

PROCESSOS AGRÍCOLAS E MECANIZAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR

Editores:

Guilherme de Castro Belardo

Marcelo Tufaile Cassia

Rouverson Pereira da Silva

CASE II
AGRICULTURE



COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR

Evolução da Colheita Mecanizada na Cultura da Cana-de-Açúcar

Guilherme de Castro Belardo
João Henrique Mantellatto Rosa
Paulo Sérgio Graziano Magalhães

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de açúcar e o segundo maior produtor de etanol, ficando atrás apenas dos Estados Unidos. Em termos de produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol, o País produziu, na safra de 2013/2014, cerca de 660 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, e desse montante foram gerados 38,6 milhões de toneladas de açúcar e 27,6 bilhões de litros de etanol (CONAB, 2013). O maior volume de produção da cultura vem das unidades produtoras da região Centro-Sul (88%), que alcançou 602,27 milhões de toneladas no acumulado, desde o início da safra de 2013/2014 até dezembro de 2013, sendo que a proporção de cana-de-açúcar destinada à produção de etanol alcançou 46,11%, como resultado, e a produção de etanol acumulada atingiu 27,6 bilhões de litros. Em relação à fabricação de açúcar, o restante gerou 38,34 milhões de toneladas no acumulado.

A colheita da cana-de-açúcar, caracterizada pelas operações de corte dos colmos e seu carregamento em veículos de transporte,

historicamente, foi realizada manualmente, utilizando-se da queima prévia como método de pré-limpeza para remoção da palha.

A preocupação com a mecanização da colheita da cana-de-açúcar teve início na Austrália, onde entre os anos de 1930 e 1950 surgiram as carregadoras de cana, mas foi na década de 50 que surgiu o princípio mecânico de colheita que perdura até os dias de hoje, com a colheita de cana picada visando, a princípio, apenas o aproveitamento dos colmos combinando a operação de corte com a de carregamento (BRAUNBECK et al., 2008).

No Brasil, o sistema de colheita manual predominou no até o final da década de 1990, entretanto, o impacto das queimadas sobre a saúde e o ambiente, além da legislação e as questões agrônômicas e energéticas envolvidas, contribuíram para uma mudança significativa do método de colheita, com o aumento gradual na colheita mecanizada e sem a queima prévia. No Centro-Sul canavieiro, o percentual de colheita mecanizada evoluiu de 28% em 2000 para 89% da área colhida em 2013 (Figura 1).

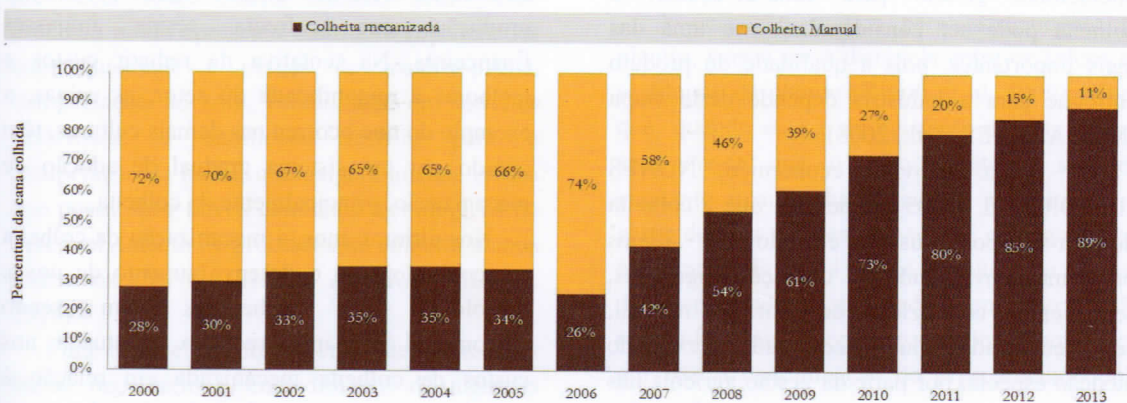


Figura 1. Evolução da colheita de cana-de-açúcar no Centro-Sul do Brasil e participação relativa (%) quanto a formas de colheita, manual e mecanizada (Fonte: adaptado por Markestrat com dados da UNICA e CTC).

Baseado nesse crescimento exponencial da taxa de mecanização da colheita, BELARDO & TONETTE (2008) realizaram uma modelagem matemática para calcular a demanda de colhedoras para as safras futuras e a frota de colhedoras no Brasil. Foram consideradas as seguintes premissas: cumprimento da legislação vigente adotando o Protocolo Agroambiental assinado por todas as usinas do Estado de São Paulo (GESP - Secretaria do Estado do Meio Ambiente, 2007); eficiências operacionais de colheita de 45% (NERY, 2000); 150 dias úteis de

trabalho, já subtraídos o número de feriados e de dias úteis impróprios (CONAB, 2008); jornada de trabalho de 24h; largura de trabalho de 1,5 m, pois é o espaçamento mais utilizado pelas usinas nacionais; velocidade de trabalho de 5 km h⁻¹, que segundo RIPOLI (1999) é a velocidade em que se obtém os melhores desempenhos na colheita com menores índices de perdas; e vida útil das colhedoras de 6 anos (AGRIMOTOR, 2008). Segundo este modelo, a frota de colhedoras na safra de 2014/2015 deve atingir aproximadamente 10.000 unidades.

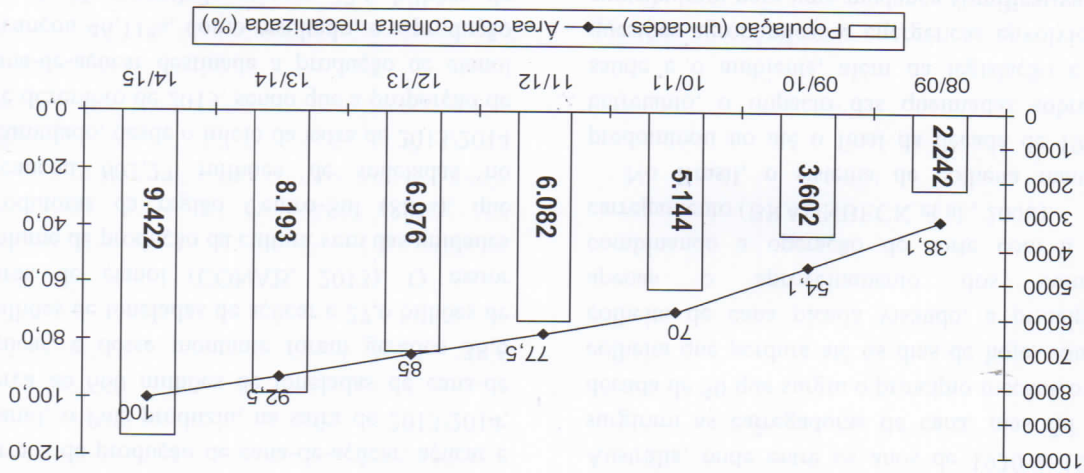


Figura 2. Evolução da colheita de cana-de-açúcar (mil hectares) no Centro-Sul do Brasil e participação relativa (%) quanto a formas de colheita, manual e mecanizada (Fonte: Belardo & Tonette, 2008).

Essa frota de colhedoras de cana demandada, mostra a relevância da mecanização da colheita no processo produtivo. Dentro do ciclo operacional gerado pela cana-de-açúcar, a colheita pode ser considerada como uma das mais importantes, pois a qualidade do produto entregue para a indústria depende desta etapa

(MAGALHÃES et al., 2008).

Do ponto de vista econômico, NUNES JUNIOR et al. (2005) comentam que a colheita destaca-se por custos elevados e alguns problemas envolvendo as operações agrícolas, seja essa conduzida de forma manual, semimecanizada ou mecanizada, exigindo

atenção especial por parte da gestão agrícola nas usinas.

As razões para exemplificar as dificuldades do setor nessa gestão, segundo MAGALHÃES

Nos últimos anos, a mecanização da colheita em conjunto com o desenvolvimento de novas tecnologias nas colhedoras vem sendo responsável por uma redução acentuada nos custos da colheita mecanizada em relação à colheita manual, o que leva inevitavelmente a uma maioria adotar a colheita manual nos canaviais. Outros fatores que influenciam na taxa

mecanização, principalmente da colheita optado por um sistema gradual de adoção de exemplo do que ocorreu nas demais culturas, têm melhor a rentabilidade do setor, as usinas, a produção que enfrenta sérios impasses financeiros. Na tentativa de reduzir custos e da mão-de-obra, tem sobrecarregado o custo da apropriada, que aliado à questão da sazonalidade problemas pela escassez de tecnologia enfrenta (2010), é que o setor canavieiro enfrenta

de adesão à colheita mecanizada são a escassez de mão de obra, a dificuldade de gerenciar o grande contingente de trabalhadores, pressões de legislação que proíbem a queimada de cana para colheita e adoção de novas tecnologias mecanizadas do plantio à colheita, possibilitando ganhos de ordem operacional e econômicos (BELARDO, 2010).

2. EVOLUÇÃO DA COLHEITA MECANIZADA

2.1. Colheita mecanizada de cana-de-açúcar (biometria, porte do canavial e espaçamentos)

O processo de colheita mecanizada de cana picada envolve 10 operações básicas realizadas pelas colhedoras autopropelidas: 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 transporte dos colmos com separação de parte da terra captada no corte de base; a picagem dos colmos em rebolos; a ventilação e limpeza primária da palha; o transporte de rebolos através do elevador para descarga; a ventilação e limpeza secundária; e a descarga a granel dos rebolos nos veículos de transbordo.

Essa combinação de operações permite que o sistema de cana picada efetue o despalhe parcial e tenha melhor habilidade para a colheita de canaviais com maior incidência de tombamento, características essas que fizeram esse sistema prevalecer sobre outros. Mesmo assim, esse processo ainda apresenta restrições relacionadas com qualidade e perdas de matéria-prima, compactação do solo, estabilidade em terrenos declivosos, e habilidade restrita para a recuperação da palha, que exigem análise crítica que possa abrir novos caminhos tecnológicos de desenvolvimento de processos de colheita menos restritivos (MAGALHÃES & BRAUNBECK, 2010).

