

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

**QUALIDADE DO PLANTIO, TRANSPLANTIO E COLHEITA
MECANIZADOS DE REBOLOS E MUDAS PRÉ-BROTADAS
DE CANA-DE-AÇÚCAR**

**Lucas Augusto da Silva Gírio
Engenheiro Agrônomo**

2018

**T
E
S
E**

/

**G
Í
R
I
O**

**L.
A.
S.**

**2
0
1
8**

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

**QUALIDADE DO PLANTIO, TRANSPLANTIO E COLHEITA
MECANIZADOS DE REBOLOS E MUDAS PRÉ-BROTADAS
DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Lucas Augusto da Silva Gírio

Orientador: Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva

Coorientadores: Prof. Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani

Prof. Dr. George Vellidis

Prof. Dr. Wesley Porter

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 (Produção Vegetal).

2018

G525q Gírio, Lucas Augusto da Silva
Qualidade do plantio, transplântio e colheita mecanizados de
rebolos e mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar/ Lucas Augusto da
Silva Gírio. – – Jaboticabal, 2018
vii, 86 p.: il.; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2018

Orientador: Rouverson Pereira da Silva

Coorientadores: Carlos Eduardo Angeli Furlani, George Vellidis,
Wesley Porter

Banca examinadora: Afonso Lopes, Cristiano Zerbato, Murilo
Aparecido Voltarelli, Tiago Rodrigo Francetto

Bibliografia

1. *Saccharum* spp. 2. Abalo às soqueiras. 3. Danos às soqueiras. I.
Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 633.61

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: QUALIDADE DO PLANTIO, TRANSPLANTIO E COLHEITA MECANIZADOS DE REBOLOS E MUDAS PRÉ-BROTADAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

AUTOR: LUCAS AUGUSTO DA SILVA GIRIO

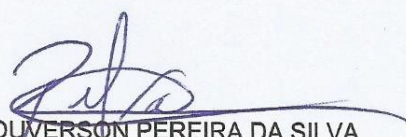
ORIENTADOR: ROUVERSON PEREIRA DA SILVA

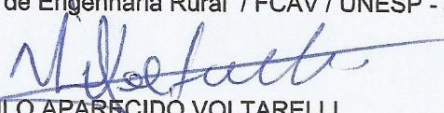
COORDENADOR: CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI

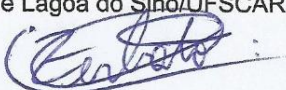
COORDENADOR: GEORGE VELLIDIS

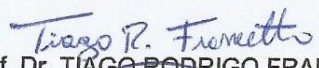
COORDENADOR: WESLEY M. PORTER

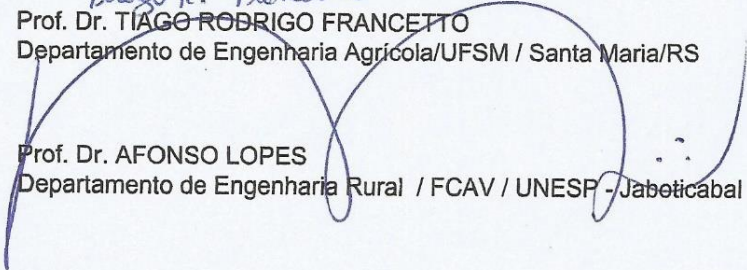
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ROUVERSON PEREIRA DA SILVA
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. MURILO APARECIDO VOLTARELLI
Câmpus de Lagoa do Sino/UFSCAR / Buri/SP


Prof. Dr. CRISTIANO ZERBATO
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. TIAGO RODRIGO FRANCETTO
Departamento de Engenharia Agrícola/UFSCAR / Santa Maria/RS


Prof. Dr. AFONSO LOPES
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 24 de agosto de 2018

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

LUCAS AUGUSTO DA SILVA GÍRIO – Nascido em 08 de janeiro de 1987, na cidade de Jaboticabal – SP, formado Engenheiro Agrônomo em 2011 pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), câmpus Araras – SP. Durante a graduação foi bolsista de iniciação científica por dois anos, parte financiado pelo Programa Recém-Doutor/UFSCar e parte pelo PIBIC/CNPq, atuando na área de restauração de áreas degradadas. Realizou estágio com uso eficiente de recursos hídricos em ambiente protegido pela UFSCar e, na APTA Polo Centro Sul, realizou estágio com uso da palhada para geração de etanol de segunda geração, sendo bolsista de iniciação tecnológica industrial/ITI pela Petrobrás/Embrapa. Em 2011 foi bolsista de aperfeiçoamento da Fundação de Apoio à Pesquisa Agrícola (FUNDAG) pela APTA Polo Centro Sul, atuando com fitotecnia, nutrição e adubação de cana-de-açúcar até o ano de 2012 quando iniciou o mestrado em Agronomia (Produção Vegetal), na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Unesp, Câmpus de Jaboticabal – SP. Em março de 2015 iniciou o doutorado em Agronomia (Produção Vegetal) também pela Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, sendo bolsista CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior). Foi integrante do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA) período no qual desenvolveu e acompanhou pesquisas relacionadas controle de qualidade em operações agrícolas mecanizadas e agricultura de precisão. Em 2017 realizou período de doutorado sanduíche na *University of Georgia*, sob supervisão do Prof. Dr. George Vellidis, auxiliando em pesquisas relacionadas a agricultura de precisão.

“Descobrir consiste em olhar para o que todo mundo está vendo e pensar em uma coisa diferente” (Roger Von Oech).

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes” (Marthin Luther King)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, meus irmãos Diego e Mariana e aos amigos que participaram desta etapa. A vocês dedico com todo carinho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por permitir o cumprimento de mais uma etapa na minha vida.

Aos meus pais por todo suporte e apoio sempre que necessário.

Aos meus irmãos, que sempre me apoiaram e incentivaram para realização desta conquista.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva, pela amizade, oportunidade, paciência, sabedoria, ensinamentos e por ser sempre um porto seguro nos momentos de dificuldade.

Ao meu coorientador da Universidade Estadual Paulista, Prof. Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani pela amizade, ensinamentos e oportunidade.

Aos meus coorientadores da *University of Georgia*, Prof. Dr. George Vellidis e Prof. Dr. Wesley Porter, pela acolhida durante meu período em Tifton, ensinamentos e oportunidade.

Aos membros da Banca Examinadora, Prof. Dr. Afonso Lopes, Prof. Dr. Cristiano Zerbato, Prof. Dr. Murilo Aparecido Voltarelli e Prof. Dr. Tiago Rodrigo Francetto pelas contribuições e por compartilharem o conhecimento para enriquecer o trabalho.

À Patricia Candida de Menezes, por toda ajuda, apoio e carinho que foram essenciais para realização desse trabalho.

Às amigas Franciele Carneiro, Ana Júlia e Maria Fernanda, por toda amizade, ajuda e por todos os bons momentos.

Aos amigos com quem tive oportunidade de aprender, compartilhar experiências e alegrias do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA), Antônio

Tassio, Tiago Tavares, Aline Alcântara, Renata Queiroz, Mailson de Oliveira, Francisca Nivanda de Estevam, Maria Albertina, Francisca Edcarla Nicolau, Rafael de Graaf, Luan de Oliveira, Leonardo Bernache, Elizabeth Kazama, Matheus Borba, Carla Paixão, Leane de Souza, Rafael Bertonha, Lígia Negri, Adão dos Santos, Felipe Santinato, Rafael Noronha, André Damasceno, Danilo Tedesco e Marcelo Cassia.

Aos amigos de Tifton, com quem pude adquirir novos conhecimentos e ter bons momentos, Lorena, Chiara, Dimitris, Anna, David, Emily, Kade, Tyler, Ben, Mason, Maricel e Vasilis.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural Valdecir Aparício e Sebastião Francisco da Silva Filho pela amizade e pelos ensinamentos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Meu muito obrigado a todos por contribuírem com o presente momento.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
CAPÍTULO 1 - Considerações gerais.....	1
INTRODUÇÃO.....	1
OBJETIVOS	2
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
Cultivo da Cana-de-açúcar no Brasil e Novos Sistemas de Plantio.....	3
Importância econômica e o aumento da mecanização na cana-de-açúcar	4
Qualidade do corte de base da cana-de-açúcar.....	7
Controle Estatístico de Qualidade.....	9
REFERÊNCIAS.....	10
CAPÍTULO 2 – Monitoramento do estabelecimento de canaviais formados a partir de mudas pré-brotas e rebolos.....	14
INTRODUÇÃO.....	14
MATERIAL E MÉTODOS	15
RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
CONCLUSÕES.....	27
REFERÊNCIAS	27
CAPÍTULO 3 - Qualidade do processo de colheita multilinhas de canaviais oriundos de mudas pré-brotadas e rebolos.....	29
INTRODUÇÃO.....	29
MATERIAIS E MÉTODOS	32
Análise de Variabilidade dos Colmos.....	34
Indicadores de Qualidade	35
Altura de corte	35
Índice de danos e índice de abalos.....	36
Resistência Mecânica do Solo à Penetração (RMSP) e Umidade Gravimétrica do Solo.....	38
Análise estatística.....	38
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40

CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS	49
CAPÍTULO 4 – Subjetividade do método de avaliação de danos e abalos às soqueiras na colheita mecanizada de cana-de-açúcar	53
INTRODUÇÃO.....	53
MATERIAL E MÉTODOS	55
RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
CONCLUSÃO	64
REFERÊNCIAS	65
CAPÍTULO 5 – Proposta de metodologia padrão para avaliação de abalos às soqueiras de cana-de-açúcar	67
INTRODUÇÃO.....	67
MATERIAL E MÉTODOS	68
Procedimentos das avaliações em campo	69
Metodologia de adaptada de Toledo (2012) por Cassia e Silva (2015) para determinação do índice de abalos às soqueiras.....	70
Metodologia precisa para avaliação de abalos às soqueiras.....	72
Cálculo da área de projeção da movimentação do colmo (APMC).....	76
RESULTADOS E DISCUSSÃO	79
CONCLUSÕES.....	84
REFERÊNCIAS	84
CAPÍTULO 6 – Considerações finais	86

QUALIDADE DO PLANTIO, TRANSPLANTIO E COLHEITA MECANIZADOS DE REBOLOS E MUDAS PRÉ-BROTADAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO – Com as mudanças que o setor sucroenergético tem passado, são necessárias novas técnicas e aumento da eficiência nas operações agrícolas. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi: (i) Utilizar ferramentas de qualidade para monitorar o comportamento de canaviais formados a partir de mudas pré-brotadas e de rebolos; (ii) Verificar a qualidade operacional da colheita mecanizada de cana-de-açúcar em canaviais formados a partir de mudas pré-brotadas e de rebolos (iii) Avaliar a possível subjetividade que a metodologia existente de avaliação de abalos às soqueiras possui e bem como sugerir recomendações e melhorias; (iv) Propor uma metodologia precisa para avaliar os abalos às soqueiras de cana-de-açúcar, para o acompanhamento da qualidade da colheita mecanizada de cana-de-açúcar. Foram realizados quatro experimentos em áreas agrícolas localizadas nas proximidades dos municípios de Guariba, Nova Europa e Jaboticabal, todas localizadas no Estado de São Paulo. O controle estatístico de processo se mostrou uma ferramenta interessante para monitorar o comportamento dos canaviais e das operações agrícolas envolvidas. A necessidade do aumento da qualidade das operações faz com que surja a demanda por maneiras mais eficientes para se determinar a qualidade. A classificação mais precisa dos canaviais quanto ao porte e o sentido de tombamento dos canaviais é interessante para prever a influência da classificação sobre a qualidade da colheita. A avaliação de abalos deve ser feita com cautela devido a subjetividade da classificação das condições dos colmos, sugerindo-se um treinamento intensivo antes de aplicá-la. A metodologia precisa para avaliação de abalos apresentou potencial para desenvolvimento de trabalhos futuros com a finalidade de formar um banco de dados robusto para refinar os intervalos de classificação de abalos. Uma vez formado o banco de dados e com a metodologia refinada, espera-se desenvolver trabalhos futuros para desenvolvimento de novas tecnologias ou um equipamento que agilize as avaliações e forneça resultados mais precisos.

Palavras-chave: *Saccharum* spp., abalo às soqueiras, danos às soqueiras

PLANTING, TRANSPLANTING AND MECHANIZED HARVESTING QUALITY OF BILLETS AND PRE-SPROUTED SEEDLINGS OF SUGARCANE

ABSTRACT – Sugarcane sector has changed and new techniques and efficiency in agricultural operations are needed. In this sense, the objective of the present work was: (i) To use quality tools to monitor the behavior of sugarcane plantations from pre-sprouted seedlings and billets; (ii) Verify the operational quality of mechanized harvesting in sugarcane fields from pre-sprouted seedlings and billets (iii) Evaluate the possible subjectivity that the existing method of evaluating ratoon disturbance and suggest recommendations and improvements; (iv) Propose a precise methodology to evaluate the disturbance of sugarcane, to monitoring the quality of the mechanized harvesting of sugarcane. Four experiments were developed in agricultural areas located near the municipalities of Guariba, Nova Europa and Jaboticabal, all located in the State of São Paulo. Statistical process control proved to be an interesting tool to monitor the behavior of sugarcane plantations and the agricultural operations involved. The need to increase the quality of operations causes demand to arise for more efficient ways to determine quality. The more precise classification of sugarcane plantations on the size and the direction of tipping of sugarcane is interesting to predict the influence of classification on the quality of the harvest. The evaluation of disturbance needed to be evaluated carefully due to the subjectivity of the classification of the conditions of the stalks, suggesting an intensive training before applying it. The precise methodology for ratoon disturbance evaluation presented potential for the development of future work with the purpose of forming a robust database to refine the intervals of classification of concussions. Once the database is formed and with the refined methodology, it is expected to develop future work to develop new technologies or equipment that will speed up the evaluations and provide more accurate results.

