

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**AVALIAÇÃO DE PLANTADORA DE CANA-DE-AÇÚCAR  
COM SULCADOR DE DESARME AUTOMÁTICO E  
ROTAÇÃO DA ESTEIRA DISTRIBUIDORA**

**Ariel Muncio Compagnon**  
**Engenheiro Agrícola**

**2015**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**AVALIAÇÃO DE PLANTADORA DE CANA-DE-AÇÚCAR  
COM SULCADOR DE DESARME AUTOMÁTICO E  
ROTAÇÃO DA ESTEIRA DISTRIBUIDORA**

**Ariel Muncio Compagnon**

**Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani**

**Coorientador: Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva**

**Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo).**

**2015**

C736a Compagnon, Ariel Muncio  
Avaliação de plantadora de cana-de-açúcar com sulcador de  
desarme automático e rotação da esteira distribuidora. / Ariel Muncio  
Compagnon. -- Jaboticabal, 2015  
x, 61 f. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de  
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015

Orientador: Carlos Eduardo Angeli Furlani

Coorientador: Rouverson Pereira da Silva

Banca examinadora: Teresa Cristina Tarlé Pissarra, Jorge Wilson  
Cortez, Anderson de Toledo, Adilson José Rocha Mello

Bibliografia

1. Controle estatístico de processo. 2. Mecanização agrícola. 3.  
Profundidade de sulcação. 4. Saccharum officinarum. I. Título. II.  
Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.3:633.61

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da  
Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de  
Jaboticabal.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

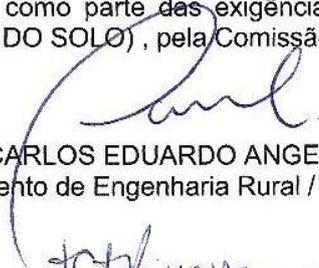
**TÍTULO:** AVALIAÇÃO DE PLANTADORA DE CANA-DE-AÇÚCAR COM SULCADOR DE DESARME AUTOMÁTICO E ROTAÇÃO DA ESTEIRA DISTRIBUIDORA

**AUTOR:** ARIEL MUNCIO COMPAGNON

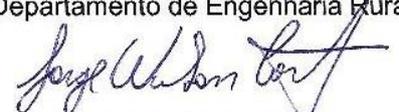
**ORIENTADOR:** Prof. Dr. CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI

**CO-ORIENTADOR:** Prof. Dr. ROVERSON PEREIRA DA SILVA

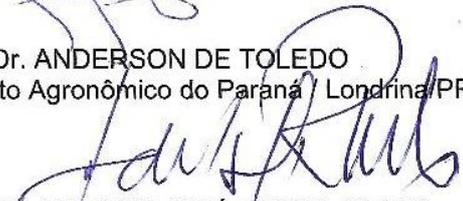
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI  
Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

  
Profa. Dra. TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA  
Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

  
Prof. Dr. JORGE WILSON CORTEZ  
Universidade Federal da Grande Dourados / Dourados/MS

  
Prof. Dr. ANDERSON DE TOLEDO  
Instituto Agronômico do Paraná / Londrina/PR

  
Prof. Dr. ADILSON JOSÉ ROCHA MELLO  
Centro Universitário de Araraquara / Araraquara/SP

Data da realização: 30 de julho de 2015.

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

ARIEL MUNCIO COMPAGNON – nascido em Planaltina do Paraná, PR, no dia 17 de janeiro de 1986, filho de Nelson Muncio Compagnon e Sebastiana Tossi Compagnon. cursou o Ensino Fundamental e Médio na Escola Municipal Frei Enedino Caetano e no Colégio Estadual Marechal Arthur da Costa e Silva, em Planaltina do Paraná, tendo finalizado o Ensino Médio no ano de 2003. Ingressou no Ensino Superior no ano de 2004 no curso de Engenharia Agrícola, na Universidade Estadual de Maringá - Câmpus do Arenito, em Cidade Gaúcha, PR, concluindo-o no ano de 2008. Durante a graduação desenvolveu trabalhos de monitoria e pesquisa com projetos de iniciação científica, além de estágio em usina do setor sucroenergético. Em abril de 2009, iniciou carreira profissional como bolsista do Programa “Universidade Sem Fronteiras” no Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), em Londrina, PR, atuando no projeto “Teste e validação de colhedora de amoreira e de plantas oleaginosas para a agricultura familiar”, permanecendo até julho de 2010, quando se desligou para iniciar pós-graduação. Em agosto de 2010, iniciou, o curso de Mestrado em Agronomia, no programa de Ciência do Solo, pela Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” – Câmpus de Jaboticabal, SP, desenvolvendo suas pesquisas e estudos no Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA), finalizando em julho de 2012, quando deu início ao curso de Doutorado pela mesma instituição e programa. Durante a Pós-Graduação foi bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), participou de projetos de pesquisa na área de Máquinas e Mecanização Agrícola, bem como na orientação e participação em bancas de Trabalho de Conclusão de Curso. Em junho de 2014, começou a trabalhar como Professor do Instituto Federal Goiano – Câmpus Ceres, GO, nas disciplinas de Mecânica, Mecanização agrícola, Máquinas e implementos agrícolas, e Agricultura de precisão, nos cursos de Agronomia, Zootecnia e Técnico em Agropecuária. Em julho de 2015, submeteu-se à banca examinadora para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo).

*Aproveite todas as oportunidades de sua vida.  
Pois quando elas passam, demoram muito tempo para voltar.  
Muitas vezes, não voltam!*

*“Se você planeja ser qualquer coisa menos do que aquilo que é capaz,  
provavelmente você será infeliz todos os dias de sua vida”.*

**Abraham Maslow**

À minha família, pelo amor, carinho e apoio  
DEDICO

## AGRADECIMENTOS

À DEUS, por ter me dado a graça de viver e por me proporcionar saúde, inteligência e me dar força em minha caminhada.

Aos meus amados pais, Nelson M. Compagnon e Sebastiana T. Compagnon, que sempre batalharam com muito esforço e sacrifício, para que eu pudesse concluir meus estudos. Que DEUS continue sempre protegendo e abençoando vocês.

Aos meus irmãos Samuel M. Compagnon e Nanci M. Compagnon, pelo amor, carinho e incentivo.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal e ao programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo).

Ao Instituto Federal Goiano – Câmpus Ceres, e em especial ao meu orientado Fernando H. Arriel.

Ao pesquisador, Prof. Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani, pelas orientações, sugestões e correções durante a realização deste trabalho, além do convívio durante o período de Mestrado e Doutorado.

Ao pesquisador, Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva, pelas orientações e ensinamentos.

À empresa Santal Equipamentos, na pessoa do Sr. Marco Gobesso, pela parceria na realização dos ensaios com a plantadora.

À usina Santa Fé, na pessoa do Sr. Rodrigo Franzé, por ter cedido as áreas para realização dos ensaios.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa.

Aos amigos do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA) – Cristiano Zerbato, Evaldo Ferezin, Fabio Cavichioli, Henrique Holanda, Kauê Oshiro, Marcelo Cassia, Marcelo Boamorte, Melina Cais, Murilo Voltarelli, Priscila Iamaguti, Rafael Bertonha, Thaisa Moreti e Vicente Filho. O meu muito obrigado pela convivência, amizade e ajuda na coleta dos dados.

E em especial à minha namorada Ana Carolina de Melo Castro, pelo amor, carinho e apoio.



<b>CAPÍTULO 5 - Considerações finais.....</b>	<b>56</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>57</b>
<b>Apêndice A. Descrição do protótipo utilizado .....</b>	<b>58</b>
<b>1 Sistema distribuidor .....</b>	<b>58</b>
<b>2 Sulcadores .....</b>	<b>59</b>
<b>3 Sistema de engate .....</b>	<b>60</b>
<b>4 Especificações técnicas.....</b>	<b>61</b>

## LISTA DE TABELAS

	Página
<b>Capítulo 2:</b>	
<b>1 - Parâmetros de estatística descritiva para as variáveis analisadas.....</b>	<b>26</b>
<b>2 - Análise de variância e teste de médias para as variáveis analisadas. ....</b>	<b>27</b>
<b>3 - Desdobramento da interação entre os fatores velocidade de trabalho e rotação da esteira para as variáveis gemas totais <math>m^{-1}</math>, gemas viáveis <math>m^{-1}</math>, e gemas danificadas (%). ....</b>	<b>28</b>
 <b>Capítulo 3:</b>	
<b>1 - Parâmetros de estatística descritiva para as variáveis analisadas.....</b>	<b>39</b>
<b>2 - Análise de variância e teste de médias para as variáveis: rebolos, gemas totais, viáveis e danificadas.....</b>	<b>41</b>
<b>3 - Análise de variância e teste de médias para as variáveis profundidade de sulcação, largura do sulco, área mobilizada e altura de cobertura.....</b>	<b>43</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Página
<b>Capítulo 2:</b>	
1 - Cartas de controle para as variáveis: rebolos $m^{-1}$ (a); e gemas totais $m^{-1}$ (b) .....	30
2 - Cartas de controle para as variáveis: gemas viáveis $m^{-1}$ (a); e gemas danificadas (%) (b).....	31
<b>Capítulo 3:</b>	
1 - Cartas de controle para as variáveis: rebolos $m^{-1}$ (a); e gemas totais $m^{-1}$ (b) .....	44
2 - Cartas de controle para as variáveis: gemas viáveis $m^{-1}$ (a); e gemas danificadas (%) (b).....	46
3 - Cartas de controle para as variáveis: profundidade de sulcação (m) (a); e largura do sulco (m) (b) .....	47
4 - Cartas de controle para as variáveis: área mobilizada ( $cm^2$ ) (a); e altura de cobertura (m) (b).....	48
<b>Capítulo 4:</b>	
1. Sistema de mecanismo sulcador por acionamento hidráulico. ....	52
2. Ensaio do desarme de segurança do sistema hidráulico dos sulcadores. ....	53
3. Tempos do mecanismo sulcador para final de operação/início de manobra.....	54
4. Tempos do mecanismo sulcador para final da manobra/início de operação.....	55
<b>Apêndice:</b>	
1A. Protótipo para plantio mecanizado de cana-de-açúcar. Vista lateral direita (a) e vista traseira (b). ....	58
2A. Sistema distribuidor de rebolos.....	59
3A. Sulcador com sistema de desarme hidráulico e mecânico.....	60
4A. Sistema de engate ao trator com regulagem de transferência de peso, e roda copiadora do solo. ....	61

## AVALIAÇÃO DE PLANTADORA DE CANA-DE-AÇÚCAR COM SULCADOR DE DESARME AUTOMÁTICO E ROTAÇÃO DA ESTEIRA DISTRIBUIDORA

**RESUMO** – Uma plantadora mecanizada de cana-de-açúcar deve executar, simultaneamente, as operações de sulcação, aplicação de fertilizantes, distribuição das mudas e cobertura dos sulcos. Objetivou-se avaliar o protótipo de uma plantadora de cana-de-açúcar em rebolos, que apresenta um novo sistema para distribuição de rebolos e sulcação, em função da velocidade de plantio, rotação da esteira distribuidora e profundidade de sulcação. No primeiro estudo, foi adotado delineamento inteiramente casualizado, com duas velocidades de plantio (5,0 e 6,5 km h<sup>-1</sup>) e duas rotações da esteira distribuidora de rebolos (50 e 100%), com 20 repetições por tratamento. No segundo estudo, também em delineamento inteiramente casualizado, foram testadas duas velocidades de plantio (5,0 e 6,5 km h<sup>-1</sup>) e duas profundidades de sulcação (0,35 e 0,45 m), com 20 repetições. Por fim, realizou-se um estudo de caso para validar o sistema de desarme do sulcador, assim como tempos e movimentos. Os resultados do primeiro estudo mostram que o sistema de distribuição da plantadora apresentou uniformidade na distribuição de rebolos, havendo baixa danificação das gemas. O aumento da velocidade de trabalho diminuiu a quantidade de rebolos, gemas totais e viáveis. E o aumento da rotação da esteira distribuidora eleva estes fatores. No segundo estudo, o aumento da velocidade de plantio acarretou incremento na área mobilizada e diminuição da altura de cobertura. O aumento da profundidade de sulcação acarretou incremento na área mobilizada, largura do sulco, profundidade de sulcação e altura de cobertura. A operação de plantio manteve padrões de uniformidade quanto à abertura de sulco, distribuição de mudas e altura de cobertura, nas profundidades de plantio e velocidade de operação. Verificou-se que o mecanismo sulcador tem capacidade de se desarmar ao encontrar obstáculo, sem haver danos ao mesmo. O estudo de tempos e movimentos mostraram que para o início de uma manobra o tempo foi de 11 s, dos quais 7,5 s foram gastos no recolhimento dos sulcadores, e para o sulcador em final de manobra/início de operação, o tempo é de 11,2 s, sendo destes 7,0 s gastos para armar os sulcadores no início de operação.

**Palavras-chave:** controle estatístico de processo, mecanização agrícola, profundidade de sulcação, *Saccharum officinarum*

## PLANTER EVALUATION OF CANE SUGAR WITH TRENCHERS AUTOMATIC DISARM AND ROTATION BELT DISTRIBUTOR

**ABSTRACT** – A mechanized plantation of sugarcane must perform both operations furrow, fertilizer application, distribution of seedlings and mating of the furrows. Aimed to evaluate the prototype of a planter sugarcane on wheels, which features a new system for distributing wheels and furrow, depending on planting speed, the distributor belt speed and depth of furrow. In the first study, a randomized design was adopted, with two planting speeds (5.0 and 6.5 km h<sup>-1</sup>) and two rotations of the distributor belt wheels (50 and 100%), with 20 repetitions per treatment. In the second study, also in a completely randomized design were tested two planting speeds (5.0 and 6.5 km h<sup>-1</sup>) and two depths of furrow (0.35 and 0.45 m), with 20 repetitions. Finally, there was a case study to validate the disarm furrower system, as well as time and motion. The first study of the results show that the distribution system of the planter showed uniformity in the distribution wheels, with low damage to the gems. Increased working speed decreased the amount of grinding wheels, total and viable gems. And the increase of the rotating distributor conveyor raises these factors. In the second study, increased planting rate resulted in increased area and decreased mobilized mating height. The increased depth furrow caused increase in immobilized area, groove width, depth and furrow mating height. The planting operation kept uniform standards on the groove opening, distribution of seedlings and mating time in the planting depths and speed of operation. It was found that the furrower mechanism is able to disarm when encountering an obstacle, without any damage thereto. The time and motion study showed that for the beginning of a maneuver time was 11 s, 7.5 s of which was spent in the collection of the furrow openers, and the furrower maneuver on the end/start operation time is 11.2 s and 7.0 s of these expenditures to arm the furrowers early operation.

**Keywords:** agricultural mechanization, depth furrows, *Saccharum officinarum*, statistical process control

## CAPÍTULO 1 - Considerações gerais

### 1.1 Introdução

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) é uma gramínea semi-perene, e expressa bom desenvolvimento em solos onde há boa aeração e drenagem, exigindo solos com profundidade superior a um metro. Seu desenvolvimento se dá em dois ciclos: o primeiro sendo chamado de cana-planta, ou seja, quando a cultura ainda não teve o primeiro corte, podendo este ser de 12 ou 18 meses, conforme a variedade e época de plantio; após o primeiro corte encerra-se o ciclo da cana-planta e se inicia o ciclo da cana-soca, que passa a ser de 12 meses para todas as variedades (CONAB, 2014).

Classifica-se como uma planta da família das *Poaceae*s e tem como característica o perfilhamento abundante na fase inicial de crescimento, sendo vários os fatores que possibilitam a inibição ou o favorecimento do seu desenvolvimento (OLIVEIRA, 2004).

Introduzida no país em 1532, é cultivada em todas as regiões, destacando-se o estado de São Paulo, onde está concentrada cerca de 50% da produção. De modo geral, o país tem dois calendários de colheita, um para a região Nordeste, que vai de setembro a abril, e outro para o restante do país, de maio a janeiro (CONAB, 2015).

O Brasil deverá produzir 654,6 milhões de toneladas de cana-de-açúcar na safra 2015/2016, em pouco mais de nove milhões de hectares. A estimativa é de que a produção do país tenha incremento de 3,1% em relação à safra passada e só não é maior porque o aumento na área plantada no país é relativamente pequeno (0,7%) e a produtividade nos canaviais de São Paulo, se recupera de impacto hídrico da safra passada (CONAB, 2015). Estima-se que a produtividade para a atual safra deva ter um aumento de 2,4%, passando de 70.495 kg ha<sup>-1</sup> para 72.170 kg ha<sup>-1</sup>.

Dentre as operações envolvidas no sistema de produção agrícola da cana-de-açúcar, atualmente todas podem ser mecanizadas. As etapas envolvidas no plantio, somente nos últimos anos, passaram a contar com a opção de mecanização total, pois, até então, elas eram, em sua grande maioria, executadas na forma

semimecanizada (sulcação, adubação e cobertura de sulco mecanizados e, distribuição, alinhamento e picamento das mudas manuais) (RIPOLI et al., 2006).

Segundo Oliveira (2012), o sistema de plantio da cana-de-açúcar no Brasil é predominantemente semimecanizado, ou seja, utiliza processo manual e mecânico em suas etapas. Entretanto, recentemente, apresenta como opção a mecanização total, em que a plantadora executa simultaneamente as operações de abertura dos sulcos, aplicação de fertilizantes, distribuição das mudas, aplicação de defensivos e fechamento dos sulcos.

A mecanização não deve despertar apenas a preocupação com sua viabilidade econômica. Também é importante ter compreensão de que a otimização do plantio depende de transformações no planejamento da lavoura como um todo, bem como nas suas interfaces com a colheita. O uso da plantadora requer redimensionamento dos talhões e modificações no sistema de plantio, buscando talhões planos e homogêneos para diminuir as manobras das máquinas.

