal situação não ocorre na prática, tanto os ganhos de produtividade quanto a difusão tecnológica vêm obtendo resultados aquém do esperado.<sup>15</sup>

<sup>14</sup> Como argumentado em Milanez *et al.* (2012) e segundo especialistas do setor, essa situação pode ser explicada por, pelo menos, três razões: (i) a compactação do solo; (ii) a menor densidade de plantas por área plantada, já que o plantio deve se ajustar ao corte mecanizado; e (iii) a maior altura em que o colmo é cortado pelas colheitadeiras em relação à altura do corte manual, de modo a evitar que a máquina arranque as soqueiras de cana no momento da colheita.

<sup>15</sup> Nas entrevistas realizadas com os grupos usineiros, muitos alegaram ter resgatado variedades antigas, de domínio público, que se mostraram mais aptas à nova realidade da mecanização e às diferentes condições de produção do Centro-Oeste.

Demattê (2012) ainda chama atenção para outros fatores que contribuem para a composição desse cenário: (i) a proliferação de doenças nas novas variedades, o que diminui a segurança varietal e, portanto, aumenta a resistência das usinas em ampliar seu plantio e; (ii) a grande expansão da lavoura de cana no ciclo de investimentos na última década.

A produção brasileira de cana quase duplicou em menos de uma década. A recente expansão da cultura ocorreu em regiões de fronteira, como nos estados do Centro-Oeste do Brasil, onde os solos têm fertilidade inferior e o clima é mais adverso quando comparados aos solos e clima das regiões tradicionais de produção. O autor argumenta que para essas condições, “o número de variedades novas está restrito” [Demattê (2012, p. 24)].

De fato, o desenvolvimento completo (até a comercialização) de uma nova variedade leva, em média, dez anos. Se bem-sucedida comercialmente (depois da década de desenvolvimento), a nova variedade leva, pelo menos, mais cinco anos para figurar entre as mais utilizadas pelas usinas. Com isso em mente e considerando que: (i) a expansão mais recente da cana começou em meados da última década; e (ii) os programas de melhoramento, até então, focaram-se nas regiões tradicionais de produção, como São Paulo (maior produtor de cana e, portanto, maior mercado); é razoável imaginar que novas variedades desenvolvidas para as regiões de fronteira ainda não estão disponíveis em grande quantidade.

Além disso, ao mesmo tempo em que foi intenso, o último ciclo de investimentos também foi pouco planejado. A rápida expansão dos canaviais demandou mudas que não estavam disponíveis, ou seja, não havia matéria-prima para ser replicada no tempo desejado. Não se pode descartar, nesse contexto, que o planejamento de viveiros não conseguiu viabilizar volume de mudas compatível com a demanda pouco planejada das usinas. Por isso, os grupos produtivos do setor acabaram por reproduzir as variedades mais conhecidas e disponíveis.<sup>16</sup>

Ademais, os sistemas de colheita de mudas e de plantio mecanizado tendem a aumentar a sustentabilidade socioambiental do setor, mas também vêm concorrendo para diminuir a eficiência desses processos agrícolas no curto e no médio prazos. Como discutido detalhadamente na próxima seção,

---

<sup>16</sup> Em alguns casos extremos, algumas usinas entrevistadas chegaram a admitir terem usado cana-soca em vez de mudas na formação de seus canaviais.

os equipamentos envolvidos nessas operações têm tecnologia defasada e pouco integrada a conceitos avançados de manejo eficiente.

Esses fatores também ajudam a explicar os ganhos menores de produtividade e os valores intermediários de IAV e ICV, especialmente nas regiões de fronteira. A Tabela 2 ilustra essa situação.

Tabela 2 | IAV e ICV em São Paulo e nos principais estados da fronteira de expansão da cana, em 2011

| Estado             | IAV | Classificação    | ICV  | Classificação    |
|--------------------|-----|------------------|------|------------------|
| São Paulo          | 6,0 | Intermediário    | 45,9 | Intermediário    |
| Goiás              | 6,8 | Intermediário    | 49,3 | Intermediário    |
| Mato Grosso        | 6,2 | Intermediário    | 51,7 | Não recomendável |
| Mato Grosso do Sul | 7,1 | Não recomendável | 46,6 | Intermediário    |

Fonte: Elaboração própria, com base em dados de CTC (2012).

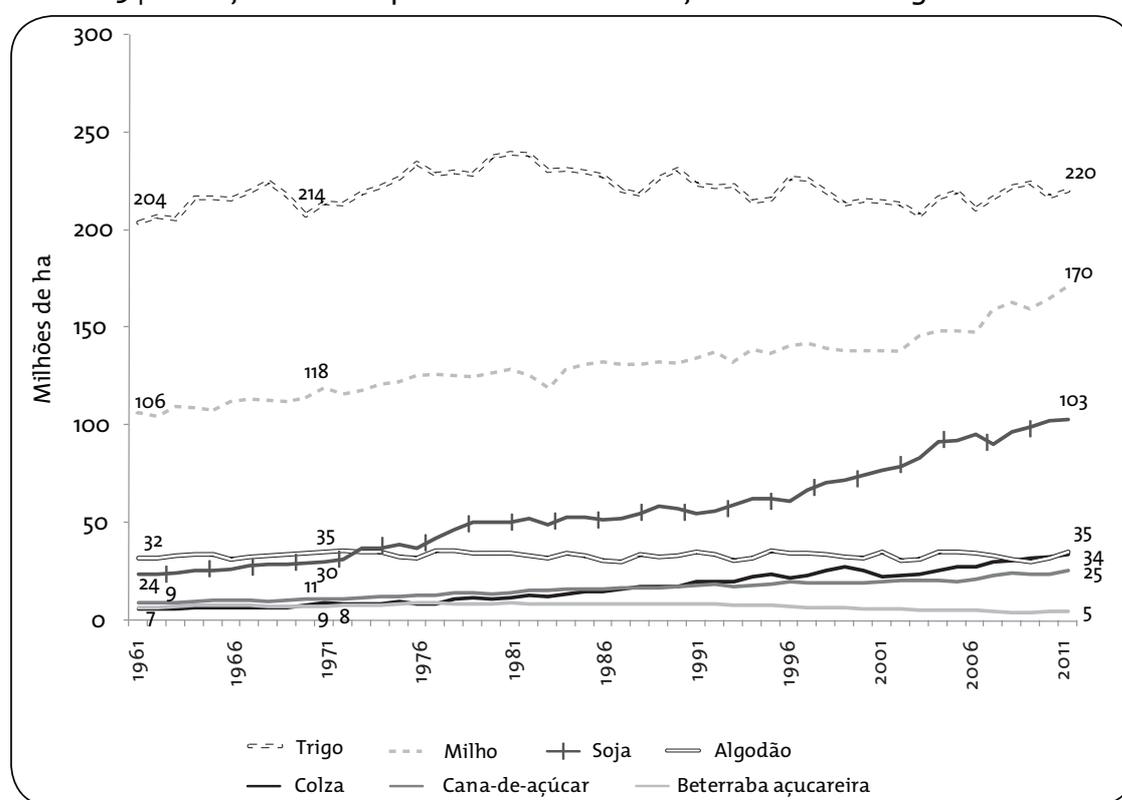
A execução inadequada de manejo agrícola agrava o problema, comprometendo o sucesso de novas variedades. Nesse sentido, a assistência técnica mais próxima dos produtores, cada vez mais afastados dos centros tradicionais, facilitaria o melhor aproveitamento das novas variedades.

Diante desses argumentos, chega-se à seguinte situação: há novas variedades de cana lançadas a cada ano. Contudo, o ritmo da difusão tecnológica vem diminuindo. E, como sugere Demattê (2012), parte da explicação reside na *performance* desses produtos, que não se provaram consistentes o bastante e, portanto, capazes de compensar o risco de troca das variedades atualmente vencedoras.

Alguns fatores já foram apresentados para ajudar a explicar esse problema. Contudo, a literatura especializada abrange outros fatores estruturais que parecem contribuir para a inadequada *performance* das atuais variedades. Entre eles, há as restrições do melhoramento genético convencional ou clássico, principal método utilizado no melhoramento da cana-de-açúcar. Abstraindo ilações sobre o eventual esgotamento desse método na cultura da cana, Hotta *et al.* (2010) assinalam três de suas principais restrições: (i) elevada complexidade do genoma da cana; (ii) tempo requerido para a comercialização de uma nova variedade; e (iii) estreita base genética utilizada nos cruzamentos entre variedades.

A elevada complexidade genética da cana<sup>17</sup> impõe obstáculos à adoção de novas técnicas de melhoramento, como a transgenia, já que os investimentos necessários são considerados incompatíveis com o retorno proporcionado pela cultura. Isso decorre da área relativamente pequena cultivada com cana quando comparada à de culturas como milho e soja. Em termos práticos, a lavoura de cana parece não dispor de escala suficiente para incentivar, no ritmo desejado, as grandes e tradicionais empresas de melhoramento genético a investir em transgenia nessa cultura. O Gráfico 5 compara o tamanho das lavouras de cana com o de outras culturas no mundo.

Gráfico 5 | Evolução da área plantada – cana-de-açúcar e outros vegetais



Fonte: FAOSTAT.