Keywords: *Saccharum* spp., ratoon disturbance, ratoon damage

CAPÍTULO 1 - Considerações gerais

INTRODUÇÃO

Esta tese é constituída por seis capítulos com temas relacionados ao monitoramento, tanto das mudanças que os novos sistemas de plantio têm proporcionado na formação de canaviais originados do sistema de mudas pré-brotadas (MPB), quanto a influência que esse sistema tem sobre a qualidade da colheita mecanizada.

O objeto de estudo da tese tem grande relevância, pois o setor sucroenergético tem passado por grandes transformações em um período curto, que apesar de trazer elevados ganhos operacionais, tem afetado diretamente tanto na longevidade e vigor dos canaviais, quanto na qualidade do material colhido.

Informações sobre comportamento dos canaviais em novos sistemas de plantio e como isso pode afetar as operações de colheita são de grande valia quando se busca atingir alta qualidade operacional.

Aliado a isso, é preciso que sejam gerados dados cada vez mais confiáveis e que sejam feitas melhorias direcionadas a fim de diminuir custo e aumentar a eficiência do processo e, para isso os métodos para coletar as informações necessitam ser cada vez mais acurados e confiáveis.

Assim, esta tese parte do pressuposto que seja possível monitorar o plantio e a colheita para garantir melhor desempenho da cultura.

Foi abordado no primeiro capítulo um referencial teórico sobre a importância da cana-de-açúcar, as transformações que o setor sucroenergético tem sofrido e importância da colheita mecanizada e do corte com qualidade.

No segundo capítulo, foi abordado o potencial de uso das cartas de controle como ferramenta de qualidade no monitoramento do comportamento de canaviais formados a partir de mudas pré-brotadas e rebolos.

No terceiro capítulo, foi estudada a qualidade operacional da colheita mecanizada de cana-de-açúcar nos sistemas de mudas pré-brotadas e de rebolos colhidas por uma colhedora multilinhas.

O quarto capítulo foi estudado a variabilidade e suas implicações no que diz respeito as avaliações relacionadas ao acompanhamento da qualidade do corte na colheita mecanizada de cana-de-açúcar.

No quinto capítulo foi proposta e validada, preliminarmente, uma metodologia padrão para avaliação de abalos às soqueiras na cultura da cana-de-açúcar com a finalidade de reduzir a subjetividade do método atual para avaliar abalos.

Por fim, no sexto capítulo foram realizadas considerações finais abordando os resultados mais relevantes dentre todos os capítulos e quais perspectivas para futuros trabalhos relacionados ao tema.

OBJETIVOS

1. Utilizar ferramentas de qualidade para monitorar o comportamento de canaviais formados a partir de mudas pré-brotadas e de rebolos.
2. Verificar a qualidade operacional da colheita mecanizada de cana-de-açúcar em canaviais formados a partir de mudas pré-brotadas e de rebolos.
3. Avaliar a possível subjetividade que a metodologia existente de avaliação de abalos às soqueiras possui e bem como sugerir recomendações e melhorias.
4. Propor uma metodologia precisa para avaliar os abalos às soqueiras de cana-de-açúcar, para o acompanhamento da qualidade da colheita mecanizada de cana-de-açúcar

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Cultivo da Cana-de-açúcar no Brasil e Novos Sistemas de Plantio

A história do Brasil está tão ligada ao cultivo da cana-de-açúcar que é praticamente impossível dissociá-las (Pina, 1972). Prova disso é que logo após o descobrimento do Brasil, por volta de 1502, as primeiras mudas de cana-de-açúcar chegaram ao Brasil e, 30 anos mais tarde, em 1532, o cultivo comercial foi iniciado com a introdução de variedades trazidas da Ilha da Madeira por Martim Afonso de Souza (Figueiredo, 2008).

A partir de então, a cultura foi difundida pelo Brasil, tornando-se, nos dias atuais, o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (FAOSTAT, 2017). Para chegar a essa posição de destaque, além dos cinco séculos de tradição produzindo a cultura, foram essenciais a adoção de tecnologias e inovações (Farinelli e Santos, 2017), como: adoção de variedades melhoradas; alocação das variedades em solos adequados; uso de fertilizantes e defensivos; uso de agricultura de precisão, entre outros. Entretanto, pouca evolução foi observada na forma como é realizado o plantio.

O conceito de como é feito o plantio quase não mudou desde a chegada da cana ao Brasil. No sistema convencional, os sulcos são abertos e os colmos plantados (Gomes, 2014).

Somente nos últimos anos surgiram estudos específicos a fim de desenvolver novas formas de plantio, etapa crítica para estabelecimento da cultura.

O setor sucroenergético tem buscado cada vez mais eficiência e capacidade operacional e, para isso, usinas têm adotado o plantio mecanizado como operação padrão. Porém, em grande parte dos casos, há maior consumo de mudas devido, principalmente, aos danos mecânicos causados nas gemas (Ripoli et al., 2006; Serafim et al., 2013).

No plantio convencional (semimecanizado), para se implantar um hectare são utilizados em torno de 12 toneladas de mudas, enquanto no sistema mecanizado, entre 16 e 20 toneladas (Proença et al. 2009; Landell et al., 2012). O elevado consumo se deve ao grande impacto que a colheita das mudas causa nas gemas, reduzindo a viabilidade do material fazendo com que seja necessário se utilizar um volume cada vez maior (Serafim et al., 2013).

Nesse sentido, empresas e instituições de pesquisa têm sugerido novas tecnologias para o plantio, de forma que sejam mais sustentáveis e sejam operacionalmente mais viáveis. A tecnologia que tem sido destaque nos últimos anos foi a criada pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), chamada de sistema de multiplicação de mudas pré-brotadas (MPB), que visa levar a muda pronta para o campo (Landell et al., 2012) e não mais uma parte vegetativa da planta, o que requer cuidados diferenciados.

A grande vantagem do MPB em relação ao plantio convencional, segundo o IAC, é que este sistema pode reduzir para duas toneladas a massa de mudas necessárias para implantação de um hectare. Este sistema também permite maior taxa de multiplicação, sanidade de mudas, uniformidade no plantio e a possibilidade de levar para o campo um menor volume de material permitindo que máquinas de menor porte façam o plantio (Landell et al., 2012).

Importância econômica e o aumento da mecanização na cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é cultivada em uma área correspondente a 27 milhões de hectares no mundo, com uma produção total de 1,8 bilhões de toneladas de colmos (FAOSTAT, 2017).

No Brasil, a área cultivada corresponde um terço do cultivado no mundo, ou a nove milhões de hectares, sendo metade desse total cultivada apenas no Estado de São Paulo (Companhia Nacional de Abastecimento, 2018).

A cultura é a segunda maior em valor da produção agrícola no Brasil, com uma geração de valor estimada em R\$ 40,5 bilhões em 2013, ficando atrás apenas da cultura da soja, com R\$ 50, 5 bilhões e a frente da cultura do milho, com R\$ 26,8 bilhões (IBGE, 2014).

Apesar do grande valor de negócio representado pelo setor, em 2014 foi iniciada a pior crise da sua história; e sem um plano de recuperação, o crescimento observado nas últimas décadas foi substituído por fechamento de empresas, redução das atividades de plantio por usinas e fornecedores e diminuição da oferta de empregos (Nastari, 2015).

A crise do setor é fruto da diminuição da rentabilidade causada por fatores controláveis e incontrolláveis. Condições ambientais adversas não são passíveis de serem controladas, e não são superados rapidamente os impactos e desafios provenientes da mecanização da colheita e do plantio.

A crescente mecanização veio da necessidade de reduzir gradualmente a queima da palha, e do aumento do custo da mão de obra utilizada no corte e no plantio manuais.

Com essas mudanças, a colheita manual passou a ser dificultada pelo alto volume de palha presente na cana além de questões trabalhistas, fazendo com que houvesse a adoção mais intensa de máquinas a partir de 2010 (Figura 1), ano que houve um salto de 60% na venda de colhedora de cana-de-açúcar no Brasil (Folha de São Paulo, 2010).

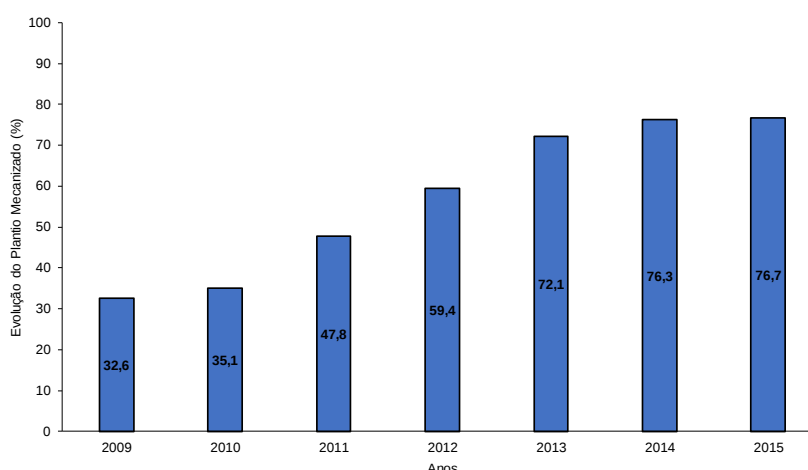


Figura 1. Evolução do plantio mecanizado na região Centro-Sul (Fonte: Benchmarking CTC).

A mão de obra utilizada na colheita, também era aproveitada para realização do plantio semimecanizado. Como houve redução na oferta deste tipo de serviço, trabalhadores que muitas vezes originários de outros estados, passaram deixar as regiões produtoras, fazendo com que o aumento do plantio mecanizado acompanhasse aumento a colheita mecanizada (Figura 2).

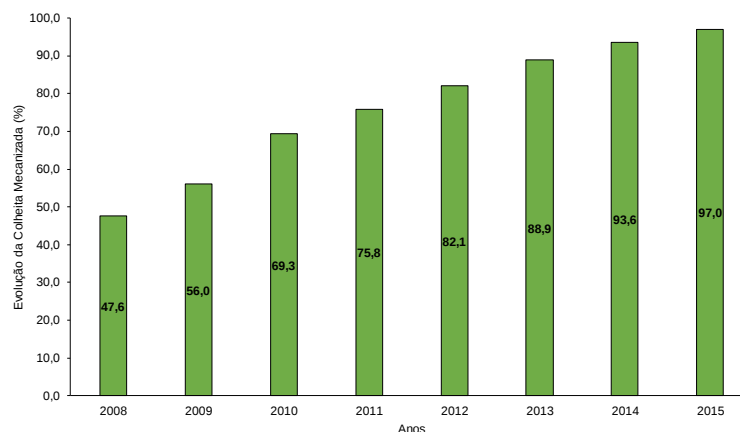


Figura 2. Evolução da colheita mecanizada na região Centro-Sul (Fonte: Benchmarking CTC).

A mecanização da colheita trouxe novos desafios, mas também a possibilidade de aproveitar um volume enorme de energia que antes era desperdiçado. Os desafios estão relacionados à necessidade de treinamento de um contingente relevante de mão de obra que antes realizava o corte e plantio mecanizados (Figura 3), ao aumento das impurezas vegetal e mineral presentes na cana entregue nas usinas, às maiores perdas de colheita, à redução da longevidade dos canaviais, ao maior consumo de diesel em operações agrícolas, a maiores dispêndios com a manutenção industrial, a maiores perdas na fibra e à necessidade de sistematização de solos, com aumento do investimento em fundação de lavouras (Nastari, 2015).

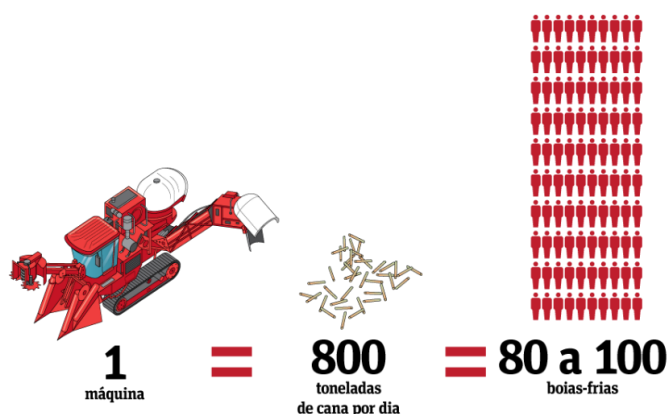


Figura 3. Equivalente da capacidade de colheita de uma máquina e boias frias. Com o aumento da colheita mecanizada, um novo desafio foi capacitar o contingente antes utilizado para colheita mecanizada (Fonte: Folha de São Paulo, 2010).