Grandes empresas do setor sucroenergético vêm desenvolvendo testes e estudos comparativos entre a opção de plantio mecanizado com o semimecanizado. Ocorre que, nem sempre se encontra um rigor metodológico adequado e padronizado nestas análises, o que torna limitadas as observações obtidas e suas aplicabilidades como referência para tomadas de decisão (RIPOLI; RIPOLI, 2009).

Por se tratar de uma prática bastante recente, o plantio mecanizado de cana-de-açúcar no Brasil apresenta uma bibliografia bastante limitada. As primeiras máquinas nacionais, que eram protótipos, foram desenvolvidas pela Santal Equipamentos S.A., nos anos de 1964 e 1978, e pela DMB e Civemasa, em anos mais recentes (RIPOLI et al., 2006).

Inicialmente, não foram aceitas pelo mercado, devido à falta de necessidade da época, além de dúvidas quanto à brotação das mudas quando plantadas por essas máquinas e do baixo rendimento operacional apresentado, da ordem de 3 a 5 ha dia<sup>-1</sup> (RIPOLI, 1978).

Ao longo dos anos, aconteceram aprimoramentos e avaliações, sendo que em 1991, o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) fez avaliações em plantadoras, iniciando assim revisões bibliográficas para direcionar o projeto da máquina brasileira, seguindo padrões das máquinas australianas.

Atualmente, o mercado brasileiro apresenta as seguintes empresas que comercializam plantadoras de cana-de-açúcar picada: DMB, SANTAL (AGCO), TRACAN (Case), SERMAG, CIVEMASA, SOLLUS, ANTONIOSI e JOHN DEERE. Houve melhora no rendimento operacional, porém ainda há necessidade de menos danificações às gemas (matéria-prima) durante o plantio, assim como a necessidade de uma regulação da quantidade de rebolos (e conseqüentemente gemas) distribuídas por metro de sulco.

Segundo Quintela et al. (1997), o plantio tem que se adequar aos requisitos de qualidade para conseguir uma produtividade que não afete os custos de produção. Entretanto, as atividades quando não podem ser retiradas do processo devem ser minimizadas ao máximo para que o custo de produção seja menor. A diminuição de custos é alcançada, também, por meio do controle de qualidade nas partes que compõe o plantio, ou seja, desde o corte da muda até a sua cobertura.

A operação de plantio mecanizado apresenta benefícios, sendo o maior deles a redução de mão-de-obra utilizada. Porém, o processo pode gerar falhas, sendo que estas devem ser observadas, podendo destacar a quantidade de rebolos distribuídos em um determinado espaço, bem como a qualidade dessa distribuição ao longo do tempo.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar um protótipo para plantio de cana-de-açúcar mecanizado, que propõe um novo sistema para sulcação e distribuição de rebolos, monitorando a uniformidade desta distribuição, bem como os danos causados aos rebolos, quando se varia a velocidade de plantio e da esteira dosadora. Também serão avaliadas as operações de abertura, dimensões e formato do sulco; uniformidade da distribuição de mudas; e fechamento do sulco, variando a velocidade de plantio e a profundidade de sulcação.

## 1.2 Revisão de Literatura

### 1.2.1 Sistemas de plantio de cana-de-açúcar

Coleti e Stupiello (2006) afirmam que a operação de plantio de cana-de-açúcar é essencial para o sucesso do ciclo da cultura, sendo que as decisões gerenciais nesta etapa terão consequências em todo o ciclo da cultura. Um canavial implantado sem os conhecimentos básicos de plantio, poderá ter reduzido a sua longevidade, determinando como consequência a elevação dos custos de produção (QUINTELA et al., 1997).

As práticas de plantio são importantes na determinação do sucesso do cultivo da cana-de-açúcar, pois um bom plantio pode-se obter uma população de plantas adequada, ausência de pragas durante a fase inicial da cultura, bom uso do solo, dentre outras características que permitem conduzir o canavial à boa colheita (CARLIN et al., 2004).

Uma vez plantada, a cana, tem agora que emitir seus brotos que futuramente originarão os colmos (DILLEWIJIN, 1952). Segundo o autor, o plantio é feito normalmente por meio de rebolos contendo duas ou três gemas, que assim que encontram condições edafoclimáticas favoráveis nos locais de plantio entram em processo de brotação, mobilizando as reservas dos rebolos para emissão dos brotos.

Segundo Ripoli et al. (2007), no Brasil existem três tipos de sistemas de plantio da cana-de-açúcar: o plantio manual, o semi-mecanizado e o mecanizado.

Em poucas regiões do Brasil, com grande declividade, onde não há possibilidade de se utilizar máquinas, emprega-se o sistema de plantio manual, composto somente de etapas manuais e com tração animal (RIPOLI et al., 2007). O sistema de plantio manual foi o mais utilizado na lavoura canavieira até meados do século XX em que era utilizada em áreas declivosas da região Norte-Nordeste. Nesse sistema, a capacidade de trabalho de um homem é de 0,067 ha h<sup>-1</sup>, com um tempo total de 45 horas por hectare plantado (MIALHE, 2012).

O plantio semimecanizado ou convencional, erroneamente denominado de manual (RIPOLI et al., 2007), é composto de um conjunto de operações manuais e

mecanizadas que envolvem as etapas de sulcação, cobertura do sulco e aplicação de defensivos e fertilizantes realizadas mecanicamente; e distribuição de mudas, fracionamento e alinhamento das mudas no sulco realizados manualmente.

Brieger e Paranhos (1964) esclarecem que no sistema de plantio semimecanizado, as mudas quando são levadas ao campo, por carreta ou caminhão, entrarão no talhão no sentido das fileiras, onde a operação de sulcação é realizada por sulcadores, sendo seguido por 2 a 6 homens que vão retirando as mudas da carroceria e as distribuindo nas fileiras de sulcos, cruzando a base da cana com a ponta seguinte. O processo é realizado dessa forma devido as gemas das bases serem velhas e as gemas das pontas serem jovens, buscando assim maior uniformidade na brotação.

Em seguida à distribuição, outra equipe de operários percorrem os sulcos, e com facões desinfetados, cortam os rebolos de aproximadamente 3 gemas. Após esta operação denominada de “picamento”, as mudas serão cobertas com aproximadamente 8 cm de solo, dependendo do tipo de preparo de solo e as condições climáticas da época. A cobertura deve ser feita em seguida ao plantio, devido ao ressecamento do sulco, sendo realizada com tratores equipados com implemento para cobrir 2 ou 4 sulcos, simultaneamente, caminhando as rodas do trator por dentro dos sulcos (BRIEGER; PARANHOS, 1964).

O plantio mecanizado é composto de todas as etapas do plantio semimecanizado, porém todas efetuadas mecanicamente, contando com mão-de-obra apenas na operação das plantadoras (RIPOLI et al., 2007).

### **1.2.2 Plantio mecanizado de cana-de-açúcar**

As operações agrícolas empregadas na instalação de uma cultura, desde o preparo do solo à colheita, podem ser mecanizadas, e apresentam grande eficiência e retorno econômico ao produtor, desde que bem conduzidas, empregando tecnologia e maquinário adequado. Porém, há necessidade de que o conjunto trator e equipamento agrícola estejam bem dimensionados para proporcionar elevada capacidade operacional, redução de custos e tempo (DUARTE JÚNIOR et al. 2008).

Logo, a mecanização de processos, desde que administrada e conduzida corretamente, pode apresentar grande eficiência, aumento do rendimento operacional e, significativo retorno financeiro ao produtor (BARBOSA et al., 2005; SOUZA et al., 2006). A mecanização significa aumento da produtividade do trabalho com melhoria da qualidade da matéria-prima, diminuição de custos de produção agrícola e maior agilidade na amortização do capital investido em inovações tecnológicas (SCOPINHO, 2004).

Para Silva et al. (2004), a implantação de uma lavoura de cana-de-açúcar envolve uma série de cuidados, por se tratar de uma cultura semiperene. Para que o sucesso no plantio da cana-de-açúcar seja alcançado, algumas práticas agrônômicas são relevantes, podendo ser citados o preparo de solo adequado e plantio de qualidade. O ideal é obter população de plantas ideal, tratos culturais que buscam reduzir a incidência de pragas durante as fases iniciais da cultura e, por fim, uma colheita com o mínimo de perdas.

Incentivado pelo antigo Centro de Tecnologia da Copersucar, hoje Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), os primeiros experimentos com plantio mecanizado no Brasil iniciaram-se entre 1989 e 1990, em área experimental de 45 hectares. O plantio mecanizado foi a alternativa encontrada para a falta de mão-de-obra e redução dos custos operacionais de plantio (BENEDINE, 2008).

A ideia de que o plantio mecanizado ainda tem que vencer alguns obstáculos para sua completa adoção foi alvo da afirmação de Norris et al. (2000), o plantio mecanizado de cana-de-açúcar ainda precisa atender algumas necessidades demandadas pelos produtores ainda não satisfeitas, destacando-se a falta de máquinas para o plantio em altas densidades, plantio direto na palha, e sistema de plantio de linhas duplas ou múltiplas para controle de tráfego.

Robotham (2004), testou algumas máquinas de plantio mecanizado de cana-de-açúcar, na Austrália. O autor avaliou as máquinas de plantio de cana inteira com sulcadores convencionais e alimentação do corte de mudas manual, as de plantio de mudas em rebolos com sulcadores convencionais e as de plantio direto com sulcadores de dois discos e alimentação do corte de mudas manual. Relatou que a máquina, com sulcadores de dois discos, usadas para plantio direto, produz resultados similares aos da máquina de plantio de cana inteira quanto ao

estabelecimento da cultura e quanto a mobilização do solo, e apresenta resultados melhores que as de plantio em rebolos a mobilização do solo.

Segundo Garcia (2008), o plantio da cultura da cana-de-açúcar, seja qual for o método empregado, semimecanizado ou mecanizado, deverá atender as necessidades da cultura contemplando o ambiente em que será implantada. O mesmo foi apresentado por Beauclair e Scarpari (2006), no qual ressaltam que o plantio é o investimento crucial na condução de qualquer cultura, sendo a base de seu desenvolvimento. E sejam quais forem as práticas de plantio adotadas, devem atender tais demandas.

A mecanização na atividade canavieira tem como ênfase o desenvolvimento sustentável, em que o aprimoramento dos recursos de produção, a minimização dos efeitos indesejáveis ao meio ambiente e ao ser humano, e a evolução da produtividade, são os objetivos finais deste processo justificando a mecanização total do plantio da cana-de-açúcar, no que diz respeito à unidade de área plantada, reduzindo a estrutura envolvida, e aumentando a capacidade de campo operacional (RAVELI, 2013).

A implantação mecanizada do canavial deve levar em conta o planejamento da área com o levantamento topográfico, principalmente com relação a declividade, e definição dos talhões, sendo que os de maior comprimento são mais interessantes, pois propiciam capacidade operacional maior, ou seja, mais tempo efetivo de trabalho e menor tempo com manobras. A definição dos talhões deve levar em conta também as demais operações agrícolas, como cultivos e colheita (ZOIA, 2013).

Ripoli (2006) relata que o plantio mecanizado de cana-de-açúcar é tendência irreversível nas áreas mecanizáveis, devido ao menor custo da operação e alto desempenho operacional das plantadoras em relação aos demais sistemas de plantio. O desenvolvimento de mecanismo distribuidor de rebolos de cana-de-açúcar para o plantio mecanizado é cada vez mais necessário, uma vez que existe o interesse de se desenvolver uma máquina que proporcione distribuição uniforme, evitando falhas de deposição de mudas, ou seja, realize plantio de qualidade com menor quantidade de rebolos, resultando em economia de mudas (DIAS NETO et al., 2001).

O plantio mecanizado requer planejamento, organização e execuções diferenciadas das operações que o envolvem. Quando comparado ao método

convencional, possui vantagens, como: abertura dos sulcos, deposição das mudas nos sulcos, aplicação de fertilizantes, herbicidas, inseticidas ou fungicidas, cobertura ou fechamento dos sulcos e por fim a compactação do mesmo, para eliminar os bolsões de ar, sendo que o ideal é que as operações ocorrem simultaneamente (COLETI, 1987).

### **1.2.3 Qualidade das mudas**

Segundo Garcia (2008), o plantio é feito normalmente por meio de rebolos contendo duas ou três gemas. Ao encontrarem condições edafoclimáticas favoráveis nos locais de plantio, entram em processo de germinação, mobilizando as reservas dos rebolos para emissão dos brotos.

Uma das características de maior importância para se ter produtividade final elevada, ou bom estande de mudas, está relacionada com as práticas de plantio, levando em consideração fatores indispensáveis à otimização da cultura (CARLIN et al., 2004). Plana et al. (1987), reforça ainda mais essa afirmação, expondo que a brotação das gemas na cana-de-açúcar é um dos processos que requer maior atenção, pois dele dependerá, em grande medida, a futura população de plantas no campo.

Bononi e Rosa (2007) citam que se deve saber qual a variedade a ser plantada, pois determinadas variedades não se adaptam com o tipo de plantio mecanizado por possuírem gemas muito grande, que podem ser danificadas e ocorrer a não brotação, perdendo-se assim o plantio. A distância da muda também é um fator que deve ser considerado, pois esse transporte é normalmente feito com tratores transbordos, em que não é aconselhável percorrer longas distâncias.

### **1.2.4 Fatores que interferem na qualidade de plantio**

Para Serafim et al. (2012), são três as etapas fundamentais do plantio mecanizado: colheita mecanizada das mudas, transporte e transferência das mesmas

(feita por tratores ou caminhões que possuem carreta basculante, conhecida como transbordos) e o plantio com a plantadora. E são nestas etapas mecanizadas que aumenta a possibilidade de causar danos adicionais às gemas.

Para a Conab (2007), muitos são os fatores que interferem na qualidade do plantio, desde sua densidade, preparo do solo, época de plantio, escolha da variedade, qualidade e idade da muda, e paralelismo das fileiras de plantio. A qualidade no plantio pode influenciar algumas características ou aspectos agrônômicos da cultura, dentre os quais tem maior destaque a brotação e o perfilhamento (JANINI, 2007; PESSAN, 2012).

O plantio mecanizado deve passar por melhorias, tais como a diminuição do grande volume de massa de mudas, que visa compensar falhas de deposição no sulco; a necessidade de mecanismo dosador de rebolos; maior estabilidade em certas regiões declivosas; maior sincronismo entre velocidade do trator e velocidade na distribuição da muda; diminuição dos danos às gemas causados dentro da plantadora (CEBIM, 2008; PAULI, 2009; BARROS; MILAN, 2010).

Garcia (2008), em avaliação de sistema de plantio mecanizado quanto à demanda energética, desempenho operacional e biometria das mudas, concluiu que o plantio mecanizado causou maiores danos às gemas, reduzindo o seu número por metro de sulco, aumentando a porcentagem de falhas de plantio e refletindo significativamente na redução da produtividade agrícola. Porém, em relação ao custo operacional, o sistema mecanizado apresentou-se altamente vantajoso em relação ao convencional.

A quantidade de gemas por metro de sulco depende da variedade e da qualidade da muda, pois a mesma está sujeita a danos mecânicos desde o corte no viveiro até a cobertura do sulco (COLETI, 1987). Segundo Pinto et al. (1997), a colheita mecânica de mudas é a principal causadora de injúrias às gemas e rebolos, devido ao processamento interno dos colmos pelos sistemas rotativos da colhedora, tais como: cortador de base, rolos transportadores e facção picador.

O plantio é feito normalmente por meio de rebolos contendo duas a três gemas. Atualmente existem tecnologias de plantio de cana-de-açúcar no mercado utilizando rebolos contendo apenas uma gema, denominados micro rebolos, que darão origem a uma nova planta (RAVELI, 2013).

Estudos realizados a fim de conhecer melhor o processo de brotação da cana-de-açúcar, concluíram que os fatores endógenos, ou seja, aqueles ligados ao potencial da planta, de maior relevância para a germinação são: tamanho do rebolo (QUINTELA, 1996); reserva energética (CASAGRANDE, 1991); e variedade (CARLIN et al., 2004). As características exógenas que influenciam a germinação são: profundidade de plantio (JANINI, 2007), umidade e temperatura do solo (SUGUITANI, 2006), densidade de plantio (NORRIS et al., 2000; BEUCLAIR; SCARPARI, 2006); e altura de cobertura com solo (ROBOTHAM, 2000).

Ripoli et al. (2007) caracterizam o espaçamento de plantio como a distância entre sulcos ou fileiras de plantio, adjacentes, e afirmam que no Brasil são utilizados três tipos: o uniforme, em que a distância entre sulcos é constante no talhão; o alternado, em que a distância entre os sulcos é variável entre dois valores; e o combinado, quando a distância entre sulcos possui uma combinação entre faixas, com espaçamento uniforme e alternado.

Para que as reduções das distâncias entre os sulcos resultem em ganhos de produtividade, o espaçamento ideal entre os sulcos no plantio da cana-de-açúcar dependerá do sistema de colheita a ser empregado (BENEDINI; CONDE, 2008).

Os sistemas de plantio seguem algumas recomendações agrônomicas convencionais de espaçamento que geralmente variam entre 0,90 a 1,60 m (COLETI, 1994), sendo utilizada de 12 a 18 gemas de cana-de-açúcar por metro de sulco, de acordo com as determinações do produtor e da variedade da cana a ser plantada (STOLF et al., 1984). Muitas usinas adotam de 18 a 22 gemas por metro de sulco procurando melhorar o estande, como forma de assegurar que a qualidade final dos rebolos permita a relação de 12 gemas viáveis por metro de sulco, sendo as demais gemas inviabilizadas durante o processo (RAVELI, 2013).

Coleti e Stupielo (2006) abordam que as principais atividades envolvendo as operações de plantio são: espaçamento entre fileiras, profundidade de sulcação, época de plantio, quantidade de mudas e cuidados necessários que envolvem essas operações. Salientam sobre a importância das operações que no início, exigem bom planejamento e muito conhecimento técnico, pois as decisões nessa fase vão influenciar todo o ciclo, o processo de plantio e os resultados.