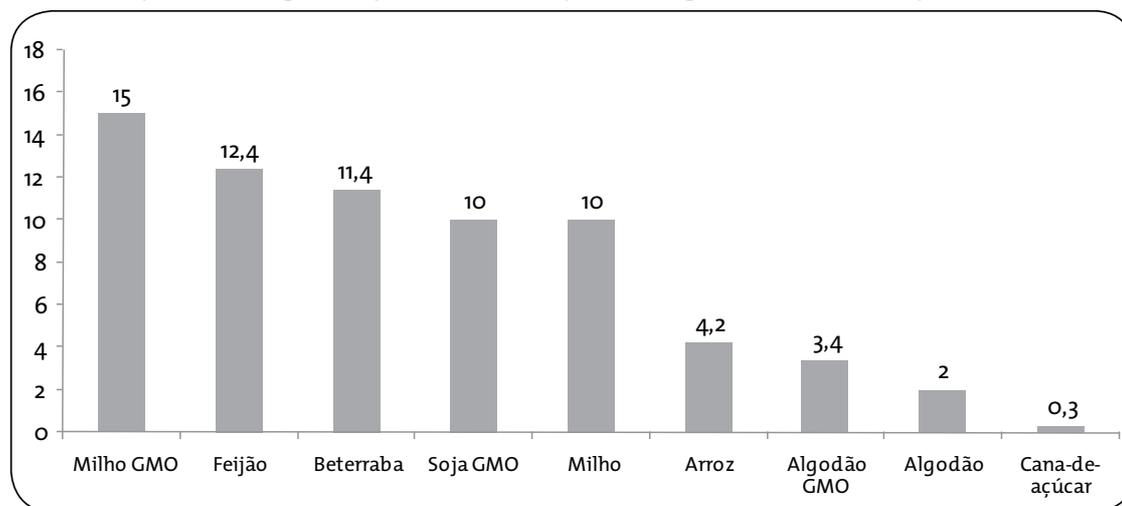
Segundo dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), a área mundial de cana-de-açúcar representou 3,6% da área mundial plantada com cereais em 2011. No Brasil, quando se compara

<sup>17</sup> A complexidade genética da cana-de-açúcar diz respeito basicamente à estrutura poliploide e aneuploide de seu genoma. Nas palavras de Souza *et al.* (2011, p. 146), “*sugarcane genome poses challenges that have not been addressed in any prior sequencing project, due to its highly polyploid and aneuploid genome structure with a complete set of homeologous genes predicted to range from 10 to 12 copies (alleles) and to include representatives from each of two different species*”.

a lavoura da cana com a de outros cereais importantes, como soja, milho e trigo, a área de cana equivaleu a aproximadamente 25% da área plantada com tais cereais. De fato, a cana é hoje a terceira lavoura de maior importância no Brasil, perdendo apenas para soja e milho. A situação, portanto, sugere que a cultura é relevante para o país; mas para grandes empresas de genética agrícola, cujo mercado é global, é menos importante.

Outro fator que merece destaque é a capacidade que os desenvolvedores de tecnologias têm de se apropriar economicamente dos resultados gerados por suas inovações.<sup>18</sup> No mercado brasileiro de novas variedades de cana, por exemplo, o regime de apropriabilidade é fraco, sobretudo em razão da ausência da lógica empresarial na comercialização e remuneração dos programas públicos de pesquisa. Como resultado, a apropriabilidade dos resultados no mercado de cana é bastante inferior quando comparada com a de outras culturas, o que pode gerar menores incentivos para a inovação.<sup>19</sup> O Gráfico 6 ilustra tal situação.

Gráfico 6 | Custo de germoplasma como porcentagem do custo de produção



Fonte: McKinsey e Universidade of Nebraska – Lincoln.

Além dessas características específicas do mercado de cana, a própria planta apresenta dificuldades para o melhoramento convencional. Hotta *et al.*

<sup>18</sup> Para um resumo sobre o conceito de regime de apropriabilidade, incluindo seus desdobramentos na análise de um caso real (setor de alimentos), ver Sidônio *et al.* (2013).

<sup>19</sup> Nos últimos anos, a transformação do CTC em empresa e o estabelecimento de novos atores, como a CanaVialis, indicam mudanças positivas que podem melhorar o regime de apropriabilidade desse segmento.

(2010) sublinham que alguns traços desejáveis comercialmente não podem ser introduzidos na cana por meio das técnicas clássicas de melhoramento. Essa situação é reforçada pela base genética limitada usada no melhoramento clássico. Os autores argumentam que os programas hoje existentes selecionam e utilizam poucos clones para gerar populações. Dal-Bianco *et al.* (2011) sugerem que essa falta de diversificação de genótipos pode ser o problema por trás da dificuldade em se obterem aumentos consistentes de produtividade. Além disso, leva-se tempo considerável para se alcançarem resultados significativos pela rota clássica: uma variedade demora seguramente mais de dez anos entre seu cruzamento e o lançamento comercial.

A transgenia, por sua vez, ampliaria as possibilidades do melhoramento e, por conseguinte, os potenciais ganhos de produtividade. Como argumentado, porém, esse método ainda esbarra na alta complexidade genética da cana, o que resultaria em elevados investimentos em P&D. A Tabela 3 estima os diferentes ganhos potenciais proporcionados pelos dois métodos aqui considerados.

Tabela 3 | Estimativas do rendimento teórico máximo da cana

|                                      | <b>Toneladas de cana/ha</b> | <b>% em relação ao potencial teórico</b> | <b>Toneladas de ATR/ha</b> | <b>% em relação ao potencial teórico</b> |
|--------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------|
| Produtividade média atual            | 70                          | 18,4                                     | 12,0                       | 14,0                                     |
| Máximo comercial                     | 148                         | 38,8                                     | 25,3                       | 29,5                                     |
| Máximo experimental (sem transgenia) | 212                         | 55,6                                     | 36,3                       | 42,3                                     |
| Máximo esperado com transgenia       | 285                         | 74,8                                     | 64,1                       | 74,8                                     |
| Máximo teórico                       | 381                         | 100,0                                    | 85,7                       | 100,0                                    |

Fonte: Elaboração própria, com base em dados de Waclawovsky *et al.* (2010).

Não obstante, a evolução do melhoramento clássico para a transgenia, por sua vez, exige elevados investimentos em pesquisa básica. Por esse motivo, vem sendo frequente a participação de instituições públicas brasileiras nas pesquisas de base para a inovação nesse segmento. No país, podem ser citadas ao menos duas importantes iniciativas: o projeto SucEST (sequenciamento genético da cana) no início dos anos 2000 e o Programa de

Bioenergia da Fapesp (Bioen), que abrange cinco grandes temas – biomassa, biorrefinarias, tecnologias de produção de etanol, motores e impactos das cadeias dos biocombustíveis em todas as dimensões da sustentabilidade.

Contudo, os avanços gerados pelas iniciativas públicas de pesquisa básica não vêm sendo suficientes para engendrar estímulos e ciclos virtuosos de inovação setorial. Segundo alguns especialistas entrevistados, apesar de pioneiras, essas iniciativas não conseguiram preencher todas as lacunas necessárias da pesquisa básica em cana-de-açúcar. Ademais, não foram estabelecidos elos eficientes de transferência de conhecimento e tecnologia da academia para o setor privado. Pode-se identificar até mesmo escassez de mão de obra qualificada para ser incorporada pelo setor privado.

### **Evolução do plantio e da colheita mecanizados da cana-de-açúcar**

A expectativa de expansão da área cultivada de cana-de-açúcar, de 8,5 milhões de hectares, em 2012, para cerca 14 milhões de hectares em 2030, vai requerer alterações significativas em todo o sistema de mecanização atualmente empregado para pôr a atividade em níveis adequados de sustentabilidade. A cana-de-açúcar é uma cultura semiperene cujo processo de produção prevê uma colheita por ano, produzindo em média 81 t/ha/ano, no território brasileiro, se as principais condições edafoclimáticas e de preparo e manejo de solo forem atendidas [Braunbeck e Magalhães (2010)].

Desse total, aproximadamente 1,7 milhão de hectares, cerca de 20%, são replantados a cada ano, e em apenas 40% deles é utilizado o plantio mecanizado. No restante da área, é usado o plantio semimecanizado. O método totalmente manual está restrito hoje a áreas pouco significativas, de alta declividade, predominantemente na Região Nordeste. A cana-de-açúcar é plantada em geral no período de chuvas, entre novembro e março, para ser colhida apenas na safra seguinte, ocasionando ao sistema produtivo déficit de um ano. Durante o período entre a colheita do último ciclo e o plantio da nova cana, muitas usinas executam rotação de culturas com leguminosas, visando não só proteger o solo, como também estender o período de safra. Tradicionalmente a colheita de cana-de-açúcar foi feita a mão, mas passou por rápida mudança para a colheita mecânica na última década, sobretudo em função de legislação que restringe o uso da queimada [Braunbeck e Magalhães (2010)].

Verifica-se, no entanto, principalmente a partir de 2008, elevada queda de produtividade nos canaviais brasileiros, que passou de 81 t/ha/ano para cerca de 69 t/ha/ano, em 2012, com sensível impacto na rentabilidade do setor, ainda mais considerando-se que o preço da gasolina – que baliza os preços do etanol – também se manteve estável nesse período. Diversos fatores podem ajudar a explicar essa queda, muitos dos quais já foram discutidos na seção anterior.