Outra questão que o setor deve superar é o aumento da mecanização com qualidade. Cruzando as informações do plantio e colheita mecanizados e a produtividade nos últimos anos, é possível visualizar que a produtividade dos canaviais tem sido prejudicada pela falta de qualidade e muitas vezes de critérios das operações.

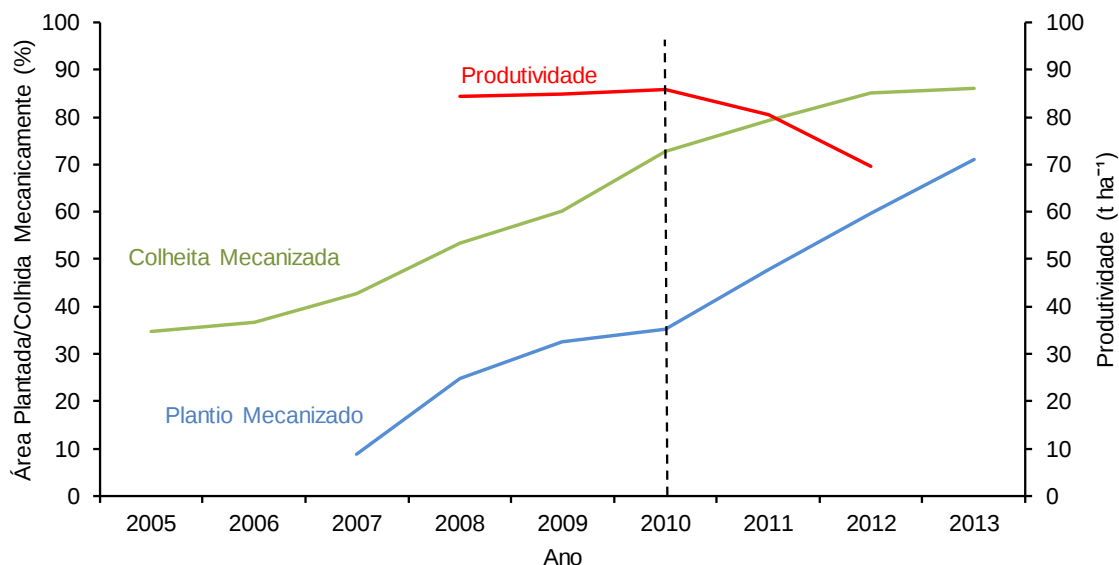


Figura 4. Evolução do plantio e colheita mecanizados e os efeitos sobre a produtividade (Fonte: Elaborado pelo autor a partir de CTC e MAPA)

Com isso, um grande esforço de investimento tem sido feito na direção da mecanização e no aprimoramento da tecnologia empregada nas máquinas e nos equipamentos. Os resultados e os benefícios deste processo serão colhidos ao longo do tempo, na forma de aproveitamento energético e econômico da palha, maior fertilidade dos solos, maior produtividade agrícola e sustentabilidade da produção (Neves e Kalakari, 2015).

Qualidade do corte de base da cana-de-açúcar

Ao setor canavieiro, é uma tendência irreversível e crescente a colheita mecanizada de cana-de-açúcar, em função a maior operacionalidade nos turnos noturno e diurno, em razão das leis trabalhista e ambientais. O grande desafio deste

sistema é a melhoria e do mecanismo de corte de base, podendo causar altos índices de abalos e danos nas soqueira e desgaste das facas (Voltarelli et al., 2015).

A adoção da colheita mecanizada na cana-de-açúcar tem gerado preocupações quanto à perda de matéria-prima e à qualidade do corte, para diminuir estes problemas, os fabricantes desenvolveram dispositivos para ajudar o operador no controle da altura de corte (Salvi et al., 2007).

A colheita mecanizada de cana-de-açúcar tem aumentado nos estados produtores em razão da eliminação da queima pré-colheita em toda área canavieira até 2017. Contudo, o sistema de corte basal das colhedoras ainda se apresenta ineficiente, afetando de forma direta na qualidade da matéria-prima e comprometendo a longevidade do canavial (Voltarelli et al., 2017).

A melhoria da matéria-prima e da qualidade do corte é recomendado pelas intervenções na colheita e em outras práticas culturais, tais como, mudanças nos projetos das colhedoras, preparo do solo, distância entre sulcos, plantio (Ridge, 1980). Os fabricantes estão deixando acessível no mercado dispositivos e sistemas para ajudar o operador no controle automatizado da altura do corte de base, visando a redução da quantidade de solo observada no suprimento de cana para a indústria (Garson, 1992).

De acordo com Garson e Armstrong (1993) o sistema automatizado de controle de altura de corte basal apresenta como vantagem: maior facilidade de operação da colhedora, redução dos danos à base da cana e ao consumo de combustível.

O corte de base fundamenta-se no princípio do corte inercial por impacto, composto por um cortador de discos duplos rotativos, com múltiplas facas (lâminas) que têm como função efetuar o corte mais perfeito, visando o melhor aproveitamento da área, com menores índices de contaminações da matéria-prima e de perdas, como garantir condições agronômicas que proporcionam a rebrota do canavial sem necessitar a redução da produtividade (Neves, et al., 2006; Santos, 2008; Silva et al., 2008).

O mecanismo de corte basal pode ser considerado o responsável por parte das perdas e ainda possibilita a incorporação de solo à matéria-prima, somando-se ao fato do desgaste das lâminas devido ao aumento dos índices de abalos e danos nas

soqueiras, sendo que quanto menor o ângulo de ataque da faca ao cortar os colmos (Sestari et al., 2010).

Associado a relevância do corte basal de cana-de-açúcar, a aplicação do Controle Estatístico de Processo pode ser fundamental para aumentar a qualidade, indicando falhas e melhorias, apresentando como está ocorrendo o processo (Voltarelli et al., 2015).

Controle Estatístico de Qualidade

Na história da qualidade, a revolução industrial foi considerada um marco, porque foi um período de profundas mudanças sociais e econômicas, tais como o surgimento da produção em massa e o início da automação.

A popularização da padronização de produtos iniciou-se por volta de 1900. Walter Andrew Sherwart criou o controle estatístico, que veio logo a seguir, na introdução de técnicas de amostragem e de outros procedimentos de base estatística. Inicialmente nos Estados Unidos os sistemas da qualidade foram produzidos, implantados e melhorados, popularizando-se, posteriormente, em diversos países (Rosa, 2015).

Nos Estados Unidos na década de 1920, Walter Shewhart (1939) iniciou colocando em prática nas fábricas algumas premissas básicas em Metodologia Científica e Estatística. Ele foi o empreendedor e pioneiro do Controle Estatístico de Qualidade (CEQ). Sendo que, pelos menos algumas das ferramentas do CEQ é utilizada nas fábricas para a melhoria dos processos industriais (Samohyl, 2009).

A melhoria e o controle de qualidade tornaram-se uma estratégia relevante nos negócios para muitas organizações, como: companhias de transporte, manufaturas, organizações de serviços financeiros, distribuidores, agências do governo e profissionais de serviços de saúde. A manutenção de um elevado nível da qualidade do serviço ou produto tem proporcionado uma vantagem competitiva (Montgomery, 2016).

A qualidade tornou-se um dos mais relevantes fatores na tomada de decisão dos consumidores para selecionar serviços e produtos que competem entre si (Montgomery, 2016). Shewhart percebeu que a variabilidade e a qualidade são conceitos antagônicos, ou seja, são inversamente proporcionais, quando um aumenta

o outro tende a diminuir (Samohyl, 2009; Montgomery, 2016). Garvin (1987) cita oito dimensões ou componentes da qualidade, como: qualidade percebida, desempenho, características, durabilidade, confiabilidade, assistência técnica, conformidade com especificações e estética.

Controle estatístico de processos é o conjunto de ferramentas úteis para o aumento da capacidade por meio da diminuição da variabilidade, resolução de problemas para a obtenção da estabilidade do processo (Bonilla, 1995; Montgomery, 2016).

Empresas estão em busca de maior eficiência operacional e administrativa, em virtude da concorrência mundial. As técnicas do Controle Estatístico de Processo (CEP) são uma das ferramentas que possibilitam a melhoria da qualidade e produtividade nas empresas. O CEP é largamente utilizado e desenvolvido nas indústrias e tem grande potencial de uso na agropecuária (Milan e Fernandes, 2002).

O CEP é uma ferramenta estatística muito utilizado na área industrial e está sendo aplicado na agricultura e tem proporcionado promissores resultados, que podem ser observados nos trabalhos de colheita mecanizada de cana-de-açúcar (Voltarelli et al., 2015), de soja (Chioderoli et al., 2012; Compagnon et al., 2012), de café (Cassia et al., 2013; Tavares et al., 2015) entre outros.

Pelo CEP é possível detectar as possíveis falhas/erros, pelo diagrama de causa-efeito, por meio do monitoramento da operação agrícola, com intuito de corrigi-las e reduzi-las, visando o aumento da qualidade e redução da variabilidade sendo possível a realização da gestão e planejamento das operações. Uma ferramenta estatística do CEP que tem apresentado bons resultados são as cartas de controle que proporciona o monitoramento do processo e facilita a identificação visual dos erros a serem corrigidos.

REFERÊNCIAS

- Bonilla JA (1995) Métodos quantitativos para qualidade total na agricultura. Contagem: Littera Maciel, 250p.
- Cassia MT, Silva RP, Chioderoli CA, Noronha RHF, Santos EP (2013) Qualidade da colheita mecanizada de café em sistema de plantio circular. **Ciência Rural** 43:28-34.
- Chioderoli CA, Silva RP, Noronha RHF, Cassia MT, Santos EP (2012) Perdas de grãos e distribuição de palha na colheita mecanizada de soja. **Bragantia** 71: 112-121.

Compagnon AM, Silva RP, Cassia, MT, Graat D, Voltarelli MA (2012) Comparação entre métodos de perdas na colheita mecanizada de soja. **Scientia Agropecuaria** 3: 215-223.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, safra 2018/2019, terceiro levantamento. Brasília: CONAB, 2018. 76 p.

Farinelli JBM, Santos DFL (2017) Impacto das Tecnologias de Plantio no Fluxo de Caixa do Produtor Canavieiro. **Revista Gestão & Tecnologia** 17: 119-144.

FAOSTAT. Statistical database of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 14 nov. 2017.

Figueiredo P (2008) Breve história da cana-de-açúcar e do papel do Instituto Agrônomo no seu estabelecimento no Brasil. In: Dinardo-Miranda LL, Vasconcelos ACM, Landell MGA (Eds.) **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, p.29-44.

Garson CA, Armstrong M (1993) Ultrasonic base cutter height control: a report on 1992 season experiments. In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS. **Anais...** Bundaberg: p. 52-59.

Garson CA (1992) Control of harvester base cutter height. In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS. **Anais...** Towsville: p. 156-162.

Garvin DA (1987) Competing in the Eight Dimensions of quality. **Harvard Business Review** 87: 101-109.

Gomes C (2014) IAC desenvolve sistema inédito que muda o conceito de plantar. **IAC Notícias**. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/noticiasdetalhes.php?id=836>>. Acesso em: 10 jan. 2014.

Landell MG et al. (2012) **Sistema de multiplicação de de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas**. Ribeirão Preto: Instituto Agrônomo de Campinas, 17 p. (Documentos IAC, 109).

Milan M, Fernandes RAT (2002) Qualidade das operações de preparo de solo por controle estatístico de processo. **Scientia Agricola** 59: 261-266.

Montgomery DC (Ed.) (2016) Introdução ao controle estatístico da qualidade. Rio de Janeiro: LTC, 549p.

Nastari PM (2015) Perspectivas para o setor canavieiro: análise e perspectivas do setor para o Brasil. In: Belardo GC, Cassia MT, Silva RP (Eds.) **Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA, p. 31-34.

Neves JLM, Magalhães PSG, Moraes EE, Araújo FVM (2006) Avaliação de perdas invisíveis na colheita mecanizada em dois fluxos de massa de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola** 26: 787-794.

Neves MF, Kalakari RB (2015) A dimensão do setor sucroenergético: mapeamento e quantificação da safra 2013/2014. In: Belardo GC, Cassia MT, Silva RP (Eds.) **Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA, p. 35-71.

Pina HA (1972) Agroindústria açucareira e sua legislação. Rio de Janeiro: APEC, 364 p.

Proença ER, Tarsitano A, Bolonhezi AC, Rapassi RMA, Costa SMAL (2009) Inovações tecnológicas adotadas por usinas do setor sucroalcooleiro na regional de Andradina estado de São Paulo. In: CONGRESSO SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA ADMINISTRAÇÃO E SOCIEDADE RURAL, 47., 2009, Porto Alegre. **Anais eletrônicos...** Porto Alegre: SOBER, 2009. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/13/693.pdf>>. Acesso em: 08 jul. 2018.

Ridge DR (1980) Minimizing the problem of soil in chopper harvester cane. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS. **Anais...** Manila p. 315-23.

Ripoli TCC, Ripoli MLC, Casagrandi DV, Ide BY (Eds.) (2006) Plantio de cana-de-açúcar: estado da arte. Piracicaba: Livrocere, 198p.

Rosa LC (Ed.) (2015) Introdução ao Controle Estatístico de Processos. Santa Maria: UFSM, 176p.

Salvi JV, Matos MA, Milan M (2007) Avaliação do desempenho de dispositivo de corte de base de colhedora de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola** 27: 201-209.