Para análise de desempenho de colhedoras faz-se necessário o entendimento de algumas informações básicas sobre a caracterização da cultura que têm influência direta nos resultados de colheita, sendo elas: produtividade e

biometria da cana-de-açúcar, porte do canavial e espaçamentos adotados.

A biometria da cana-de-açúcar pode ser dividida em quatro componentes: o colmo que vai do solo até o ponto fácil de ser quebrado (aproximadamente 80% da planta); o palmito que está acima deste ponto e que normalmente tem 200 mm de comprimento (aproximadamente 5%); folhas do topo (aproximadamente 5%), e folhas secas aderidas aos colmos (aproximadamente 10%).

O porte do canavial diz respeito à posição relativa e à quantidade em que os colmos se apresenta em relação ao terreno e podem ser considerados eretos, acamados ou deitados conforme figura 3.

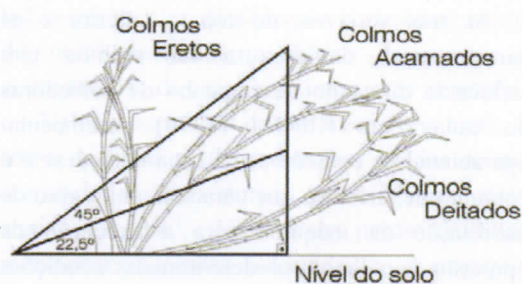


Figura 3. Critério para determinação do porte do canavial por meio de triângulo retângulo.

Sobre os espaçamentos de plantio, seus benefícios e suas implicações, há um capítulo específico sobre esse tema, porém serão abordadas algumas considerações a título de informação e conceito para entendimento.

A definição prática para espaçamento de plantio, vem a ser a distância entre os sulcos ou as fileiras de plantio (Ripoli et al, 2009), sendo que, quando este é equidistante durante toda a área diz-se que o espaçamento é simples, enquanto quando há variações na distância a partir de dois valores, diz-se que o espaçamento é alternado (Figura 4). Vale ressaltar que no caso do espaçamento alternado, em geral são realizados dois sulcos a partir do menor valor, por isso a denominação do espaçamento duplo alternado.

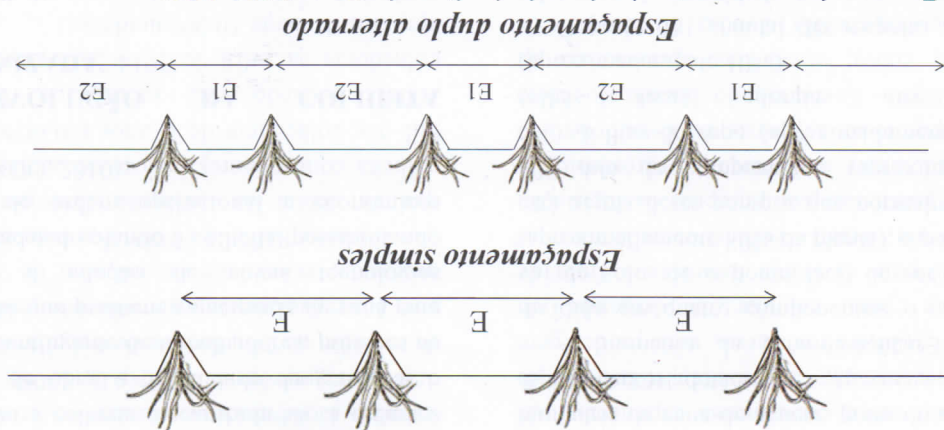
As três variáveis do tópico anterior e as características da área a ser colhida têm influência direta no desempenho de colhedoras de cana. Para RÍPOLI (1996) desempenho operacional de colhedoras de cana-de-açúcar é o conjunto de atributos que caracterizam o grau de habilidade da máquina para a execução da operação de colheita sob determinadas condições operacionais. A análise do desempenho não deve limitar-se apenas à capacidade efetiva, em termos de kg h^{-1} ou t dia^{-1} , devendo-se levar em conta, também, a qualidade da matéria-prima colhida, bem como os índices de perdas e a capacidade de campo operacional, que envolve todas as ineficiências logísticas da operação.

A matéria-prima desejável na indústria para a produção de açúcar e etanol, pode ser definida como colmos em estágio adiantado de maturação, sadios, recém-cortados, normalmente despontados e livres de matéria estranha. Na qualidade de matéria-prima colhida, os dois parâmetros avaliados são a matéria estranha vegetal e a matéria estranha mineral na carga colhida.

A matéria estranha vegetal é a quantidade de raízes (socas) que são carregadas junto com a palha, folhas verdes, colmos secos, ponteiros e carga de rebolos no transbordo. Essas impurezas são até certo ponto controladas através das regulagens de rotações dos extratores primário e

2.2. Desempenho operacional de colhedoras de cana (conceitos e resultados de pesquisa)

Figura 4. Esquema de espaçamento: simples e duplo alternado (Fonte: ROSA, 2013).



15. Colheita Mecanizada de Cana-de-Açúcar

Já a matéria estranha mineral é considerada a quantidade de terra que é levada junto com a carga de rebolos, e nesse caso, o controle dessas impurezas deve ser realizado com a regulagem da altura do corte de base, responsável pelo arraste ou não de terra para dentro da colhedora. Para o controle de impurezas minerais, as colhedoras contam com dispositivos que fazem o controle automático da altura do corte de base sem a influência do operador, facilitando as regulagens e o controle da altura de corte diminuindo a quantidade de terra na carga colhida.

Índices aceitáveis de impurezas minerais não devem ser maiores que 1%, porém, devido ao seu sistema construtivo, o desempenho do sistema de corte de base é influenciado prioritariamente pelo porte do canavia e muito menos pelo mecanismo de controle (SALVI et al., 2007), sendo comum encontrar solo aderido ao mecanismo de corte, de alimentação, e no capuz do extrator primário da colhedora (Figura 5).

Isto ocorre principalmente em canaviais de alta produtividade, quando os colmos estão acamados ou detoados e que necessitam de um ajuste do cortador de base mais rente ao solo, resultando em maior movimentação de terra e consequente nível de contaminação com impurezas minerais maiores.



Figura 5. Colhedora contaminada com impureza mineral aderida ao rolo alimentador e ao disco de corte basal (A) e ao capuz do extrator secundário (B).

Outro fator relevante na avaliação de desempenho de colhedoras é o índice de perdas. As perdas de cana-de-açúcar durante a colheita mecânica podem ser divididas em duas componentes: perdas visíveis e invisíveis.

As perdas denominadas visíveis, podem ser detectadas no campo após a colheita, sendo constituídas principalmente por: colmos inteiros e suas frações, frações de colmos (estilhaços), rebolos (tolete), ponteiros e toco. Podemos destacar as seguintes observações com relação a cada uma dessas perdas:

- Colmos inteiros e suas frações: fração de cana com tamanho igual ou superior a 2/3 do comprimento onde a principal razão das perdas está atrelada à alimentação dos colmos após o corte e o não recolhimento dos mesmos.

- Frações de rebolos (estilhaços): fragmentos de cana e toletes dilacerados referentes principalmente a material que passou pelo sistema de limpeza (extratores primário e secundário) ou colmos “repicados” no corte de base.

- Rebolos: são perdas relacionadas ao elevador principalmente durante a transferência de carga e falta de sincronismo entre colhedora e transbordo.

- Ponteiros: são pedaços de colmos aderidos aos palmitos, estando relacionados à regulação e altura do corte de pontas.

- Tocos: são frações dos colmos cortadas acima da superfície do solo, presas às raízes não

arrancadas, com comprimento **MENOR** ou igual a 0,2 m resultantes da altura do corte basal acima do nível desejado no intuito de reduzir a contaminação da carga com impurezas minerais.

Valores aceitáveis de perdas visíveis totais, a soma de todas as determinações citadas acima, considerados satisfatórios pelas Usinas estão abaixo 4,0 t ha⁻¹. Além destas perdas devemos mencionar as perdas associadas com arranquio de soqueiras, que embora não sejam frequentemente computadas, são reconhecidamente importantes, pois afetam a longevidade do canavial.

Segundo Neves (2004), as perdas na forma de caldo, serragem e estilhaços de cana, que ocorrem devido à ação de mecanismos rotativos que cortam, picam e limpam a cana durante o processamento interno nas colhedoras, são definidas como perdas invisíveis, e podem, chegar a até 10%. Essas perdas não são levantadas na avaliação de perdas das colhedoras devido à dificuldade de mensuração em campo.

Como referencia de dados de pesquisas podemos citar o trabalho de BELARDO (2010), que analisando as perdas visíveis de matéria-prima das três principais colhedoras de cana fabricadas no Brasil, em duas velocidades de colheita e canaviais de 115 t ha⁻¹ com porte ereto, encontrou: 1,2 t ha⁻¹ de perdas referentes a tocos; 0,3 t ha⁻¹ perdas relacionadas a colmos e suas frações; 1,3 t ha⁻¹ de perdas de fração de rebolos

ou estilhaços e $0,3 \text{ t ha}^{-1}$ de perdas referentes a rebolos.

Somando-se todas as perdas mencionadas para mensuração da perda total, o valor médio encontrado foi de $3,0 \text{ t ha}^{-1}$, sendo que os piores resultados atingiram valor máximo de $3,6 \text{ t ha}^{-1}$, ou seja, dentro dos valores aceitáveis.

Além dos parâmetros de desempenho da colhedora relacionados a perdas e qualidade de matéria-prima colhida, para a análise completa de desempenho dos sistemas de colheita, a avaliação da capacidade de campo operacional é fundamental, pois considera todas as ineficiências operacionais inerentes a operação em campo como: tempo de manobra, parada de máquinas para manutenção, problemas logísticos (falta de transbordo e/ou caminho), troca de turnos de operados, entre outras.