A profundidade de plantio é também um fator que interfere na qualidade do mesmo. Coleti e Stupielo (2006) indicam que a profundidade de plantio deve situar-se entre 25 a 30 cm. Segundo Procópio (2003), a profundidade de plantio está relacionada principalmente à textura do solo e à sua capacidade de armazenamento e drenagem de água.

Algumas regiões trabalham com plantios rasos (menor que 20 cm de profundidade), o que favorece o nivelamento do terreno para a colheita mecanizada. Porém, esse procedimento não é recomendado para regiões de baixo índice pluviométrico e de altas temperaturas (MAGRO; LACA-BUENDÍA, 2010).

De maneira geral a profundidade está entre 25 a 30 cm, porém não podendo ser maior que a profundidade alcançada pelo sistema de preparo, para que o sistema radicular encontre solo aerado, descompactado, em condições que favoreçam o desenvolvimento radicular (ANJOS; FIGUEIREDO, 2008).

A quantidade de solo sobre os rebolos varia entre 5 a 10 cm, em função da variedade e da época de plantio. Plantios de verão devem receber uma cobertura menos espessa (5 a 7 cm) prevenindo-se assoreamentos indesejáveis. Plantios tardios (outono em diante) estariam mais bem protegidos de uma possível estiagem com uma cobertura mais espessa (8 a 10 cm) (COLETI; STUPIELLO, 2006; BEAUCLAIR; SCARPARI, 2006).

### **1.2.5 Controle de qualidade em operações de cana-de-açúcar**

O conceito de qualidade ainda é recente na agricultura, mas altamente aplicável, uma vez que as operações agrícolas são interdependentes, e a qualidade de uma operação afeta a subsequente. Existe a necessidade de adequação das empresas agrícolas ao conceito de qualidade, buscando maior rigor na implantação de sistemas de controle e acompanhamento da produção. Embora se observe a crescente expansão do setor sucroenergético no Brasil, ainda são limitadas as práticas e a utilização de métodos e de técnicas organizacionais de gestão (CAMPOS et al., 2008).

Para Gomes (2005), a aplicação de técnicas e de ferramentas adequadas, e a utilização dos conceitos de qualidade facilitam a tomada de decisão e, conseqüentemente, encaminham ao aumento de produtividade de maneira simples, rápida e eficaz, contribuindo para o aperfeiçoamento do trabalho gerencial agrícola.

O controle de qualidade em operações agrícolas é destinado a detectar variações ou oscilações indesejáveis durante a execução de determinada operação, com base em indicadores pré-selecionados ou confrontando-os a padrões especificados, com a finalidade de inibir a ocorrência de falhas, evitando gastos desnecessários com ações corretivas (MILAN; FERNANDES, 2002; SILVA et al., 2013).

As operações agrícolas, quando executadas fora dos padrões estabelecidos, pode influenciar na qualidade do processo, comprometendo sua continuidade. O controle de qualidade deve ser feito por meio de um conjunto de procedimentos, que promovam serviços e resultados, atendendo às exigências das máquinas e dos processos (PECHE FILHO, 1994).

Vieira et al. (2002) afirmam que dois produtos jamais serão idênticos em função da variabilidade do processo produtivo e que esta característica leva à definição de qualidade. Portanto, a qualidade pode ser entendida como redução da variabilidade, e pode ser analisada por meio do Controle Estatístico de Processo (CEP).

Campos (2007) avaliou a qualidade do espaçamento entre sulcos para dois métodos de orientação da operação de sulcação, utilizando ou não o piloto automático. Ambos os métodos ficaram fora de controle, não atendendo as especificações para a operação.

Lopes et al. (1995) estudaram a determinação de padrões de qualidade em operações agrícolas mecanizadas da cana-de-açúcar, sendo uma das operações a sulcação (plantio), na qual foram escolhidos determinados atributos para avaliação da qualidade: profundidade do sulco; largura da parte superior do sulco; largura da base do sulco; espaçamento entre sulcos e quantidade de solo mobilizado pela ponta do sulcador. A média da profundidade do sulco encontrada na pesquisa supracitada foi de 35,6 cm, valor este acima do padrão escolhido no caso, que foi de 30 cm.

Barros (2008), em seu trabalho de melhoria contínua no processo de plantio de semimecanizado de cana-de-açúcar, teve como principal objetivo identificar os fatores

críticos na garantia da qualidade operacional do plantio. Ao todo, identificaram-se 10 itens, dos quais apenas quatro foram definidos como críticos: paralelismo entre sulcos (uniformidade do espaçamento entre sulcos), gemas viáveis por metro de sulco, altura de cobertura e profundidade do sulco. Segundo o autor, os fatores relacionados à operação de sulcação (paralelismo, profundidade) e cobertura dos sulcos devem-se à inadequada regulação dos equipamentos. Já as falhas na quantidade de gemas viáveis por metro de sulco estão relacionadas à colheita de mudas e à qualidade do viveiro.

### 1.3 Referências

ANJOS, I. A.; FIGUEIREDO, P. A. M. Aspectos fitotécnicos do plantio. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. de; LANDELL, M. G. de A. (Ed). **Cana-de-açúcar**. 1. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 2008, p. 585-597.

BARBOSA, J. A.; SALVADOR, N.; SILVA, F. M. Desempenho operacional de derriçadores mecânicos portáteis, em diferentes condições de lavouras cafeeiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p.129-132, 2005.

BARROS, F. F. **A melhoria contínua no processo de plantio de cana de açúcar**. 2008. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2008.

BARROS, F. F.; MILAN, M. Qualidade operacional do plantio de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 221-229, 2010.

BEAUCLAIR, E. G. F.; SCARPARI, M. S. Noções fitotécnicas. In: RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C.; CASAGRANDE, D. V. (Ed.). **Plantio de cana-de-açúcar: estado da arte**. Piracicaba: Livrocere. 2006. p. 80-91.

BENEDINI, M. S.; CONDE, A. J. **Espaçamento ideal de plantio para a colheita mecanizada de cana-de-açúcar**. Revista Coplana, Guariba, n. 52, p. 26-28, 2008.

BONONI, M. M.; ROSA, R. F. Planejamento agrícola. In: SEGATO, S. V.; FERNANDES, C.; PINTO, A. S. (Ed.). **Expansão e renovação de canavial**. Piracicaba: CP2, 2007. cap. 2, p. 19-36.

BRIEGER, F. O.; PARANHOS, S. B. Técnica cultural. In: MALAVOLTA, E.; SEGALLA, A. L.; PIMENTEL GOMES, F.; BRIEGER, F. O.; PARANHOS, S. B.; RANZANI, G.; VALSECHI, O.; JUNQUEIRA, A. A. B.; CAMARGO, A. P.; BERGAMIN, J.; TOFFANO, W. B.; PEIXOTO, A. M.; LIMA, U. A.; DANTAS, B.; ORTOLANI, A. A.; HAAG, H. P.; LIMA, C. C. A.; OLIVEIRA, E. R. (Ed.). **Cultura e adubação da cana-de-açúcar**. São Paulo: Instituto Brasileiro de Potassa, 1964. cap. 6, p. 139-190.

CAMPOS, C. M. **Identificação e avaliação de variáveis críticas no processo de produção da cana-de-açúcar**. 2007. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2007.

CAMPOS, C. M.; MILAN, M.; SIQUEIRA, L. F. F. Identificação e avaliação de variáveis críticas no processo de produção da cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 554-564, 2008.

CARLIN, S. D.; SILVA, M. A.; PERECIN, D. Fatores que afetam a brotação inicial da cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 51, n. 296, p. 457-466, 2004.

CASAGRANDE, A. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: Funep, 1991.

CEBIM, G. J. **Plantio Mecânico de cana de açúcar (Sccharum spp.): desempenho operacional e econômico**. 2008. 101 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2008.

COLETI, J. T. Uma avaliação de espaçamentos reduzidos em cana-de-açúcar. **Stab**, Piracicaba, v. 12, n. 4, p. 18-23, 1994.

COLETI, J. T. Técnica cultural de plantio. In: PARANHOS, S. B. (Ed.) **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. cap. 3, p. 284-328.

COLETI, J. T.; STUPIELO, J. J. **Plantio da cana-de-açúcar**. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. (Ed.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. cap. 4, p. 139-153.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira da cana-de-açúcar 2007/2008: primeiro levantamento**. Brasília: Embrapa, 2007.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira: Cana-de-açúcar, terceiro levantamento, dezembro**. Brasília: Embrapa, 2014.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, v. 2 - Safra 2015/16, n. 1**. Brasília: Embrapa, 2015.

DIAS NETO, A. F.; MAGALHÃES, P. S. G.; BRAUNBECK, O. A. Aprimoramento de mecanismo dosador de rebolos para o plantio mecanizado de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 546-553, 2001.

DILLEWIJIN, C. V. **Botany of sugarcane**. Waltham, 1952.

DUARTE JÚNIOR, J. B.; GARCIA, R. F.; COELHO, F. C.; AMIM, R. T. Desempenho de trator-implemento na cana-de-açúcar em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 6, p.653–658, 2008.

GARCIA, M. A. L. **Avaliação de um sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar**. 2008. 78 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

GOMES, J. A. **Proposta metodológica para avaliação de colhedoras de batata (*Solanum tuberosum* L.) com base em parâmetros de qualidade**. 2005. 154 f. Tese (Doutorado em Máquinas Agrícolas) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

JANINI, D. A. **Análise operacional e econômica do sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.)**. 2007. 148 f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

LOPES, M. B.; MILAN, M.; COELHO, J. L. D. Qualidade em operações agrícolas mecanizadas na cultura da cana-de-açúcar. **Stab**, Piracicaba, v. 13, n. 3, p. 26-30, 1995.

MAGRO, C. R.; LACA-BUENDÍA, J. P. Efeito da profundidade de plantio no perfilhamento da cana-de-açúcar. **Fazu**, Uberaba, n. 7, p. 48-54, 2010.

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas para plantio**. Campinas: Millennium, 2012.

MILAN, M.; FERNANDES, R. A. T. Qualidade das operações de preparo do solo por controle estatístico de processo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 261-266, 2002.

NORRIS, C. P.; ROBOTHAM, B. G.; BULL, T. A. High density planting as an economic production strategy: A farming system and equipment requirements. **Proceeding Australian Society Sugar Cane Technologists**, Bundaberg, v. 22, p. 113-118, 2000.

OLIVEIRA, C. **Plantio mecanizado de cana-de-açúcar: aspectos operacionais e econômicos**. 2012. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

OLIVEIRA, R. A. **Análise de crescimento da cana-de-açúcar, na região noroeste do paraná**. 2004. 80 f. Dissertação (Curso de Pós-Graduao em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

PAULI, D. G. **Planejamento da qualidade do plantio mecanizado de cana de açucar**. 2009. 79 f. Dissertao (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

PECHE FILHO, A. Qualidade total na agricultura. In: SIMPÓSIO DE QUALIDADE TOTAL NA AGRICULTURA, 1., 1994, São Paulo. **Anais...** São Paulo: AEASP, 1994. p.19-35.

PESSAN, E. B.; SCARTOZZONI, E. **Plantio mecanizado de cana-de-açucar (saccharum spp.): uma abordagem geral**. 2012. 18 f. Monografia (Trabalho de graduao em Tecnologia Mecanizao em Agricultura de Precisão) – Faculdade de Tecnologia de Pompéia, Pompéia, 2012.

PINTO, A. C.; MORAES, E. E. Equipamento distribuidor de toletes de cana-de-açucar. In: SEMIMRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 7., 1999, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Copersucar. p. 223-231.

PLANA, R.; DOMINI, M. E.; ESPINOSA, R. Influencia de ls precipitaciones y la temperatura sobre la brotadura de dos variedades de caça de azucar (Saccharum sp híbrido) plantadas em diferentes meses. **Cultivos tropicales**, Habana, v. 9, n. 3, p. 19-24, 1987.

QUINTELA, A. C. R.; ANDRADE, L. A. B.; CARVALHO, G. J.; BOCARDO, M. R. Efeito do plantio de cana inteira, com e sem desponete, e da compactação pós-cobertura, em duas variedades de cana-de-açúcar. **Stab**, Piracicaba, v. 15, n. 3, p.22-24. 1997.

QUINTELA, A. C. R. **Avaliação do plantio convencional e de cana inteira, com e sem desponete, e da compactação pós-cobertura, em duas variedades de cana-de-açúcar**. 1996. 37 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1996.

RAVELI, M. B. **Controle de Qualidade no plantio de cana de açúcar**. 2013. 66 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2013.

RIPOLI, M. L. C.; TORREZAN, H. F.; RIPOLI, T. C. C. Plantio mecanizado do canavial, In: SEGATO, S. V.; FERNANDES, C.; PINTO, A.S. (Ed.). **Expansão e renovação de canavial**. Piracicaba: CP2, 2007. cap. 16, p. 257-280.

RIPOLI, T. C. C. **Relatório interno: ensaio da plantocana**. Piracicaba: Motocana, 1978.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa da cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. 2 ed. Piracicaba: Os autores, 2009.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C.; CASAGRANDE, D. V.; IDE, B. Y. **Plantio de cana-de-açúcar: estado da arte**. Piracicaba: Os autores, 2006.

ROBOTHAM, B. **Final report - SRDC project BS145S: Improving sett/soil contact to enhance sugarcane establishment**. Sugar Research Australia Ltd, 2000. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11079/942>>. Acesso em: 20 mai. 2015.

ROBOTHAM, B. G. Sugarcane planters: characteristics of different types, soil disturbance and crop establishment. **Proceeding Australian Society Sugar Cane Technology**, Bundaberg, v. 26, p. 1-9, 2004.

SCOPINHO, R. A. Controle social do trabalho no setor sucroalcooleiro: reflexões sobre o comportamento das empresas, do Estado e dos movimentos sociais organizados. **Cadernos de Psicologia Social do Trabalho**, São Paulo, v. 7, p. 11-29, 2004.

SERAFIM, L. G. F. STOLF, R.; SILVA, J. R.; SILVA, L. C. F.; MANIERO, M. A. Influência do plantio mecanizado no índice de brotação da cana-de-açúcar. In: X CONGRESSO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, XL CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2012. Anais... Londrina: Sbea, 2012. P. 1-4.

SILVA, R. P.; CASSIA, M. T.; VOLTARELLI, M. A.; COMPAGNON, A. M.; FURLANI, C. E. A. Qualidade da colheita mecanizada de feijão (*Phaseolus vulgaris*) em dois sistemas de preparo do solo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 61-69, 2013.

SILVA, M. A.; JERONIMO, E. M.; LUCIO, A. D. Perfilhamento e produtividade de cana-de-açúcar com diferentes alturas de corte e épocas de colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 8, p. 979-986, 2008.

SOUZA, C. M. A.; QUEIROZ, D. M.; RAFULL, L. Z. L. Derriçadora portátil na colheita total e seletiva de frutos do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 11, p. 1637-1642, 2006.

STOLF, R.; FERNADES, J.; FURLANI NETO, V. L. Influência do plantio mecanizado no índice de germinação da cana de açúcar. **Stab**, Piracicaba, v. 2, n. 5, p. 18-25, 1984.

SUGUITANI, C. **Entendendo o crescimento e produção da cana-de-açúcar: avaliação do modelo Mosaic**. 2006. 60 f. Dissertação (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

VIEIRA, S. R.; MILLETE, J.; TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p. 1-45.

ZOIA, R. M. **Qualidade de sistemas de plantio em cultivares de cana-de-açúcar**. 2013. 49 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2013.

## **CAPÍTULO 2 - Sistema de distribuição de rebolos de um protótipo para plantio mecanizado de cana-de-açúcar**

### **Billet distribution system of a prototype for mechanized planting sugarcane**

**RESUMO** – A plantadora mecanizada de cana-de-açúcar executa simultaneamente as operações de sulcação, aplicação de fertilizantes, distribuição das mudas e cobrição dos sulcos. Objetivou-se avaliar a qualidade e a uniformidade da distribuição de rebolos, bem como os danos causados às gemas, para um protótipo de plantadora de cana-de-açúcar. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x2, totalizando 4 tratamentos, sendo os mesmos compostos por duas velocidades de plantio (5,0 e 6,5 km h<sup>-1</sup>) e duas rotações da esteira distribuidora de rebolos (50 e 100% - o que representa 45 e 85 rpm na polia da esteira), com 20 repetições por tratamento. Foram avaliados: número de rebolos m<sup>-1</sup>, gemas totais m<sup>-1</sup>, gemas viáveis m<sup>-1</sup>, e gemas danificadas (%). O sistema de distribuição da plantadora apresentou uniformidade na distribuição de rebolos, havendo baixa danificação das gemas. O aumento da velocidade de trabalho diminuiu a quantidade de rebolos, gemas totais e viáveis. E o aumento da rotação da esteira distribuidora eleva estes fatores.

**Palavras-chave:** Controle estatístico de processo. Mecanização agrícola. Velocidade de plantio. *Saccharum officinarum*.

**ABSTRACT** – The mechanized planter sugarcane run simultaneously furrow operations, fertilizer application, distribution of seedlings and mating grooves. Aimed to evaluate the quality and uniformity of distribution of grinding wheels, as well as damage to gems, to a prototype planter sugarcane. The experimental design was completely randomized in a 2x2 factorial, totaling 4 treatments, and they are composed of two planting speeds (5.0 and 6.5 km h<sup>-1</sup>) and two rotations of the distributor belt billet (50 and 100% - which represents 45 to 85 rpm in the wake of the pulley), with 20 repetitions per treatment. They were assessed: number of billets m<sup>-1</sup>, m-1 buds total viable gems m<sup>-1</sup>, and damaged gems (%). The distribution system of the planter showed uniformity in the distribution billets, with low damage to the gems. Increased working speed decreased the amount of grinding billets, total and viable gems. And the increase of the rotating distributor conveyor raises these factors.