Samohyl RW (Ed.) (2009) Controle estatístico da qualidade. Rio de Janeiro: Elsevier, 352p.

Santos EP (2008) **Rebrota de duas variedades de cana-de-açúcar colhida crua sob dois níveis de desgaste das facas do mecanismo de corte basal** 40 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Unesp, Jaboticabal.

Serafim LGF, Stolf R, Silva JR, Maniero MA, Bassinelo AI (2013) Influência do plantio mecanizado no índice de brotação da cana de açúcar. **Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil** 31: 22-25.

Sestari AV et al. (2010) Avaliação qualitativa do corte basal de cana-de-açúcar realizado por facas revestidas com carbeto de tungstênio. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIARÍA AGRICOLA. **Anais...** Vitória: ALIA, 2010. CD-ROM.

Tavares TO, Santinato F, Silva RP, Voltarelli MA, Paixão CSS, Santinato R (2015) Qualidade do recolhimento mecanizado do café. **Coffee Science** 10: 455-463.

Voltarelli MA, Silva RP, Cassia MT, Daloia JGM, Paixão CSS (2017) Qualidade do corte basal de cana-de-açúcar efetuado por facas de diferentes angulações e revestimentos. **Revista Ciência Agrônômica** 48: 438-447.

Voltarelli MA, Silva RP, Cassia MT, Ortiz DF, Torres LS (2015) Qualidade do corte basal de cana-de-açúcar utilizando-se de três modelos de facas. **Engenharia Agrícola** 35: 528-541.

CAPÍTULO 2 – Monitoramento do estabelecimento de canaviais formados a partir de mudas pré-brotas e rebolos

RESUMO - A tecnologia de mudas pré-brotadas (MPB) tem se mostrado uma alternativa para contornar a queda de produtividade causada pelo aumento do plantio mecanizado de rebolos. O uso de ferramentas adequadas para monitorar o crescimento da cultura pode fornecer informações essenciais para que unidades produtoras adotem ou não a tecnologia. Nesse sentido, objetivou-se com o presente estudo monitorar os sistemas de transplante de mudas pré-brotadas e de plantio de rebolos de cana-de-açúcar, utilizando o controle estatístico de processo. O experimento foi desenvolvido em uma área experimental localizada em Nova Europa-SP. Foram estudados dois sistemas, de mudas pré-brotadas e de rebolos e como indicadores de qualidade foram avaliados, altura e diâmetro de plantas, perfilhamento, porcentagem de falhas e produtividade. O delineamento seguiu as premissas do controle estatístico de processo, com 72 pontos avaliados no tempo. Por meio da análise das cartas de controle, o sistema de mudas pré-brotadas mostrou ser um processo com menor variabilidade, refletindo um canavial mais homogêneo. O canavial formado a partir de rebolos, apresentou plantas com maior vigor mas com maior variabilidade. O controle estatístico de processo se mostrou uma ferramenta interessante para comparar os dois sistemas de plantio.

Palavras-chave: Plantio mecanizado, *Saccharum* spp.; perfilhamento; falhas; análise de crescimento

INTRODUÇÃO

Em busca de maior rendimento, algumas usinas sucroenergéticas têm adotado o plantio mecanizado como operação padrão, porém, como desvantagem, ocorre um maior consumo de mudas por hectare devido, principalmente, aos danos mecânicos causados nas gemas (Ripoli et al., 2006).

Apesar da grande importância econômica da cana-de-açúcar para o Brasil, pouca evolução no plantio foi observada desde sua introdução no século XVI.

Somente nos últimos anos é que se tem sugerido novas formas de plantio. Em 2012 o Instituto Agronômico de Campinas (IAC) do Brasil, lançou um novo sistema de plantio, chamado de Mudanças Pré-Brotadas (MPB), em que ao invés de se plantar utilizando maquinários pesados e um grande volume de partes vegetativas da cana (rebolos), são transplantadas mudas sadias já rustificadas, necessitando de equipamentos mais leves.

Segundo Landell et al. (2012), enquanto o sistema de plantio mecanizado de rebolos chega a consumir 20 t ha⁻¹ de rebolos, o sistema de MPB utiliza apenas 2 t ha⁻¹, além de levar mudas sadias para o campo e possivelmente promover a formação de canaviais uniformes.

Nesse sentido, objetivou-se com o presente estudo monitorar dois sistemas de plantio de rebolos e de transplântio de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar, utilizando o controle estatístico de processo.

MATERIAL E MÉTODOS

O plantio foi realizado em maio de 2015 e o experimento foi instalado em junho do mesmo ano, em área localizada na Fazenda Cambuhy, município de Nova Europa-SP nas proximidades das coordenadas geodésicas: Latitude 21°43'28" S e Longitude 48°32'42" W. A altitude média na propriedade é de 555 m e o clima do tipo Aw segundo classificação de Köppen (Alvares et al. 2013). O solo da propriedade foi classificado como LATOSSOLO AMARELO Distrófico (Santos et al. 2014).

A área possuía histórico de cultivo de citros que foi retirado, posteriormente a área foi subsolada e o solo preparado com gradagem média e leve. Foram abertos sulcos e aplicado torta de filtro e 450 kg de fertilizante na formulação de 8-28-16.

Foram realizados o plantio de rebolos (convencional) e o transplântio de mudas pré-brotadas (MPB), genericamente chamados de plantio. O plantio de MPB foi realizado manualmente com matracas e mudas com 60 dias. O espaçamento entre mudas foi de 0,5 m como recomendação de Landell et al. (2012); já o plantio mecanizado de cana-de-açúcar foi realizado por meio de um conjunto trator-plantadora, composto por um trator John Deere modelo 7715 4 x 2 TDA e uma plantadora de cana-de-açúcar picada de 2 fileiras com hastes sulcadoras espaçadas a 1,50 m. O trator operou com a bitola ajustada a 2,70 m e na marcha de trabalho 1B.

A variedade utilizada nos plantios foi a RB 86 7515, por ser a mais cultivada no Brasil e, portanto, a de maior representatividade (Chapola et al., 2013).

O delineamento experimental foi de acordo com as premissas do controle estatístico de processo (Montgomery, 2016). Foram amostrados no total 72 pontos espaçados 50 m entre si e 1,50 m entre linhas, sendo 36 pontos avaliados no sistema MPB e 36 no sistema de rebolos.

Como parâmetros foram avaliados: altura de plantas, diâmetro de colmos, perfilhamento, produtividade de colmos (TCH) e porcentagem de falhas. A porcentagem de falhas (%F) foi estimada pela Equação 1 de Stolf (1986) e a produtividade de colmos estimado pela Equação 2 de Landell et. al (2005):

$$\%F = \frac{CTFE}{CTLA} \cdot 100 \quad (1)$$

em que,

%F: porcentagem de falhas;

CTFE: comprimento total de falhas maiores que 0,50 m encontradas (m);

CTTLA: comprimento total do trecho de linha analisado (m).

$$TCH = \frac{d^2 \cdot C \cdot h \cdot 0,007854}{E} \quad (2)$$

em que,

TCH: produtividade de colmos por hectare (t ha⁻¹);

d: diâmetro de colmos (cm);

C: número de colmos por metro;

h: altura de plantas (cm);

E: espaçamento entre linhas.

Para verificação da qualidade nos dois sistemas de plantio, foi utilizado o Controle Estatístico de Processo (CEP), por meio das cartas de valores individuais e de amplitude móvel, as quais apresentam a variação do processo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para que um processo seja considerado sob controle, tanto nas cartas de valores individuais quanto nas de amplitude móvel, os pontos devem estar dentro dos limites de controle calculados. Quando um ponto ultrapassa esses limites, o processo é caracterizado como fora de controle.

Sendo assim, observa-se na Figura 1 que para o indicador de qualidade altura de plantas o processo está fora de controle apenas para mudas pré-brotadas (MPB), evidenciado nas cartas de amplitude móvel aos 90 DAP e de valores individuais aos 180 DAP.

Porém, ao observar a variabilidade dos dados, observado pelo intervalo entre os limites superior e inferior de controle, o sistema MPB apresentou menor dispersão dos dados em relação ao plantio de rebolos, evidenciando um processo de melhor qualidade (mesmo com os valores médios das alturas muito próximos), pois a variabilidade está inversamente associada a qualidade do processo (Figura 1).

Verificou que aos 90 DAT os valores médios das alturas de MPB e rebolos foram próximos, com valores de 16,42 e 16,16 cm respectivamente. Ao longo do tempo, a diferença entre as alturas ficou mais evidente, chegando a valores de 260,1 cm para MPB e 318,9 cm, representando uma diferença de aproximadamente 23% (Figura 1).

Provavelmente, isto ocorreu devido ao fato de que os rebolos possuem quantidade maior de reservas de água e nutrientes (Gírio et al., 2015) e podem favorecer seu desenvolvimento em condições severas de baixa umidade e temperatura, como observado no período da avaliação inicial. Uma vez estressada, a planta pode ter seu desenvolvimento afetado até o final do ciclo, como observado no presente estudo.

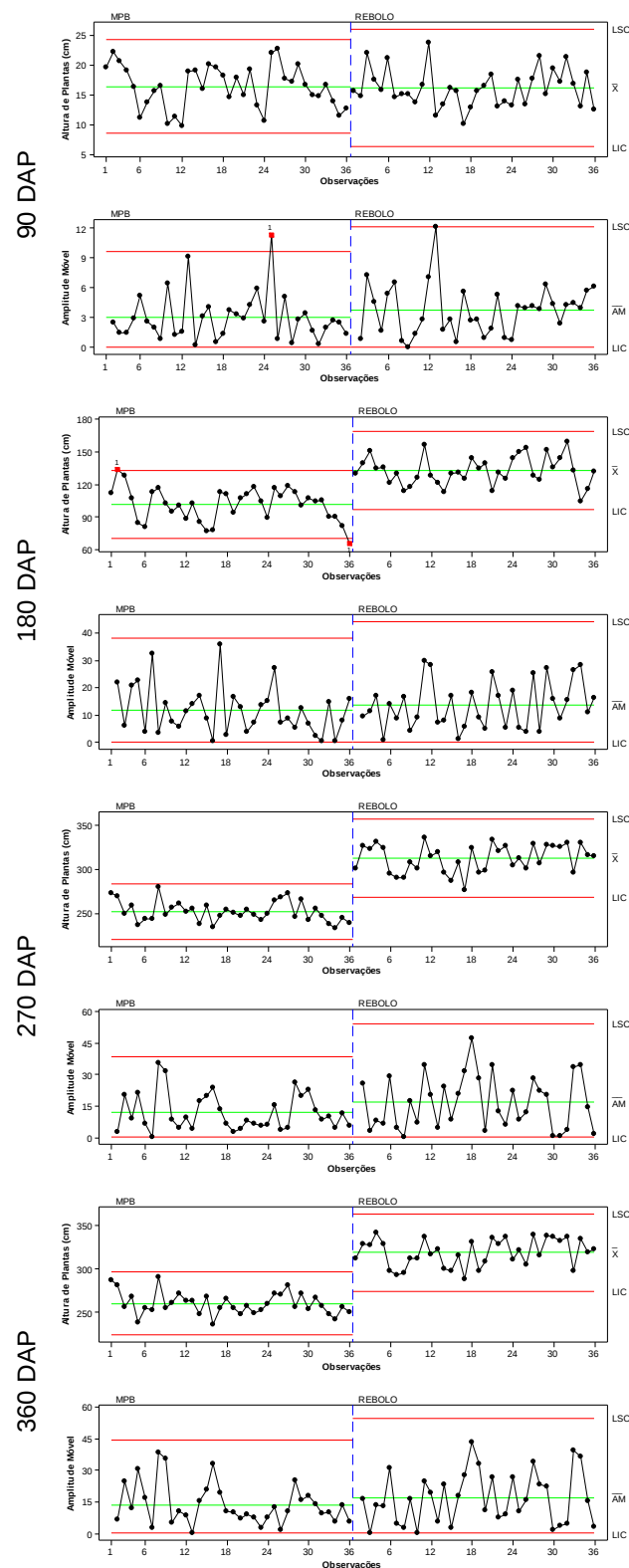


Figura 1. Cartas de controle para altura de plantas nos sistemas de plantio de mudas pré-brotadas (MPB) e de rebolos. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. $\bar{X}$: Média dos valores individuais. $\bar{AM}$: Média da amplitude móvel.

Para o diâmetro de colmos (Figura 2) foi verificado comportamento semelhante ao observado nas cartas com os valores de altura de plantas. Apenas para MPB foram observados pontos fora de controle aos 180 e 360 DAP. Entretanto, a menor variabilidade para este indicador de qualidade ficou mais evidente para MPB em relação ao sistema de plantio de rebolos em todas as épocas de avaliação.

Os maiores valores observados nas cartas de amplitude móvel em todas as épocas para rebolos, indica as maiores diferenças entre os colmos deste canavial, com maior valor médio de amplitude chegando a 3,47 aos 270 DAP, enquanto que o MPB os valores são mais próximos, com valor médio máximo de 1,94 aos 270 DAT.

Assim como para altura de plantas, os maiores diâmetros no sistema de rebolos provavelmente estão relacionados ao fato de que neste sistema o material plantado possuía quantidade maior de reservas de água e nutrientes (Gírio et al., 2015) o que pode ter favorecido seu desenvolvimento em condições severas de baixa umidade e temperatura, como observado no período da avaliação.