A capacidade de campo operacional tem relação direta com os custos produtivos, pois a colheita representa parcela significativa do custo agrícola. Considerando a necessidade de redução de custos para aumento de competitividade, o setor vem buscando alternativas para melhorar os índices de colheita (t ha^{-1} e $\text{t máquina dia}^{-1}$).

Levando-se em conta os conceitos de capacidade de campo operacional existem ações de gestão que serão discutidas em outros capítulos exemplificando técnicas para melhorar as eficiências globais, como por exemplo: sistematização das áreas, uso de técnicas de conservação de solo e da água, preparo da plantaio voltados para a colheita, escolha da variedade correta e uso de agricultura de precisão.

Voltando ao foco do capítulo, mais especificamente à colheita mecanizada e à evolução das colhedoras, na busca de aumentar as eficiências da operação e capacidade das máquinas, ressalta-se como principais caminhos encontrados: aumentar a velocidade de colheita e/ou colher mais de uma fileira.

A opção de aumento da velocidade de deslocamento foi analisada por BELARDO (2010), na mesma avaliação dos modelos de colhedoras anteriormente citada, e foi observado que a velocidade de deslocamento das colhedoras de cana-de-açúcar é fortemente influenciada

pelas condições da cultura e do terreno do canavial.

Nestes trabalhos, ao operar em canaviais definidos como eretos, os principais resultados obtidos, referentes às perdas e qualidade de matéria-prima colhida, não se diferiram significativamente entre duas velocidades de colheita ($5,0$ e $7,0 \text{ km h}^{-1}$) mantendo-se em níveis aceitáveis. Porém, as capacidades de campo efetiva e operacional apresentaram resultados melhores na velocidade maior de colheita, e nesses casos o consumo de combustível por tonelada de cana colhida foi menor, trazendo ganhos de ordem econômica. Concluindo que, uma vez que as condições da área a ser colhida sejam favoráveis, o aumento da velocidade de colheita se mostra uma alternativa para melhorar o aproveitamento das máquinas.

Por outro lado, atualmente no Brasil a velocidade de colheita tem se concentrado na faixa entre $4,0$ a $6,0 \text{ km h}^{-1}$, principalmente devido às condições do canavial (falta de sistematização, preparo de solo e plantaio, além da alta incidência de acamamento da cultura). Porém, sabemos que os modelos de colhedoras atuais podem trabalhar com velocidades superiores a 10 km h^{-1} em condições ideais de colheita, como acontece na Austrália.

Desta forma, a velocidade deve ser ajustada em função das características de cada área, devendo ser analisadas: declividade do terreno, tipo de solo, seu micro relevo, comprimento do talhão, porte do canavial e a produtividade agrícola.

Outra opção de aumento de capacidade operacional de colhedoras é colher mais de uma fileira simultaneamente, sendo que o desenvolvimento de máquinas aptas a colher duas fileiras para aumentar as eficiências operacionais, traz outros reflexos positivos como redução do tráfego no talhão, da compactação de solo e dos custos de colheita.

Porém, a adoção da colheita de duas linhas, também traz dificuldades a serem superadas como a necessidade de aumento da capacidade de recolhimento e processamento da colhedora (biomassa processada por unidade de tempo).

associada à maiores níveis de perdas e eventualmente redução da qualidade da matéria-prima colhida.

O trabalho realizado por ROSA (2013), mostra os benefícios da opção de colher mais de uma fileira simultaneamente. Avaliando uma colhedora de cana em espaçamento duplo alternado e comparando os resultados obtidos com trabalhos de outros autores que avaliaram o desempenho de colhedoras de uma fileira, concluiu que colhendo a uma mesma velocidade de trabalho, a capacidade de colheita da máquina colhendo duas fileiras é maior. Esse aumento significativo, porém, pode ser atribuído à colheita simultânea de duas fileiras e da alta produtividade agrícola do canavial onde foi avaliado.

Em termos de consumo de combustível, os resultados também se mostraram competitivos, sendo que, apesar do consumo horário ($L h^{-1}$) ser superior, dada a maior exigência da máquina pela alta produtividade, os valores por tonelada colhida ($L t^{-1}$), foram praticamente a metade daqueles verificados para colheita de uma fileira.

A respeito da qualidade da operação de colheita, os valores encontrados na pesquisa para matéria estranha mineral e vegetal ficaram dentro dos limites aceitáveis. Já os índices de perdas visíveis mostraram-se mais elevados, atingindo perdas totais entre 6,4 e 7,5 $t ha^{-1}$, bem acima dos resultados de trabalhos avaliando colhedoras de uma fileiras que mostram índices abaixo de 4,0 $t ha^{-1}$.

Dentre os tipos de perdas levantados, chamou a atenção para os “tocos na soqueira”, respondendo, em média, por cerca de 30% do total de perdas. Nesse caso, pode-se atribuir o aumento da incidência de perdas de “tocos” no corte basal, assim como a maior possibilidade de arranquio de soqueiras e aumento de impurezas minerais, ao fato de o sistema de corte de base avaliado ser o de uma caixa rígida dos discos de corte de base fixos e paralelos (Figura 9B), razão pela qual os discos e facas de corte não conseguem acompanhar o perfil do terreno, ignorando os sulcos e os camalhões (VOLPATO et al., 2002).

Nesse caso, qualquer desnível do solo que faça com que a máquina fique inclinada, gera uma diferença significativa de altura de corte entre as fileiras elevando as perdas ou levando ao arranquio de soqueira.

Quando o corte de cana é muito rente ao solo e localizada no fundo do sulco fará com que haja a necessidade de alta potência para cortar e movimentar o volume de solo. Essa condição incorpora quantidade da ordem de 3 a 5 kg de solo por tonelada de matéria-prima, além de não promover corte homogêneo em função de as facas não manterem o gume afiado pelo contato com o solo, provocando danos às soqueiras com reflexos na brotação e produtividade da cana soca.

Levantamentos recentes de desempenho operacional de colhedoras de cana de duas fileiras realizado nas Usinas que vem adotando essa prática, mostram que os índices de perdas para colheita do espaçamento duplo alternado são praticamente o dobro dos resultados obtidos nos ensaios de colhedoras de uma fileira. Podemos afirmar que os índices de perdas passam a ser um gargalo e ponto de atenção para a colheita quando adotados o espaçamento duplo alternado ou a colheita de duas fileiras de espaçamentos simples.

2.3. Pisoteio e tráfego na colheita

Considerando os atuais modelos de colhedoras de uma fileira disponíveis no mercado, o espaçamento entre fileiras mais adequado em áreas de colheita mecanizada é o de 1,50 m, sendo que canaviais com espaçamentos menores ficam sujeitos ao tráfego das máquinas sobre as linhas, podendo causar danos às soqueiras.

Segundo MIALHE (1996), o tráfego de máquinas entre fileiras, de modo a não causar danos à cultura, deve respeitar um “afastamento de segurança”, definido pelo autor como sendo um “afastamento lateral”, de ambos os lados do eixo da fileira, a partir do qual a passagem do rodado é inócua tanto à parte aérea das plantas como ao sistema radicular (ROSA, 2013).

Para a cana-de-açúcar, Ripoli & Ripoli (2009) consideraram que uma distância mínima de 0,25 m entre a borda da banda de rodagem do pneu mais próximo da fileira de cana e o centro da linha de soqueira deve ser respeitada (ROSA 2013). Com essa premissa, se considerarmos uma soqueira de 40 cm de largura (ou seja, 20 cm de largura para cada lado do centro da soqueira), podemos concluir que a o "afastamento de segurança" entre a borda da soqueira e a lateral ou banda de rodagem do pneu ou esteira mais próximo da planta é de 12 cm.

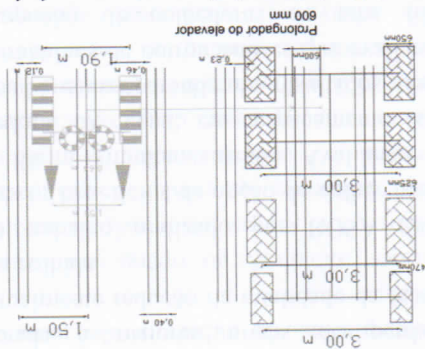
Portanto, como se observa na Figura 6, quando o espaçamento de 1,50 m é respeitado, a distância entre os rodados das máquinas em relação a cultura apesar de estreita (22 cm para o conjunto trator-transbordo e 12 cm para a colhedora) respeita o conceito de "afastamento de segurança". Especial atenção tem que ser dada a todas as operações de plantio a colheita pois qualquer descuido por parte do operador ou ainda uma operação de sulcação e plantio mal feita em termos de alinhamento, pode resultar em danos a soqueira na colheita.

Existente a opção de uso de colhedoras de cana com esteiras de sapatas de 16 polegadas ou 400 mm de largura, que são mais estreitas e que melhoram o afastamento de segurança passando para 15 cm entre a borda lateral do rodado ao ponto mais próximo da soqueira.

A melhor solução para evitar que aconteça o pisoteio de soqueira por algum desvio na operação que prejudique o "afastamento de segurança" tem sido o uso de piloto automático RTK, uma ferramenta eficiente para controlar o tráfego e garantir o mínimo de pisoteio e compactação com erros da ordem de 2 cm.

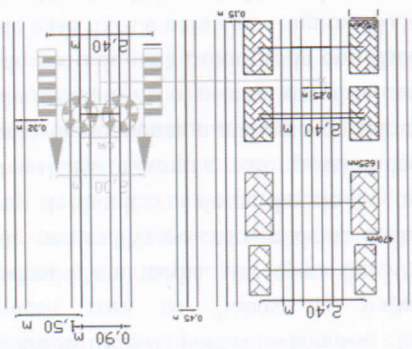
Levando-se em consideração os conceitos apresentados, podemos concluir que a adoção do sistema de plantio com espaçamento de 1,50 m, é o menor espaçamento entre fileiras que se adequa ao conceito de "afastamento de segurança" e influencia diretamente o sistema de colheita mecanizada atualmente, pois esses espaçamentos viabilizam a adoção de colheita mecanizada, trazendo a melhor relação custo-benefício do ponto de vista de produtividade e aplicação de mecanização.