Entretanto, deve-se também considerar que, nesse mesmo período, foram intensificadas, no setor, novas práticas de plantio e colheita mecanizados de cana-de-açúcar. Se, por um lado, tais práticas proporcionam muitos aspectos positivos no que tange à redução do trabalho manual e, no caso da colheita, na extinção das queimadas, por outro lado, levantam dúvidas sobre até que ponto, mesmo que hegemônicas e inexoráveis para o futuro do setor sucroenergético, também não precisam ainda ser aprimoradas de forma a ajudar a compensar eventuais reduções de produtividade no processo, em função de problemas advindos de sua própria implantação,<sup>20</sup> além de propiciar redução futura de custos, quer seja em períodos com safras adversas, quer seja em períodos com boas safras.

Propostas de aperfeiçoamento de tais práticas serão discutidas neste artigo de forma a induzir o desenvolvimento de melhores soluções em relação aos sistemas produtivos e à mecanização do setor.

## **Histórico da mecanização e influência do Protocolo Agroambiental**

A colheita de cana-de-açúcar no Brasil não começou tal qual atualmente é realizada. De fato, iniciou-se com o corte manual, queimadas, e apenas o carregamento era mecânico. Nas décadas de 1950 e 1960, começaram as melhorias no corte mecanizado com a importação das primeiras máquinas vindas da Austrália, mas tais máquinas ainda exigiam a queimada da cana-de-açúcar. Na época, esse procedimento não era visto como um problema, ainda sem a preocupação ambiental de hoje.

A primeira experimentação de corte de cana-de-açúcar mecanizado foi realizada em 1956, com um equipamento importado. Nos anos 1970, as

---

<sup>20</sup> Tais como: na colheita – maior tráfego na lavoura, o que gera maior pisoteamento e, portanto, compactação de solo; corte de base mais alto no colmo da cana-de-açúcar, executado pela colhedora, deixando no solo uma porção nobre da cana, pois na base concentra-se muito açúcar – e, no plantio: a necessidade da utilização de maior número de mudas, em relação ao plantio manual, entre outras.

primeiras configurações de máquinas como as de hoje começaram a ser produzidas no Brasil seguindo a mesma tecnologia australiana da década de 1950, com colheita de cana picada. Cabe salientar que, nesse período, existiram também colhedoras que utilizavam o processo de colheita de cana inteira. Em São Paulo, a colheita mecanizada teve início em 1973, com a utilização da tecnologia importada, bem como da de fabricação nacional. O processo de mecanização no cultivo canavieiro se tornou mais acentuado com a implantação do Proálcool, em 1975.

Na década de 1980, ainda havia a dúvida a respeito de qual processo de colheita deveria ser utilizado: o da cana picada ou o da cana inteira. Na época, existia um tipo de colhedora que cortava a cana em sua base e depois tombava o colmo inteiro na superfície do solo. Todavia era necessário recolher a cana-de-açúcar do chão, o que, além do custo muito alto, gerava uma grande quantidade de impurezas.

Foi somente a partir da década de 1990 que a opção pela cana picada na colheita se consolidou como rota tecnológica vencedora. Essa proposta para colheita mecanizada teve origem em virtude de questões sociais, econômicas e tecnológicas que ocorreram na Austrália e em Cuba, na segunda metade do século XX, com o intuito de eliminar a operação de carregamento necessária no sistema que manuseia colmos inteiros. Entretanto, mesmo nesse caso, ainda nos anos 1990, visava-se à recuperação apenas dos colmos, sendo a palha eliminada da forma mais econômica possível, normalmente por meio da queima, ou, no caso da colheita da cana crua, deixada no campo para conservação do solo [Braunbeck e Magalhães (2010)].

Apenas com a evolução das colhedoras em relação à potência e, sobretudo, com as maiores restrições impostas pelo Protocolo Agroambiental celebrado, em 2007, entre as usinas paulistas e o governo de São Paulo, o setor passou a buscar integralmente a colheita da cana crua.

O Protocolo Agroambiental de São Paulo se traduziu em medida legal em defesa do meio ambiente, já que a queima da palha da cana-de-açúcar é uma das grandes responsáveis pela emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera. Além disso, seria um caso de saúde pública, visto que há um aumento substancial no número de doenças respiratórias entre crianças e idosos, principalmente nas cidades limítrofes da produção canavieira, o que teria gerado infundáveis processos na justiça contra as usinas.

O protocolo antecipou os prazos legais paulistas para a eliminação da prática da queima, de 2021 para 2014 nas áreas onde é possível realizar a colheita mecanizada e de 2031 para 2017 nas áreas para as quais não existe a tecnologia adequada para a mecanização. O citado protocolo é um acordo voluntário pioneiro que conta com a adesão de mais de 170 unidades agroindustriais e 29 associações de fornecedores, que juntos representam mais de 90% da produção paulista.<sup>21</sup>

Cabe destacar que o trabalho de corte de cana-de-açúcar crua realizado por uma colhedora equivale ao trabalho de oitenta a cem homens. Sem a queima da palha, o corte manual é considerado inviável por causa dos riscos de acidente. Além disso, a produção homem/dia na cana crua é muito baixa.

Em função disso, a mecanização da colheita cresceu bastante a partir de 2007, evidenciando o papel preponderante desempenhado pela legislação ambiental paulista. Conforme informa a Tabela 4, mais de 80% da cana produzida pelas usinas já é colhida mecanicamente no Centro-Sul, aumento de quase 150% em relação ao nível praticado em 2005.

Tabela 4 | Evolução da mecanização agrícola na cana-de-açúcar na Região Centro-Sul, 2005-2012 (em %)

| Centro-Sul                  | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Colheita mecânica – própria | 34,7 | 36,7 | 42,8 | 53,4 | 60,1 | 72,8 | 79,2 | 85,1 |
| Colheita crua – própria     | 21,0 | 25,1 | 29,9 | 38,2 | 42,9 | 52,5 | 66,3 | 73,8 |
| Colheita queimada – própria | 13,7 | 11,6 | 12,9 | 15,2 | 17,1 | 20,3 | 13,0 | 10,8 |
| Colheita manual – própria   | 65,3 | 63,3 | 57,2 | 46,6 | 39,9 | 27,2 | 20,8 | 14,9 |
| Plantio mecânico – própria  |      |      | 8,9  | 24,8 | 32,6 | 35,1 | 47,8 | 59,6 |

Fonte: CTC.

Em relação ao plantio, o processo manual, por muito tempo, foi hegemônico no Brasil. Contudo, a partir dos anos 1990, com o início da colheita mecanizada, começava também a crescer o interesse pela mecanização do plantio. Anos depois de a evolução da colheita mecânica ser acelerada,

<sup>21</sup> Além da queima, o protocolo dispõe sobre outros temas de relevância, como a conservação do solo e dos recursos hídricos, a proteção das matas ciliares e recuperação de nascentes. Tal movimento acerca da legislação em prol do término da queima teria se iniciado em 2002, quando entrou em vigor a Lei das Queimadas, Lei 11.241, de 19 de setembro de 2002, em São Paulo. O referido protocolo foi fundamentado nessa lei.

em face dos protocolos ambientais a favor do fim das queimadas, o plantio mecanizado foi ocupando seu espaço em função, principalmente, da crescente falta de mão de obra no campo, em virtude de a colheita mecanizada ter dispensado contingentes que estariam disponíveis para atuar nos três meses que envolvem o plantio. Conforme evidencia a Tabela 4, o plantio mecânico já representa quase 60% das áreas próprias das usinas na Região Centro-Sul, nível quase sete vezes superior ao verificado em 2007.

### **Desempenho dos sistemas mecanizados utilizados pelo setor canavieiro**

O avanço da mecanização tanto no plantio como na colheita vem revelando certas deficiências no desempenho e, em alguns casos, vem se mostrando menos eficiente do que o sistema manual. Ainda que deva ser considerada a dificuldade de oferta de mão de obra treinada para realizar as operações mecanizadas, ou mesmo a inadequação de determinadas variedades de cana à mecanização, é necessário avaliar se as atuais tecnologias de mecanização agrícola poderiam ser mais bem desenvolvidas.

#### *Plantio*

A cana-de-açúcar se propaga vegetativamente por meio de gemas<sup>22</sup> laterais. Tradicionalmente, a multiplicação de canaviais é feita por meio de rebolos,<sup>23</sup> com comprimento de duas a três gemas, extraídos de colmos produzidos em viveiros. O plantio da cana-de-açúcar envolve quatro etapas principais: a colheita de mudas em local distinto da área de plantio; o transporte até a área de plantio; a distribuição das mudas nos sulcos e, por último, a pulverização e cobertura das mudas [Braunbeck e Magalhães (2010)].

#### **Problemas identificados**

Em relação à mudança, em maior intensidade, a partir de 2006, do plantio manual para o plantio mecanizado, o principal problema verificado pelas usinas foi a necessidade do aumento significativo da quantidade dos tole-

<sup>22</sup> Porção da cana situada nos nós existentes no colmo, responsável pela propagação da planta.

<sup>23</sup> Fração do colmo com o corte característico do facão picador ou do corte de base, em ambas as extremidades. O colmo, por sua vez, é um tipo de caule comum em gramíneas como a cana-de-açúcar, bambu etc., em que nós e entrenós são bem visíveis e podem ser ocos (bambu), ou cheios (cana-de-açúcar). No da cana-de-açúcar, é onde se concentra o caldo, que contém o açúcar.

tes<sup>24</sup> necessários para o plantio de um hectare de cana-de-açúcar. Quando o sistema era manual, eram necessárias, em geral, de dez a 12 toneladas de toletes para plantar um hectare, o que gerava, em média, oitenta toneladas de cana por hectare em um ano. Ao fim do ciclo produtivo, depois de cinco anos, são gerados cerca de 400 t/ha.