Além disso, na fase inicial de desenvolvimento, quase todos os recursos utilizados para o desenvolvimento da planta são provenientes dos rebolos (Carneiro et al., 1995), enquanto que as mudas pré-brotadas necessitariam de um período de adaptação e desenvolvimento do sistema radicular para posteriormente utilizar os recursos disponíveis no solo.

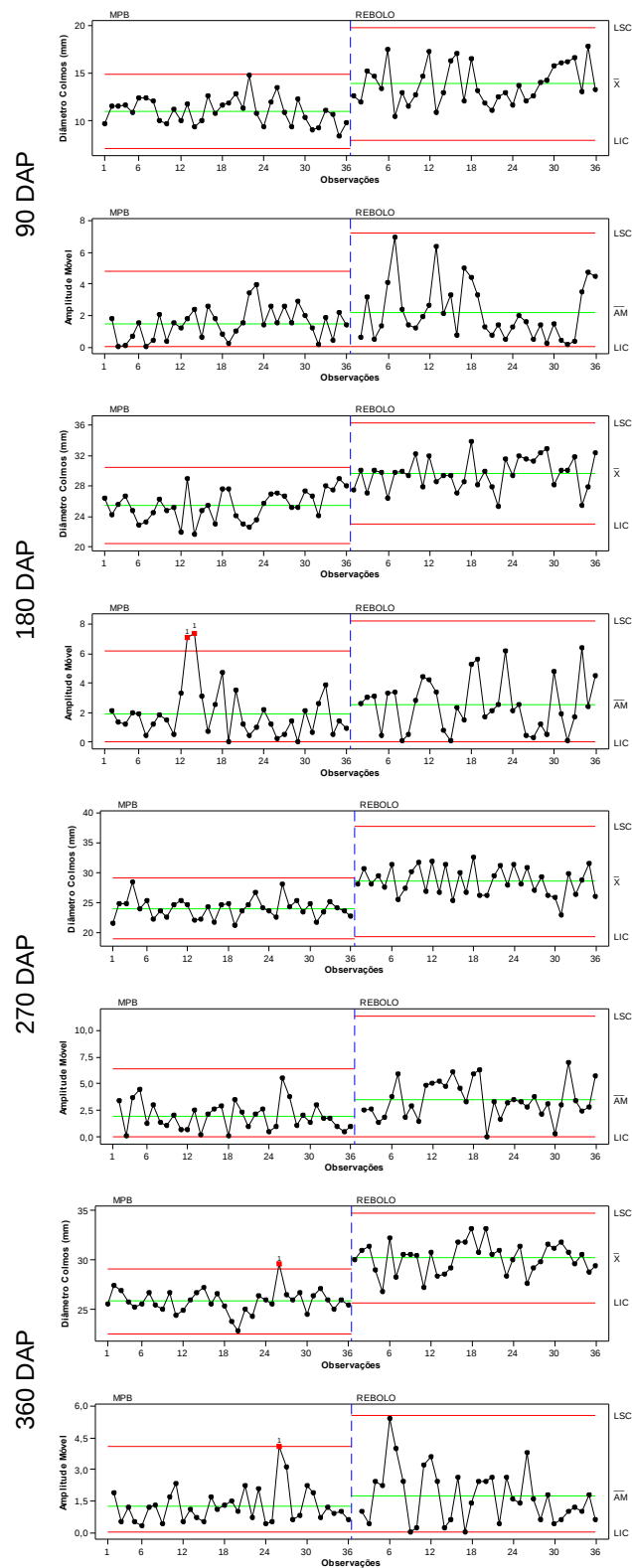


Figura 2. Cartas de controle para diâmetro de colmos nos sistemas de plantio de mudas pré-brotadas (MPB) e de rebolos. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. $\bar{X}$: Média dos valores individuais. $\bar{AM}$: Média da amplitude móvel.

Em relação ao perfilhamento (Figura 3), constata-se que a ocorrência de pontos fora de controle para as avaliações aos 90 DAP para MPB e aos 180 DAP para rebolos, enquanto que para as demais avaliações, o processo se mostrou estável, indicando que, de maneira geral, a variabilidade se deve a à ação de causas aleatórias. As maiores médias de perfilhamento ocorreram para MPB até os 180 DAP e, a partir daí, houve proximidade entre as médias do número de perfilhos para ambos sistemas, chegando aos 360 DAP a seis e oito perfilhos por metro para MPB e rebolos, respectivamente.

Tal constatação pode ser explicada pelos estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar. Os estádios da cana são divididos em quatro fases: brotação e estabelecimento da cultura, perfilhamento, desenvolvimento vegetativo e crescimento dos colmos e maturação (Diola e Santos, 2012). A fase de perfilhamento, em que a cultura apresenta o máximo número de perfilhos ocorre até os 120 DAP (Casagrande, 1991), a partir de então, há uma intensa competição entre os perfilhos por recursos, estabelecendo-se até os 270 DAP a população final com apenas os mais vigorosos.

Outro fator que pode ter contribuído para redução do número de perfilhos para uma faixa inferior a considerada ideal de 10 a 13 perfilhos por metro (Stolf, 1989), foi a elevada infestação pela broca-da-cana (*Diatraea saccharalis*) que pode causar a morte de um grande número de perfilhos em canaviais jovens (Dinardo-Miranda et al. 2012).

Além disso, verificou-se que o sistema de MPB se mostrou com menor variabilidade em relação ao rebolo, indicando que a população de perfilhos é mais uniforme e apresentam-se em estágio semelhantes de desenvolvimento (Figura 3), fato que pode ter favorecido pelo ataque antecipado das brocas-da-cana.

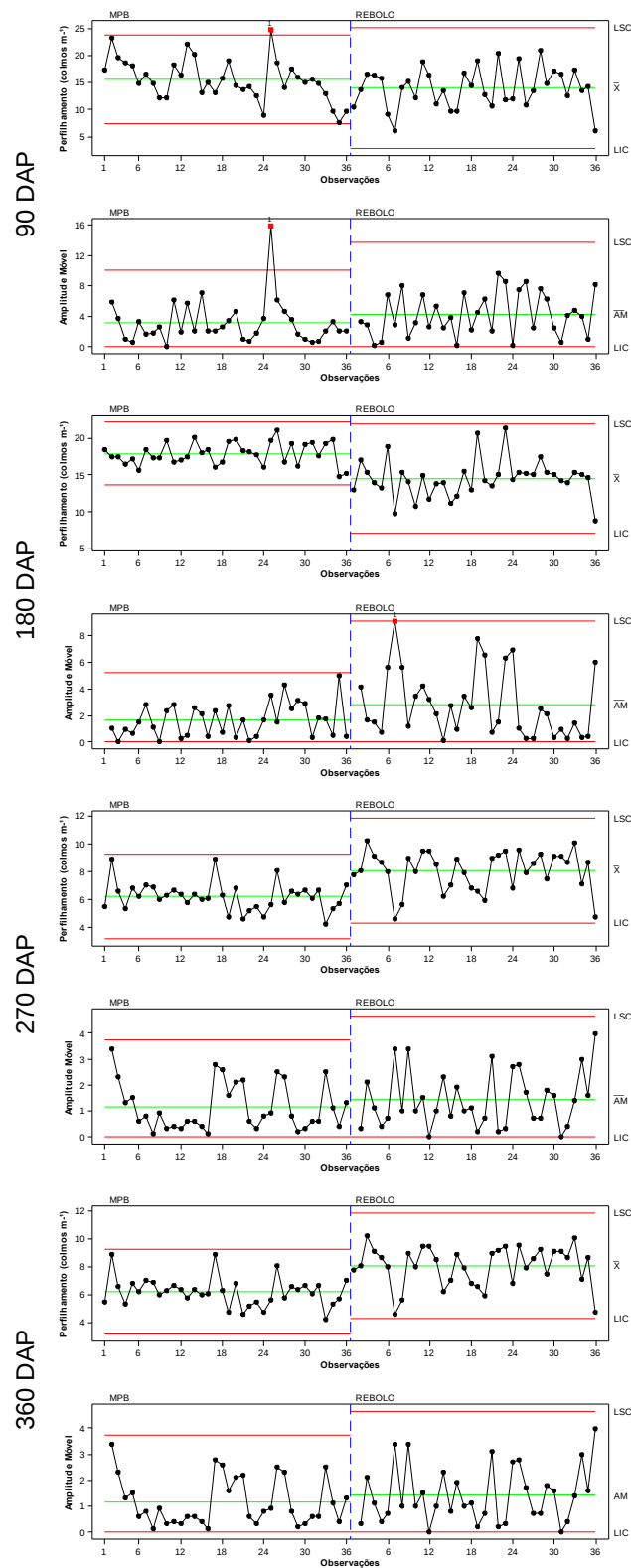


Figura 3. Cartas de controle para perfilamento nos sistemas de plantio de mudas pré-brotadas (MPB) e de rebolos. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. $\bar{X}$: Média dos valores individuais. $\bar{AM}$: Média da amplitude móvel.

Na Figura 4 são apresentados os resultados da porcentagem de falhas para cada sistema de plantio. Para este indicador de qualidade as diferenças entre os sistemas ficaram mais evidentes e as cartas de controle se mostraram com grande potencial de uso.

Para o sistema de MPB, tanto nas cartas de controle quanto de amplitude móvel nas quatro épocas, observou-se pontos fora de controle, indicando processo instável, enquanto que para rebolos, apenas aos 180 DAP, foi identificado um ponto fora de controle na carta de amplitude móvel. As maiores médias foram observadas no sistema de rebolos nas quatro épocas (Figura 4).

Stolf (1986) estabeleceu a qualidade do plantio de acordo com a porcentagem de falhas, em que: até 10% o canavial é considerado excelente, de 10 a 20% normal, de 20 a 35%, subnormal, de 35 a 50% subnormal e maior que 50% péssimo.

Verificou-se que os valores médios dos dois plantios estão dentro do considerado excelente, mas a média das falhas no MPB chega a ser quase nove vezes menor que as falhas no sistema de plantio de rebolos na etapa final.

Quanto a variabilidade, por meio das cartas de controle é evidente a maior uniformidade do sistema de MPB em relação ao de rebolos. O MPB apresentou maior parte dos pontos amostrados sem falhas e quando as falhas estavam presentes, o maior valor observado foi de 3,63%. Para rebolos foi verificada elevada variabilidade, com valores variando entre 0 e 17,4% de falhar, evidenciando a desuniformidade do sistema.

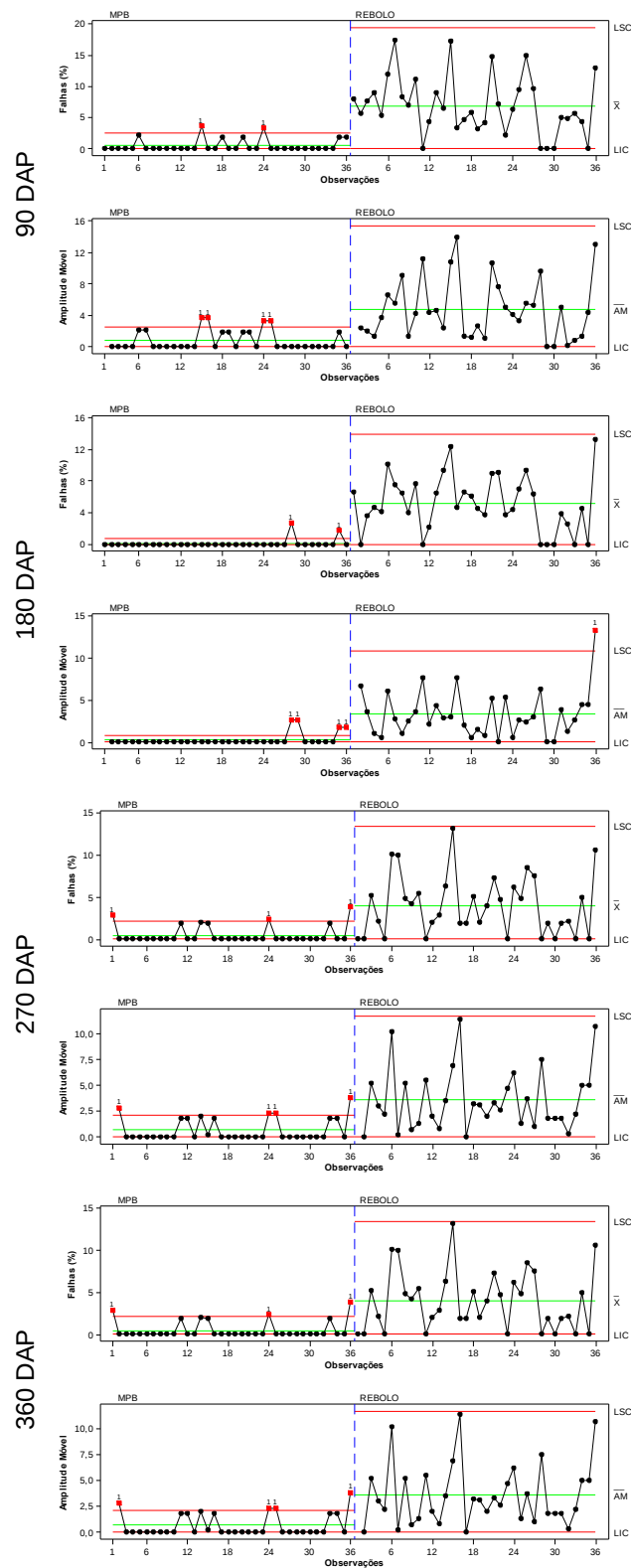


Figura 4. Cartas de controle para porcentagem de falhas nos sistemas de plantio de mudas pré-brotadas (MPB) e de rebolos. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. $\bar{X}$: Média dos valores individuais. $\bar{AM}$: Média da amplitude móvel.