Figura 6. Posições relativas entre os rodados das máquinas na colheita mecanizada e o espaçamento simples de 1,5 metro entre fileiras: (a) Conjunto trator-transbordo; (b) Colhedora. Fonte: MONACO JÚNIOR (2011).



No espaçamento duplo alternado, a distância entre fileiras mais adotada é de 0,90 x 1,50 m. Considerando as principais colhedoras comercializadas para atuar nesse espaçamento, nota-se que, embora o espaçamento de 0,90 x 1,50 m proporcione maior distância entre o rodado da colhedora e a fileira de cana, comparativamente ao espaçamento de 1,50 m, os rodados da maioria dos veículos de transbordo ficam a uma distância de 17 cm da entrefileira. (Figura 7). Nesse caso, apesar de respeitar o "afastamento de segurança", qualquer descuido do operador do conjunto trator e transbordo pode acarretar no pisoteamento do canavial, principalmente quando esse conjunto é formado por um trator e dois transbordos, que são muito mais difíceis de ser controlados e normalmente desviam do trágado original.

Figura 7. Posições relativas entre os rodados das máquinas na colheita mecanizada e o espaçamento duplo alternado: 0,90 x 1,50 m (a) Conjunto trator-transbordo; (b) Colhedora. Fonte: MONACO JÚNIOR (2011).



O assunto da definição de qual espaçamento utilizar é extenso e deve ser definido sob o ponto de vista agrônomo aliado as variáveis operacionais, onde a principal delas vem sendo a adoção da mecanização. Existem dúvidas quanto ao espaçamento ideal de plantio e trabalhos realizados na Austrália, Estados Unidos, África do Sul e Brasil divergem sobre qual seria o espaçamento mais produtivo, assunto discutido no capítulo sobre espaçamentos desse livro.

A produtividade das culturas depende de um equilíbrio entre as condições de solo adequadas para o crescimento das plantas (solo friável) e as necessárias para as operações mecanizadas (solo compactado). As plantas necessitam de condições de solo propícias para o crescimento das raízes, com boa aeração e suprimento adequado de água, enquanto as operações mecanizadas requerem condições de solo compactado para a tração e para suportar as cargas impostas (TULLBERG et al., 2007).

Essas características têm sido obtidas com o uso do controle de tráfego agrícola (BRAUNACK et al., 2006), uma importante prática recente que tem como objetivo uma resposta direta aos problemas da compactação do solo, preservando as condições de solo ideais para o crescimento das culturas (VERMEULEN & MOSQUERA, 2009; KINGWELL & FUCHSBICHLER, 2011).

2.4. Evolução das colhedoras de cana

Com a evolução da mecanização e novos desenvolvimentos dos principais fabricantes de máquinas agrícolas, opções de colhedoras de cana vêm sendo lançadas no mercado,

possibilitando colher mecanicamente além dos espaçamentos convencionais de 1,40 m e 1,50 m entre fileiras, que ainda representam mais de 70% da área plantada no Brasil, novos espaçamentos como os duplos alternados. Nesse último caso, vêm sendo difundidos e adotados os espaçamentos de 0,90 x 1,50 m e 0,90 x 1,60 m, com o intuito de reduzir os danos a soqueira e o tráfego no canavial, além de permitir um melhor desenvolvimento da planta.

Para que seja possível cortar as fileiras duplas nesses espaçamentos, é necessário que a largura do corte de base das colhedoras seja maior do que das máquinas convencionais de uma fileira.

Algumas pesquisas foram realizadas nas décadas de 80 e 90, quando a Austoft testou e avaliou protótipos de colhedoras de cana com uma caixa de corte de base fixa mais "larga". Na mesma época, a fabricante Class produzia as máquinas C3000, Venter e Gladiator com discos de corte mais equidistantes e de maior diâmetro, que possibilitavam colher espaçamentos reduzidos simples de até 1,0 e 1,1 m.

Atualmente, a fabricante de equipamentos Santal disponibiliza um kit para colheita de espaçamentos reduzidos que pode ser utilizado na colheita dos espaçamentos alternados (Figura 8). Em 2011, a John Deere lançou o modelo de colhedora 3522 (Figura 9), que possui a caixa de corte de base maior e que permite colher duas fileiras com espaçamento de plantio entre fileiras de 0,90 m, o que levou o mercado a voltar a ter novas opções de plantio passíveis de adoção de colheita mecanizada e difundir a adoção do espaçamento duplo alternado.

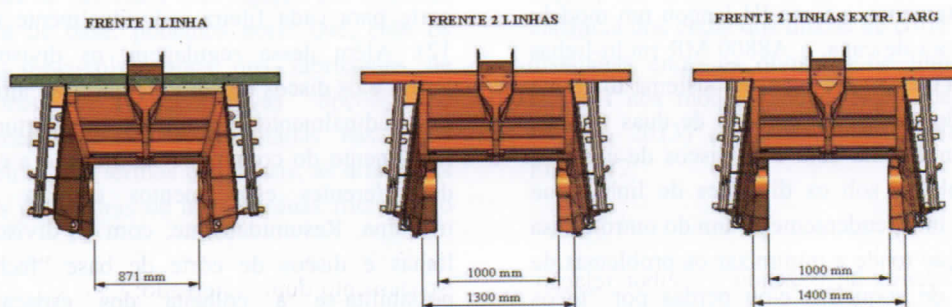


Figura 8. Kit de frente intercambiável disponibilizado para as Colhedoras Santal.

Recentemente, a Case IH lançou um modelo de colhedora de cana, a A8800 MR multi-linhas (Figura 11), que apresenta um sistema diferente de corte de bases para colheita de duas fileiras. Esse sistema conta com dois discos de corte de base acoplados sob os divisores de linhas que trabalham independentemente um do outro e essa configuração tende a minimizar os problemas de arranquio de soqueiras e/ou perdas por "tocos altos", pois possibilita a regulação de altura de

corte para cada fileira individualmente (Figura 12). Além dessa regulação, os divisores de linhas e os discos de corte de base são ajustáveis longitudinalmente, permitindo a abertura e o fechamento do conjunto, viabilizando a colheita de diferentes espaçamentos com a mesma máquina. Resumidamente, com os divisores de linhas e discos de corte de base "fechados", possibilita-se a colheita dos espaçamentos reduzidos e duplos alternados (Figura 11a), com

FURLANI NETO (1995b), discorrendo sobre a sulcação a partir de sulcos alternados duplos, sistema são: a) colheita simultânea de duas fileiras; b) maior controle de tráfego no talhão; c) diminuição da distância percorrida pelos maquinários na área; d) aumento da longevidade e produtividade do canavial; f) aumento dos rendimentos operacionais e, por fim; g) diminuição dos custos operacionais. O autor destaca ainda que uma dificuldade no corte simultâneo de duas fileiras é o nível e o paralelismo que se encontram no campo, relacionadas principalmente ao preparo e/ou à

Essa perda de tocos mencionada está sendo comprovada em campo e nas pesquisas e ensaios relacionados ao espaçamento duplo alternado e deve ser ponto de atenção no controle de qualidade e perdas na colheita principalmente em canaviais acamados e detados de alta produtividade.

sistematização ineficientes, aumentando a incidência de perdas de "tocos" no corte de base (Figura 10) ou, no caso de abaixar o nível do corte, no maior risco de "arranquio" de soqueiras decorrente dos discos de corte fixos (ROSA, 2013).

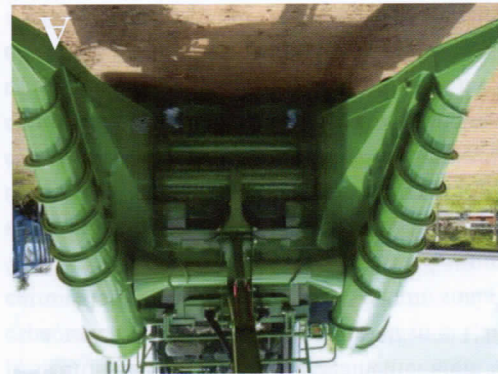
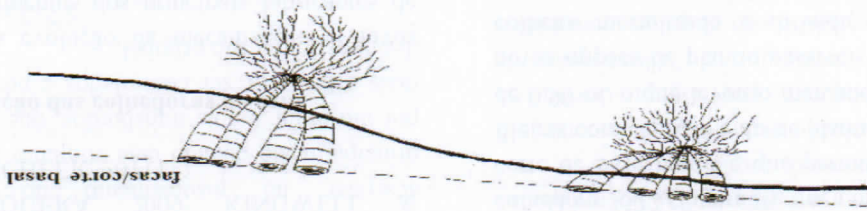


Figura 9. Modelos de corte de base fixo da Colhedora John Deere 3522 (A); Detalhe do corte de base mais largo com discos de corte fixos (B).

Figura 10. Detalhe do corte de base em sulcos duplos e a presença de "tocos altos" e/ou arranquio de uma das fileiras (Fonte: FURLANI NETO, 1995b).



os divisores de linhas regulados na abertura máxima, a colhedora pode colher duas fileiras de espaçamentos de 1,40 m e 1,50 m (Figura 11b). Nesse modelo de máquina, a caixa do corte de base fixa permanece na mesma posição das máquinas de uma fileira, mas não tem a função de corte, mas de alimentação dos colmos de cana cortados para dentro da máquina.

Os discos de corte localizados sob os divisores de linhas trazem além do benefício de

regulagem individual para cada linha a ser colhida, uma redução significativa de arranquio e abalo de soqueira, que favorecem a longevidade e manutenção da produtividade da cana soca.

Da mesma forma que ocorre com as demais colhedoras de duas fileiras, especial atenção deve ser dada para o controle de perdas, que tende a ser maior principalmente em canaviais de alta produtividade com porte acamado ou deitado.