**Key words:** Statistical process control. Agricultural mechanization. Planting speed. *Saccharum officinarum*.

## INTRODUÇÃO

O Brasil deverá produzir 654,6 milhões de toneladas de cana-de-açúcar na safra 2015/2016, em área aproximada de nove milhões de hectares. A estimativa é de que a produção do país tenha um incremento de 3,1% em relação à safra passada e só não será maior porque o aumento na área plantada no país é relativamente pequeno (0,7%) e a produtividade nos canaviais de São Paulo, maior estado produtor, se recuperam de um impacto hídrico da safra passada (CONAB, 2015). O setor sucroenergético brasileiro engloba sete estados, responsáveis por tornar o Brasil maior produtor e exportador mundial de cana-de-açúcar e etanol (BOTTEGA *et al.*, 2013).

O sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar é caracterizado pela operação realizada pela plantadora, que executa simultaneamente as operações de sulcação, aplicação de fertilizantes, distribuição correta das mudas, aplicação de defensivos agrícolas e cobertura dos sulcos (RIPOLI *et al.*, 2007), que segue algumas recomendações agronômicas convencionais com espaçamento entre fileiras variando de 1,0 a 1,60 m, além do espaçamento combinado, com linhas duplas distantes de 0,40 a 0,50 m entre si e 1,40 entre as duplas (COLETI; STUPIELO, 2006).

A densidade de gemas que se tem utilizado é de 12 por metro de sulco, de acordo com as determinações do produtor e da variedade da cana-de-açúcar (BEAUCLAIR; SCARPARI, 2006). Muitos produtores usam de 18 a 22 gemas por metro de sulco procurando melhorar o estande de plantas, como forma de assegurar que a qualidade final das mudas permita a relação de 12 gemas por metro de sulco, sendo as demais inviabilizadas durante o processo (RAVELI, 2013).

O uso de indicadores de qualidade para as operações agrícolas canavieiras vem sendo aplicado no Brasil desde a década de 1990, por meio de estudos sobre o preparo do solo, aplicação de defensivos, calagem, plantio e colheita. Campos *et al.* (2008), Silva *et al.* (2008), Barros e Milan (2010), Noronha *et al.* (2011), Cassia *et al.* (2014) e Ramos *et al.* (2014) enumeram vários indicadores de qualidade nas operações mecanizadas em cana-de-açúcar. O

monitoramento por meio do controle estatístico de processo pode aumentar os níveis de qualidade da operação.

A velocidade de plantio é um fator importante por proporcionar maior capacidade de trabalho (MELO *et al.*, 2013), fator este desejável pelos produtores. A uniformidade da distribuição de rebolos é afetada pela velocidade de plantio, pois a máquina terá que executar as operações de maneira adequada, fato que não pode prejudicar o desempenho e danificação dos órgãos vegetativos durante sua distribuição.

A rotação da esteira distribuidora, assim como a uniformidade de distribuição pela mesma, é fundamental, pois, ao se alterar a velocidade de plantio, será necessário ajustar a rotação da esteira para manter a mesma distribuição de rebolos, bem como de gemas. Assim, é necessário que se ajuste a relação entre a velocidade de plantio e a rotação da esteira distribuidora, pois o sistema de distribuição é o principal responsável pelo sucesso da operação realizada pela plantadora.

Assim, objetivou-se avaliar a uniformidade da distribuição de rebolos, bem como os danos causados às gemas, para um protótipo de plantio mecanizado de cana-de-açúcar, em função da velocidade de plantio e da rotação da esteira distribuidora.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi realizado no mês de janeiro de 2013, no município de Nova Europa, SP, em área localizada nas proximidades das coordenadas latitude 21°46'3,69" S e longitude 48°36'47,83" O, com altitude média de 545 m. O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, textura média a média argilosa, segundo metodologia descrita em Embrapa (2013). A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a CTC4.

O plantio mecanizado de cana-de-açúcar foi realizado por um protótipo de plantio de cana-de-açúcar picada de duas fileiras de plantio, que realiza as operações do plantio (abertura de sulco, aplicação de fertilizante, distribuição de mudas, aplicação de inseticida, fechamento e compactação do sulco), em duas fileiras simultaneamente, e que no momento do plantio, trabalhou sem o mecanismo de fechamento e compactação do sulco, para facilitar as medições das variáveis analisadas; acoplada em um trator Valtra BT 210 4x2 TDA, com potência de 154,4 kW (210 cv) no motor a 2200 rpm.

Os modelos de plantadoras de cana-de-açúcar picada presentes no mercado nacional apresentam mecanismos distribuidores compostos por uma ou duas esteiras com taliscas, que são equipadas com defletor central para direcionamento dos rebolos no momento da distribuição. O protótipo utilizado apresenta novo sistema distribuidor de rebolos, que é composto por um fundo móvel, caçamba dosadora rotativa e esteira única de alimentação da bica de saída.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 2x2, totalizando 4 tratamentos, sendo os mesmos compostos por duas velocidades de plantio (5,0 e 6,5 km h<sup>-1</sup>) e duas rotações da esteira distribuidora de rebolos (50 e 100% - o que representa 45 e 85 rpm na polia da esteira), com 20 repetições por tratamento, cada repetição composta por amostras das duas fileiras de plantio (direita e esquerda), espaçadas entre si em 30 m no comprimento das linhas.

Os rebolos utilizados foram caracterizados por meio da coleta de 30 unidades no interior do caminhão transbordo e da plantadora, apresentando média de 433 mm de comprimento, 25 mm de diâmetro, 212 g de massa, 2,3 gemas por rebolo, com 89% de viabilidade. A danificação das gemas foi causada pela operação de colheita mecanizada (10,9%), sendo que os danos no transporte até a plantadora foram praticamente nulos (< 0,1%).

O número de rebolos foi contabilizado após o plantio, por contagem direta, em quatro metros nos sulcos de avaliação. Para maior controle experimental, somente um avaliador fez a contagem para cada tratamento (20 repetições).

O número de gemas totais foi contabilizado por contagem direta nos mesmos rebolos obtidos anteriormente, distribuídos nos quatro metros de avaliação, referente aos sulcos de plantio (esquerdo e direito).

O número de gemas viáveis foi contabilizado por contagem direta nos mesmos rebolos obtidos para o número de gemas totais, nos quatro metros de avaliação nos dois sulcos. Foi considerada como gema viável aquela que não apresentou danos causados por pragas e doenças, e também prováveis fragmentações, desde a colheita até os sulcos de plantio.

As gemas inviáveis foram obtidas pela diferença entre as gemas totais e as gemas viáveis, calculando-se assim a porcentagem de gemas danificadas em relação às gemas totais.

O teor de água do solo foi medido no momento do ensaio da plantadora, conforme metodologia descrita em Embrapa (1997), na faixa de profundidade mobilizada pelos

sulcadores, que apresentou 9,9% na camada 0-15 cm, 12,5% na camada 15-30 cm, e 10,1% na camada 30-45 cm.

Os dados foram processados pelo programa Minitab® 16. Foi feita análise descritiva para a determinação das medidas de tendência central (média e mediana) e dos coeficientes de variação, assimetria e curtose, para estudar o comportamento das variáveis estudadas. A dispersão foi classificada de acordo com a magnitude do coeficiente de variação (CV), conforme Pimentel-Gomes e Garcia (2002), sendo baixa para valor de CV menor que 10%; média, quando entre 10 e 20%; alta, quando entre 20 e 30%, e muito alta, se maior que 30%.

Os resultados foram submetidos ao teste de normalidade de Anderson-Darling e as variáveis que apresentaram distribuição assimétrica foram transformadas. Os modelos de ajuste dos dados foram:  $Y' = \ln Y$  para a variável número de rebolos; e  $Y' = \frac{1}{\sqrt{Y}}$  para a variável gemas totais e gemas viáveis.

Os dados transformados foram submetidos à análise de variância, pelo teste F, a 5% de probabilidade. Quando o teste F foi significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, no programa Sisvar 4.3.

A análise da variabilidade foi realizada pelo controle estatístico de processo, com auxílio do programa Minitab® 16. As ferramentas utilizadas foram as cartas de controle por variáveis, utilizando como indicadores as variáveis anteriormente descritas, com os dados não normalizados. Nas cartas, foram definidos os valores médios, e os limites superiores (LSC) e inferiores (LIC) de controle, sendo estes últimos definidos pela média geral da variável  $\pm$  três vezes o desvio padrão. Quando o cálculo do LIC resultou em valores negativos, o mesmo foi considerado como valor nulo, pois para as variáveis em estudo os valores negativos não possuem nenhum significado físico.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A variável gemas danificadas  $m^{-1}$  (Tabela 1) apresentou distribuição normal dos dados. As demais variáveis apresentaram distribuição assimétrica de probabilidade.

Para as variáveis rebolos  $m^{-1}$ , gemas totais e viáveis  $m^{-1}$ , e gemas danificadas (%), os valores de média e mediana são bastante distintos entre si, indicando alta dispersão dos dados,

assim como os valores de amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação, sendo este último classificado como muito alto (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002).

**Tabela 1 - Parâmetros de estatística descritiva para as variáveis analisadas.**

Média	Mediana	A	$\sigma$	CV	Cs	Ck	AD
Rebolos m <sup>-1</sup>							
10,4	9,5	19,3	4,13	39,7	1,10	0,99	1,978 <sup>A</sup>
Gemas totais m <sup>-1</sup>							
23,8	20,0	49,5	10,22	43,0	1,30	1,55	3,162 <sup>A</sup>
Gemas viáveis m <sup>-1</sup>							
19,2	16,7	40,8	8,00	41,7	1,31	1,76	2,811 <sup>A</sup>
Gemas danificadas (%)							
6,0	5,5	12,0	2,39	40,0	0,59	0,25	0,606 <sup>N</sup>

A: amplitude;  $\sigma$ : desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%); Cs: coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose; AD: valor do teste de normalidade de Anderson-Darling; <sup>A</sup>: distribuição Assimétrica; <sup>N</sup>: distribuição Normal.

Pelos coeficientes de assimetria, verifica-se que as distribuições assimétricas dos dados estão à direita, com grau de assimetria elevado, exceto para gemas danificadas, que possui grau moderado. Essa informação é confirmada pelos coeficientes de curtose, indicando a distribuição dos dados como sendo uma curva denominada de leptocúrtica, ou seja, mais alongada em relação a normal.

Existe associação entre os coeficientes de curtose e assimetria para prever o comportamento de dados que são monitorados ao longo do tempo, podendo estes inferir na variabilidade e/ou distribuição dos resultados lógicos de determinado processo ou operação (BAI; NG, 2005).

Para as gemas danificadas, apesar do coeficiente de variação ser muito alto, tal assimetria não foi suficiente para tornar a distribuição dos dados não normal, fato este que pode ser confirmado pelo teste de distribuição de frequência de probabilidade de Anderson-Darling. Resultados semelhantes foram encontrados por Voltarelli *et al.* (2013) caracterizando indicadores de qualidade em operações agrícolas mecanizadas, na qual a variação dos dados é elevada.

Pelos dados da análise de variância, observa-se que ao se elevar a rotação da esteira, obtemos maior taxa de distribuição de rebolos, contudo, não se trata de uma relação diretamente

proporcional, ou seja, ao dobrar a rotação da esteira não dobra o número exato de rebolos  $m^{-1}$ , sendo esse aumento de 53% (Tabela 2). Para a esteira com rotação máxima, a quantidade de rebolos  $m^{-1}$  reduz com o incremento na velocidade de plantio, fato que reforça a necessidade de a regulagem da rotação da esteira ser algo dinâmico, ou seja, ao passo que o operador altera a velocidade de plantio, se faz necessário que a rotação da esteira compense esta variação, mantendo a taxa de distribuição de rebolos desejada.

**Tabela 2 - Análise de variância e teste de médias para as variáveis analisadas.**

Fatores	Rebolos por metro	Gemas por metro		Gemas danificadas (%)
		Totais	Viáveis	
Velocidade de plantio ( $km\ h^{-1}$ ) (V)				
5,0	11,2 a	24,6	20,0	5,1
6,5	9,7 b	22,9	18,5	6,8
Rotação da esteira (R)				
50%	8,2 b	17,5	14,5	4,8
100%	12,6 a	30,0	23,9	7,1
Teste de F				
V	5,189*	0,267 <sup>ns</sup>	0,361 <sup>ns</sup>	18,430*
R	29,883*	55,153*	46,389*	32,885*
V x R	1,643 <sup>ns</sup>	5,901*	5,838*	16,425*
CV (%)	13,91	14,67	14,85	29,66

Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>ns</sup>Não significativo; \*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de F. CV (%): coeficiente de variação.

Nos tratamentos velocidade de trabalho e rotação da esteira ocorreu a interação para as variáveis gemas totais, gemas viáveis, e gemas danificadas, sendo os dados desdobrados na Tabela 3.

Ao dobrar a rotação da esteira dosadora, aumenta-se a quantidade de gemas totais, tanto para a velocidade de 5  $km\ h^{-1}$  (aumento de 96%), quanto para a velocidade de 6,5  $km\ h^{-1}$  (aumento de 48%) (Tabela 3). Mantendo-se a rotação constante (100%) e aumentando a velocidade de trabalho, têm-se uma redução do número de gemas, evidenciando novamente a

necessidade de a esteira ser regulada. Esta situação ocorre também para a variável gemas viáveis (Tabela 3), por estar relacionada com às gemas totais.

**Tabela 3 - Desdobramento da interação entre os fatores velocidade de trabalho e rotação da esteira para as variáveis gemas totais  $m^{-1}$ , gemas viáveis  $m^{-1}$ , e gemas danificadas (%).**

Rotação da esteira	Velocidade de plantio ( $km\ h^{-1}$ )	
	5,0	6,5
<b>Gemas totais <math>m^{-1}</math></b>		
50%	16,6 A b	18,4 A b
100%	32,6 A a	27,4 B a
<b>Gemas viáveis <math>m^{-1}</math></b>		
50%	13,8 A b	15,2 A b
100%	26,1 A a	21,7 B a
<b>Gemas danificadas (%)</b>		
50%	4,8 A a	4,9 A b
100%	5,4 B a	8,7 A a

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, para cada variável, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A densidade média de gemas que estão sendo adotadas nos plantios mecanizados de cana-de-açúcar é de 12 gemas  $m^{-1}$  de sulco, dependendo da variedade e do desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar (BEAUCLAIR; SCARPARI, 2006). Para o presente trabalho, as médias foram superiores, sendo que na velocidade de 5,0  $km\ h^{-1}$ , com a esteira em 50% de rotação, obteve-se o valor mais próximo (16,6 gemas  $m^{-1}$ ) (Tabela 3).

As gemas danificadas (Tabela 3) foram maiores quando se aumentou a velocidade de plantio, para a rotação da esteira em 100%, pois a alta rotação da mesma danifica um maior número de gemas. Para a velocidade de 5  $km\ h^{-1}$ , não houve aumento nos danos às gemas ao elevar-se a rotação da esteira. Já na velocidade de plantio de 6,5  $km\ h^{-1}$ , o aumento da rotação provocou aumento em 3,8% de gemas danificadas.

Porém, a porcentagem de gemas danificadas pela operação de plantio é baixa, o que não prejudicará na brotação da cana-de-açúcar, uma vez que a qualidade da muda é fundamental neste processo (NORONHA, 2012). Esta baixa danificação pode ser atribuída à variedade utilizada (CTC4), que é apta ao plantio mecanizado, e apresenta boa quantidade de palha nos

colmos, protegendo às gemas contra danificações, principalmente pelos mecanismos distribuidores de rebolos.

De acordo com Lai *et al.* (2011), a colheita mecanizada é a maior causa de diminuição da porcentagem de gemas viáveis designadas à operação de plantio de cana-de-açúcar. Os autores, por meio de simulação, constataram que, para haver menores índices de danos na colheita mecanizada, é necessário utilizar nova concepção do mecanismo de sustentação do corte basal que proporcione maior qualidade à operação.

Para as análises de uniformidade (Figuras 1 e 2), a distribuição de rebolos permite observar uniformidade entre os sulcos direito e esquerdo para todos os tratamentos. À medida que se aumentou a rotação da esteira distribuidora, a variação no processo foi sensivelmente alterada, fato que pode ser observado pelo aumento na amplitude entre os limites (rotação da esteira de 100%). Entretanto, tal variação não se mostrou prejudicial à uniformidade da operação, uma vez que em apenas um ponto, os resultados extrapolaram os limites de controle, podendo-se considerar então, que a plantadora mantém um padrão de distribuição de rebolos (Figura 1a).

A uniformidade da distribuição se manteve ao longo do tempo de plantio. Desta forma, não se observa nenhum tipo de tendência a prejudicar a distribuição conforme a redução da carga de mudas no interior da plantadora, o que destaca a capacidade de o depósito de rebolos atender a esteira distribuidora de maneira satisfatória.