Com a introdução do plantio mecanizado, verificou-se que eram necessárias de 16 a vinte toneladas de toletes para a obtenção dos mesmos resultados. Dessa forma, tal situação representa um sensível aumento de custos, mesmo considerando-se que, por outro lado, há uma redução significativa da mão de obra envolvida – em que pese haver também incremento de custos, referentes tanto ao CAPEX quanto ao OPEX relativos à aquisição e operação das máquinas envolvidas.

Uma das principais razões para a necessidade do elevado número de toletes no plantio é que as gemas neles presentes são muito sensíveis, fáceis de serem danificadas, o que ocorre frequentemente durante todo o processo. A começar pela colheita das mudas, que é feita com uma colhedora de cana-de-açúcar adaptada com *kit* de emborrachamento. Nessa etapa, muitos toletes já são recolhidos com gemas danificadas. Logo depois da colheita, esses toletes sofrem nova agressão em sua passagem para os veículos de transbordo que vão levá-los para o local de plantio. E novamente passam por outra agressão ao serem despejados nas plantadoras.

Dessa forma, a alternativa dos usineiros é aumentar a quantidade de toletes por hectare, a fim de tentar compensar, ao menos em parte, a esperada perda de gemas viáveis. Some-se a isso o fato de que, na tecnologia atual de plantadoras, não existe ainda uma que consiga dosar adequadamente a quantidade de toletes a serem lançados no sulco, por unidade de tempo e área. E, com o incremento de toletes maior do que o necessário, ocorre também o aumento da competição entre eles. Dessa forma, nem todas as gemas vão germinar, o que também é mais um fator que prejudica todo o processo de plantio.

Outro ponto importante é a busca por ampliar a eficiência da operação de plantio. Atualmente, as plantadoras, até mesmo por terem que transportar cerca de seis toneladas de toletes, só estão aptas a plantar, no máximo, duas linhas de cada vez. Essa característica aumenta a necessidade de trá-

---

<sup>24</sup> Parte do colmo da cana-de-açúcar que tem uma ou mais gemas.

fego para a conclusão do plantio em determinada área, aumentando assim o pisoteamento do solo (compactação), que é um dos principais fatores de queda de produtividade a médio e longo prazos nas lavouras de cana-de-açúcar brasileiras.

Também é fundamental que as linhas de plantio estejam bem-alinhadas durante o processo, a fim de facilitar a operação de colheita, evitando o pisoteamento e, principalmente, garantindo que as máquinas envolvidas no processo só trafeguem no espaço entre linhas, e nunca por cima da linha onde a cana é plantada, fato ainda comum. O presente desenho das máquinas impõe limites para o desenvolvimento e a difusão das melhores práticas de manejo agrícola.

Tais problemas conjugados requerem não só que as máquinas envolvidas no processo sejam aperfeiçoadas, como também que todo o processo de plantio seja revisto. E, de preferência, que as máquinas venham a se adequar aos melhores processos de preparo e cultivo do solo.

#### Possíveis soluções

Em primeiro lugar, é necessário melhorar o processo da colheita dos toletes das mudas. Como foi comentado, é usada uma colhedora de cana-de-açúcar adaptada com *kit* de emborrachamento para desempenhar essa função. Decerto, precisa-se desenvolver uma nova tecnologia para a colhedora de mudas, ou um novo processo de recolhimento, que reduza a chance da danificação das gemas não só durante a colheita, mas também nos processos da passagem dos toletes da colhedora para o veículo de transbordo e deste para as plantadoras. Para tanto, uma possibilidade seria, por exemplo, a criação de algum novo processo que envolva o transporte dos toletes por meio de um *container* que os coloque diretamente na plantadora, sem a necessidade, portanto, das movimentações dos toletes previamente descritas.

Em relação à dosagem das mudas pela plantadora, é necessário o desenvolvimento de tecnologias capazes de garantir a exata distribuição de toletes nos sulcos, de preferência colhidos anteriormente, com a mais alta taxa possível de gemas viáveis, de forma a alcançar as melhores práticas da agricultura de precisão, as quais já são muito utilizadas na cultura de cereais. Para tanto, *softwares* que mapeiem a produtividade do terreno e comandem a resposta adequada, em tempo real, para a plantadora, também precisam

ser desenvolvidos e inseridos na máquina, ou seja, há necessidade de maior automação. É certo que, com mais essa evolução, seria reduzida em muito a necessidade de colocação elevada de toletes para serem plantados por hectare.

Em relação ao aumento das linhas de produção e seu alinhamento no processo de plantio, é necessário desenvolver processos/máquinas capazes não só de operar um número maior de linhas por vez, como também de garantir o uso dos mais modernos recursos informatizados, de telecomunicações, de georreferenciamento (GPS), de piloto automático, assim como a utilização de *softwares* de logística e de planejamento e controle da produção, visando, até, integrar o controle e a comunicação das usinas com as frentes de trabalho agrícolas em tempo real, o que otimizaria o trabalho da grande frota de máquinas e veículos agrícolas envolvida nesse processo.

Por fim, tais soluções se encontram no paradigma atual da reprodução da cana por meio de toletes que, em média, têm três gemas e comprimento de 20 cm a 45 cm, mas que envolvem grandes massas a serem transportadas no processo. Conforme mencionado, o plantio dos cereais leva muita vantagem em relação ao plantio da cana, em função, sobretudo, da reduzida dimensão de suas sementes, o que torna todo o processo de manipulação/plantio mais facilitado.

Para a cana-de-açúcar, já está sendo pensada, e pode vir a ser uma boa solução, a tentativa de se criar uma espécie de semente a partir de um meristema tropical. Com isso, seria obtida alta redução dos custos de produção e de métodos e máquinas envolvidos no preparo, plantio e manejo do solo, o que revolucionaria todo o setor sucroenergético.

Uma primeira tecnologia já testada a fim de alcançar essa redução teve por objetivo a propagação da cana-de-açúcar por meio de uma única gema, com o rebolo reduzido, tratado e condicionado para evitar pragas e doenças, com reserva energética suficiente para até o sistema radicular se desenvolver [Braunbeck e Magalhães (2010)]. Se bem-sucedida, essa nova tecnologia envolverá a mudança de práticas e máquinas agrícolas.

### *Colheita*

A colheita de cana-de-açúcar mecanizada é realizada com a utilização de grandes colhedoras, que, nos últimos cinquenta anos, evoluíram bastante no que tange à capacidade efetiva de colheita. A princípio, as colhedoras

eram capazes de colher apenas 15 toneladas de cana queimada por hora, ao passo que atualmente, as mais modernas colhem setenta toneladas de cana crua por hora. Trata-se, pois, de incremento significativo, uma vez que a colheita de cana crua representa ambiente de trabalho bem mais adverso do que o de cana queimada. Em que pese que o processo de produção que prevaleceu no Brasil foi o australiano, de colheita de cana picada, o mesmo utilizado até os dias de hoje, muitos itens podem e devem ser melhorados, o que, no limite, poderá substituir a rota tecnológica vigente.

Cabe ressaltar que o processo australiano de colheita de cana picada foi bem-sucedido na eliminação da operação de carregamento de colmos inteiros e na viabilização do manuseio a granel da cana, à semelhança do que ocorre com os cereais. O processo de colheita de cana picada envolve 11 operações básicas: o corte dos ponteiros, o levantamento e alinhamento dos colmos, o tombamento dos colmos, o corte de base dos colmos, o levantamento da base dos colmos, o ordenamento paralelo, a picagem, a ventilação primária, o transporte com elevação, a ventilação secundária e a descarga a granel. Essa combinação de operações permite que o sistema de cana picada efetue o despalhamento e obtenha melhor *performance* para a colheita de canaviais tombados, características que o fizeram prevalecer sobre outras rotas [Braunbeck e Magalhães (2010)]. Entretanto, esse sistema apresenta também vários problemas a serem solucionados.

#### Problemas identificados

Um dos principais problemas é, decerto, o incremento do tráfego envolvido nas lavouras de cana-de-açúcar, o que acarreta aumento do pisoteamento e, por conseguinte, da compactação do solo. Com o tempo, este vai sendo degradado, o que afeta diretamente sua produtividade. Se medidas não forem tomadas de forma adequada para tentar atenuar esse problema, poderá ocorrer grande degradação nos solos cultivados com cana.

Outro ponto importante envolve a produtividade da colheita, uma vez que as máquinas, em geral, colhem apenas uma linha de cana-de-açúcar, em função da grande massa a ser colhida e da largura de suas bitolas. Apenas recentemente entraram em operação máquinas capazes de colher duas linhas por vez. Quanto mais linhas puderem ser colhidas no processo, maior será a quantidade de cana-de-açúcar a ser colhida por unidade de tempo, o que melhoraria a produtividade e a sustentabilidade da produção. Destaca-se que, no paradigma atual, as máquinas que colhem ape-

nas uma linha já pesam cerca de 19 toneladas. Logo, seguindo o modelo usado hoje, caso se tentasse aumentar muito mais o número de linhas, as máquinas ficariam maiores e mais pesadas, o que inviabilizaria sua produção, tanto por causar danos aos canaviais, quanto pela difícil logística de deslocamento, ou seja, do transporte das máquinas para as usinas e destas para os canaviais.