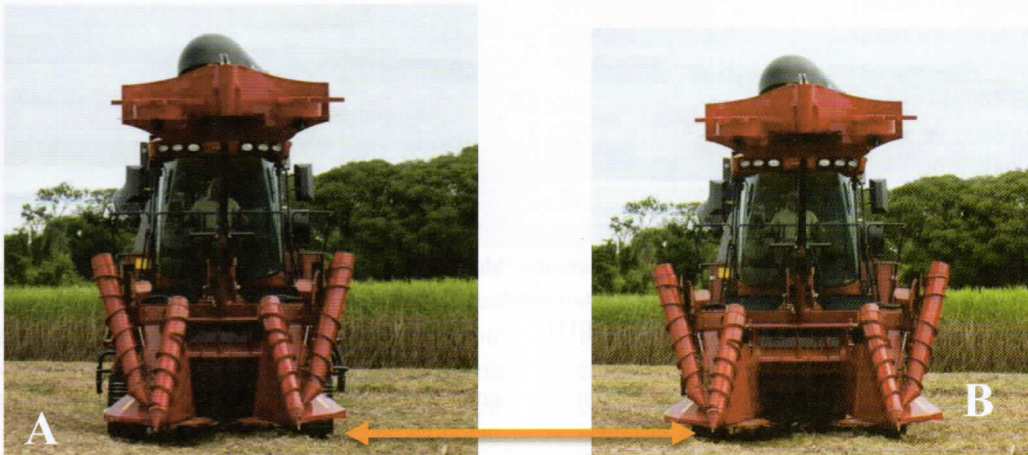


Figura 11. Colhedora Case IH 8800 MR (Multilinhas). Máquina fechada para colheita de espaçamentos duplos alternados (A); Máquina aberta para colheita de duas fileiras de 1,5 m (B).

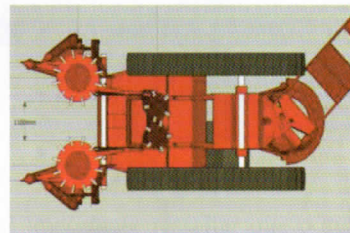
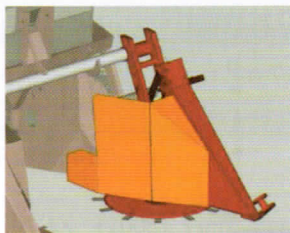


Figura 12. Detalhe dos discos do corte de base localizados sob os divisores de linha (altura independente e largura de trabalho ajustável) da Colhedora Case IH 8800 MR (Multilinhas).

Se levarmos em consideração as opções de máquinas no mercado, com relação aos sistemas de corte de base, podemos notar que, com os últimos desenvolvimentos dos fabricantes de colhedoras de cana, novas opções de espaçamento podem ser adotadas nas áreas canavieiras. Em termos estruturais, as diferenças entre as colhedoras de uma ou duas fileiras são

basicamente quanto às dimensões de bitola, largura da boca de alimentação, diâmetro e distância dos eixos dos discos de corte de base e distâncias entre os divisores de linhas, sendo maiores nos modelos de duas ou mais fileiras (ROSA, 2013) conforme ilustra a Tabela 1 e Figura 12.

Tabela 1. Comparativo entre as principais características dos modelos de colhedoras mais comercializados no Brasil.

Características	John Deere		Santal		Case	
	3522	3520 ¹	Tandem II ²	8800 MR	8800 ¹	8800 ¹
Nº de fileiras que colhe	2	1	2	1	2	1
Potência	342/251	342/251	336/254	336/254	358/260	358/260
Peso (kg)	19.300	19.050	17.460	17.460	18.900	18.300
Rodado	Esteira	Esteira	Pneu	Pneu	Esteira	Esteira
Nº de lâminas por disco	5	5	7	6	5	5
Nº de exaustores	2	2	2	2	2	2
Bitolas (m)	2,39	1,88	2,30	2,06	2,40 ou 3,00	1,88
Distância entre eixos (m)	2,97	2,97	3,39 ³	3,39	2,96	2,96
Largura da esteira (mm)	400	450	450	450	400 ou 450	400 ou 450
Largura de alimentação (m)	1,35	1,00	1,30	0,97	2,50	1,00
Diâmetro dos discos corte (m)	0,84	0,56	0,83	0,58	1,00	0,57
Distância entre eixos dos discos de corte base (m)	0,91	0,62	0,86	0,71	0,90 a 1,10	0,63
Altura (m)	6,23	6,23	5,50	5,50	6,3	6,3
Comprimento (m)	15,48	15,14	14,00	14,00	16,90	15,84

¹Características referentes a modelos com rodados de esteira; ²Modelo com frente intercambial; ³Sistema de rodado 6x4, sendo que foi considerada a maior distância entre os eixos.

Fonte: John Deere (2013); Santal (2013) e Case IH (2013).

Na Figura 13, pode-se observar um comparativo entre o funcionamento dos sistemas de corte de base das principais máquinas fabricadas atualmente para espaçamentos simples, duplos alternados e fileiras duplas simples. Uma informação relevante é a diferença entre as bitolas das máquinas, sendo 1,90m para máquina de uma fileira, 2,40m para máquinas de dupla fileira para o espaçamento duplo alternado e a possibilidade de configuração de 3,00 m para a colheita de duas fileiras de espaçamentos simples de 1,40 m e 1,50 m.

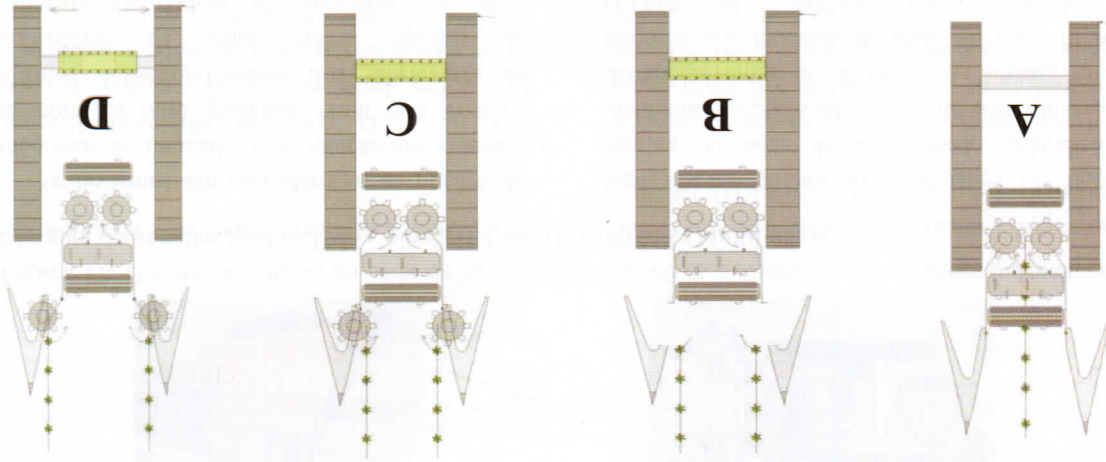


Figura 13. Modelos de corte de base fixo e ajustável adotados pelas colhedoras de cana de uma ou duas fileiras: colhedora de uma fileira para espaçamento simples de 1,5 m com bitola de 1,90 m (A); colhedora para espaçamento duplo alternado (0,9 x 1,5 m) com corte de base fixo e bitola de 1,90 m (B); colhedora de espaçamento regulável ajustado para colheita dupla alternado (0,9 x 1,5 m) e bitola de 1,90m (C); colhedora de espaçamento regulável ajustado para colheita de duas fileiras de espaçamento simples de 1,50 m e bitola de 3,00 m (D) (Fonte: Maurílio Melo, 2012).

A definição da configuração de bitola de máquina é extremamente importante para minimizar o pisoteio de soqueira e minimizar a área de compactação. FURLANI NETO (2009) ressalta o espaçamento duplo alternado como sendo uma ótima alternativa para o controle de

tráfego, resultando simultaneamente em menores distâncias percorridas pelas máquinas e maior quantidade de metros de sulco por hectare quando comparados com a colheita de uma fileira (Tabela 2).

Tabela 2. Metros de sulco por hectare e distância percorrida pela colhedora de acordo com espaçamento adotado.

Espaçamento (metros)	Tipo	Metros de Sulco por hectare	Distância Percorrida pela Máquina (m ha ⁻¹)
0,90 x 1,50	Duplo Alternado	8.332	4.166
0,90 x 1,60	Duplo Alternado	8.000	4.000
1,40	Simples	7.142	7.142
1,50	Simples	6.666	6.666

Fonte: FURLANI (2009), adaptado.

BELARDO (2012) mostra que, com novas opções de colhedoras capazes de colher duas fileiras de 1,40 m e 1,50 m, é possível diminuir ainda mais o tráfego nas áreas e a distância percorrida pela máquina resultando em: menor

compactação, maior longevidade dos canaviais, melhores eficiências operacionais devido à menor quantidade de manobras de cabeceira, aumentando assim as eficiências globais de colheita (Tabela 3).

Tabela 3. Metros de sulco por hectare e distância percorrida pela colhedora para colheita de duas fileiras/linhas.

Espaçamento (metros)	Tipo	Metros de Sulco por hectare	Distância Percorrida pela Máquina (m ha ⁻¹)
1,40	Colhendo 2 linhas	7.142	3.571
1,50	Colhendo 2 linhas	6.666	3.333

Fonte: BELARDO (2012).

Segundo COX (2006), um dos grandes desafios para o setor canavieiro como um todo, considerando os principais países produtores de cana-de-açúcar, é a compatibilização de um espaçamento-padrão em cana-de-açúcar, tendo em vista, principalmente, a padronização de máquinas aptas à colheita. O autor apresenta diferentes espaçamentos utilizados em cana-de-açúcar (Tabela 4), destacando os respectivos percentuais de passadas dos equipamentos sobre a área. Como se observa, quanto maior a bitola da colhedora e dos demais equipamentos, menor será a porcentagem de área no solo trafegada por equipamentos pesados, e menor será a área compactada.