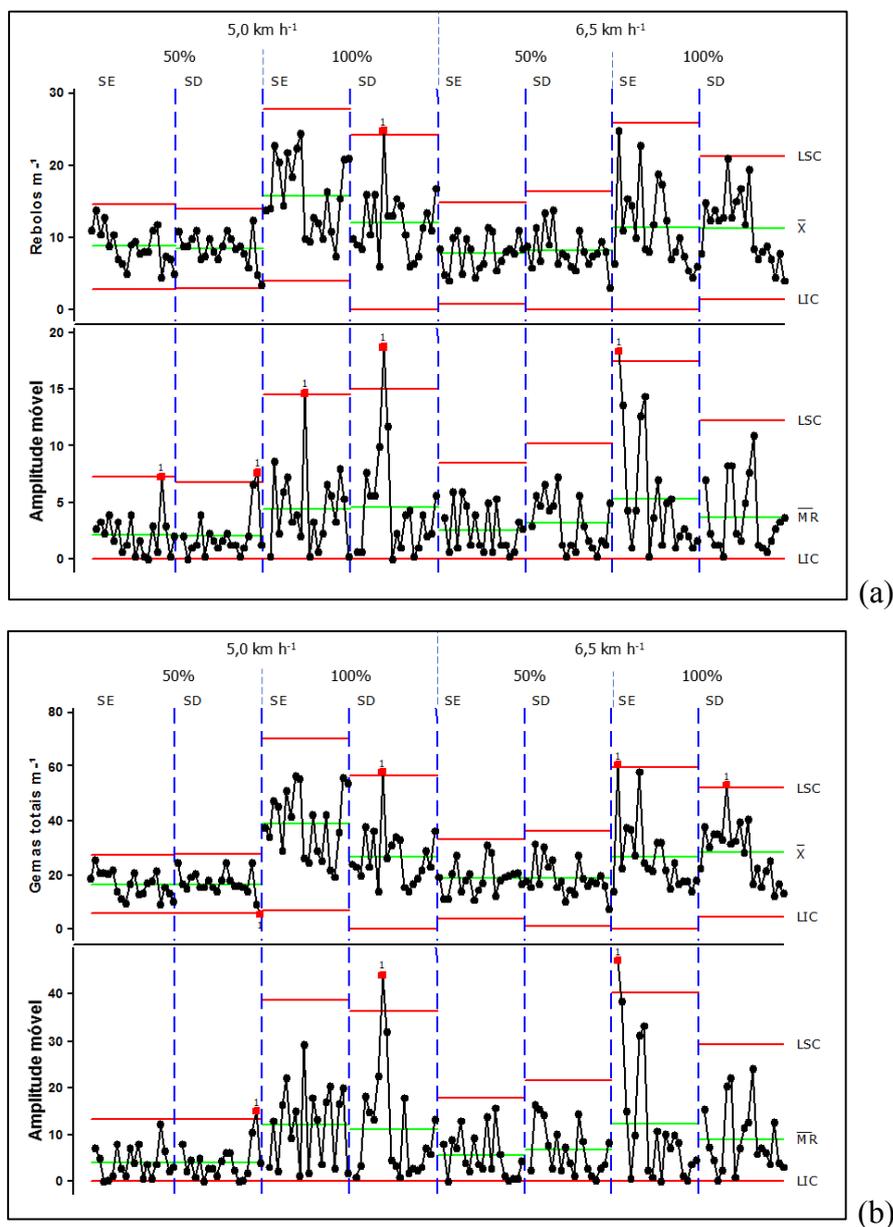
A amplitude de distribuição dos dados, apesar de estarem dentro dos limites de controle, é reflexo da deficiência dos mecanismos distribuidores, sendo o maior desafio das plantadoras, devido à variabilidade da dimensão dos rebolos (RIPOLI; RIPOLI, 2010). Os autores avaliaram cinco plantadoras de cana-de-açúcar, observando em todas as máquinas a mesma dificuldade.

Para gemas totais (Figura 1b), foi observada maior amplitude na variação para rotação da esteira em 100%, com a ocorrência de pontos acima e abaixo dos limites de controle, mostrando a influência de causas externas ao mesmo, fato que pode estar atribuído a fatores como a falta de pressão no sistema hidráulico do trator, ou a desuniformidade das gemas por rebolo.

De qualquer forma, essas observações caracterizam ocorrências isoladas dentro de um grande número de amostras, devendo-se atentar apenas para a maior vulnerabilidade da operação, não sendo, entretanto, prejudicial à uniformidade da distribuição obtida pela

plantadora. Resultados semelhantes também foram observados para a variável gemas viáveis (Figura 2a).

**Figura 1 – Cartas de controle para as variáveis: rebolos  $m^{-1}$  (a); e gemas totais  $m^{-1}$  (b)**

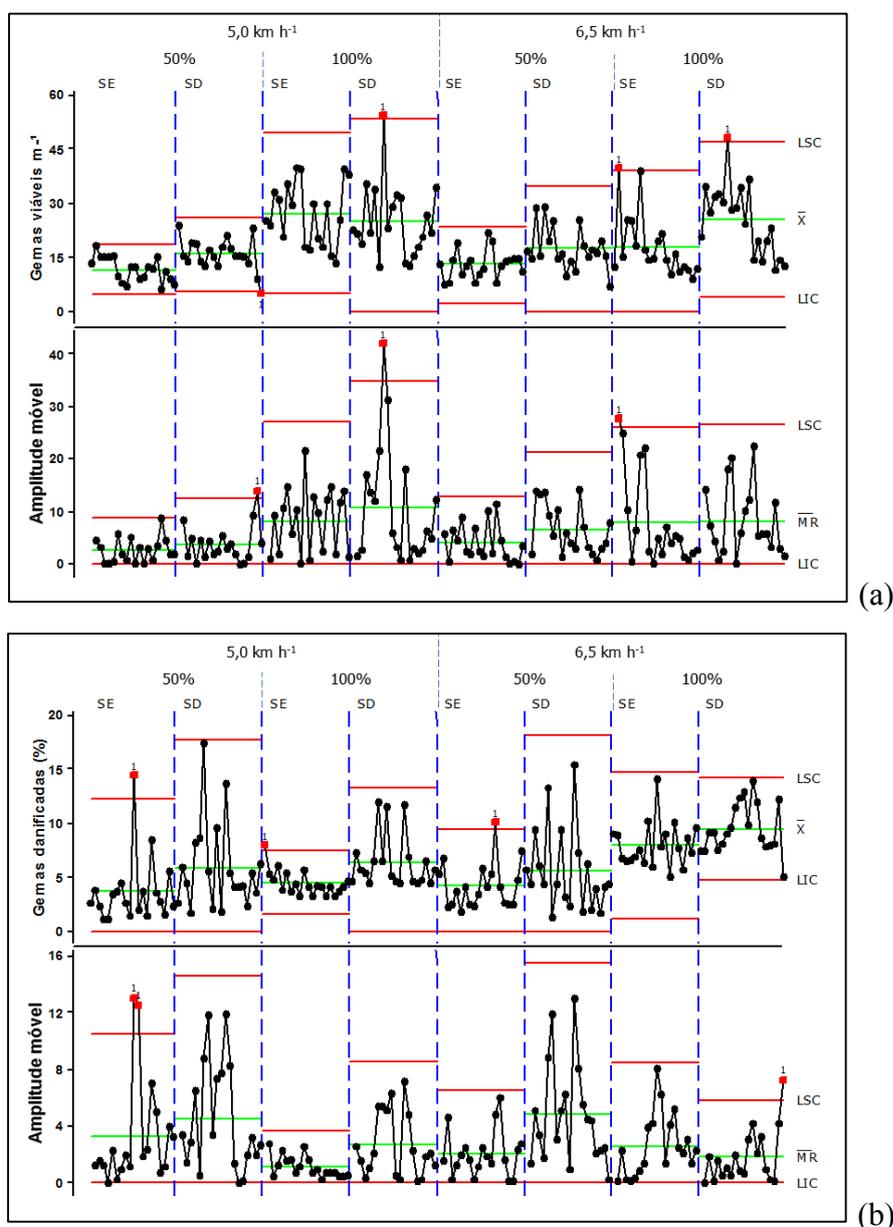


SE: Sulco esquerdo; SD: sulco direito; LSC: limite superior de controle; LIC: limite inferior de controle; X: média dos valores individuais; MR: amplitude móvel.

A qualidade do plantio de cana-de-açúcar com mudas provenientes da colheita mecanizada, pode ser reduzida devido à quantidade de gemas alocadas nos sulcos de plantio (ORGERON *et al.*, 2007), podendo esta situação ocorrer para o presente trabalho se o monitoramento contínuo do plantio não for realizado criteriosamente.

Para as gemas danificadas (Figura 2b), observa-se pontos fora dos limites de controle para a velocidade de 5 km h<sup>-1</sup>, no sulco esquerdo de plantio, pontos estes sujeitos apenas à ação de causas naturais. Estes resultados indicam a necessidade de maior controle na velocidade de plantio de cana-de-açúcar, o que pode ser conseguido atuando-se nos seguintes fatores: matéria-prima, método, medição e máquina, fatores estes dentro dos “6 M’s”, como são conhecidos em estudos de controle estatístico de processo.

**Figura 2 – Cartas de controle para as variáveis: gemas viáveis m<sup>-1</sup> (a); e gemas danificadas (%) (b)**



SE: Sulco esquerdo; SD: sulco direito; LSC: limite superior de controle; LIC: limite inferior de controle; X: média dos valores individuais; MR: amplitude móvel.

A qualidade da muda é fundamental para a brotação da cana-de-açúcar, assim o baixo percentual médio de gemas danificadas (ou inviáveis) contribuiu para que a operação de plantio estivesse sob controle, fato também observado por Noronha (2012).

## CONCLUSÕES

O sistema de distribuição da plantadora apresentou uniformidade na distribuição de rebolos, havendo baixa danificação das gemas. O aumento da velocidade de trabalho diminuiu a quantidade de rebolos, gemas totais e viáveis. E o aumento da rotação da esteira distribuidora eleva estes fatores.

## REFERÊNCIAS

- BAI, J.; NG, S. Tests for skewness, kurtosis, and normality for time series data. **Journal of Business & Economic Statistics**, v. 23, n. 1, p. 49-60, 2005.
- BARROS, F. F.; MILAN, M. Qualidade operacional do plantio de cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 221-229, 2010.
- BEAUCLAIR, E. G. F.; SCARPARI, M. S. Noções fitotécnicas. *In*: RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C.; CASAGRANDE, D. V. **Plantio de cana-de-açúcar: estado da arte**. Piracicaba: Livroceres, 2006. Cap. 4, p. 80-91.
- BOTTEGA, E. L. Estimativa do custo horário das operações de campo de dois sistemas de plantio de cana-de-açúcar. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 2, n. 2, p. 251-259, 2013.
- CAMPOS, C. M. *et al.* Identificação e avaliação de variáveis críticas no processo de produção da cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 3, p. 554-564, 2008.
- CASSIA, M. T. *et al.* Desgaste das facas do corte basal na qualidade da colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v. 44, n. 6, p. 987-993, 2014.
- COLETI, J. T.; STUPIELO, J. J. Plantio de cana-de-açúcar. *In*: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. (Ed). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. Cap 4, p. 139-153.

- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, v.2 - Safra 2015/16, n.1.** Brasília: Embrapa, 2015. 28p.
- EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo.** Manual de métodos e análise de solo. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212p.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: Embrapa, 2013. 353p.
- LAI, X. *et al.* Simulation and experimental study on sugarcane field excitation to the cutter. **Advanced Materials Research**, v. 156-157, p. 1105-1108, 2011.
- MELO, R. P. *et al.* Qualidade na distribuição de sementes de milho em semeadoras em um solo cearense. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 1, p. 94-101, 2013.
- NORONHA, R. H. F. *et al.* Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada diurna e noturna de cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 70, n. 4, p. 931-938, 2011.
- NORONHA, R. H. F. **Qualidade da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar em sistema meiosi.** 2011. 38 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2011.
- ORGERON, A. J. *et al.* Planting rate effects on sugarcane yield trials. **Journal of the American Society of Sugar Cane Technologists**, v. 27, p. 23-34, 2007.
- PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos.** Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.
- RAMOS, C. R. G. *et al.* Qualidade da colheita mecanizada de cana-de-açúcar em função da velocidade de deslocamento e rotação do motor da colhedora. **Energia na Agricultura**, v. 29, n. 2, p. 87-94, 2014.
- RIPOLI, M. L. C.; RIPOLI, T. C. C. Evaluation of five sugar cane planters. **Engenharia Agrícola**, v.30, p.1110-1122, 2010.
- RIPOLI, T. C. C; RIPOLI, M. L. C; CASAGRANDE, D. V.; IDE, B. Y. **Plantio de cana-de-açúcar: estado da arte.** 2. ed. Piracicaba: Edição dos autores, 2007, 722 p.
- SILVA, R. P. *et al.* Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 2, p. 292-304, 2008.
- VOLTARELLI, M. A. *et al.* Quality of performance of the operation of sugarcane mechanized planting in day and night shifts. **Australian Journal of Crop Science**, v. 7, n. 9, p. 1396-1406, 2013.

### **CAPÍTULO 3 - Uniformidade da operação de um protótipo para plantio mecanizado de cana-de-açúcar**

#### **Uniformity of operation of a prototype for mechanized planting sugarcane**

**RESUMO** - A plantadora mecanizada de cana-de-açúcar deve executar, simultaneamente, as operações de sulcação, aplicação de fertilizantes, distribuição das mudas e cobrição dos sulcos. Assim, objetivou-se avaliar as etapas da operação de plantio, desde a abertura, dimensões e formato do sulco; a uniformidade da distribuição de mudas; e o fechamento do sulco, de um protótipo de plantadora em função da velocidade de plantio e profundidade de sulcação. Foi adotado o delineamento inteiramente casualizado, fatorial 2x2, com duas velocidades de plantio (5,0 e 6,5 km h<sup>-1</sup>) e duas profundidades de sulcação (0,35 e 0,45 m), com 20 repetições. As variáveis analisadas foram: número de rebolos m<sup>-1</sup>, número de gemas totais e viáveis m<sup>-1</sup>, gemas inviáveis (%), profundidade de sulcação, largura do sulco, área mobilizada e altura de cobrição. Os resultados foram submetidos à análise descritiva, análise de variância e ao controle estatístico de processo. O aumento da velocidade de plantio acarretou incremento na área mobilizada e diminuição da altura de cobrição. O aumento da profundidade de sulcação acarretou incremento na área mobilizada, largura do sulco, profundidade de sulcação e altura de cobrição. A operação de plantio manteve padrões de uniformidade quanto à abertura de sulco, distribuição de mudas e altura de cobrição, nas profundidades de plantio e velocidade de operação.

**Palavras-chave:** Velocidade de plantio. Profundidade de sulcação. Controle estatístico de processo. *Saccharum officinarum*.

**ABSTRACT** – The mechanized planter sugarcane must perform both operations furrow, fertilizer application, distribution of seedlings and mating grooves. Thus, it aimed to evaluate the steps of the planting operation, since the opening, dimensions and groove format; the uniformity of distribution of seedlings; and the groove is closed, a planter prototype depending on planting speed and depth of furrow. It was adopted a completely randomized design factorial 2x2, with two planting speeds (5.0 and 6.5 km h<sup>-1</sup>) and two depths of furrow (0.35 and 0.45 m), with 20 repetitions. The variables analyzed were: number of billets m<sup>-1</sup>, total number and viable gems m<sup>-1</sup>, unviable gems (%), depth of furrow, groove width, mobilized area and mating height.

The results were submitted to descriptive analysis, analysis of variance and statistical quality control. Increased planting speed caused increase in mobilized area and decreased mating height. The increased depth furrow entailed increase in the immobilized area, groove width, depth and furrow mating height. The planting operation kept uniform standards on the ridge opening, distribution of seedlings and mating time in the planting depths and speed of operation.

**Key words:** Planting speed. Depth furrows. Statistical process control. *Saccharum officinarum*.

## INTRODUÇÃO

Dentre as operações envolvidas no sistema de produção agrícola da cana-de-açúcar, atualmente todas podem ser mecanizadas. Porém, a opção de mecanização total das operações de plantio tornou-se disponível somente há alguns anos, pois até então, eram em sua grande maioria, executadas de forma semimecanizada, com distribuição manual das mudas (JANINI, 2008).

Para atender o aumento da demanda de etanol e açúcar nos mercados interno e externo, diversas áreas do setor sucroenergético já se movimentam num processo que avança, principalmente para a área de plantio mecanizado, devido aos aumentos significativos de áreas cultivadas, para suprir a falta de mão de obra, e redução dos custos de produção (CEBIM *et al.*, 2012).

Segundo Serafim *et al.* (2013), são três as etapas fundamentais do plantio mecanizado: 1 - colheita mecanizada das mudas; 2 - transporte e transferência das mesmas (feita com tratores ou caminhões que possuem carreta basculante, conhecida como transbordos; e 3 - plantio com a plantadora. Com essas etapas mecanizadas as mudas passaram a ser submetidas à danos adicionais às gemas. Assim, muitos produtores utilizam de 18 a 22 gemas por metro de sulco no plantio, como forma de assegurar que a qualidade final das mudas permita a relação de 12 gemas por metro de sulco, sendo as demais gemas inviabilizadas durante o processo (RAVELI, 2013).

O sulco profundo para o plantio de cana-de-açúcar é tradicionalmente usado para a cultura. A sulcação é realizada na profundidade entre 0,25 a 0,40 m (MARQUES; PINTO, 2013). A altura de cobertura sobre às mudas varia entre 0,05 a 0,10 m, podendo variar em função da variedade e da época de plantio. Plantios de verão devem receber uma cobertura menos

espessa (0,05 a 0,07 m) prevenindo-se assoreamentos indesejáveis. Plantios tardios (outono em diante) estariam mais bem protegidos de uma possível estiagem com uma cobertura mais espessa (0,08 a 0,10 m) (COLETI; STUPIELLO, 2006).

Para Barros e Milan (2010), a operação agrícola executada fora dos padrões estabelecidos pode influenciar na qualidade do processo, comprometendo sua continuidade. Os autores estudaram o processo de melhoria contínua no plantio da cana-de-açúcar visando identificar os fatores críticos. Com as melhorias, observaram aumento dos valores dentro dos limites desejados. Trabalhos semelhantes utilizando controle estatístico de processo em cana-de-açúcar podem ser vistos em Campos *et al.* (2008), Silva *et al.* (2008), Noronha *et al.* (2011), Cassia *et al.* (2014) e Ramos *et al.* (2014).

A velocidade de plantio pode interferir na distribuição de mudas. Além disso, ao se variar a velocidade, a máquina deve manter uniformidade de trabalho, e realizar o fechamento do sulco. Tais comportamentos também variam quando se altera a profundidade desejada, pois dificultam a ação conjunta do sistema de sulcadores com os reguladores de profundidade, assim como a eficiência do mecanismo cobridor.