O desgaste de materiais envolvidos na colheita é também outra questão relevante a ser considerada, uma vez que, em função da resistência e abrasividade da cana-de-açúcar, as facas da colhedora ficam cegas rapidamente, em cerca de oito horas. No entanto, tal fato acontece em virtude de a faca cortar não só a planta, mas também a terra. Uma vez que a terra fosse retirada do processo de corte, seria possível, até, utilizar facas mais finas, facilitando ainda mais o corte, bem como a manutenção dos fios por mais tempo.

Além disso, essa situação acarreta em sensível aumento do consumo de combustível, uma vez que a potência do cortador de base que atualmente é de 50 HP a 60 HP poderia ser reduzida para cerca de 1 HP sem em nada comprometer o corte eficaz da cana-de-açúcar. Ainda em relação ao consumo excessivo de combustível, cabe ressaltar que a colhedora está consumindo em torno de um litro de diesel por cada tonelada de cana colhida. Se for contabilizado o transbordo que a acompanha, chega-se ao consumo de 1,3 l/t, entre colheita e transporte, em virtude não apenas do peso da máquina, mas também para proceder ao corte de base.

Outra questão é que o cortador de base, que contém os dois discos rotativos que cortam a cana-de-açúcar, em função de também cortar a terra, acaba sendo um dispositivo muito pesado, com cerca de 450 kg. Por essa razão, esse acessório tem grande inércia, não conseguindo acompanhar adequadamente as alterações do terreno, o que só agrava o problema. Uma tentativa de solução é posicionar o cortador um pouco mais alto, mas então muitas vezes a cana-de-açúcar será cortada em posição alta demais no colmo, o que é bastante prejudicial em relação à produtividade.<sup>25</sup>

A utilização das colhedoras em terrenos com declividade acima de 12% é outra limitação dessas máquinas a ser considerada. De fato, uma vez que

---

<sup>25</sup> Grande parte da porção mais nobre da cana-de-açúcar, que é o caldo, encontra-se justamente perto da base, ficando no fragmento deixado no solo, sem ser colhida.

as colhedoras, *grosso modo*, colhem apenas uma linha, tendo bitola estreita, apresentam falta de estabilidade ao tombamento e também direcional [Magalhães e Braunbeck (2010)].

A inaptidão das colhedoras para trabalhar em canaviais que tenham cana tombada é outra limitação grave dessas máquinas, uma vez que nos canaviais mais produtivos, acima de 120 t/ha, o tombamento é um problema recorrente. Sendo assim, a própria busca de variedades de cana mais produtivas pode ficar inviabilizada, ou afastada, pois não haveria como fazer a colheita destas posteriormente. Este é mais um exemplo de como a máquina utilizada pode vir a impor limites a melhores práticas, processos e tecnologias de produção da cana-de-açúcar.

Apontado por especialistas do setor, o elevado índice de perdas, visíveis e invisíveis, é outro ponto importante a se considerar. Com a colhedora atual, essas perdas ficam entre 8% e 10%, números extremamente altos, quanto mais se comparados às colhedoras de cereais, para as quais um índice de 2% de perdas já seria preocupante. Em geral, só se contabilizam as perdas visíveis do processo, que envolvem pedaços de cana-de-açúcar e toletes, fazendo com que o número fique em torno de 5%. Entretanto, se forem contabilizadas também as perdas invisíveis, que são serragem, caldo e pequenos estilhaços, seriam alcançados os outros 5% de perdas. Corte da base, despontamento, picagem da cana e separação da palha são os motivos dessas perdas, sendo este último item o maior de todos, já que para obter a cana livre da palha, as perdas aumentam consideravelmente.

### Possíveis soluções

Uma das principais maneiras de reduzir o tráfego e o pisoteamento envolvidos nas lavouras de cana seria a mudança de quase todo o processo de plantio, a passagem do atual, conhecido como convencional, para o chamado plantio direto,<sup>26</sup> ou mínimo. Dessa forma, diversas máquinas e equipamentos não mais seriam utilizados, contribuindo assim para resolver o

<sup>26</sup> Trata-se de um sistema diferenciado de manejo de solo que visa diminuir sobre ele o impacto da agricultura e das máquinas agrícolas. Nele, a palha e os demais restos vegetais de outras culturas são mantidos na superfície do solo, garantindo-lhe cobertura e proteção contra processos danosos, tais como a erosão. O solo só é manipulado no momento do plantio, quando é aberto um sulco onde são depositadas sementes e fertilizantes. Não existe, além do supracitado, nenhum método de preparo do solo. O mais importante controle nesse modo de cultivo é o das plantas daninhas, por meio do manejo integrado de pragas, doenças em geral e plantas infestantes. Também é muito importante para o sucesso do sistema que seja utilizada a rotação de culturas.

problema do tráfego e pisoteamento excessivo em sua raiz. Outra maneira seria o desenvolvimento de colhedoras de bitolas mais largas que pudessem, em razão dessa característica, processar número maior de linhas. Se isso fosse feito, assim como acontece nas colhedoras de cereais, que têm plataformas de colheita bem mais largas que suas bases motrizes, seria possível diminuir muito a área trafegada. Cabe ressaltar também que o aumento do número de linhas de cana-de-açúcar colhidas melhoraria a produtividade de tais máquinas.

Em relação ao equipamento responsável pelo corte de base das máquinas, ao consumo das facas e ao consumo de combustível, cujos problemas gerados, como visto, estão de certa forma, interligados, as soluções seriam as seguintes: em primeiro lugar, desenvolvimento de um equipamento de corte mais leve, menos potente e que acompanhasse as irregularidades do terreno. Dessa forma, o novo sistema, não tão pesado, acompanharia a superfície do terreno, cortando “certo”, pois manteria sempre a faca alguns centímetros acima da superfície do solo, aproveitando mais a cana-de-açúcar. Com isso, seriam poupadas as facas de corte da máquina, pois a terra não estaria sendo cortada conjuntamente. Logo, as facas poderiam ser mais finas e afiadas, melhorando, portanto, o corte; e a potência da máquina poderia ser menor, pois apenas a cana-de-açúcar estaria sendo cortada. Com a redução da potência de corte, um importante item, o cortador de corte de base, responsável pelo alto consumo de combustível da colhedora, estaria sendo substituído por um sistema de corte bem mais econômico.

Em relação ao limite de declividade do terreno (até 12%) e ao problema de estabilidade ao tombamento, necessário seria o desenvolvimento de colhedora que cortasse número maior de linhas e que, portanto, tivesse sua largura aumentada. Quanto à estabilidade direcional, esta surge como consequência dos componentes transversais de peso que tendem a desviar a máquina da trajetória correspondente às linhas de plantio. Tal questão pode ser resolvida, basicamente, por meio de recursos de direção e de tração nas quatro rodas [Magalhães e Braunbeck (2010)].

No tocante ao tombamento dos canaviais e ao concomitante entrelaçamento decorrente de sua alta produtividade, tais questões ainda estão aguardando o desenvolvimento de tecnologia de colhedora ou de processos de colheita capazes de resolvê-las. Com a tecnologia atual, a utilização

de colhedora de uma linha, conjuntamente com a redução de velocidade de operação da máquina, pode atenuar tais problemas.

Em relação às perdas visíveis e invisíveis, uma possibilidade seria a colheita da cana integral (conjuntamente com a palha), já em desenvolvimento. Portanto, uma limpeza parcial na colhedora, combinada com uma planta estacionária de limpeza a seco na usina, parece ser a solução mais adequada, pois evita perdas na colhedora e permite ajustar o percentual desejado de recuperação de palha para energia, deixando no campo a cobertura requerida para o controle de ervas daninhas e proteção do solo [Magalhães e Braunbeck (2010)].<sup>27</sup>

### *Irrigação na lavoura de cana-de-açúcar*

A irrigação ainda não é uma realidade nas plantações de cana-de-açúcar no Brasil por seus custos serem considerados elevados. Apesar de muitos afirmarem que a irrigação deve ser incentivada, outros consideram que seria a variedade da cana mais resistente ao déficit hídrico o mais indicado para receber incentivo, quer seja no plantio nas áreas de expansão, quer seja por problemas climáticos. Por enquanto, o simples fato de se deixar a palha no campo ameniza bastante o problema de falta de água, visto que mantém a umidade do solo.

Na decisão pela utilização de irrigação, questões como o período de seca e com que regularidade ele ocorre, a disponibilidade de água e a que distância está a água da lavoura influem diretamente, uma vez que tais questões refletem diretamente no CAPEX e no OPEX da operação.

A irrigação na cana-de-açúcar é uma tecnologia ainda pouco disseminada e bem inicial em sua curva de aprendizagem. De acordo com alguns entrevistados, o que se ganha em aumento de produtividade se compensa pelo aumento do custo, o que leva as usinas a escolher áreas para plantio mais seguras, que dispensem esse investimento.

---

<sup>27</sup> Cabe salientar que o BNDES está apoiando, no âmbito do Fundo Tecnológico (BNDES Funtec), projeto liderado pelo Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bietanol (CTBE) para o desenvolvimento de estrutura autopropelida de tráfego controlado (ETC), cujo objetivo é realizar todas as operações envolvidas no ciclo agrícola da cana-de-açúcar: plantio, tratamentos culturais e colheita. A proposta desse equipamento é inovadora, uma vez que, por conter bitola de 9 m, cabines de controle e frentes de colheita capazes de se deslocar e girar sobre seu próprio eixo, propicia não só o plantio e a colheita em um maior número de linhas, como também a redução de tráfego e manobras nos talhões de cana-de-açúcar.