É importante ressaltar que o autor preconiza que os melhores resultados, em termos de melhorias na redução da compactação, aumento da capacidade de colheita, centro de gravidade da máquina e consumo de combustível, são encontrados com a utilização de bitolas de 3,00 m e espaçamento entre fileiras de 1,50 m e que essa técnica já vem aplicado na Austrália com máquinas adaptadas (Figura 14). Com as novas opções de colhedoras em escala comercial, passa a ser possível a adoção de colheita de duas fileiras de espaçamento de 1,50 m, e adotar a prática de canteirização de 3,00 m, conforme recomenda o autor.

Dessa forma, a aplicação de canetas nos espaçamentos duplos alternados implica uma mudança drástica em todas as bitolas e

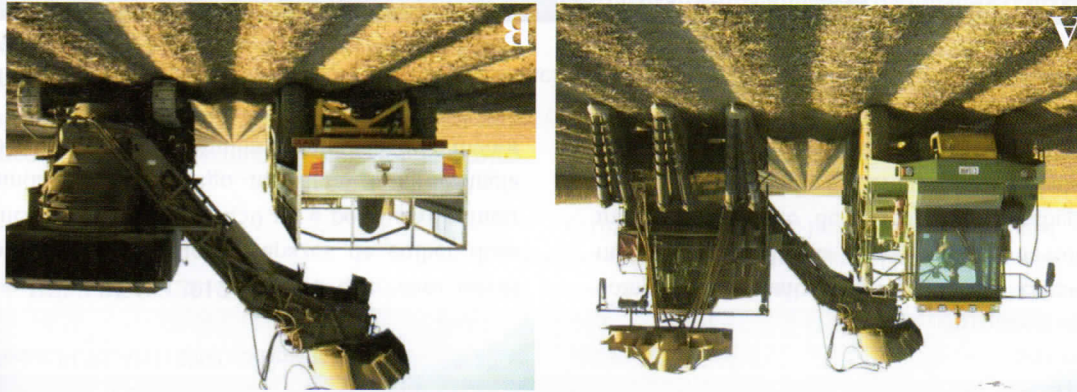
formando o conceito de "canteiro". compactar a área sempre no mesmo local tráfego (LAGUE et al., 2003), e assim poder tenha sucesso com a adoção do controle de Este é um componente fundamental para que se mesma largura ou larguras múltiplas de bitola. preciso que todos os equipamentos tenham a desde o preparo do solo até a colheita, pois é Deve-se avaliar o uso das demais máquinas, para prática da "canteirização".

bitolas de colhedoras e demais equipamentos como por exemplo a utilização de diferentes adoção de quaisquer espaçamentos de plantio, devem ser considerados antes da definição e Vale lembrar que existem outros fatores que

Neste caso, as colhedoras de uma fileira colheita de duas fileiras. existentes), facilitando a adoção do sistema de prolongadores para adaptação dos tratores disponibiliza tratores com bitolas de 3,00 m ou (nesse caso a maioria dos fabricantes atender os espaçamentos de 1,50 m) e tratores já são fabricados em bitolas de 3,0 m para bitola, tais como: transbordos (que normalmente as máquinas já estão configuradas para essa com espaçamento de 1,50 m, praticamente todas colheita de duas fileiras em canaviais plantados adequados à bitola de 2,40 m. Na adoção de equipamentos da usina (tratores, transbordos,

plantadoras, etc.) para que todos possam ser colheita de duas fileiras em canaviais plantados adequados à bitola de 2,40 m. Na adoção de equipamentos da usina (tratores, transbordos, plantadoras, etc.) para que todos possam ser colheita de duas fileiras em canaviais plantados adequados à bitola de 2,40 m. Na adoção de

Figura 14. Disposição de equipamentos (bitola de 3,0 m) na colheita mecanizada em espaçamento simples (1,50 m): A) Vista de frente; B) Vista de trás (Fonte: COX, 2006)



Fonte: COX (2006).

*ED Espaçamento duplo

Bitola (mm)	Espaçamento entre Fileiras (mm)	Compactação do Solo (%)
1.850	1.524	70%
1.850	1.400	70%
1.850	1.850	70%
1.850	500 / 1.350 ED*	35%
2.000	800 / 1.200 ED*	35%
2.400	1.200	24%
2.400	900 / 1500 ED*	24%
3.000	1.500	18%

Tabela 4. Compactação do solo frente a diferentes espaçamentos de cana-de-açúcar.

15. Colheita Mecanizada de Cana-de-Açúcar

2.5. Novas conceitos de colheita mecanizada e avaliação de novos espaçamentos

Como mostrado nos tópicos anteriores, sabe-se que até então os espaçamentos de plantio eram definidos não somente pelos parâmetros agrônômicos e de produtividade, mas primordialmente pela necessidade de adoção de colheita mecanizada.

Prova disso é que os estudos e pesquisas sobre produtividade de cana-de-açúcar, correlacionados com espaçamentos, mostram que, em muitos casos, dependendo obviamente da classificação e da fertilidade do solo, regimes pluviométricos e manejos adotados, quanto menor o espaçamento entre fileiras, maior a produtividade do canavial (IRVINE & BENDA, 1980a, 1980b; IRVINE et al., 1980) sem levar em consideração os efeitos da mecanização.

Porém, nem sempre se encontram canaviais com espaçamentos diferentes de 1,40 m e 1,50 m em escala comercial, exatamente pela dificuldade de adoção de colheita mecanizada. GALVANI et al. (1997) constataram que a produtividade em espaçamentos reduzidos é maior, por existir maior índice de área foliar, o qual proporciona um acréscimo maior na taxa líquida de fotossíntese devido à maior absorção de radiação solar. BOYCE (1968) verificou que a cada 30 cm no aumento do espaçamento da cana-de-açúcar, o rendimento da cultura diminuiu 5,7 t.ha⁻¹ano⁻¹, em locais onde a umidade não se comportou como fator limitante.

CASAGRANDE (2000), em revisão bibliográfica sobre espaçamentos na cultura da cana-de-açúcar, abrangendo 38 trabalhos sobre o assunto, concluiu que: i) de forma geral, espaçamentos mais estreitos aumentam a produtividade em primeiro corte; ii) a redução de espaçamento resulta em dificuldades operacionais; iii) a possibilidade de resposta de acréscimos de produtividade com espaçamentos mais estreitos em solos de baixa fertilidade é maior; iv) nem todos os trabalhos apresentam resposta aos espaçamentos duplos; v) o desenvolvimento da cana-de-açúcar em relação aos diferentes espaçamentos não é igual para todas as variedades, e vi) resultados dos

experimentos com sulco de base larga mostraram-se promissores (ROSA, 2013).

ROSSETO & PASCOTO (2001) estudaram espaçamentos em cana-de-açúcar, comparando os sistemas de sulcação simples (1,50 m) e alternado duplo ou W (0,40 x 1,40 m). Dentre as conclusões dos autores, podem-se destacar, em relação ao espaçamento duplo: i) aumento de produtividade agrícola (em média 11%) e maior longevidade do canavial, dada a eficácia no controle de tráfego e conseqüente diminuição do pisoteio das fileiras de cana; ii) melhor aproveitamento das águas da chuva e menor erosão/assoreamento; iii) em um primeiro momento, exigência de maior número de operações no preparo de solo; iv) altas produtividades obtidas no primeiro corte podem gerar dificuldades para a atuação da máquina, e v) redução do número de manobras pelos conjuntos mecanizados envolvidos (ROSA, 2013).

Já MORELLI (2004) aponta que o adensamento do espaçamento de 1,40 m para 1,10 m resulta em: i) maior produtividade em solos arenosos; ii) “fechamento” mais rápido da cultura, auxiliando no controle de plantas daninhas, e iii) maior eficiência nas operações mecanizadas. A respeito do espaçamento com linhas duplas, o autor destaca a maior produtividade por metro linear, maior eficiência na colheita mecanizada e maior controle de tráfego, ressaltando, ainda, que a falta de nivelamento adequado causa o aumento de perdas e de impurezas minerais.

Como podemos observar, pelos resultados de pesquisa citados, o assunto espaçamento de plantio é amplo e nem sempre tem uma recomendação única. É fundamental uma avaliação completa do ambiente de produção para a definição do espaçamento a ser adotado.

Sendo assim, faz-se necessário que os desenvolvimentos de máquinas agrícolas sejam realizados para atender aos diferentes tipos de espaçamento que as usinas e produtores de cana-de-açúcar escolham adotar ao invés de terem de adaptar-se seus espaçamentos aos quais as máquinas podem atender. É claro que existem limitações mecânicas e de projeto que podem

inviabilizar um ou mais espaçamentos, mas as opções de adoção de espaçamentos reduzidos, espaçamentos alternados, ou espaçamentos simples para a colheita de uma ou mais fileiras fazem-se necessárias.

Os últimos desenvolvimentos dos fabricantes

de colhedoras de cana vêm buscando alternativas

de viabilizar os sistemas e transportar estas

limitações, sendo que os resultados até então

atingidos mostram-se satisfatórios, com melhoras

significativas de aumento de capacidade de

colheita, redução de tráfego, menor

compactação, diminuição de pisoteio de soqueira

e redução de consumo de combustível em litros

por tonelada.

Outra alternativa que vem sendo avaliada é o

equipamento desenvolvido no Laboratório

Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol

(CTBE), pertencente ao CNPEM, conhecido

como Estrutura de Tráfego Controlado ETC

(Figura 15), que destina-se às operações de

plântio, cultivo e colheita. Na colheita, o tráfego

concentra-se em linhas específicas para essa

prática.

Nesse conceito, o sistema de corte de base é

independente entre as fileiras e busca manter a

flutuação sobre o terreno independentemente da

posição da colhedora, acompanhando as

imperfeições do relevo, com o objetivo de evitar

contaminar com impurezas minerais a matéria-

prima colhida.