Desta forma, objetivou-se avaliar as etapas da operação de plantio mecanizado, desde a abertura, dimensões e formato do sulco; a qualidade e a uniformidade da distribuição de rebolos; e o fechamento do sulco, variando a velocidade de plantio e a profundidade de sulcação, para um protótipo de plantio de cana-de-açúcar.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi realizado em fevereiro de 2013, no município de Ibitinga, SP, em área da Usina Santa Fé, localizada próxima das coordenadas latitude 21°48'35,05" S e longitude 48°55'30,27" O, com altitude média de 475 m, no qual o solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo álico, de textura média, conforme metodologia descrita em Embrapa (2013). Utilizou-se no plantio a variedade de cana-de-açúcar RB 96-6928.

O plantio mecanizado de cana-de-açúcar foi realizado com um conjunto trator-plantadora, constituído por trator Valtra BT 210 4x2 TDA, com potência no motor de 154,4 kW (210 cv) a 2200 rpm, e um protótipo de cana picada de duas fileiras de plantio, que realiza a

operação do plantio (abertura de sulco, aplicação de fertilizante, distribuição de mudas, aplicação de inseticida, fechamento e compactação do sulco), em duas fileiras simultaneamente.

Foi adotado o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 2x2, no qual os tratamentos foram: duas velocidades de plantio (5,0 e 6,5 km h<sup>-1</sup>) e duas profundidades de sulcação (0,35 e 0,45 m), com 20 repetições por tratamento, cada repetição composta por amostras das duas fileiras de plantio (direita e esquerda), espaçadas entre si em 20 m no comprimento das linhas.

Caracterizou-se os rebolos disponibilizados, que foram utilizados no plantio, sendo coletados 30 unidades no interior do caminhão transbordo e na plantadora. O comprimento foi de 431 mm, com 27 mm de diâmetro, 243 g de massa, e 3,6 gemas por rebolo, estas com 79% de viabilidade. A danificação das gemas causada pela operação de colheita foi de 14,7%, bem como 6,4% no transporte até a plantadora.

O número de rebolos foi contabilizado após o plantio, por meio de contagem direta, em quatro metros nos sulcos de avaliação, após a escavação dos sulcos, com auxílio de enxada. Para maior controle experimental, apenas um avaliador fez a contagem para cada tratamento (20 repetições).

O número de gemas totais foi contabilizado por meio de contagem direta nos mesmos rebolos obtidos anteriormente, nos quatro metros de avaliação, referente aos sulcos de plantio (esquerdo e direito).

O número de gemas viáveis foi contabilizado por meio de contagem direta nos mesmos rebolos obtidos para o número de gemas totais, nos quatro metros de avaliação nos dois sulcos, realizado após a operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar. Definiu-se como gema viável aquela que não apresentou danos causados por pragas e doenças, e também prováveis fragmentações, desde a colheita da muda até a deposição nos sulcos de plantio.

As gemas inviáveis foram obtidas pela diferença entre as gemas totais e as gemas viáveis, calculando-se assim a porcentagem de gemas danificadas em relação às gemas totais.

Para as variáveis profundidade de sulcação, largura do sulco, área mobilizada e altura de cobertura, foi utilizado um perfilômetro, constituído por 30 varetas, espaçadas de 3 cm e altura máxima de 70 cm. Ao fundo do perfilômetro, colocou-se um quadro de linhas na horizontal com espaçamento de 1 cm para facilitar a leitura, sendo a mesma analisada por imagens fotográficas. O posicionamento da extremidade superior das varetas copia a forma geométrica do sulco, podendo-se então realizar as leituras.

Após o plantio, com os sulcos cobertos, realizaram-se as medições com o perfilômetro, sendo a largura do sulco definida da primeira até a última vareta, descontando-se a elevação lateral do solo provocado pelo mecanismo sulcador da plantadora. Depois, realizou-se abertura dos sulcos manualmente, até ser localizada a camada compactada, sendo possível então modelar os sulcos, para proceder novamente as medições com o perfilômetro.

A profundidade de sulcação foi definida pela média das três varetas que apresentaram maior medida no fundo do sulco. A altura de cobertura foi definida pela diferença entre a profundidade de sulcação e a média das três varetas que apresentaram maior medida no sulco inicial.

Para o cálculo da área mobilizada, após as leituras das imagens fotográficas os resultados foram processados em uma planilha eletrônica, em que se obteve a área da seção transversal de solo mobilizado pelo mecanismo sulcador, em  $\text{cm}^2$ , por meio da metodologia resultante da integral da regra dos trapézios (RUGGIERO; LOPES; 1996).

No momento do trabalho com a plantadora, foi medido o teor de água do solo, pelo método gravimétrico (EMBRAPA, 1997), que apresentou 11,1% na camada de 0,00-0,15 m, 13,5% na camada de 0,15-0,30 m, e 13,1% na camada de 0,30-0,45 m.

Os resultados foram processados pelo programa Minitab<sup>®</sup> 16, em que se realizou análise descritiva para a determinação das medidas de tendência central (média e mediana) e dos coeficientes de variação, assimetria e curtose, para verificar o comportamento das variáveis estudadas. Os resultados foram submetidos ao teste de normalidade de Anderson-Darling e as variáveis que apresentaram distribuição “não-normal” foram transformadas, sendo que os modelos de ajuste dos dados foram:  $Y' = \sqrt{Y}$  para a variável gemas danificadas; e  $Y' = \ln Y$  para a variável largura do sulco.

Os resultados transformados foram submetidos à análise de variância, pelo teste F, a 5% de probabilidade. Quando o teste F foi significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, com uso do programa Sisvar 4.3.

A análise da variabilidade foi realizada por meio do controle estatístico de processo, com auxílio do programa Minitab<sup>®</sup> 16, sendo que as ferramentas utilizadas foram as cartas de controle por variáveis, utilizando como indicadores as variáveis anteriormente descritas, estas com os dados não normalizados. Na confecção das cartas, foram plotados os valores médios, os limites superiores (LSC) e inferiores (LIC) de controle para cada tratamento, sendo estes últimos definidos pela média geral da variável  $\pm$  três vezes o desvio padrão. Quando o cálculo

do LIC resultou em valores negativos, o mesmo foi considerado com valor nulo, pois para as variáveis em estudo os valores negativos não possuem nenhum significado físico.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelos resultados apresentados na Tabela 1, observa-se que as variáveis rebolos  $m^{-1}$ , gemas totais e viáveis  $m^{-1}$ , profundidade de sulcação, área mobilizada e altura de cobertura apresentaram distribuição normal dos resultados pelo teste de Anderson-Darling.

**Tabela 1 - Parâmetros de estatística descritiva para as variáveis analisadas.**

Média	Mediana	A	$\sigma$	CV	Cs	Ck	AD
Rebolos $m^{-1}$							
9,9	9,5	15,5	2,91	29,6	0,40	0,60	0,347 <sup>N</sup>
Gemas totais $m^{-1}$							
31,5	30,3	50,0	9,68	30,8	0,40	0,30	0,288 <sup>N</sup>
Gemas viáveis $m^{-1}$							
27,7	27,0	45,5	8,81	31,8	0,34	0,18	0,327 <sup>N</sup>
Gemas danificadas (%)							
11,9	10,1	35,7	6,87	58,0	1,12	1,28	1,899 <sup>A</sup>
Profundidade de sulcação (m)							
0,37	0,37	0,20	0,04	11,5	-0,30	-0,31	0,495 <sup>N</sup>
Largura do sulco (m)							
0,69	0,69	0,21	0,04	5,7	0,33	0,40	1,026 <sup>A</sup>
Área mobilizada ( $cm^2$ )							
1444,3	1426,5	1179,0	251,2	17,4	0,07	-0,19	0,164 <sup>N</sup>
Altura de cobertura (m)							
0,10	0,10	0,10	0,02	20,1	-0,16	-0,03	0,300 <sup>N</sup>

A: amplitude;  $\sigma$ : desvio padrão; CV: coeficiente de variação (%); Cs: coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose; AD: valor do teste de normalidade de Anderson-Darling; <sup>A</sup>: distribuição Assimétrica; <sup>N</sup>: distribuição Normal.

Observa-se que os valores de média e mediana encontraram-se próximos entre si, o que significa pouca dispersão dos dados, exceto para a variável gemas danificadas, cujo valor da mediana é inferior ao da média.

Quando se analisa os valores dos parâmetros de dispersão dos dados, verifica-se elevada amplitude e desvio padrão para as variáveis rebolos  $m^{-1}$ , gemas totais e viáveis  $m^{-1}$ , e gemas danificadas, com coeficientes de variação classificados como alto ou muito alto (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002), o que aponta para uma alta variabilidade dos dados. A altura de cobertura, apesar de possuir média, mediana e amplitude iguais, apresentou também elevado desvio padrão, e conseqüentemente alto coeficiente de variação.

Já para as variáveis largura do sulco e área mobilizada, apesar da amplitude dos dados ter sido elevada, as mesmas apresentaram baixo desvio padrão, e, portanto, coeficientes de variação baixo e médio, respectivamente. Para a profundidade de sulcação, tanto a média quanto o desvio padrão foi baixo, com coeficiente de variação médio.

Filho & Storck (2007) e Freitas *et al.* (2009) citam que o coeficiente de variação é o parâmetro mais utilizado para avaliação da qualidade experimental, considerando que quanto menor for o coeficiente de variação, maior será a precisão experimental, e vice-versa, sendo que a grande vantagem é a de permitir a comparação entre experimentos, sem a necessidade de igualdade de unidades.

Analisando os coeficientes de assimetria (Tabela 1), o qual quantifica o desvio de uma distribuição em relação a uma distribuição simétrica, observa-se pequena assimetria para área mobilizada, assimetria moderada para rebolos  $m^{-1}$ , gemas totais e viáveis  $m^{-1}$ , largura do sulco, profundidade de sulcação e altura de cobertura, sendo que estas duas últimas apresentaram valores negativos, representando que a curva de frequência da distribuição dos dados apresenta uma “cauda” mais longa à esquerda. Apenas a variável gemas danificadas apresentou elevado coeficiente de assimetria.

Pelos coeficientes de curtose, ou grau de “achatamento” de uma distribuição de frequências, observa-se que as variáveis rebolos  $m^{-1}$ , gemas totais  $m^{-1}$ , gemas danificadas e largura do sulco apresentaram distribuição de forma platicúrtica, ou seja, quando sua distribuição apresenta uma curva de frequência mais aberta que a normal (ou mais achatada em sua parte superior), com os dados fracamente concentrados em torno de seu centro.

Para as variáveis gemas viáveis  $m^{-1}$ , profundidade de sulcação, área mobilizada e altura de cobertura, a distribuição foi leptocúrtica: quando a mesma apresenta uma curva de frequência

mais fechada que a normal (ou mais aguda ou afilada em sua parte superior), com os dados fortemente concentrados em torno de seu centro.

Apesar dos dados de assimetria e curtose não seguirem uma distribuição normal, apenas as variáveis gemas danificadas e largura do sulco apresentaram distribuição não-normal, pelo teste de probabilidade de Anderson-Darling. Voltarelli *et al.* (2013), caracterizando indicadores de qualidade em operações agrícolas mecanizadas, encontraram resultados semelhantes, com elevada variação dos dados.

Pelos dados da análise de variância (Tabela 2), verifica-se que as variáveis rebolos  $m^{-1}$ , gemas totais e viáveis  $m^{-1}$ , e gemas danificadas, não obtiveram diferenças em função do aumento da velocidade de plantio e da profundidade de sulcação, podendo ser explicado pelo coeficiente de variação muito alto (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002).

**Tabela 2 - Análise de variância e teste de médias para as variáveis: rebolos, gemas totais, viáveis e danificadas.**

Fatores	Rebolos por metro	Gemas por metro		Gemas danificadas (%)
		Totais	Viáveis	
Velocidade de plantio ( $km\ h^{-1}$ ) (V)				
5,0	9,8 a	31,0 a	27,5 a	11,4 a
6,5	10,0 a	31,9 a	27,9 a	12,4 a
Profundidade de sulcação (P)				
0,35 m	9,7 a	31,5 a	27,5 a	12,0 a
0,45 m	10,0 a	31,5 a	27,9 a	11,8 a
Teste de F				
V	0,080 <sup>ns</sup>	0,176 <sup>ns</sup>	0,033 <sup>ns</sup>	0,471 <sup>ns</sup>
P	0,189 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>	0,033 <sup>ns</sup>	0,146 <sup>ns</sup>
V x P	0,437 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>	0,065 <sup>ns</sup>	1,557 <sup>ns</sup>
CV (%)	30,00	31,33	32,38	30,38

Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>ns</sup>Não significativo; \*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de F. CV (%): coeficiente de variação.

A densidade de plantio foi de 9,8 rebolos  $m^{-1}$ , valor acima do encontrado por Garcia (2008), que foi de 6 rebolos  $m^{-1}$ , em plantio mecanizado de cana-de-açúcar realizado com plantadora.

A quantidade de gemas distribuída foi alta (31,4  $m^{-1}$ ), pois está correlacionada com o número de rebolos, sendo que destas, 27,7 são gemas viáveis. Raveli (2013) comenta que a

densidade de gemas viáveis é a característica de maior importância no processo de plantio, crucial para garantir bons resultados na operação.

As gemas danificadas apresentaram 11,9%, valor este que não é alto para o plantio mecanizado. Raveli (2013) cita que a passagem dos rebolos pelos mecanismos de distribuição de mudas da plantadora, em que efeitos de injúria e abrasividade acabam prejudicando as gemas, que são estruturas vegetais sensíveis e de fácil danificação frente a tais impactos, resultando na redução da quantidade de gemas viáveis, prejudicando a brotação da cana-planta, o estande de plantas, e conseqüentemente a produtividade final da cultura.

No trabalho de Raveli (2013), um total de 9,48% das gemas foram inviabilizadas no plantio mecanizado. Já Garcia (2008) encontrou 35% de gemas inviáveis após o plantio, porém não cita a porcentagem de gemas que foram inviabilizadas pela operação de plantio.

A profundidade de sulcação (Tabela 3) não sofreu influência da velocidade de plantio, atingindo a média de 0,37 m. Para o tratamento profundidade de 0,35 m, a mesma situou-se próxima (0,34 m), confirmando que a plantadora possui a capacidade de atender a esta regulagem, independente da velocidade de plantio. Para a regulagem de 0,45 m, a sulcação não conseguiu atender a regulagem, ficando 0,05 m inferior ao desejado, porém mantendo uniformidade, devido ao baixo coeficiente de variação (8,59%), fato que apenas justifica uma nova calibragem na roda limitadora de profundidade.

Anjos e Figueiredo (2008) comentam que de maneira geral a profundidade deve estar entre 0,25 a 0,30 m, e que não seja superior à profundidade alcançada pelo sistema de preparo, para que o sistema radicular encontre o solo aerado, descompactado, em condições que favoreçam o desenvolvimento radicular. Porém, com a utilização de subsoladores no preparo do solo, a profundidade de sulcação pode ser aumentada, pois o equipamento descompacta o solo a profundidades maiores.

Em linhas gerais, se as condições de umidade do solo forem favoráveis, a brotação será boa, independentemente da profundidade. Porém, o sulco mais profundo, em condições desfavoráveis de clima, proporcionaria ao rebolo, melhores condições de umidade. Um outro aspecto é que o sulco profundo contribui para a diminuição da erosão, por colaborar para o decréscimo do deflúvio superficial (CEBIM, 2008).

Para a largura do sulco, os resultados apresentaram médias iguais para o aumento na velocidade de plantio (Tabela 3). Houve acréscimo com o aumento da profundidade de

sulcação, porém com diferença muito baixa (0,03 m), comportamento normal em função do formato dos sulcadores, que foram mais aprofundados no solo nestas condições (0,45 cm).

**Tabela 3 - Análise de variância e teste de médias para as variáveis profundidade de sulcação, largura do sulco, área mobilizada e altura de cobertura.**

Fatores	Profundidade de sulcação (m)	Largura do sulco (m)	Área mobilizada (cm <sup>2</sup> )	Altura de cobertura (m)
Velocidade de plantio (km h <sup>-1</sup> ) (V)				
5,0	0,37 a	0,68 a	1401,9 b	0,11 a
6,5	0,37 a	0,70 a	1486,7 a	0,10 b
Profundidade de sulcação (P)				
0,35 m	0,34 b	0,67 b	1271,8 b	0,10 a
0,45 m	0,40 a	0,70 a	1616,8 a	0,10 a
Teste de F				
V	0,216 <sup>ns</sup>	1,815 <sup>ns</sup>	4,437*	4,884*
P	60,552*	10,704*	73,529*	1,106 <sup>ns</sup>
V x P	3,436 <sup>ns</sup>	0,037 <sup>ns</sup>	0,037 <sup>ns</sup>	1,278 <sup>ns</sup>
CV (%)	8,59	1,37	12,46	19,54

Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>ns</sup>Não significativo; \*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste de F. CV (%): coeficiente de variação.