## Principais fatores determinantes do desempenho dos sistemas de mecanização agrícola da cana

Conforme já discutido, a lavoura de cana-de-açúcar, em âmbito mundial, com extensão de 26 milhões de hectares, é pequena se comparada com outras culturas predominantes, em especial a de cereais, que ocupa área plantada de cerca de setecentos milhões de hectares. Pode-se até constatar que os padrões de mecanização no setor agrícola são ditados pelos cereais, com a cultura da cana, vindo, *grosso modo*, a reboque das práticas adotadas nessas outras culturas. Saliente-se o fato de que a mecanização adotada na cultura de cereais já tem, ao menos, 150 anos de adaptação e aperfeiçoamento, ao passo que, no caso da cana-de-açúcar, essa evolução tem cerca de cinquenta anos, ou seja, ainda se encontra em estágio inicial de adaptação e aprimoramento.

Cabe ressaltar que a cana-de-açúcar, além de ser uma planta muito complexa, tanto biologicamente como geneticamente, em comparação aos cereais, envolve desafios importantes no que tange às operações de plantio e colheita, em função, sobretudo, das elevadas quantidades de massa envolvidas nesses processos.

No caso dos cereais, o plantio é feito por meio de sementes, muito mais fáceis de serem manipuladas, por serem pequenas esferas, muito leves e numerosas. No caso da soja, por exemplo, são necessários 15 kg de sementes para o plantio de um hectare. Todavia, o plantio da cana-de-açúcar é feito por meio de toletes, que são porções do colmo da cana, com dimensões de 20 cm a 45 cm, contendo de duas a três gemas, que têm de ser distribuídos no solo, exigindo o uso de plantadoras com capacidade de 6 t cada. Nessas condições, são necessárias 16 t a 20 t de cana para o plantio de um hectare.

A situação, comparada à dos cereais, agrava-se ainda mais quando se trata da colheita. Para se ter uma ideia, enquanto nos cereais a colheita de um hectare corresponde à retirada, em média, de cerca de 2 t a 3 t de massa, na cultura da cana-de-açúcar envolve a retirada de cerca de 70 t, em média, podendo chegar a 120 t. Por esse motivo, as colhedoras de cana e, subsidiariamente, as plantadoras precisam ser máquinas bem mais robustas do que as utilizadas em cereais, pois estão submetidas a um ambiente muito mais adverso.

No caso das colhedoras de grãos, a demanda mundial chega à ordem de 65 mil a 75 mil máquinas por ano, enquanto as colhedoras de cana

alcançam apenas 1,6 mil a 1,8 mil colhedoras por ano; e o Brasil é responsável por mais de dois terços da demanda. Portanto, para a indústria de fabricantes de colhedoras, o mercado de cana-de-açúcar é, de fato, pequeno comparativamente.

Diante dos dados expostos, é possível inferir que a lavoura de cana-de-açúcar encontra-se em situação de desvantagem em relação à alocação de recursos de P&D se comparados aos que são alocados no desenvolvimento da mecanização para a cultura de cereais, pois não se consegue diluir tais gastos por uma escala grande de produção. Mas é a cultura da cana-de-açúcar, quer seja por ser mais complexa, quer seja por exigir mais das máquinas no processo de plantio e colheita e ter menos tempo de evolução em relação à cultura de cereais, que exige um nível de investimento muito mais alto, a fim de se reduzir a defasagem tecnológica que hoje existe. Em razão disso, pode ser necessário que sejam disponibilizados incentivos governamentais para gastos em P&D, a fim de minorar essa situação de desvantagem da cana-de-açúcar. Se o setor vier a depender exclusivamente de recursos de mercado, pode ser que eles não venham nos volumes e no tempo que o desenvolvimento da cultura canavieira hoje exige.

### **Atual apoio de BNDES e Finep à atividade de P&D agrícola do setor sucroenergético**

Esta seção procura quantificar o apoio das principais instituições federais de fomento a P&D – BNDES e Finep – a projetos voltados ao desenvolvimento de tecnologias agrícolas para o setor canavieiro. O objetivo é avaliar se, ao menos no que se refere ao suporte financeiro público, tem havido estímulo adequado para o desenvolvimento de tecnologias agrícolas que, conforme visto, não vem avançando de forma plenamente satisfatória.

A base de dados utilizada para o levantamento foram os respectivos sistemas operacionais da Finep e do BNDES; e os parâmetros da consulta permitiram trazer informações dos projetos ativos<sup>28</sup> de desenvolvimento tecnológico relativos a qualquer etapa da produção agrícola da cana. Os resultados obtidos estão resumidos na Tabela 5.

<sup>28</sup> Consideram-se projetos ativos aqueles em que ainda há desembolsos de recursos ou ainda estão em fases de execução. Não são considerados os projetos já encerrados ou que já foram completamente amortizados.

Tabela 5 | Carteira conjunta BNDES-Finep de projetos de P&amp;D agrícola para cana-de-açúcar (em R\$ milhões)

| Conjunta           | Crédito       | FNDCT/Funtec | Subvenção    | Total         |
|--------------------|---------------|--------------|--------------|---------------|
| Variedades         | 130,50        | 40,83        | -            | 171,33        |
| Clássico           | 105,71        | 38,60        | -            | 144,30        |
| Transgênico        | 24,80         | 2,24         | -            | 27,03         |
| Plantio e colheita | 4,04          | 21,94        | 17,60        | 43,59         |
| Outros             | -             | -            | 6,24         | 6,24          |
| <b>Total</b>       | <b>134,54</b> | <b>62,78</b> | <b>23,84</b> | <b>221,17</b> |

Fonte: BNDES e Finep.

Conforme se pode ver, o apoio federal alcançou, até o início de 2013, carteira total de cerca de R\$ 220 milhões, sendo pouco mais de R\$ 170 milhões dedicados ao melhoramento genético de cana e o restante, em sua maior parte, para o desenvolvimento de máquinas e implementos agrícolas canavieiros.

Para se ter uma ideia da magnitude desses recursos, ao se considerar que o desenvolvimento de uma variedade de cana superior comercialmente custa, em média, R\$ 150 milhões, o total financiado hoje por BNDES e Finep seria suficiente para o desenvolvimento de apenas uma nova variedade de cana.

Ademais, nos projetos de melhoramento de cana, observa-se que apenas uma parte pequena, inferior a 20%, envolve o desenvolvimento de variedades transgênicas, o que evidencia a menor prioridade justamente para a rota tecnológica que, conforme visto, apresenta maior potencial de ganhos quando comparada ao melhoramento clássico.

Ao analisar os dados relativos aos instrumentos financeiros de maior mitigação de risco – Finep FNDCT, BNDES Funtec e Finep Subvenção –, que operam de forma não reembolsável, verifica-se que os projetos para melhoramento de cana estão sendo apoiados com cerca de R\$ 41 milhões.

Desse total, apenas pouco mais de R\$ 2 milhões foram destinados ao melhoramento transgênico e, além disso, não foi encontrado sequer um projeto de subvenção, o que evidencia a inexistência de projetos de maior risco realizados por empresas. Assim, todos os projetos apoiados com recursos não reembolsáveis são liderados por universidades e institutos

de pesquisa, indicando o caráter de pesquisa mais básica e, portanto, de menor capacidade de gerar inovações no curto e no médio prazos.

Já em relação ao apoio às tecnologias de plantio e colheita, dos cerca de R\$ 43 milhões em carteira financiados por BNDES e Finep, mais de 90% são apoiados por meio de instrumentos não reembolsáveis, o que evidencia o caráter mais arriscado dos projetos. Contudo, mais da metade desses investimentos são liderados por universidades e institutos de pesquisa, o que novamente evidencia a natureza mais científica e menos comercial dessas iniciativas.

Diante disso, pode-se dizer que o apoio federal à atividade de P&D agrícola canavieira, além de ser incompatível com as necessidades do setor, deveria ser redirecionado para rotas tecnológicas de maior potencial, como a transgenia e sistemas mais eficientes de plantio e colheita. Ademais, deveria haver um maior equilíbrio na utilização de instrumentos não reembolsáveis entre empresas e instituições de pesquisa/universidades.

### **Alternativas de política de fomento às inovações agrícolas para cana**

O cenário descrito até aqui aponta para uma clara defasagem tecnológica significativa na produção da cana-de-açúcar. Conforme visto, a produtividade atual, da ordem de 11.000 kg de ATR/ha, poderia chegar a algo em torno de 60.000 kg/ha, volume quase seis vezes maior. Além disso, o ritmo da evolução tecnológica vem perdendo fôlego nos últimos anos.

Considerando-se o ritmo dos últimos quarenta anos, cujo crescimento médio da produtividade agrícola tem se situado em torno de 1% a.a., seriam necessários aproximadamente duzentos anos para que esse potencial fosse atingido.

O aumento crescente do custo de produção de etanol e açúcar, cuja participação dos custos agrícolas é de cerca de 70%, torna esse cenário de lento crescimento de produtividade ainda mais preocupante. O aumento do consumo doméstico de gasolina em detrimento do etanol ilustra, de certo modo, essa perda relativa de competitividade do setor.<sup>29</sup>

<sup>29</sup> Para uma discussão mais detalhada dos fatores que têm inibido o desenvolvimento da produção de etanol no Brasil, ver Milanez *et al.* (2012).