Na Figura 5 são apresentados os resultados referentes à produtividade de colmos, verificou-se processo instável para todas as avaliações do sistema de MPB, enquanto que para rebolos o processo se mostrou instável apenas até os 180 DAT.

Embora os valores médios serem próximos entre os sistemas em todas as avaliações, verificou-se que os valores de rebolos sempre foram ligeiramente maiores.

Assim como para as demais variáveis biométricas, o desenvolvimento da planta pode estar relacionado a quantidade da reserva nutricional na planta (Civiero et al., 2014), concordando com o observado no sistema de rebolos em que apresentou maior vigor, permitindo que a planta fosse menos afetada pelas condições estressantes no início do ciclo.

Também na Figura 5 é possível verificar que, seguindo a mesma tendência dos outros indicadores, a variabilidade do MPB foi inferior à dos rebolos indicando melhor qualidade do processo e maior homogeneidade do canavial.

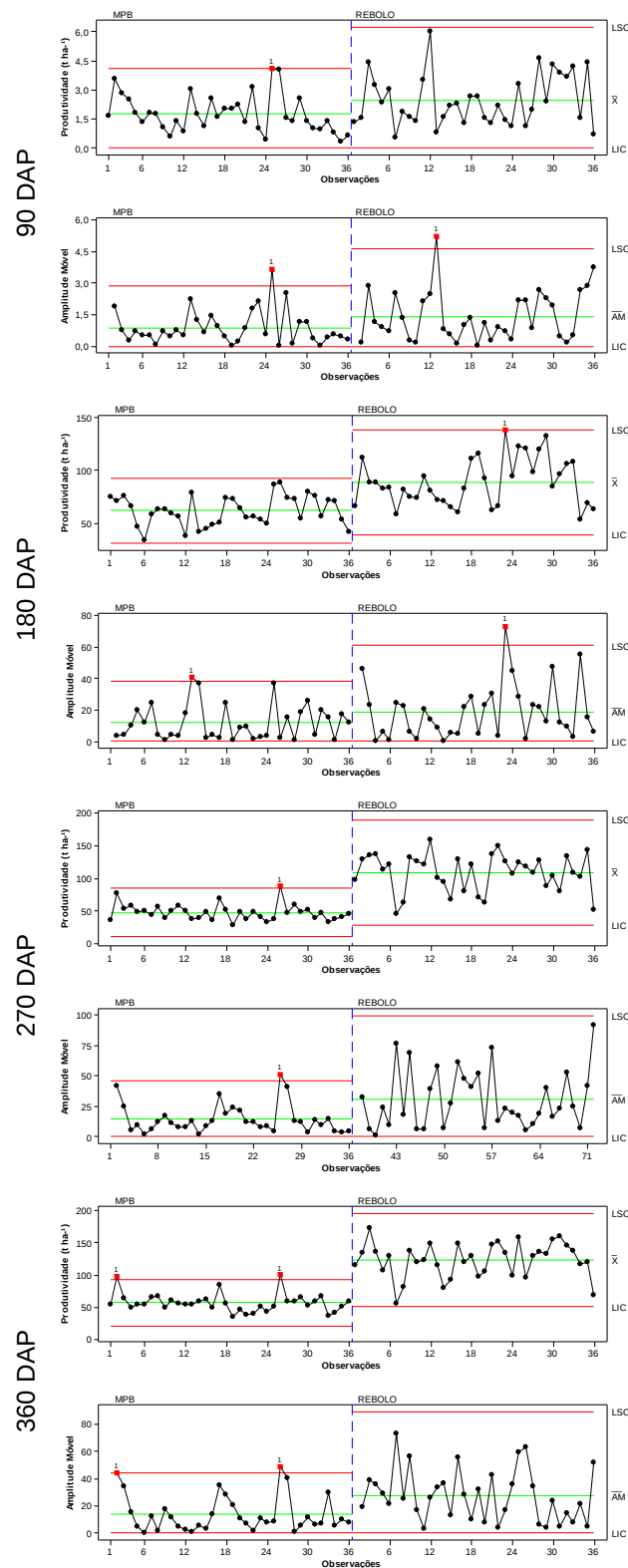


Figura 5. Cartas de controle para produtividade de colmos nos sistemas de plantio de mudas pré-brotadas (MPB) e de rebois. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. $\bar{X}$: Média dos valores individuais. $\bar{AM}$: Média da amplitude móvel.

De modo geral, as cartas de controle se mostraram uma ferramenta interessante para comparar os dois sistemas de plantio. Por intermédio das cartas foi possível verificar que a menor variabilidade dos indicadores de qualidade pode ser válido por fornecer uma visão prática do que está ocorrendo no campo, pois quando é visualizado um processo com menor variabilidade, pode indicar um canavial mais homogêneo e essas características podem tornar mais precisas as tomadas de decisão posteriores, como o momento correto dos tratos culturais e, até proporcionar colheitas de melhor qualidade com a menor variação do volume de material colhido.

Ao observar apenas médias, algumas informações podem ser perdidas ou pouco evidentes. Quando observado todo o processo e sua variabilidade ao longo do tempo é possível retirar informações mais detalhadas. Por isso, para situação estudada as cartas de controle estatístico de processo se mostraram uma ferramenta eficiente.

CONCLUSÕES

Por meio das cartas de controle, o sistema de mudas pré-brotadas mostrou ser um processo com menor variabilidade, refletindo um canavial mais homogêneo.

O canavial formado a partir de rebolos, apresentou plantas com maior vigor, mas com maior variabilidade.

O controle estatístico de processo se mostrou uma ferramenta interessante para comparar os dois sistemas de plantio.

REFERÊNCIAS

Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G. (2013) Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift** 22:711-728

Carneiro AEV, Trivelin PCO, Victoria RL (1995) Utilização da reserva orgânica e de nitrogênio do tolete de plantio (colmo-semente) no desenvolvimento da cana-planta. **Scientia Agricola** 52: 199-209.

Casagrande AA (Ed.) (1991) Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar. Jaboticabal: FUNEP, 157p.

Chapola RG, Cruz JA, Nunes IK, Fernandes Júnior AR (2013) Censo varietal 2012. Araras: UFSCar: RIDESA, 55 p. (UFSCar-RIDESA. Censo Varietal)

Civiero JC, Daros E, Melo JOT, Weber H, Mógior AF, Figueiredo GG (2014) Aplicação de substância húmica e do aminoácido L-glutâmico em diferentes comprimentos da reserva nutricional de tolete de uma gema de cana-de-açúcar. **Revista de Ciências Agrárias** 37: 340-347.

Dinardo-Miranda LL, Fracasso JV, Anjos IA, Garcia J, Costa VP (2012) Influência da infestação de *Diatraea saccharalis* (Fabr.) sobre parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar. **Bragantia** 71: 342-345.

Diola V, Santos F (2012) Fisiologia. In: Santos F, Borém A, Caldas C (Eds.). **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e etanol: tecnologias e perspectivas**. Viçosa: UFV, 2012. p. 25-49.

Gírio LAS, Dias FLF, Reis VM, Urquiaga S, Schultz N, Bolonhezi D, Mutton MA (2015) Bactérias promotoras de crescimento e adubação nitrogenada no crescimento inicial de cana-de-açúcar proveniente de mudas pré-brotadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 50: 33-43.

Landell MGA, Pinto LR, Creste S, Xavier MA, Anjos IA, Vasconcelos ACM, Bidóia MAP, Silva DN, Silva MA (2005) **Seleção de novas variedades de cana-de-açúcar e seu manejo de produção**. Piracicaba: INPI, 24 p. (Encarte Técnico).

Landell MG et al. (2012) **Sistema de multiplicação de de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas**. Ribeirão Preto: Instituto Agrônomo de Campinas, 17 p. (Documentos IAC, 109).

Montgomery DC (Ed.) (2016) Introdução ao controle estatístico da qualidade. Rio de Janeiro: LTC, 549p.

Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VA, Oliveira JB, Coelho MR, Lumbleras JF, Cunha TJF (Eds.) (2014) Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 376p.

Stolf R (1986) Metodologia de avaliação de falhas nas linhas de cana-de-açúcar. **Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil** 4: 22-36.

Stolf R (1989) Um modelo explicativo da competição entre colmos de um canavial e o vale da morte. **Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil** 8: 27-34.

CAPÍTULO 3 - Qualidade do processo de colheita multilinhas de canaviais

oriundos de mudas pré-brotadas e rebolos

RESUMO - O plantio e a colheita mecanizados de cana-de-açúcar têm passado por grandes transformações tecnológicas no Brasil. O sistema de mudas pré-brotadas lançado em 2012, tem sido amplamente utilizado por todo país, enquanto que novas configurações de espaçamentos entre fileiras de cana têm sido propostas devido ao surgimento de novas colhedoras multilinhas. Com isso, objetivou-se avaliar a qualidade da colheita mecanizada de cana-de-açúcar realizada por uma colhedora multilinhas em três sistemas de plantio utilizando o controle estatístico de processo. O experimento foi desenvolvido em uma área agrícola localizada em Guariba, Estado de São Paulo, Brasil. A qualidade da colheita realizada por uma colhedora multilinhas foi avaliada em três sistemas de plantio: MPB1 – sistema de mudas pré-brotadas com espaçamento de 1,25 m entre fileiras de cana, MPB2 – mudas pré-brotadas com espaçamento de 1,50 m entre fileiras e, REB – sistema oriundo de rebolos com espaçamento de 1,50 m. O material utilizado para plantio (rebolo ou muda) e as configurações de espaçamentos entre as fileiras de cana-de-açúcar tiveram efeito sobre a qualidade da operação de colheita. O MPB1 foi o sistema que proporcionou a menor variabilidade no processo de colheita para os indicadores de qualidade avaliados, com exceção apenas do índice de danos. O processo se mostrou estável para altura de corte, índice de danos e resistência mecânica do solo à penetração. O REB foi o que proporcionou a maior variabilidade no processo de colheita, apresentando processo estável apenas para os indicadores índice de abalos e resistência mecânica do solo à penetração.

Palavras-chave *Saccharum* spp., controle estatístico de qualidade, espaçamento, índice de danos, colhedora.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor global de cana-de-açúcar (FAOSTAT, 2014), com quase nove milhões de hectares cultivados (Companhia Nacional de Abastecimento,

2018), correspondendo a cerca de um terço do total cultivado no mundo. Entretanto, apenas nos últimos anos a cadeia produtiva tem passado por mudanças, com investimentos em tecnologias que aumentam a produtividade, eficiência e redução de custos.

Um dos principais responsáveis por estas mudanças, foi o fim das queimadas da cana-de-açúcar, estabelecido pela lei paulista 11.241/2002 e antecipado pelo Protocolo Agroambiental (um acordo entre o setor público e privado no Estado de São Paulo), que favoreceu o aumento da adoção da colheita mecanizada nos últimos anos.

Desde então, houve a redução da necessidade de mão de obra para a colheita, que também era utilizada no plantio semimecanizado, fazendo com que o uso de máquinas para o plantio expandisse.

Com o aumento da mecanização nos canaviais, a produtividade e longevidade das lavouras foi reduzida devido, principalmente, ao pisoteio das soqueiras e queda na qualidade das mudas que também passaram a ser colhidas mecanicamente (Serafim et al., 2013), além da redução na qualidade do plantio (Barros e Milan, 2010; Cortez et al., 2016).

Nesse cenário, Landell et al. (2013) propuseram a tecnologia chamada de mudas pré-brotadas (MPB), com a finalidade de reduzir o atual consumo de mudas (colmos) próximo a 20,0 t ha⁻¹, para até 20 vezes menos (Stolf et al., 2016).

A técnica de MPB revolucionou a forma como a cana-de-açúcar tem sido plantada, passando do plantio de propágulos para o transplante de mudas formadas a partir de gemas individualizadas dos colmos ou cultura de meristemas (Stolf et al., 2016). Como evidência de que a busca por formas de plantio mais eficientes e produtivas é uma tendência mundial, iniciativas como *Sustainable Sugarcane Initiative* (SSI) surgem na Índia nos últimos anos com a proposta semelhante ao de MPB de levar ao campo mudas já formadas pelo método chamado de *Bud Chips* (Naik et al., 2013; Mohanty et al., 2015; Samant, 2017).

Embora o conceito de MPB ter sido criado entre as décadas de 1980 e 90 no Brasil (Stolf et al., 1990), somente nos últimos anos tem sido adotada em larga escala e ainda são escassos trabalhos avaliem qual influência esta tecnologia pode exercer sobre a qualidade da operação de colheita.

Da mesma maneira, tem-se buscado soluções para reduzir os impactos causados pelo intenso tráfego de máquinas, como a prática do tráfego controlado e máquinas capazes de colher simultaneamente mais do que uma fileira de cana.