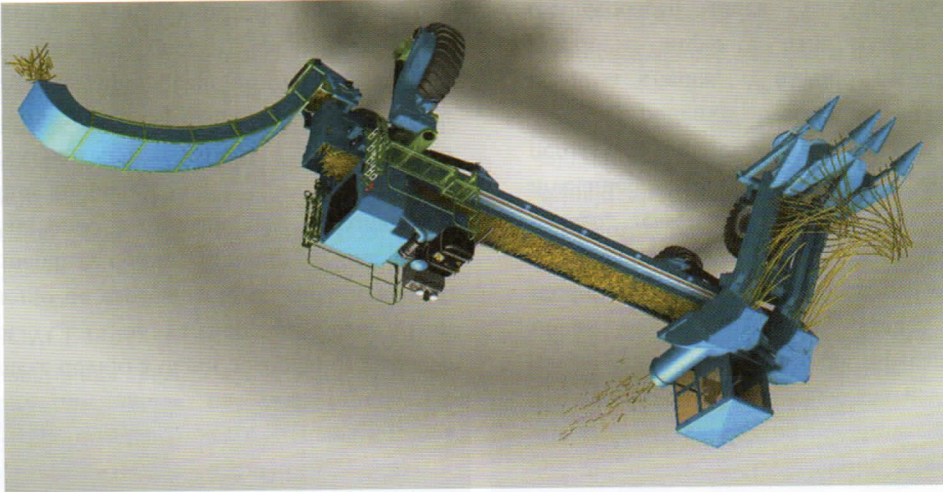


Figura 15. Estrutura de tráfego controlado (ETC) em desenvolvimento no CTBE.

O material colhido é transportado por meio de uma esteira até a extremidade lateral, onde é lançada ao veículo de transporte convencional, mantendo os padrões atuais de cana picada para transporte da biomassa até a usina.

A grande limitação desse sistema, até então, está na dificuldade de encontrar áreas sistematizadas e planejadas para atender ao conceito de tráfego controlado nas dimensões do produto que está sendo estudado.

(MAGALHÃES & BRAUNBECK, 2010).

A proposta da ETC tem uma bitola de 9,0 m e um vão livre de 2,2 m, é equipada com uma frente de colheita que permite colher inicialmente duas fileiras de cana simultaneamente, com espaçamentos que podem variar de 0,75 a 1,5 m. Nesta configuração, o tráfego atinge uma área que representa 13% da área total, ou seja, 1/5 da área tratada no cultivo convencional, mesmo que com controle de tráfego (MAGALHÃES & BRAUNBECK, 2010).

A grande limitação desse sistema, até então, está na dificuldade de encontrar áreas sistematizadas e planejadas para atender ao conceito de tráfego controlado nas dimensões do produto que está sendo estudado.

Os últimos desenvolvimentos dos fabricantes de colhedoras de cana vêm buscando alternativas de viabilizar os sistemas e transportar estas limitações, sendo que os resultados até então atingidos mostram-se satisfatórios, com melhoras significativas de aumento de capacidade de colheita, redução de tráfego, menor compactação, diminuição de pisoteio de soqueira e redução de consumo de combustível em litros por tonelada.

Os últimos desenvolvimentos dos fabricantes, Case IH, John Deere e Santal, mostram que as empresas estão buscando novas alternativas para colheita de múltiplas fileiras. Nesse sentido, a opção de colher o espaçamento duplo alternado, que está em expansão no Brasil já é uma realidade, porém representa mudança de conceito do plantio à colheita levando a investimentos altos para atender esse espaçamento, uma vez que todo um sistema de produção e de equipamentos deve ser alterado.

Buscando incremento nas eficiências de colheita algumas Usinas já adotam com sucesso o sistema de colheita de duas fileiras de espaçamentos simples de 1,50 m. Os maiores benefícios são a manutenção da produtividade média dos canaviais acima de 100 t ha^{-1} , aumento de produtividade, longevidade do canavial, capacidade de colheita e redução de consumo de combustível, mostrando ser uma opção viável e com ótimos resultados de campo.

Obviamente a colheita de duas fileiras, seja em espaçamento duplo alternado ou em espaçamento simples, representa uma mudança de conceito de colheita e exige mudança cultural e esforços operacionais sob a ótica de planejamento, execução e controle das operações e, principalmente de treinamento de operadores de colhedoras.

Especial atenção deve ser dada ao controle de perdas que tende a ser o dobro na colheita de duas fileiras quando comparado com a colheita convencional, principalmente em canaviais acamados e deitados.

Com os novos desafios e alternativas de colheita de espaçamentos múltiplos, novas opções de plantio com espaçamentos diferentes dos tradicionais – simples reduzidos (1,00 e 1,10 m), duplos alternados (0,90 x 1,50 e 0,90 x 1,60 m) e simples (1,40 e 1,50 m) – passam a ser uma realidade e possibilidade de adoção em escala comercial.

O desenvolvimento da Case IH, por exemplo, possibilitou novos estudos e experimentos utilizando qualquer distância entre fileiras desde 0,90 m até 1,50 m desde que sejam mantidos a área de tráfego dentro de no máximo 3,00 m. Em

outras palavras, em regiões onde o espaçamento simples de 1,20 m apresentar as melhores respostas de produtividade devido aos fatores edafoclimáticos, é possível de ser colhido com a colhedora.

Outras opções de espaçamentos estão sendo avaliadas por algumas usinas que vem conduzindo experimentos de colheita com até três fileiras de cana. Nesse caso, as áreas experimentais foram plantadas utilizando-se três fileiras com espaçamento de 0,75 m, alternado com espaçamento de 1,50 m entre as três próximas fileiras, denominado de “triplo alternado” (Figura 16).

Esse espaçamento permite o tráfego de equipamentos mantendo a bitola de 3,00 m e nesse caso, os discos do corte de base dianteiros instalados sob os divisores de linhas da colhedora, cortam as fileiras externas, e os discos de corte de base central (originalmente da máquina de uma fileira) colhem a fileira do meio.

Outra possibilidade para adoção desse espaçamento que já foi avaliada, é o plantio de uma fileira de cana entre as fileiras de 1,50 m nas áreas que seriam destinadas a reforma e que a produtividade do canavial já estava reduzida (abaixo de 70 t ha^{-1}). Essa opção foi utilizada em anos de baixo investimento, tornando-se uma opção barata para prolongar o canavial já implantado por um ou mais anos, não necessitando fazer a reforma da área total.

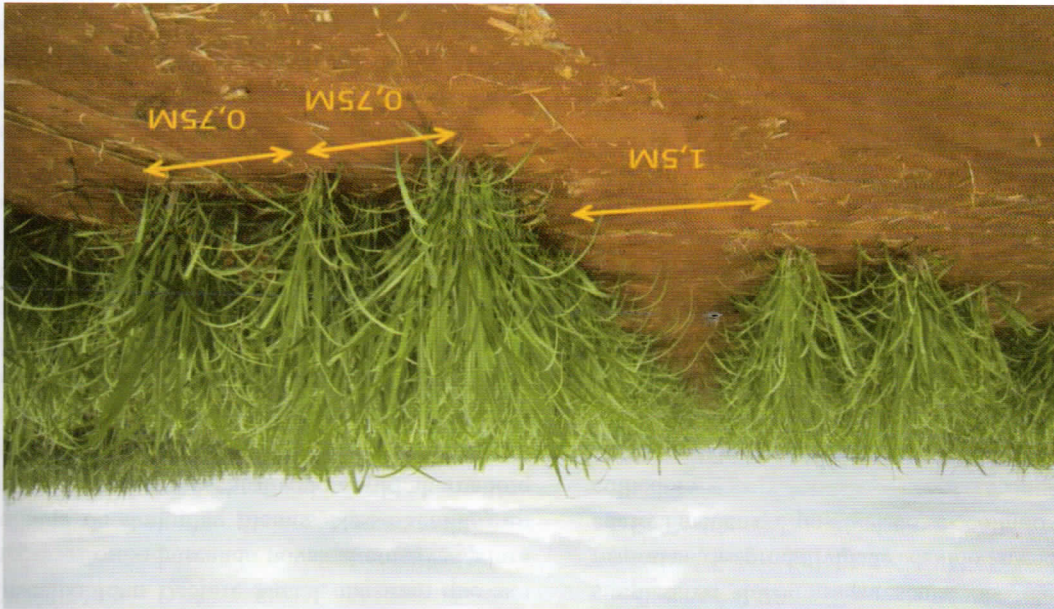
Como podemos observar, com as novas opções de colheita no mercado são necessários novos estudos de espaçamentos de plantio. Porém esses ensaios de produtividade devem levar em consideração principalmente a interação e efeito das máquinas na lavoura.

Fica evidenciado que a tendência nos desenvolvimentos de colhedoras passa a ser para a colheita de múltiplos espaçamentos. Porém vale lembrar que as máquinas de uma fileira continuam sendo de vital importância para o setor e a maior demanda de mercado de máquinas.

- O desafio agora é outro, pois já não estamos mais na fase de adaptação e adoção da mecanização do plantio a colheita pelo setor sucroenergético, mas sim em busca de novas soluções de desenvolvimentos que contribuam para a colheita de uma ou mais fileiras com o mínimo de perdas, redução da contaminação por impureza minerais e vegetais, e viabilidade de recuperação da palha para fins energéticos.
- Melhorias na sistematização das áreas, manejo conservacionista, preparo de solos e plantio aplicando técnicas eficientes de rotação de culturas, adubação, manejo de resíduos, tratos culturais e manejo varietal voltados para a colheita mecanizada, devem ser considerados no sistema de colheita, buscando viabilizar novos conceitos de espaçamentos com o objetivo de redução de custos e aumento de eficiências operacionais.
- Todas essas variáveis juntas, se bem aplicadas, vão ao encontro de máquinas capazes de colher duas ou mais fileiras, que se adaptem às necessidades dos produtores e usinas de cana-de-açúcar.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético nacional 2011: Ano base 2010**. Rio de Janeiro, 2011a. 266 p. Disponível em: Acesso em: 27 jan. 2012.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de produção e agroenergia. **Anuário estatístico da agroenergia 2010**. Brasília, 2011b. 223p. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agroenergia/Anuario_agroenergia/index.html.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de produção e agroenergia. **Anuário estatístico da agroenergia 2010**. Brasília, 2011b. 223p. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agroenergia/Anuario_agroenergia/index.html.
- Queroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- BANCHI, A.D.; LOPES, J.R.; FERREIRA, V.A.C.; MARTINS, J.M.S. Análise de índices técnicos da colheita mecanizada de cana-de-açúcar na safra 2011/12. **Revista Agrímotor**, São Paulo, n. 72, p. 12-15, 2012.
- BELARDO, G. de C. **Avaliação de desempenho efetivo de três colhedoras em cana-de-açúcar (Saccharum spp) sem queima**. 2010. 137 f. Dissertação (Mestrado em Máquinas agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

3. REFERÊNCIAS

Figura 16. Espaçamento de plantio "tríplo alternado" com três fileiras de 0,75 m com espaçamento entre fileiras de 1,50 m para tráfego de equipamentos (Fonte: BELARDO, 2013).