Entre os diversos fatores determinantes desse cenário, ressalta-se o fato de que o investimento no desenvolvimento tecnológico vem sendo feito em ritmo e intensidade incompatíveis com a importância do setor para o Brasil.

Por um lado, do ponto de vista de retorno social, a indústria sucroenergética cumpre papel de alta relevância para o Brasil, seja pela capacidade de: (i) gerar internamente valor econômico,<sup>30</sup> (ii) abastecer mais da metade do consumo de combustíveis de sua frota de veículos leves,<sup>31</sup> (iii) proporcionar a geração de bilhões de dólares em divisas, tanto por meio de exportações<sup>32</sup> quanto pela substituição de importações<sup>33</sup> e (iv) adicionar significativo potencial elétrico à rede.<sup>34</sup>

Por outro lado, a lavoura de cana é, em nível mundial, quase trinta vezes inferior à lavoura de cereais, o que limita os investimentos em P&D a volumes menores, essencialmente dedicados a avanços incrementais. Contudo, por ter maior complexidade genética e por serem maior o volume e a quantidade de biomassa por hectare que precisam ser manejados, o desenvolvimento de tecnologias agrícolas para cana é, sem dúvida, mais desafiador e, na opinião de especialistas, mais dispendioso. Combinados, esses fatores geram uma situação de relativa baixa atratividade para investimento em P&D, quando comparada à situação dos cereais.

Na atual conjuntura, portanto, é possível dizer que se observa um agravamento do clássico problema advindo da discrepância entre os retornos privado e social do investimento em P&D [North e Thomas (1973)].

<sup>30</sup> Segundo Varrichio (2012), a importância econômica da indústria da cana é comparável à da automobilística. Para verificar o valor adicionado pela cadeia sucroenergética, a autora utiliza como indicador o Valor de Transformação Industrial (VTI) disponível na Pesquisa Industrial Anual do IBGE. Em 2006, a cadeia sucroenergética apresentou VTI de R\$ 18,18 bilhões; ao passo que a aeronáutica, R\$ 3,42 bilhões; a petroquímica, R\$ 12,32 bilhões; e a automobilística, R\$ 18,46 bilhões.

<sup>31</sup> Em Milanez *et al.* (2012), estimou-se a atual capacidade instalada de destilarias no Brasil em cerca de 36 bilhões de litros de etanol, ou 25 bilhões de litros de gasolina equivalente. Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), em 2011 foram consumidos pouco mais de 26 bilhões de litros de gasolina e vinte bilhões de litros de etanol, perfazendo um consumo total de quarenta bilhões de litros de gasolina equivalente.

<sup>32</sup> Segundo dados elaborados pela União da Indústria de Cana-de-Açúcar (Unica), em 2012, o setor exportou cerca de US\$ 14 bilhões, dos quais US\$ 2 bilhões referentes a vendas de etanol e o restante para açúcar. Considerando que o Brasil exportou cerca de US\$ 250 bilhões, em 2012, a contribuição do setor sucroenergético foi de quase 6%.

<sup>33</sup> Segundo a ANP, em 2012 foram importados aproximadamente quatro bilhões de litros de gasolina. Sem a produção local de etanol de mais de vinte bilhões de litros, as despesas com importação de gasolina mais do que quadruplicariam.

<sup>34</sup> Para uma discussão mais detalhada do potencial elétrico do setor canavieiro, ver Nyko *et al.* (2011).

Desse modo, torna-se justificável a criação de mecanismos públicos de fomento que permitam acelerar a velocidade do desenvolvimento das tecnologias agrícolas para cana, pois, se mantido o ritmo atual para os próximos anos, o país enfrentará a intensificação de uma tendência já iniciada de perda crescente da competitividade do setor sucroenergético.

### **Justificativa para execução de uma ação de fomento coordenada**

O modelo inaugurado pelo Plano Conjunto de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico (PAISS), ao conjugar instrumentos financeiros diversos e, dessa forma, abrir uma “janela de oportunidade” de acesso a mecanismos com maior mitigação de risco, como BNDES Funtec e Finep Subvenção, constitui alternativa interessante para alterar a conjuntura de letargia tecnológica evidenciada pelas seções precedentes.

O acesso a instrumentos de maior mitigação de risco, por operarem de forma não reembolsável, cria uma oportunidade, restrita no tempo, para que os projetos de P&D mais arriscados/dispêndiosos se tornem viáveis, pois a parcela custeada pelo financiamento público permite ajustar o retorno ao risco do investimento, incentivando as empresas a inovar de forma mais radical.

Ademais, o formato PAISS cria uma salutar concorrência entre empresas, o que incentiva todos os envolvidos na indústria a participar da janela de oportunidade e alavancar seus investimentos em P&D. A possibilidade de não acessar os recursos incentivados ao mesmo tempo em que seu concorrente os acessa pode aumentar o risco de a empresa ficar defasada tecnologicamente e, possivelmente, em posição comercial inferior.

Além de atrair novos entrantes e incitar a concorrência, o modelo PAISS permite ainda incentivar a criação de consórcios entre empresas para o desenvolvimento tecnológico. Essa característica se mostra importante no caso de desenvolvimento de tecnologias agrícolas, tendo em vista que: (i) a participação de usuários finais, isto é, usinas de cana, é fundamental para o sucesso comercial das inovações agrícolas que se pretende incentivar e difundir e (ii) as diversas tecnologias agrícolas têm necessariamente de ser desenvolvidas de forma a gerar complementaridades, formando pacotes tecnológicos integrados.

Outra vantagem de uma ação de fomento coordenada é sua capacidade de direcionar o investimento para tecnologias consideradas de maior potencial

econômico. Conforme discutido neste trabalho, entre as possibilidades para superar os desafios tecnológicos que poderiam alterar significativamente o atual patamar de produtividade agrícola, podem-se citar os desenvolvimentos de:

- variedades de cana-de-açúcar voltadas aos ambientes de produção das regiões de fronteira, mais adequadas à mecanização agrícola e com maiores quantidades de biomassa e/ou ATR, enfatizando a utilização de melhoramento transgênico;
- máquinas e implementos para plantio e colheita de cana-de-açúcar, com ênfase na ampliação do uso de técnicas de agricultura de precisão;
- sistemas integrados de manejo, planejamento e controle da produção;
- técnicas mais ágeis e eficientes de propagação de mudas; e
- variedades, máquinas e equipamentos agrícolas e adaptação de sistemas industriais para culturas energéticas compatíveis, complementares ou consorciáveis com o ciclo produtivo da cana-de-açúcar, como cana-energia e sorgo sacarino.

### **Fomento à pesquisa científica básica**

Além do estímulo ao investimento em novas tecnologias agrícolas pelas empresas, há ainda grande espaço para pesquisas de perfil mais científico, sobretudo no que tange aos conhecimentos sobre a biologia da cana, insu- mo fundamental para avanços tanto no melhoramento transgênico como no clássico.

Embora tenha havido iniciativas importantes, como os programas SucEST e Bioen, cujos resultados foram bem-sucedidos no que se refere ao sequenciamento genético da cana-de-açúcar, ainda restam significativos desafios científicos para que o desenvolvimento de variedades de cana – transgênicas ou não – avance de forma mais rápida no Brasil. De acordo com a opinião de alguns especialistas entrevistados, dentre tais desafios, destacam-se:

- ampliar o mapeamento genético para mais variedades de cana, e mesmo para outras espécies de gramíneas – mais próximas à cana, que tenham potencial para oferecer genes de interesse;
- ampliar conhecimento sobre a fisiologia da cana (fenômica); e

- realizar análise funcional e sistêmica da biologia da cana (genoma funcional e biologia de sistemas).

Um eventual fomento à pesquisa básica, contudo, deve ser necessariamente realizado em conjunto com empresas interessadas em melhorar geneticamente a cana, de forma a orientar os estudos para resultados de maior interesse econômico e, assim, agilizar a utilização dos conhecimentos gerados no desenvolvimento de novas variedades de cana.

Outro tema de pesquisa básica que pode colaborar com o aumento do potencial produtivo da cana seria a avaliação técnico-econômica dos diferentes sistemas de irrigação disponíveis para o setor sucroenergético. Como foi visto, parte dos entrevistados atribui a baixa utilização de irrigação a um possível desconhecimento e/ou incerteza das usinas com relação ao retorno econômico que as diferentes opções tecnológicas podem efetivamente gerar.

### **Formação técnica em biotecnologia**

Na opinião de diversos especialistas entrevistados, é consenso a necessidade de investir na formação de profissionais, gerando sólido conhecimento em biotecnologia, de maneira que fiquem habilitados para desenhar, avaliar e produzir organismos geneticamente modificados em escala industrial, levando em consideração questões de natureza ambiental, regulatória e empresarial. Segundo os entrevistados, os atuais cursos de biotecnologia, além de raros, têm perfil mais teórico do que aplicado, limitando a oferta de profissionais às empresas.

É oportuna, portanto, a avaliação da possibilidade de se estruturarem cursos em níveis de graduação e pós-graduação para formação de profissionais em áreas correlatas à biotecnologia, com ênfase na interface com as empresas do setor de bioenergia, visando ao alinhamento constante do conteúdo programático com as necessidades do mercado.