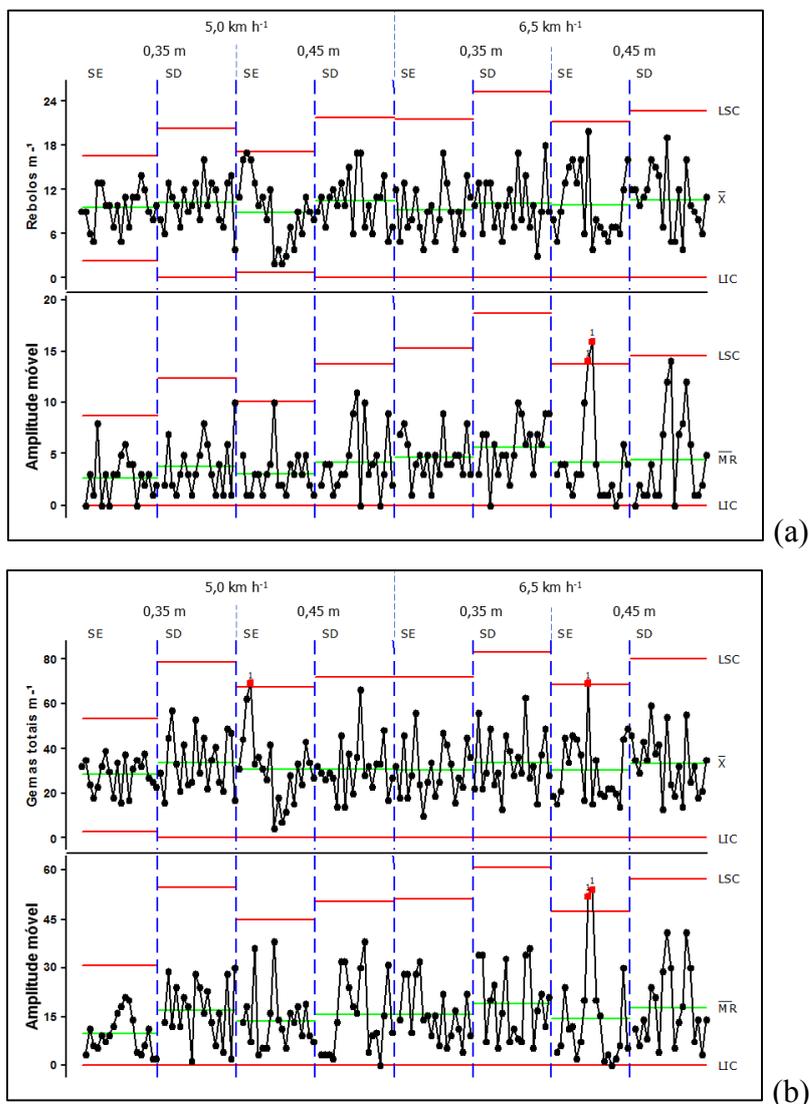
A área mobilizada pelos sulcadores, por estar diretamente correlacionada com as análises de profundidade e largura, apresentou resultados semelhantes para o tratamento profundidade de sulcação (Tabela 3). Houve aumento de 6% quando se aumentou a velocidade de plantio, aumento este também observado por Silveira *et al.* (2011) e Silveira *et al.* (2013), assim como maior área mobilizada com o aumento na profundidade de sulcação.

Para a altura de cobertura dos sulcos, apesar de haver diferença para o tratamento velocidade de plantio, esta foi baixa (0,01 m), sendo os demais resultados próximos, com média de 0,10 m, mostrando eficiência do mecanismo cobridor independente das condições de plantio submetidas. Os resultados podem ser considerados adequados para a brotação da cultura, que segundo Coleti e Stuppiello (2006), a altura de cobertura dos rebolos oscila entre 0,05 a 0,10 m, podendo variar em função da variedade e da época de plantio.

A análise da uniformidade da distribuição de rebolos m<sup>-1</sup> (Figura 1a), permite observar uniformidade entre os sulcos direito e esquerdo para todos os tratamentos avaliados (velocidade x profundidade). Há baixa variabilidade na distribuição, mantendo a uniformidade da operação,

uma vez que em nenhum ponto, os resultados extrapolaram os limites de controle estatísticos, podendo-se considerar que mesmo se aumentando a velocidade de plantio e a profundidade de sulcação, a plantadora realiza a distribuição de rebolos dentro de padrões de uniformidade.

**Figura 1 – Cartas de controle para as variáveis: rebolos  $m^{-1}$  (a); e gemas totais  $m^{-1}$  (b)**



SE: Sulco esquerdo; SD: sulco direito; LSC: limite superior de controle; LIC: limite inferior de controle; X: média dos valores individuais; MR: amplitude móvel.

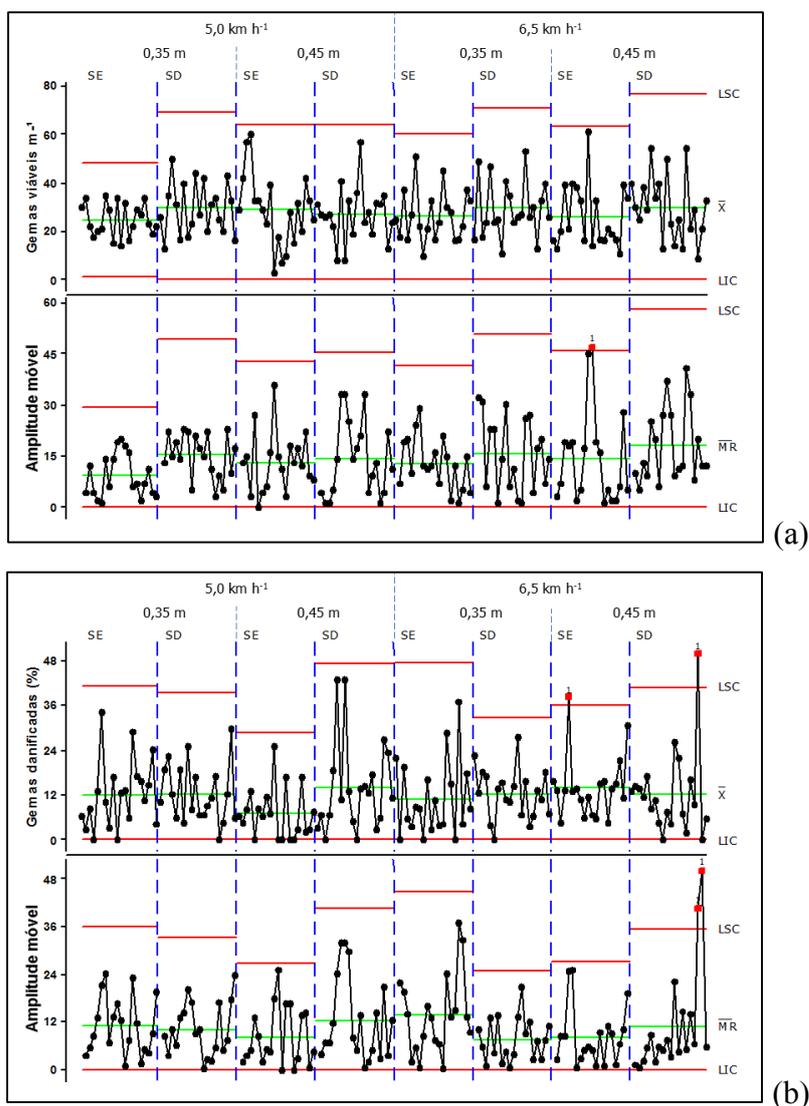
Nos resultados do número de gemas totais  $m^{-1}$  (Figura 1b) observou-se padrão semelhante à distribuição de rebolos, apenas com um ponto fora dos limites de controle para o sulco esquerdo de plantio, na profundidade de 0,45 m, tanto na velocidade de plantio de 5,0  $km\ h^{-1}$ , quanto de 6,5  $km\ h^{-1}$ , que pode estar atribuído a fatores como a ocorrência de patinagem do trator, falta de pressão no sistema hidráulico, entre outros. Porém, de maneira geral, novamente

se observa uniformidade entre os sulcos direito e esquerdo, sendo apenas a variabilidade ampliada pelo alto número de gemas por rebolo (medidos na caracterização dos rebolos).

O número de gemas viáveis  $m^{-1}$  (Figura 2a) apresenta resultados semelhantes ao número de rebolos  $m^{-1}$  (Figura 1a), sendo incluída a danificação das gemas causadas pela plantadora, uma vez que já se descontaram as danificações causadas pelas etapas de colheita e transporte da mesma. Os resultados ficaram dentro dos limites de controle, não variando em função de nenhum tratamento. Observa-se que a distribuição se mantém ao longo da carga de mudas na plantadora, não havendo tendência a prejudicar a mesma conforme a carga de mudas da plantadora diminui.

Para gemas danificadas (Figura 2b), foi observada ocorrência de pontos que se afastaram da variação comum do processo na profundidade de 0,45 m e velocidade de plantio de  $6,5 \text{ km}^{-1}$ . De qualquer forma, deve-se ressaltar a ocorrência de maneira isolada dentro do volume de amostras, atentando-se apenas para a vulnerabilidade da operação nestas condições de regulagens, não prejudicando a qualidade da operação.

Figura 2 – Cartas de controle para as variáveis: gemas viáveis  $m^{-1}$  (a); e gemas danificadas (%) (b)

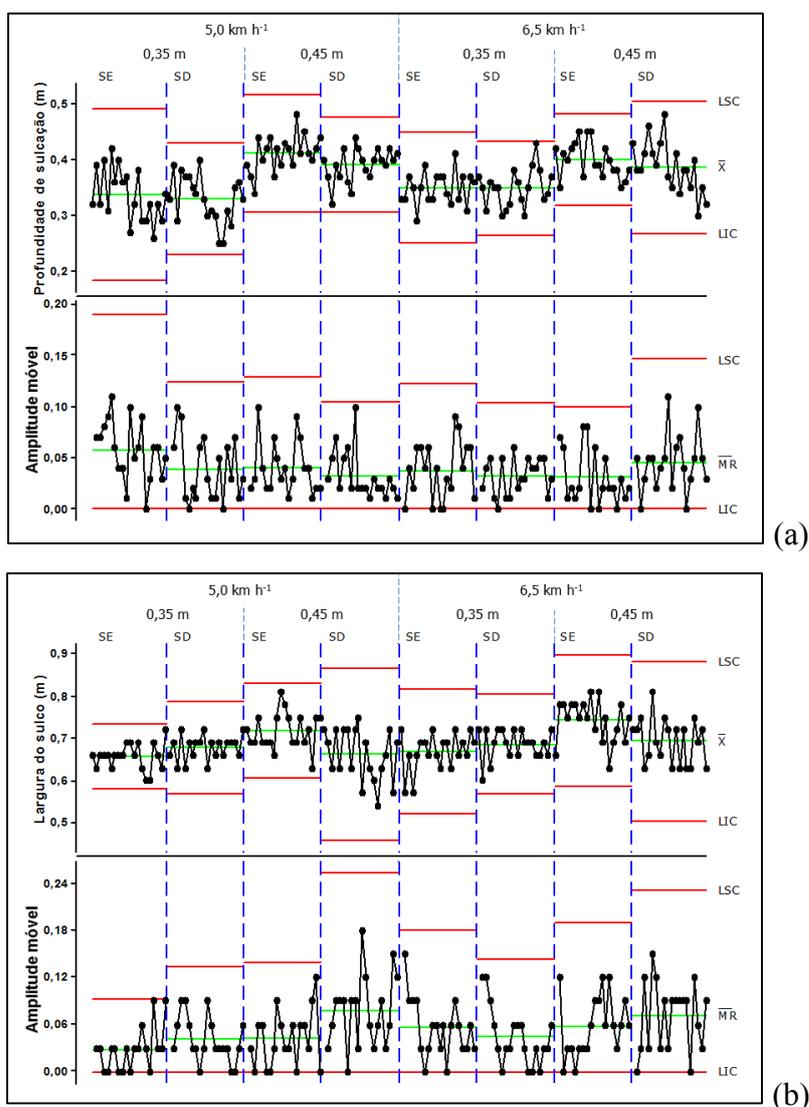


SE: Sulco esquerdo; SD: sulco direito; LSC: limite superior de controle; LIC: limite inferior de controle; LSC: limite superior de controle; X: média dos valores individuais; MR: amplitude móvel.

Ao analisar-se a profundidade de sulco (Figura 3a), tem-se uniformidade nos resultados, com reduzidos valores de amplitude e variação, e ausência de ocorrências especiais ao longo da operação, não havendo redução da profundidade ao longo da descarga de mudas pela operação, mostrando que o sistema sulcador proposto pelo protótipo, que copia a superfície do solo, é capaz de compensar a perda de massa dos rebolos no interior da plantadora ao longo da operação. Ressalta-se ainda que, quando se aumentou a velocidade de plantio, também não

houve redução da profundidade dos sulcos, ou seja, a máquina manteve uniformidade com aumento da capacidade operacional.

**Figura 3 – Cartas de controle para as variáveis: profundidade de sulcação (m) (a); e largura do sulco (m) (b)**

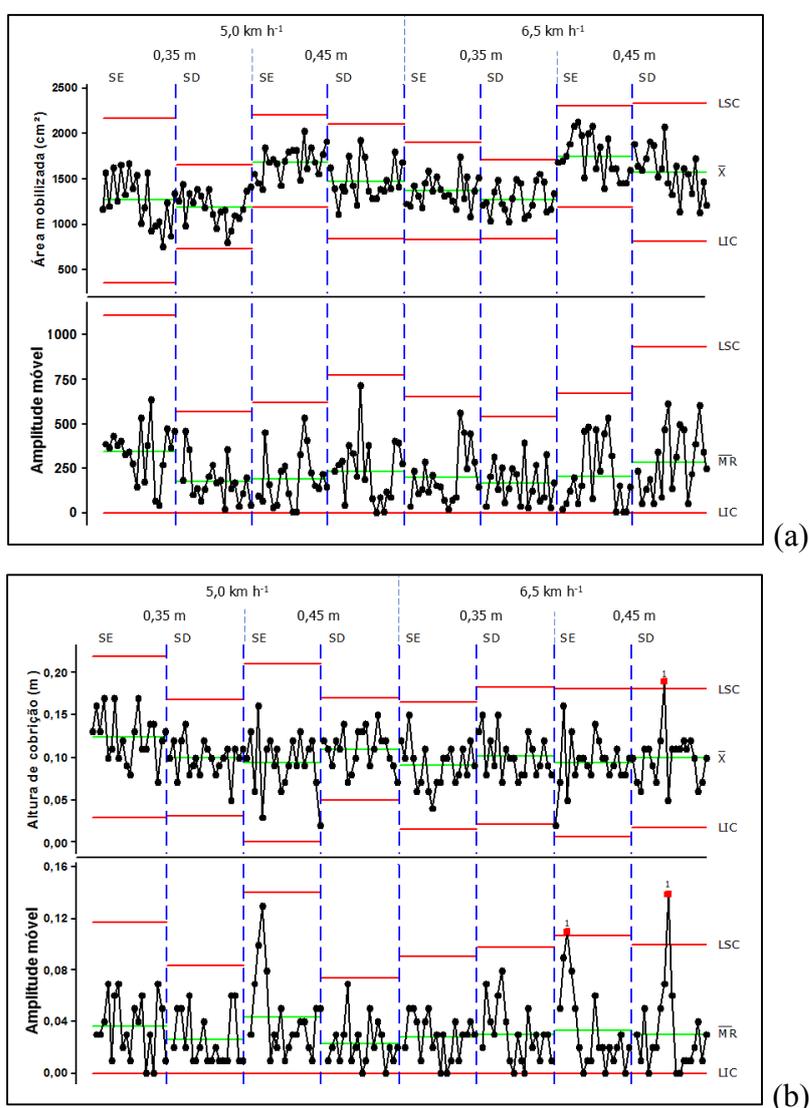


SE: Sulco esquerdo; SD: sulco direito; LSC: limite superior de controle; LIC: limite inferior de controle; X: média dos valores individuais; MR: amplitude móvel.

Para a largura do sulco (Figura 3b), novamente observa-se uniformidade nas amostras, com reduzidos valores de amplitude e variação, bem como a ausência de ocorrências especiais ao longo da operação. Assim como na profundidade de sulcação, ressalta-se a capacidade de a plantadora manter uniformidade de sulcos indiferente da velocidade de plantio, bem como da carga de mudas dentro da mesma, fato que altera sua massa total.

A área de solo mobilizada pelos sulcadores, por estar diretamente correlacionada com as análises de profundidade e largura, apresentou resultados bastante semelhantes (Figura 4a). A amplitude entre os sulcadores esquerdo e direito se afastaram mais, fato este que não compromete a operação, uma vez que já ficou demonstrado pelos resultados nas Figuras 3a e 3b que, apesar da variabilidade existente na superfície do solo, a plantadora consegue manter uniformidade. A variabilidade se manteve dentro dos limites de controle, mostrando ser um efeito do processo, que está sujeito a alterações a todo instante.

**Figura 4 – Cartas de controle para as variáveis: área mobilizada (cm<sup>2</sup>) (a); e altura de cobertura (m) (b)**



SE: Sulco esquerdo; SD: sulco direito; LSC: limite superior de controle; LIC: limite inferior de controle; X: média dos valores individuais; MR: amplitude móvel.

Pela análise do processo da altura de cobertura (Figura 4b), pode-se observar a existência de homogeneidade entre os tratamentos, apesar da ocorrência de um ponto fora dos limites de controle, que pode estar ligado à desuniformidade dos agregados, formando torrões principalmente à maiores profundidades e velocidades.

## CONCLUSÕES

O aumento da velocidade de plantio acarretou incremento na área mobilizada e diminuição da altura de cobertura. O aumento da profundidade de sulcação acarretou incremento na área mobilizada, largura do sulco, profundidade de sulcação e altura de cobertura. A operação de plantio manteve padrões de uniformidade quanto à abertura de sulco, distribuição de mudas e altura de cobertura, nas profundidades de plantio e velocidade de operação.

## REFERÊNCIAS

- ANJOS, I. A.; FIGUEIREDO, P. A. M. Aspectos fitotécnicos do plantio. *In*: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. de; LANDELL, M. G. de A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo; 2008. p. 585 - 598.
- BARROS, F. F.; MILAN, M. Qualidade operacional do plantio de cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 221-229, 2010.
- CAMPOS, C. M. *et al.* Identificação e avaliação de variáveis críticas no processo de produção da cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 3, p. 554-564, 2008.
- CASSIA, M. T. *et al.* Desgaste das facas do corte basal na qualidade da colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v. 44, n. 6, p. 987-993, 2014.
- CEBIM, G. J. *et al.* Plantio Mecânico de Cana de Açúcar (*Saccharum spp.*): Desempenho Operacional e Econômico. **Stab**, v. 31, n. 1, p. 40-47, 2012.
- CEBIM, G. J. **Plantio mecânico de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*): desempenho operacional e econômico/ 2008**. 101 f. (Dissertação de Mestrado) Mestrado em Agronomia - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba-SP.