O conceito de tráfego controlado já é bastante difundido no Brasil, no qual as zonas de crescimento radicular são preservadas e todo o maquinário é ajustado para concentrar a passagem dos rodados em linhas permanentes (Souza et al., 2012, Souza et al., 2015), mas somente nos últimos anos tem sido propostos novos espaçamentos entre fileiras de cana (Belardo, 2016).

Isto se deve ao surgimento de colhedoras multilinhas, que possuem maior capacidade de processamento de material colhido e bitolas mais largas, capazes de trafegar sobre diversas configurações de plantio como as estudadas por Rossi Neto et al. (2018) de 0,90 x 1,50 m, 0,75 x 0,75 x 1,50 m, 1,0 x 1,0 m e 0,5 x 0,5 m.

Diante do surgimento de novas tecnologias, é necessário verificar se a colhedora pode ser adotada com qualidade. Com isso, o controle estatístico de processo aplicado à operações agrícolas mecanizadas tem se mostrado eficaz nos mais diversos cenários.

Diversos autores tem usado o controle estatístico de processo para avaliar o processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar, com sucesso, com objetivos diversos, tais como: Noronha et al. (2011) que avaliaram turnos de colheita, Cassia et al. (2014) o desgaste das facas de corte, Toledo et al. (2013) o corte realizado por diferentes configurações de facas e Voltarelli et al. (2017) a qualidade do corte das facas com diferentes ângulos de ataque e revestimentos. Em todos os casos foi possível acompanhar o comportamento do processo e identificar possíveis falhas para que fossem corrigidas quando necessário.

Pressupondo-se que o sistema de mudas pré-brotadas e diferentes configurações de espaçamentos entre fileiras possa influenciar na qualidade operacional da colheita mecanizada de cana-de-açúcar, objetivou-se avaliar, por meio do controle estatístico de processo, a qualidade da colheita mecanizada de cana-de-açúcar realizada por uma colhedora multilinhas em três sistemas de plantio.

MATERIAIS E MÉTODOS

A colheita da área experimental foi realizada entre os dias 24 e 29 de julho de 2016, em área agrícola localizada em Guariba, São Paulo, Brasil (21°25'00"S, 48°11'19"W) à altitude e declividade médias de 610 m e 3,5%, respectivamente.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (Santos et al. 2014) e ambiente de produção B2, textura franco argilo arenosa, com 34,7% de argila e o clima como Cwa pela classificação de Köppen (Alvares et al., 2013).

A área onde o experimento foi desenvolvido apresentava histórico de cultivo da cana-de-açúcar há pelo menos 10 anos sendo, posteriormente, realizada a destruição mecânica das soqueiras, subsolagem, gradagem pesada e a gradagem média. A sulcação foi realizada a 0,30 m de profundidade.

A área total do experimento compreendia 14,4 ha e foi dividida em três para instalação dos sistemas de transplântio (mudas pré-brotadas) e plantio (rebolos) de cana-de-açúcar, aqui genericamente chamados de sistemas de plantio. Os sistemas de plantio avaliados foram: MPB1 - plantio de mudas pré-brotadas com espaçamento de 1,25 m entre fileiras da cultura e 0,50 m entre mudas; MPB2 - plantio com espaçamento entre fileiras de 1,50 m e 0,50 m entre mudas e; REB - plantio convencional de rebolos com espaçamento entre fileiras de 1,50 m.

O plantio nas três áreas foi realizado no dia 25 de março de 2015, e a cultivar utilizada foi a CTC 20, por ser apta à colheita mecanizada e por apresentar alta estabilidade de soqueiras e de perfilhamento.

A colheita foi realizada por uma colhedora Case modelo A8800 multi-row, com potência nominal de 263 kW (358 cv) à rotação de 2100 rpm, equipada com rodados de esteiras (largura 0,45 m) e bitola de 2,4 m, operada a velocidade média de deslocamento de 2,5 km h⁻¹ e a rotação média no motor de 1800 rpm.

O sistema de corte de base frontal da colhedora, com sistema independente de controle de altura, era composto por dois discos de 1,0 m de diâmetro, equipados com 12 facas de corte cada e inclinação de 45°, trabalhou a pressão média de 8500 kPa. Já o sistema recolhedor (central), composto por dois discos equipados com cinco elementos recolhedores (facas de corte) e sistema de controle automático de altura de corte *Autofloating*, trabalhou a pressão média de 55 kPa. Esta colhedora é capaz de colher duas fileiras de cana-de-açúcar simultaneamente, com plataforma ajustável

(sistema “abre e fecha”) capaz de adequar a abertura frontal ao espaçamento do canavial.

Em cada um dos sistemas de plantio, antes do início da colheita, foram colocadas duas facas novas (com dimensões dos fios de corte conhecidas 0,5 mm) em cada um dos discos, totalizando oito facas. Após a colheita, as dimensões dos fios de corte foram novamente aferidas com paquímetro para caracterizar o desgaste causado pela operação de colheita.

A colheita foi avaliada em uma malha amostral, composta por 42 pontos espaçados 100 m entre si, para cada sistema de plantio, totalizando 126 pontos avaliados (Figura 1).

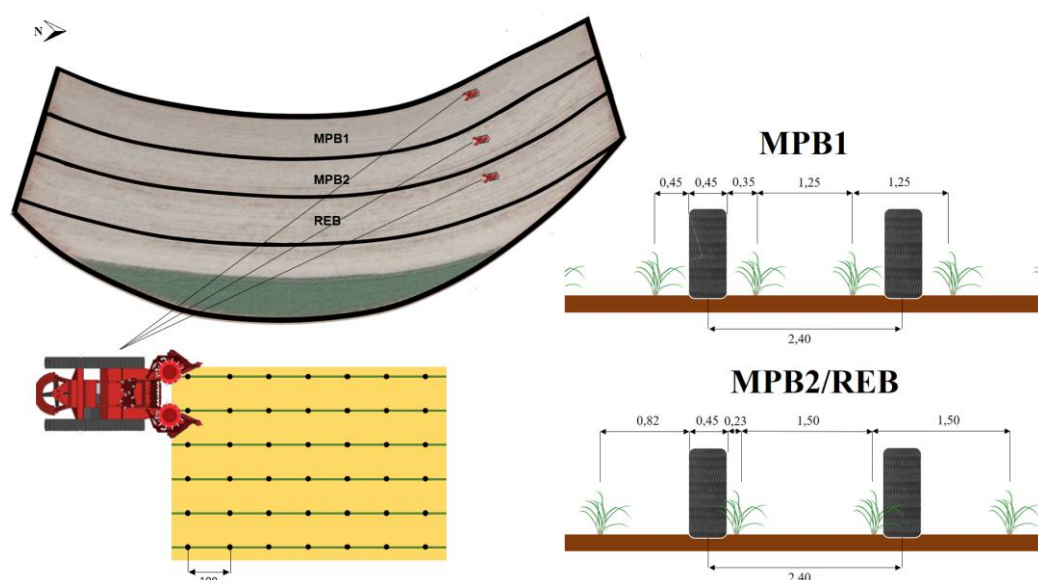


Figura 1. Diagrama representativo da distribuição dos pontos amostrais em cada um dos sistemas de plantio MPB1 (espaçamento de 1,25 m entre linhas), MPB2 (espaçamento de 1,50 m entre fileiras) e REB (espaçamento de 1,50 m entre fileiras) e as distâncias entre os rodados e as fileiras de cana.

O número de colmos por metro, falhas no canavial e perdas na colheita foram caracterizados avaliando-se dez pontos ao acaso em cada um dos sistemas de plantio. Para número de colmos e falhas cada ponto correspondeu a 20 m de fileira de cana.

Análise de Variabilidade dos Colmos

A variabilidade dos colmos foi avaliada por meio dos parâmetros: porte do canavial, sentido de tombamento do canavial em relação ao deslocamento da colhedora e diâmetro de colmos, pois podem influenciar a qualidade da colheita

O porte do canavial foi determinado antes da colheita nos 42 pontos amostrais de cada sistema de plantio, pela metodologia de Ripoli (1996), classificando-se o porte dos colmos das touceiras como ereto (quando os colmos formavam um ângulo em relação ao solo superior a 45°), acamado (ângulo dos colmos em relação ao solo inferior a 45° e superior a $22,5^\circ$) ou deitado (ângulo inferior a $22,5^\circ$) (Figura 2A).

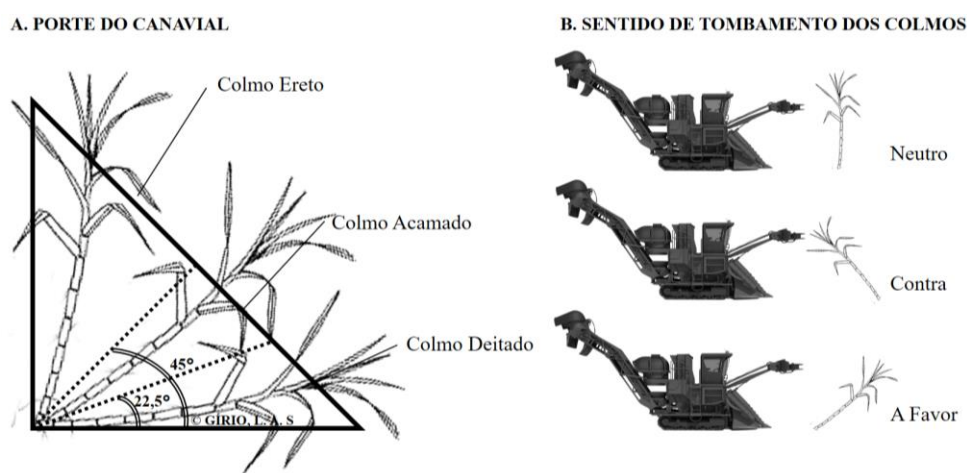


Figura 2. Classificação do porte do canavial de acordo com a classificação de Ripoli (1996) (A). Classificação do sentido de tombamento dos colmos em relação ao deslocamento da colhedora (B).

Outro fator levado em consideração e que pode influenciar na qualidade da colheita é o sentido do tombamento do canavial em relação ao deslocamento da colhedora. Quando o sentido do tombamento do colmo foi contrário ao deslocamento da colhedora, foi classificado como “contra”; quando o tombamento foi caracterizado com o mesmo sentido de deslocamento da colhedora, classificou-se como “a favor” e, quando o colmo foi caracterizado totalmente perpendicular ao solo, classificou-se como “neutro” (Figura 2B).

A partir da combinação das caracterizações do porte e sentido de tombamento dos colmos da touceira, foi proposta uma classificação em relação às condições de colheita favorável (“Sem defeito”) ou desfavorável (“Com defeito”) para cada colmo (Tabela 1).

Tabela 1 Classificação das condições do canavial baseado na combinação dos fatores porte e sentido de tombamento dos colmos.

Característica		Condição de Colheita	Classificação
Porte do Canavial ¹	Sentido do Tombamento ²		
Ereto	Neutro	Favorável	Sem Defeito
Ereto	Contra		
Ereto	A Favor		
Acamado	Contra	Desfavorável	Com Defeto
Acamado	A Favor		
Deitado	Contra		
Deitado	A Favor		

¹Classificação do porte do canavial adaptado de Ripoli (1996). ²Classificação do sentido do tombamento do canavial em relação ao sentido de deslocamento da colhedora.

A análise de variabilidade do diâmetro de colmos foi realizada para subsidiar as discussões dos indicadores de qualidade uma vez que o diâmetro do colmo pode afetar a forma como o corte é realizado. O diâmetro de todos os colmos contidos na armação (0,25 m²), foram medidos com auxílio de um paquímetro.

Indicadores de Qualidade

Para avaliar a qualidade operacional da colheita mecanizada de duas fileiras de cana nos três sistemas de plantio, logo após a passagem da colhedora, foram colocadas duas armações metálicas de 0,25 m² em cada uma das fileiras e, dentro de cada uma das armações, foram avaliados os seguintes indicadores de qualidade:

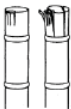
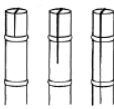
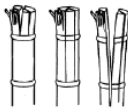
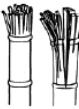
Altura de corte

O valor da altura de corte correspondeu a média dos valores aferidos do nível do solo até o ponto em que as facas incidiram sobre cada um dos colmos contidos na armação metálica.

Índice de danos e índice de abalos

Os valores dos indicadores de qualidade índices de danos e de abalos correspondem a média aritmética dos valores atribuídos por dois avaliadores. Para ambos os índices, levou-se em conta o número total de colmos dentro de uma armação de 0,25 m² para classifica-los e então calcular os índices de acordo com a metodologia de Toledo (2012) com peso dos índices adaptado por Cassia e Silva. (2015). A classificação do índice de danos foi baseada na Tabela 1.

Tabela 2 Classificação dos danos causados aos colmos após a colheita mecanizada da cana-de-açúcar.

Classificação	Limite Inferior	Limite Superior	Peso
Sem Danos (SD)			0,00
Danos Parciais (DP)			0,33
Danos Extremos (DE)			1,00

Fonte: Elaborado por Kroes (1997) e adaptado por Toledo et al. (2013).