15. Colheita Mecanizada de Cana-de-Açúcar

- <https://ben.epe.gov.br/>. Acesso em: 02 mar. 2012.
- BRAUNACK, M.V.; ARVIDSSON, J.; HÅKANSSON, I. Effect of harvest traffic position on soil conditions and sugarcane (*Saccharum officinarum*) response to environmental conditions in Queensland, **Australia. Soil Tillage Res.**, v.89, p.103-121, 2006.
- BRAUNBECK, O.A.; MAGALHÃES, P.S.G.; GARCIA, M.O. Colheita e recuperação da Biomassa. In: CORTEZ, L.A.B.; LORA, E.S.; GOMEZ, E.O. (Eds.). **Biomassa para energia**. Campinas: Editora da UNICAMP, 20-08. p. 63-90.
- BRAUNBECK, O.A.; MAGALHÃES, P.S.G. Colheita sustentável com aproveitamento integral da cana. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 1, n. 1, p. 72-79, jan. 2004.
- CASE IH. **Colhedoras de cana – Série A8000**. Folheto. Disponível em: http://www.caseih.com/brazil/Products/Colhedoras-e-Colheitadeiras/A8000-e-A8800/Documents/Folheto_A8000.pdf.
- CASE IH. **Colhedoras de cana – Série A8800 MR**. Folheto. Disponível em: http://www.caseih.com/brazil/Products/Colhedoras-e-Colheitadeiras/A8000-e-A8800/Documents/Folheto_A8800MR.pdf.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **SAFRA 2013/14. Terceiro Levantamento Dezembro 2013**.
- COX, D. Sugarcane row spacing standard. In: SEMINÁRIO DE MECANIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 8., 2006, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto, 2006.
- CTC. **Perdas de cana e impurezas vegetais e minerais na colheita mecanizada**. Disponível em: http://www.coplana.com/gxpsites/colheita_mecanizada.pdf. Acesso em: 01 jun. 2012.
- DALBEN, L.C. Alternativas de colheita mecanizada com mais de uma linha. In: SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 5., 2011, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, 2011.
- FURLANI NETO, V.L.; RIPOLI, T.C.C.; VILLA NOVA, N.A. Avaliação de desempenho operacional de colhedora em canaviais com e sem queima prévia. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 15, n. 2, p. 18-23, nov./dez. 1996.
- FURLANI NETO, V.L. Proposta de espaçamentos para mecanização em solos de baixa fertilidade - Ambientes C, D, e E. In: SEMINÁRIO DE MECANIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 11., 2009, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto, 2009.
- FURLANI NETO, V.L. Sulcos alternados duplos (SAD) e simples: controle de tráfego na colheita de cana picada. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 13, n. 4, p. 14-16, mar./abr. 1995b.
- GESP - Secretaria do Estado do Meio Ambiente, 2007. **Protocolo Agroambiental**. São Paulo.
- IRVINE, J.E.; BENDA, G.T. **Sugar cane spacing II. Effect of spacing on the plant**. In: LOPEZ, M.B., MADRAZO, C.M. (Eds.). Proceedings XVII Congress. International Society of Sugar Cane Technologists, Executive Committee of the ISSCT, Manila, p. 357-367. 1980a.
- IRVINE, J.E.; BENDA, T.A. **Sugarcane spacing historical and theoretical aspects**. In: LOPEZ, M.B., MADRAZO, C.M. (Eds.). Proceedings XVII Congress of International Society of Sugar Cane Technologists. Executive Committee of the ISSCT, Manila, p. 350-375. 1980b.
- IRVINE, J.E.; RICHARD, C.A.; GARRISON, D.D.; JACKSON, W.R.; MATHERNE, R.J.; CAMP, C.; CARTER, C. Sugar cane spacing III. Development of production techniques for narrow rows. In: **Proceedings XVII Congress International Society of Sugar Cane Technologists**, Manila, p. 368-375. 1980.
- JOHN DEERE. 3520. **Colhedora de cana John Deere**. Folheto. Disponível em: http://www.deere.com.br/pt_BR/ag/products/newequipment/pdf/index.html. Acesso em: 16 maio 2012.
- JOHN DEERE. 3522. **Colhedora de cana 2 linhas John Deere**. Folheto. Disponível em: http://www.deere.com.br/pt_BR/ag/products/newequipment/pdf/index.html.

- w-equipment/pdf/index.html. Acesso em: 20 jan. 2012.
- LAGUE, C.; AGNEW, J.; KHELIFI, M., 2003. Theoretical Evaluation on the Feasibility of Controlled-Traffic Farming (CTF) Using Wide-Span Implement Carriers (WSIC) for Canadian Agriculture, in: CSAE/SCGR 2003 Meeting. The Canadian society for engineering in agricultural, food and biological systems., Montreal, pp. 1-32
- MAGRO, J.A. Espaços combinados na cultura da cana. In: SEMINÁRIO DE MECANIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-ACÚCAR, 13., 2011, Ribeirão Preto, Anais... Ribeirão Preto, 2011.
- MAZZONETTO, A.L. Colheita integral de cana (*Saccharum spp.*) crua, análise de desempenho operacional. 2004. 88 f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- MIALHE, L.G. Máquinas agrícolas: ensaios & certificação. Piracicaba: FEALQ, 1996. 722 p.
- MOLINA JUNIOR, W.F. Proposta de metodologia descritiva para ensaio padronizado de colhedoras de cana-de-acúcar (*Saccharum spp.*). 2000. 140 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.
- MONACO JUNIOR, L.C. Plantio espaçamento alternado. In: SEMINÁRIO DE MECANIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-ACÚCAR, 13., 2011, Ribeirão Preto, Anais... Ribeirão Preto, 2011.
- MAGALHÃES, P.S.G.; BRAUNBECK, O.A. Avaliação tecnológica da mecanização da cana-de-acúcar. In: BIOETANOL DE CANA-DE-ACÚCAR: P&D para Produtividade e Sustentabilidade. p. 14. 2010.
- NEVES, J.L.M.; MAGALHÃES, P.S.G.; MORAES, E.E.; ARAÚJO, F.V.M. Avaliação de perdas invisíveis na colheita mecanizada em dois fluxos de massa de cana-de-acúcar. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.26, p.787-794, 2006.
- NEVES, J.L.M.; MAGALHÃES, P.S.G.; OTA, W.M. Sistema de monitoramento de perdas invisíveis de cana-de-acúcar em colhedora de cana picada. *Engenharia Agrícola*, v.24, p.764-770, 2004.
- PARANHOS, S.B. Espaços e densidades de plantio em cana-de-acúcar. 1972. 109 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1972.
- POPPE, M.K.; PERICO, A.C.S. *Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil*. Brasília: CGEE, 2009.
- RIPOLI, T.C.C. Ensaio & certificação de máquinas para colheita de cana-de-acúcar. In: MIALHE, L. G. Máquinas agrícolas: ensaios & certificação. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários “Luiz de Queiroz”, 1996. cap. 13, p.635-674.
- RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C. Biomassa de cana-de-acúcar: colheita, energia e ambiente. Edição dos autores. Piracicaba, 2009. 333 p.
- RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C.; CASAGRANDE, D.V.; IDE, B.Y. Plantio de cana-de-acúcar: estado da arte. Piracicaba: Edição dos autores, 2007. 198 p.
- ROSSO, A.; PASCOTO, V. Os espaçamentos devem mudar? In: SEMINÁRIO DE MECANIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-ACÚCAR, 3., 2001, Ribeirão Preto, Anais... Ribeirão Preto, IDEA, 2001. p. 17-27.
- SALVI, J.V.; MATOS, M.A.; MILAN, M. Avaliação do desempenho de dispositivo de corte de base de colhedora de cana-de-acúcar. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.27, p.201-209, 2007.
- SANTAL, Tandem SII. Folheto. Disponível em: <http://www.santal.com.br/produtos/colhedora-tandem-sii/>.
- SANTOS, N.B. dos. Identificação dos fatores críticos da colheita mecanizada de cana-de-acúcar (*Saccharum spp.*). 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

- STOLF, R.; FURLANI NETO, V.L.; CERQUEIRA LUZ, P.H.; Nova metodologia de mecanização a espaçamentos estreitos em cana-de-açúcar. **Álcool & Açúcar**, São Paulo, v. 7, n.32, p. 14-33, jan./fev. 1987.
- TULLBERG, J.N.; YULE, D.F.; McGARRY, D. Controlled traffic farming - From research to adoption in Australia. **Soil Tillage Res.**, v.97, p. 272-281, 2007.
- UNICA. Unica data. Produção. **Histórico de produção e moagem**. Disponível em: <http://www.unica data.com.br/historico-de-area-ibge.php?idMn=33&tipoHistorico=5>. Acesso em: 01 nov. 2013.
- VOLPATO, C.E.S.; BRAUNBECK, O.A.; OLIVEIRA, C.A.A. de. Desenvolvimento e avaliação de um protótipo de cortador de base para colhedoras de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, p.345-348, 2002.