- COLETI, J. T.; STUPIELO, J. J. Plantio de cana-de-açúcar. *In*: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. (Ed). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. Cap 4, p. 139-153.
- EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo**. Manual de métodos e análise de solo. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212p.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.
- FILHO, A.C.; STORCK, L. Estatísticas de avaliação da precisão experimental em ensaios de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 1, p. 17-24, 2007.
- FREITAS, E. G. *et al.* Qualidade experimental: uma proposta para classificação do coeficiente de variação em experimento com cana-de-açúcar. **Stab**, v. 27, n. 6, p. 27-29, 2009.
- GARCIA, M. A. L. **Avaliação de um sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar/** 2008. 77 f. (Dissertação de Mestrado) Mestrado em Agronomia - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba-SP.
- JANINI, D. Análise operacional e econômica do sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar *Saccharum spp*. **Stab**, v. 26, n. 4, p. 53-57, 2008.
- MARQUES, T. A.; PINTO, L. E. V. Energia da biomassa de cana-de-açúcar sob influência de hidrogel, cobertura vegetal e profundidade de plantio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 6, p. 680-685, 2013.
- NORONHA, R. H. F. *et al.* Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada diurna e noturna de cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 70, n. 4, p. 931-938, 2011.
- PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.
- RAMOS, C. R. G. *et al.* Qualidade da colheita mecanizada de cana-de-açúcar em função da velocidade de deslocamento e rotação do motor da colhedora. **Energia na Agricultura**, v. 29, n. 2, p. 87-94, 2014.
- RAVELI, M. B. **Controle de Qualidade no plantio de cana de açúcar/** 2013. 66f. (Dissertação de Mestrado) Mestrado em Ciência do Solo - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal-SP.
- RUGGIERO, M. A. G.; LOPES, V. L. R. **Cálculo numérico: aspectos teóricos e computacionais**. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 1996. 406 p.

SERAFIM, L. G. F. *et al.* Influência do plantio mecanizado no índice de brotação da cana de açúcar. **Stab**, v. 31, n. 3, p. 24-28, 2013.

SILVA, R. P. *et al.* Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 2, p. 292-304, 2008.

SILVEIRA, J. C. M. *et al.* Demanda energética de uma semeadora-adubadora em diferentes velocidades de deslocamento e rotações do motor. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 44-52, 2013.

SILVEIRA, J. C. M. *et al.* Furrow depth, soil disturbance area and draft force of a seeder-fertilizer at different seeding speeds. **Revista Ceres**, v. 58, n. 3, p. 293-298, 2011.

VOLTARELLI, M. A. *et al.* Quality of performance of the operation of sugarcane mechanized planting in day and night shifts. **Australian Journal of Crop Science**, v. 7, n. 9, p. 1396-1406, 2013.

## CAPÍTULO 4 - Estudo de caso: ensaio do desarme sulcador

A plantadora Santal PDM 2 propõe um sistema novo de sulcadores (Figura 1), acionados e suportados por cilindros hidráulicos ligados a um sistema munido de válvula de segurança que, ao colidir com algum obstáculo durante a operação, se desarma para evitar maiores danos à estrutura da plantadora.



Figura 1. Sistema de mecanismo sulcador por acionamento hidráulico.

Dessa maneira, foram realizados ensaios com o objetivo de validar o sistema de desarme do sulcador, em caso de colisão com algum obstáculo, evitando maiores danos ao equipamento, visando o comportamento da carga no sistema, bem como o funcionamento e tempo de desarme e rearme do mecanismo de segurança.

Foram ensaiadas situações de impactos do mesmo em operação sobre obstáculo fixo, sendo utilizado como obstáculo uma placa de aço plana (Figura 2),

com as seguintes dimensões: 2500 x 1500 x 20 mm (7/8'). A mesma foi enterrada rente ao solo, em área com solo preparada para plantio de cana-de-açúcar.



Figura 2. Ensaio do desarme de segurança do sistema hidráulico dos sulcadores.

Os testes foram realizados com a plantadora totalmente carregada, buscando-se condições mais severas de massa sobre a mesma. Colocou-se o conjunto trator-plantadora em condições de trabalho, com os sulcadores à 0,40 m de profundidade, e velocidade de descolamento de  $5 \text{ km h}^{-1}$ , fazendo-se a passagem sobre a placa de aço, em quatro repetições.

Também foram realizados estudos de tempos e movimentos dos sulcadores da plantadora em operação, no qual foram monitoradas, com quatro repetições, as manobras durante as operações, com os sulcadores em quatro pressões de trabalho (500, 1000, 2000 e 2200 psi).

Os ensaios de impacto/desarme dos sulcadores apresentaram bom tempo de resposta do sistema, evitando danos estruturais à plantadora. Observou-se que, ao impactar com o obstáculo, houve o desarme do mecanismo sulcador, sem haver

danos ao mesmo, sendo que o operador tem que apenas realizar o levante e retorno dos sulcadores, com tempo médio de 23 s para que a plantadora retorne à operação, não havendo, portanto, a necessidade de o operador descer do trator e rearmar o sistema sulcador.

Para o estudo dos tempos e movimentos, observou-se que as pressões de trabalho não influenciaram nos tempos, sendo que para o início de uma manobra (Figura 3) foi observado média de 11,0 s, dos quais 7,5 s foram gastos no recolhimento dos sulcadores. Estes resultados apontam para uma deficiência, uma vez que o levante da plantadora é realizado em dois estágios (cabeçalho e sulcadores), sendo necessários dois comandos por parte do operador, elevando este tempo de resposta.

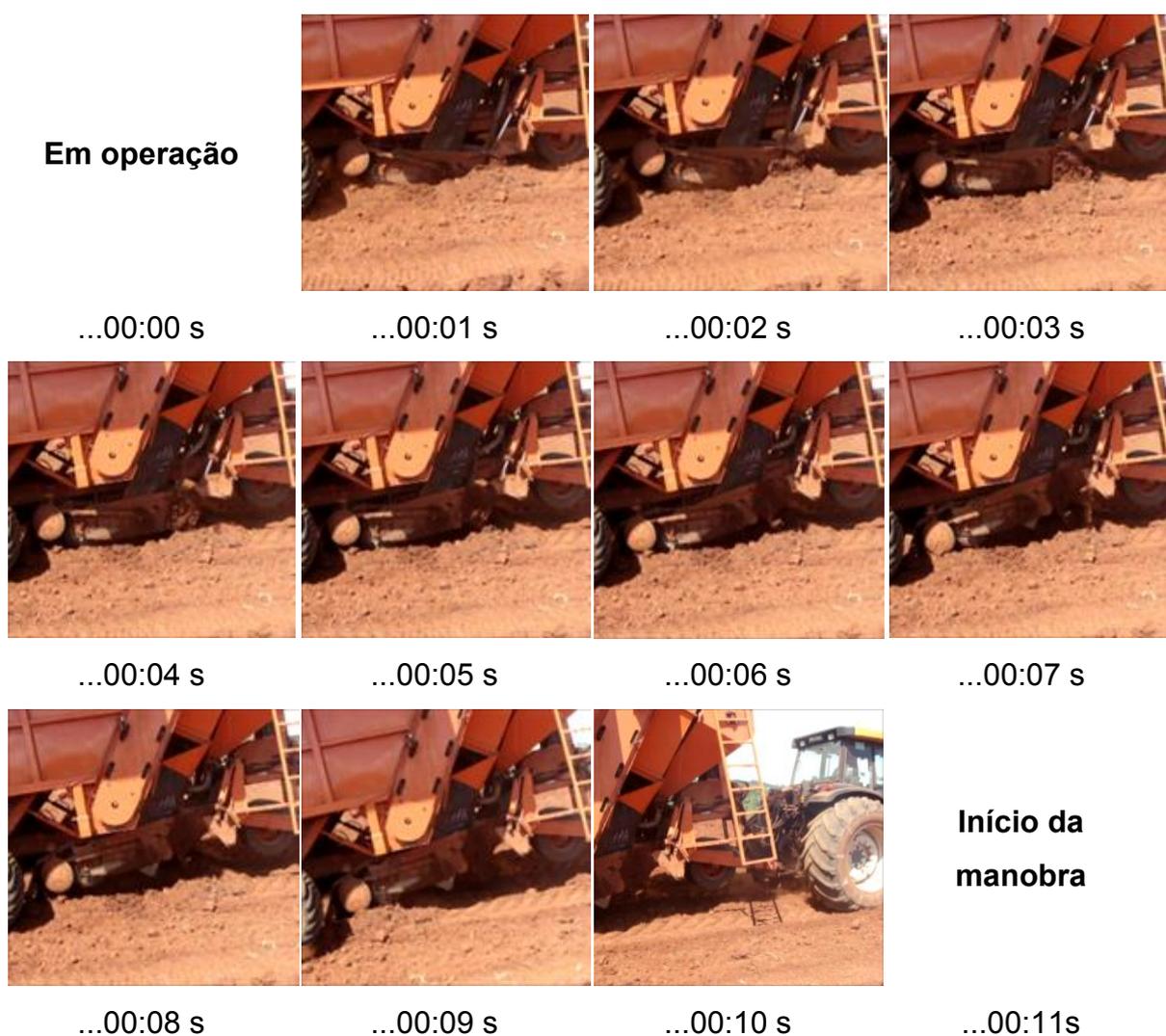


Figura 3. Tempos do mecanismo sulcador para final de operação/início de manobra.

Como solução, pode-se buscar um sistema integrado no qual, em apenas um comando, o operador realiza todos os movimentos necessários para que a plantadora inicie a manobra.

Para os resultados dos movimentos do sulcador em final de manobra/início de operação (Figura 4) foi observado tempo médio de 11,2 s, sendo destes 7,0 s gastos para armar os sulcadores no início de operação. Os tempos totais cronometrados são bastante próximos dos gastos para início de manobra, apresentando boa simetria nos tempos gastos pela plantadora em início e final de operação.

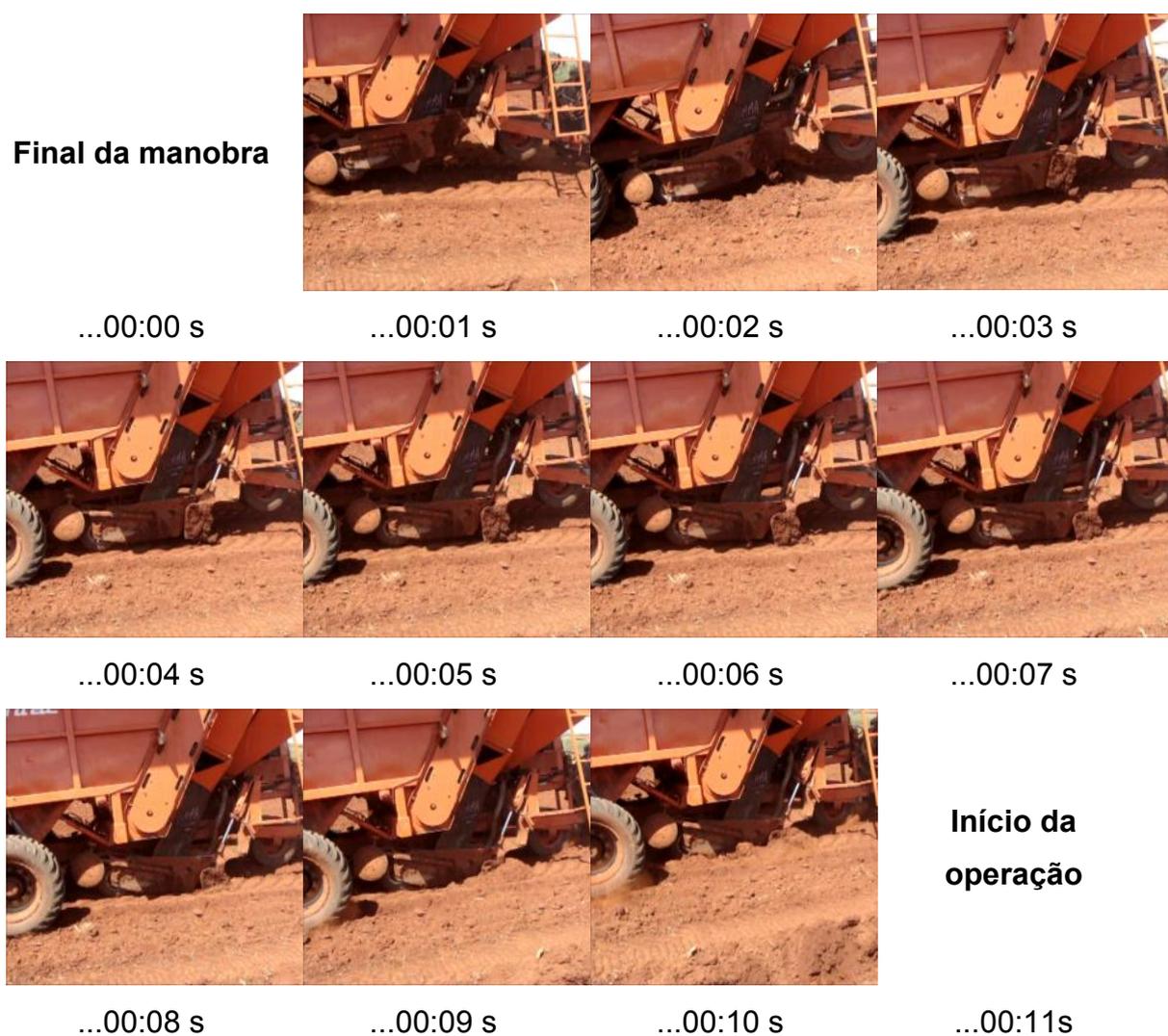


Figura 4. Tempos do mecanismo sulcador para final da manobra/início de operação.

## **CAPÍTULO 5 - Considerações finais**

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, podemos considerar que:

O sistema de distribuição da plantadora apresentou uniformidade na distribuição de rebolos, havendo baixa danificação das gemas. O aumento da velocidade de trabalho diminuiu a quantidade de rebolos, gemas totais e viáveis. E o aumento da rotação da esteira distribuidora eleva estes fatores.

O aumento da velocidade de plantio acarretou incremento na área mobilizada e diminuição da altura de cobertura. O aumento da profundidade de sulcação acarretou incremento na área mobilizada, largura do sulco, profundidade de sulcação e altura de cobertura.

A operação de plantio manteve padrões de uniformidade quanto à abertura de sulco, distribuição de mudas e altura de cobertura, nas profundidades de plantio e velocidade de operação.

O mecanismo sulcador se mostrou adequado para a operação, atendendo as dimensões e formato de sulcos, bem como controle de profundidade e acompanhamento do solo.

Os dispositivos de segurança do sistema propiciaram o desarme automático em caso de impactos, evitando danos estruturais à plantadora.

## APÊNDICE

## Apêndice A. Descrição do protótipo utilizado

O protótipo realiza todas as operações necessárias para o plantio da cana-de-açúcar em uma única operação (abertura do sulco, aplicação de fertilizantes, distribuição de mudas, aplicação de inseticida e fechamento do sulco) em duas fileiras simultaneamente (Figura 1A).



Figura 1A. Protótipo para plantio mecanizado de cana-de-açúcar. Vista lateral direita (a) e vista traseira (b).

A máquina atende às necessidades de espaçamentos de plantio, uma vez que possui distância entre sulcos e bitola variáveis, para posicionamento em diferentes espaçamentos de plantio: de 3,00 m para espaçamento de 1,50 m; de 2,80 m para espaçamento de 1,40 m; e de 2,50 m para espaçamento de 0,90 x 1,40/1,50/1,60 m.

O equipamento conta ainda com diferenciais exclusivos como: novo sistema distribuidor de mudas, sistema de desarme do sulcador com dois estágios, além de sistema de engate ao trator com regulagem de transferência de peso.

### 1 Sistema distribuidor

O protótipo propõe novo sistema distribuidor (Figura 2A), composto por fundo móvel, caçamba dosadora rotativa e esteira única de alimentação da bica, propondo

uma contribuição para facilitar a operação e diminuir o consumo de mudas. A caçamba possui volume total de 30 m<sup>3</sup> e capacidade para 6000 kg de mudas.



Figura 2A. Sistema distribuidor de rebolos.

A esteira transportadora possui divisor de rebolos após a esteira, com 16 taliscas intercaladas, acionadas por motor hidráulico com controle de velocidade para regulação do número de gemas por metro de sulco.

## **2 Sulcadores**

A máquina possui sistema de desarme (Figura 3A) do sulcador com dois estágios: desarme hidráulico e mecânico, que preserva os componentes estruturais

da plantadora em caso de sobrecargas, possibilitando ganho significativo no desempenho operacional. O sistema permite que a máquina volte a operar em perfeitas condições sem intervenção mecânica (uma vez que o operador do trator reposiciona os sulcadores de dentro da cabine) nos casos de choque com obstáculos.



Figura 3A. Sulcador com sistema de desarme hidráulico e mecânico.

### **3 Sistema de engate**

A plantadora possui sistema de engate ao trator com regulagem de transferência de peso (Figura 4), que visa melhorar a capacidade de tração. O perfeito sincronismo entre cargas transferidas para estrutura de cada modelo de trator, em função da sua capacidade, não prejudica a uniformidade dos sulcos e otimiza o desempenho do conjunto.

A máquina possui ainda roda copiadora do solo (Figura 4A), com regulagem mecânica da profundidade, que mantém uniformidade nos sulcos conforme a variação do relevo, mantendo também a plantadora nivelada.



Figura 4A. Sistema de engate ao trator com regulagem de transferência de peso, e roda copiadora do solo.

#### 4 Especificações técnicas

Capacidade de carga para plantio.....	6000 kg
Espaçamento do sulcador (distribui, aduba e cobre muda) .....	0,9 e 1,4 ou 1,5 m
Velocidade de trabalho.....	4 a 7 km h <sup>-1</sup>
Altura .....	4527 mm
Largura .....	3250 mm
Comprimento.....	8523 mm
Massa.....	8500 kg
Potência mínima para tração.....	134 kW (182 cv)