### **Mecanismos para acelerar a difusão tecnológica**

Uma vez desenvolvidas novas tecnologias agrícolas para cana que, comprovadamente, ofereçam *performances* técnico-econômicas superiores às utilizadas hoje, o BNDES poderia avaliar a pertinência de criar mecanismos que acelerassem sua difusão entre as usinas.

Tal como ocorre atualmente com os sistemas de cogeração mais eficientes,<sup>35</sup> cujo nível de participação do BNDES em seu financiamento é superior ao nível em sistemas de média e baixa pressão, as tecnologias agrícolas mais eficientes poderiam receber tratamento semelhante.

Outro mecanismo que pode auxiliar na difusão tecnológica é o prazo de financiamento. Alguns sistemas, como é o caso de certas opções de irrigação, exigem investimento muitas vezes considerado elevado. Tal esforço de investimento poderia ser minimizado se financiado com prazos mais dilatados de amortização.

## Conclusão

Este artigo pretendeu oferecer uma avaliação do atual desempenho das tecnologias agrícolas disponíveis para o setor sucroenergético, compreendendo tanto o melhoramento genético como as máquinas e implementos.

No que se refere ao desenvolvimento de novas variedades de cana, não obstante os significativos ganhos alcançados ao longo dos últimos quarenta anos, o aumento de produtividade vem se mostrando cada vez mais lento, sobretudo quando comparado aos aumentos obtidos em outras culturas. Mantido o ritmo atual, seriam necessários quase duzentos anos para que o potencial agrônômico da cana fosse plenamente aproveitado.

Em outra perspectiva, a rápida e intensa difusão da mecanização agrícola, determinada principalmente pelas maiores restrições ambientais relativas à queima da cana, revelou certas deficiências das máquinas e implementos utilizados pelo setor, sobretudo pela compactação do solo e pelo consumo excessivo de mudas. Tais restrições, por seu turno, vêm limitando o desenvolvimento e a difusão de sistemas de manejo mais eficientes.

De fato, enquanto fatores conjunturais são ligados às oscilações de desempenho no curto prazo, fatores estruturais são responsáveis pela tendência de queda dos ganhos de produtividade no longo prazo. Entre os diversos fatores determinantes desse cenário, pode-se dizer que o principal deles reside no fato de que o investimento no desenvolvimento tecnológico vem sendo feito em ritmo e intensidade aquém do desejado.

---

<sup>35</sup> Nos projetos de cogeração com caldeiras de alta pressão, acima de 60 bar, o nível de participação do BNDES pode chegar a até 90%. Nos demais casos, que envolvem caldeiras de pressões inferiores, o nível de participação é de até 80%.

Tal déficit de investimento em P&D, por sua vez, pode ser explicado por dois fatores principais: (i) por ser relativamente pequena, a lavoura mundial de cana-de-açúcar não gera atratividade econômica para investimentos em P&D mais dispendiosos e arriscados e (ii) a maior complexidade genética da cana e os significativos volume e quantidade de biomassa a serem manejados encarecem os esforços de desenvolvimento de tecnologias agrícolas.

Portanto, vive-se uma situação em que a indústria da cana, em razão de seu papel como fonte de abastecimento energético e de geração de divisas, é muito importante para o Brasil. No entanto, por seu tamanho relativamente pequeno no mundo, a cultura da cana atrai pouco interesse no desenvolvimento de novas tecnologias. Pode-se dizer, então, que se está diante de um agravamento do clássico problema advindo da discrepância entre os retornos privado e social do investimento em P&D.

Nesse contexto, justifica-se a criação de mecanismos que permitam compatibilizar os retornos privado e social do investimento no desenvolvimento de novas tecnologias agrícolas e, com isso, gerar estímulo suficiente para o desenvolvimento de inovações de forma mais rápida e, sobretudo, radical.

Dessa forma, a implementação de mecanismos tais como os sugeridos neste artigo, se bem-sucedida, cumprirá papel determinante para produzir ganhos de produtividade mais rápidos e intensos e, com isso, reconduzir a indústria brasileira de cana-de-açúcar ao posto de mais competitiva do mundo.

## Referências

BNDES/CGEE – BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL/CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (Orgs.). *Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável*. Rio de Janeiro: BNDES, 2008.

BRAGA JR., R. L. C.; OLIVEIRA, I. A.; RAIZER, A. J. Evolução das áreas cultivadas com variedades de cana-de-açúcar no Brasil nos últimos vinte anos. *Revista STAB*, v. 30, n. 1, set.-out. 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Anuário estatístico da agroenergia*. Brasília: Mapa/ACS, 2009.

BRAUNBECK, O. A.; MAGALHÃES P. S. G. Avaliação tecnológica da mecanização da cana-de-açúcar. In: CORTEZ, L. A. B. (Org.). *Bioetanol de*

*Cana-de-Açúcar, P&D para Produtividade e Sustentabilidade*. São Paulo: Blucher, p. 451-464, 2010.

CTC – CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA. *Censo Varietal e de Produtividade em 2011*, 2012. Disponível em: <[http://www.ctcanavieira.com.br/downloads/CTC%20\\_Censo2011-12baixa.pdf](http://www.ctcanavieira.com.br/downloads/CTC%20_Censo2011-12baixa.pdf)>. Acesso em: 27 mar. 2013.

DAL-BIANCO, M. *et al.* Sugarcane improvement: how far can we go? *Current Opinion in Biotechnology*, n. 23: 1-6, 2011.

DEMATTÊ, J. L. I. Variedades de cana estão devendo. *Idea News Cana & Indústria*, ano 11, n. 41, p. 16-24, ago. 2012.

DUNHAM, F. B. *Co-evolução da mudança tecnológica e institucional em sistemas de inovação: análise histórica da indústria de álcool combustível no Brasil*. Tese (Doutorado) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

DUNHAM, F. B.; BOMTEMPO, J. V.; FLECK, D. L. A estruturação do sistema de produção e inovação sucroalcooleiro como base para o Proálcool. *Revista Brasileira de Inovação*. Campinas, 10(1), p. 35-72, jan.-jun. 2011.

HOTTA, C. T. *et al.* The biotechnology roadmap for sugarcane improvement. *Tropical Plant Biology*, 3:75-87, 2010.

JOAQUIM, A. C. O canavial do futuro. *Revista Opiniões*, abr.-jun. 2012.

MAGALHÃES, P. S. G.; BRAUNBECK, O. A. Colheita de cana-de-açúcar e palha. In: CORTEZ, L. A. B. (Org.). *Bioetanol de Cana-de-Açúcar, P&D para Produtividade e Sustentabilidade*. São Paulo: Blucher, p. 465-475, 2010.

MAIA, B. A. A. *Política de inovação do etanol celulósico*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia, 2010.

MILANEZ, A. Y. *et al.* O déficit de produção de etanol no Brasil entre 2012 e 2015: determinantes, consequências e sugestões de política. *BNDES Setorial*, n. 35, p. 277-302. Rio de Janeiro, BNDES, mar. 2012.

MILANEZ, A. Y.; CAVALCANTI, C. E. S.; FAVERET FILHO, P. S. C. O papel do BNDES no desenvolvimento do setor sucroenergético. In: ALÉM, A. C.; GIAMBIAGI, F. (Orgs.). *O BNDES em um Brasil em Transição*. Rio de Janeiro: BNDES, jun. 2010, p. 335-347.

MILANEZ, A. Y.; NYKO, D. O futuro do setor sucroenergético e o papel do BNDES. In: SOUZA, F. L. (Org.). *BNDES 60 anos: perspectivas setoriais*. 1.ed. Rio de Janeiro: BNDES, out. 2012, p. 62-87.

MOORE, P. H. *Sugarcane Biology, Yield and Potential for Improvement*. Apresentação no Workshop BIOEN sobre melhoramento de cana-de-açúcar, São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.fapesp.br/materia/5064/bioen/workshop-bioen-on-sugarcaneimprovement-18-e-19-3-2009-.htm>>. Acesso em: 7 fev. 2013.

NYKO, D. *et al.* Determinantes do baixo aproveitamento do potencial elétrico do setor sucroenergético: uma pesquisa de campo. *BNDES Setorial*, n. 33, p. 421-476. Rio de Janeiro, BNDES, mar. 2011.

NORTH, D.; THOMAS, R. P. *The rise of the western world – a new economic history*. Cambridge: Cambridge University Press, 1973.

SIDÔNIO, L. R. *et al.* Inovação na Indústria de Alimentos: importância e dinâmica no Complexo Agroindustrial Brasileiro. *BNDES Setorial*, n. 37, p. 333-370. Rio de Janeiro, BNDES, mar. 2013.

SOUZA, G. M. *et al.* The sugarcane genome challenge: strategies for sequencing a highly complex genome. *Tropical Plant Biology*, n. 34, p. 145-156, jun. 2011.

UEKI, Y. *Industrial development and the innovation system of the ethanol sector in Brazil*. Institute of Developing Economies, 2007.

VARRICHIO, P. C. *Uma análise dos condicionantes e oportunidades em cadeias produtivas baseadas em recursos naturais: o caso do setor sucroalcooleiro no Brasil*. Tese (Doutorado em Política Científica e Tecnológica) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

WACLAWOVSKY, A. J. *et al.* Sugarcane for bioenergy production: an assessment of yield and regulation of sucrose content. *Plant Biotechnology Journal*, 8:263-276, 2010. In: DAL-BIANCO, M. *et al.* Sugarcane improvement: how far can we go? *Current Opinion in Biotechnology*, n. 23:1-6, 2011.