Após a contagem e a classificação dos colmos, foram atribuídos os pesos e calculados os índices de danos de acordo com a equação 1 a seguir:

$$ID = \frac{Psd \cdot Nsd + Pdp \cdot Ndp + Pde \cdot Nde}{N} \quad (1)$$

em que:

ID: índice de danos às soqueiras (0,00 a 1,00),

Psd: peso atribuído aos colmos sem danos (0,00),

Nsd: número de colmos sem danos,

Pdp: peso atribuído aos colmos com danos parciais (0,33),
 Ndp: número de colmos com danos parciais,
 Pde: peso atribuído aos colmos com danos extremos (1,00),
 Nde: número de colmos com danos extremos,
 N: número total de colmos na armação de 0,25 m².

As soqueiras com valores de ID entre 0 e 0,33 foram classificadas como Sem Danos (sd), quando os valores foram maiores que 0,33 e menores ou iguais a 0,66, foram classificadas como Danos Parciais (dp) e, quando superiorer a 0,66 e menores ou iguais a 1,00, foram classificadas como soqueiras com Danos Extremos (de).

Para o índice de abalos, foram feitas três classificações: abalos fracos (af), médios (am) ou fortes (aff). A determinação dos abalos dos colmos foi feita manualmente, sendo empregada uma força lateral ao colmo e de acordo com a resistência do colmo ao deslocamento foi feita a classificação. Para Abalos Fracos, o peso atribuído foi 0,00; para Abalos Médios, o peso foi de 0,33 e para abalos fortes, o peso atribuído foi 1,00. Em posse dos pesos atribuídos, foram calculados os índices de abalos de acordo com a equação 2:

$$IA = \frac{Paf \cdot Naf + Pam \cdot Nam + Paff \cdot Naff}{N} \quad (2)$$

em que:

IA: índice de abalos das soqueiras (0,00 a 1,00),
 Paf: peso atribuído aos colmos abalo fraco (0,00),
 Naf: número de colmos abalo fraco,
 Pam: peso atribuído aos colmos com abalo médio (0,33),
 Nam: número de colmos com abalo médio,
 Paff: peso atribuído aos colmos com abalo forte (1,00),
 Naff: número de colmos com abalo forte,
 N: número total de colmos dentro da armação de 0,25 m².

Resistência Mecânica do Solo à Penetração (RMSP) e Umidade Gravimétrica do Solo

A RMSP foi determinada de 0-0,2 m na linha de plantio, a fim de verificar o possível pisoteio às soqueiras e a possível compactação desta região onde são localizadas maior concentração de raízes. Foi utilizado um penetrógrafo eletrônico Falker modelo SoloStar, com resolução de 10 mm, velocidade nominal de inserção da haste de 30 mm s⁻¹ acoplado a um quadriciclo Honda TRX 420 Fourtrax.

Para determinação da umidade gravimétrica do solo, foram coletadas amostras de solo com trado holandês entre 0-0,20 m de profundidade, próximas aos pontos onde foram determinadas a RMSP. O material foi acondicionado em cápsulas de alumínio de 113 ml (60 x 40 mm), pesado em uma balança semi-analítica, levado a estufa de circulação forçada a 105°C até atingir massa constante e, posteriormente, pesado novamente.

Análise estatística

Para a análise dos dados referentes a classificação proposta na Tabela 1, foram utilizadas as cartas de controle para atributos tipo P. Por meio desta carta, calcula-se a fração de itens defeituosos em uma determinada amostra. Aqui as amostras são representadas pelas touceiras de tamanho variável, cada item corresponde a cada colmo e a classificação com ou sem defeito foi de acordo com a Tabela 1. A estimativa da fração defeituosa foi calculada pelas equações 3 e 4 (Montgomery, 2016):

$$\bar{p} = \frac{d1 + d2 + d3 + \dots + dk}{n1 + n2 + n3 + \dots + nk} \quad (3)$$

$$\bar{n} = \frac{n1 + n2 + n3 + \dots + nk}{k} \quad (4)$$

em que:

$\bar{p}$: fração defeituosa,

d: número itens defeituosos ou colmos “com defeito”,

n: número total de itens inspecionados ou colmos por touceira,

k: número de amostras.

Já os limites de controle para as cartas de atributos do tipo P foram calculados pelas equações 5 e 6 (Montgomery, 2016):

$$LSCp = \bar{p} + 3 \frac{\sqrt{\bar{p}(1 - \bar{p})}}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

$$LICp = \bar{p} - 3 \frac{\sqrt{\bar{p}(1 - \bar{p})}}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

$$LCp = \bar{p}$$

em que:

LSCp: limite superior de controle,

LICp: limite inferior de controle,

LCp: limite de controle ou valor da fração defeituosa.

As variáveis contínuas foram analisadas pela correlação de Pearson e por meio do cartas de controle de Shewhart do tipo I-MR (de valores individuais e de amplitude móvel), em que as linhas centrais correspondem a média dos valores calculados e os limites superior e inferior de controle (LSC e LIC), são calculados com base no desvio-padrão das variáveis, segundo as equações 7, 8 e 9 (Montgomery, 2016):

$$LSC = \bar{X} + 3\sigma \quad (7)$$

$$\bar{X} = \frac{(X1 + X2 + X3 + \dots + Xn)}{N} \quad (8)$$

$$LIC = \bar{X} - 3\sigma \quad (9)$$

em que:

LSC: limite superior de controle,

LIC: limite inferior de controle,

$\bar{X}$: média geral,

Xn: valor da amostra “n”

N: número total da amostra,

σ : desvio padrão.

Quando LIC calculado foi negativo tanto para as cartas de controle P quanto I, atribui-se o valor nulo (LIC=0).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os três sistemas de plantio o número de colmos por metro foi próximo a 20 e a porcentagem de falhas próxima a 3%. Tanto o número de colmos (acima de dez por metro) quanto a porcentagem de falhas (inferior a 10%) foram considerados ideais (Stolf, 1989; Stolf, 1986). Já a produtividade foi de 71, 75 e 74 t ha⁻¹ para MPB1, MPB2 e REB, respectivamente.

No sistema de MPB1, a maior parte das touceiras (66,67%) está com frações de colmos defeituosos abaixo de 0,15 (Figura 3A); MPB2 a maior parte das touceiras (74%) com frações de colmos defeituosos abaixo de 0,38 (Figura 3B); e REB a maior parte das touceiras (66,67%) com frações de colmos defeituosos acima de 0,70 (Figura 3C).

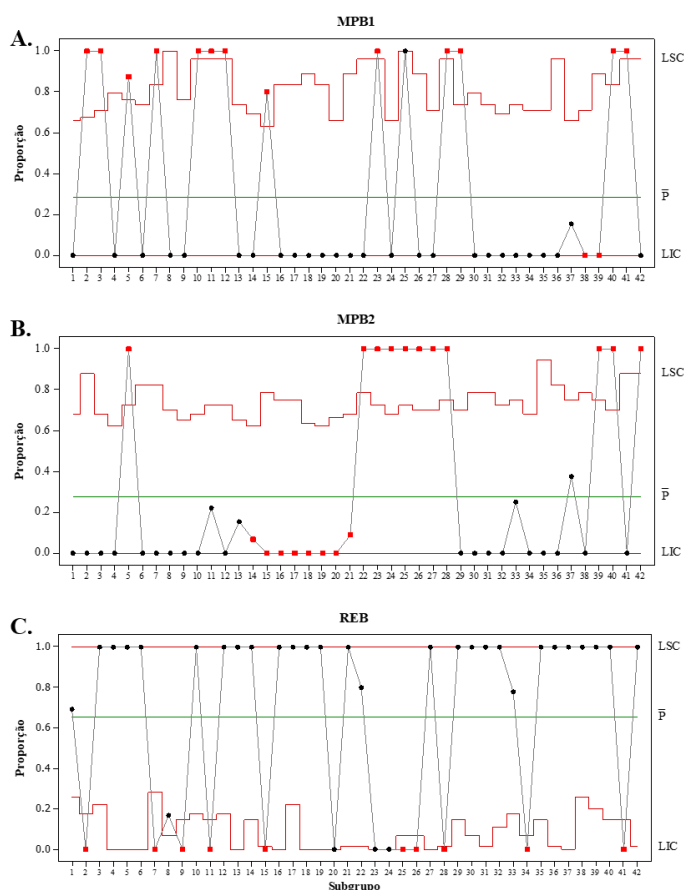


Figura 3. Cartas de controle de atributos P para fração de colmos classificados “com defeito” em uma touceira no sistema de plantio MPB1 (A), MPB2 (B) e REB (C). LSC: limite superior de controle. LIC: limite inferior de controle. $\bar{p}$: valor médio de fração de colmos com defeito.

Foi observado valores médios das frações defeituosas nas cartas representados por $\bar{p}$, pois evidencia os sistemas que possuem maior quantidade de colmos “com defeito” por touceira. Os valores médios verificados foram 0,284, 0,276 e 0,652 para MPB1, MPB2 e REB, respectivamente (Figura 3). Isto evidencia que o sistema REB tem condições mais desfavoráveis à colheita.

O diâmetro de colmos apresentou menor variabilidade em MPB1 e MPB2 e maior em REB, sendo a média dos diâmetros igual a 26,50 mm para MPB1, 29,13 mm para MPB2 e 28,67 para MPB3 (Figura 4). Segundo Kroes (1997), colmos mais grossos são menos flexíveis, ou seja, quanto maior o diâmetro do colmo, menor a deflexão dos mesmos o que pode resultar em maior chance de quebra antes do corte quando submetidos a ação dos rolos tombadores, podendo acarretar em maiores danos e abalos às soqueiras.

No que se refere a parâmetros biométricos da cana-de-açúcar, a alta variabilidade evidenciada nas cartas de controle, expressam a desuniformidade do canavial, ou seja, no caso do sistema de rebolos, as gemas plantadas tem vigor e idade variáveis, resultando em plantas com características morfológicas bastante heterogêneas. Por outro lado, o sistema de MPB é composto por mudas com vigor e estágio de desenvolvimento semelhantes, resultando em plantas homogêneas e canavial com padrão clonal mais evidente (Landell et al., 2013).

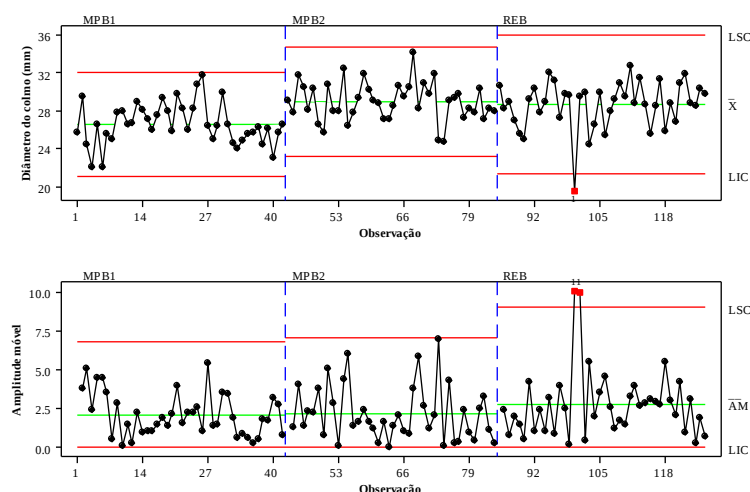


Figura 4. Cartas de controle de valores individuais e de amplitude móvel para o parâmetro diâmetro médio de colmos nos três sistemas de plantio. LSC: limite superior de controle. LIC: limite inferior de controle. $\bar{X}$: média. $\bar{AM}$: amplitude móvel.

Gírio et al. (2016) ao compararem canaviais provenientes de mudas pré-brotadas e rebolos, também observaram uniformidade nos parâmetros biométricos como a altura, diâmetro e perfilhamento no sistema de MPB, enquanto que em rebolos verificaram maior variabilidade. Porém, com plantas mais vigorosas, possivelmente devido a maior quantidade de reservas que esse material possuía no momento do plantio (Gírio et al., 2015).

A caracterização das condições do canavial é importante, pois, as características morfológicas e fisiológicas das variedades influenciam o corte mecanizado da cana-de-açúcar. As colhedoras desempenham um trabalho de melhor qualidade em canas eretas, vigorosas e de sistema radicular profundo, acarretando em ganhos na capacidade efetiva de campo das máquinas, menor perda em canas não cortadas e melhor limpeza da matéria prima (Ripoli e Paranhos, 1987).

Por meio do uso do coeficiente de Pearson, observa-se que existe correlação positiva entre danos e abalos às soqueiras e entre abalos e altura de corte, enquanto que para danos e RMSP a correlação foi negativa (Tabela 3). Entretanto, não foi possível ajustar nenhuma equação de regressão para as correlações obtidas.

Tabela 3. Coeficientes de correlação de Pearson entre os indicadores de qualidade da colheita mecanizada de cana-de-açúcar.

	Danos	Abalos	Altura de Corte	RMSP (0-0,20)
Danos	-	0,216*	- 0,007 ^{NS}	- 0,203*
Abalos		-	0,437**	0,072 ^{NS}
Altura de Corte			-	0,142 ^{NS}
RMSP (0-0,20) ¹				-

¹Resistência mecânica do solo a penetração à profundidade de 0 a 0,20 m.* e ** Significativos a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente. NS: não significativo.

Isto ocorre, porque o coeficiente de correlação de Pearson mede o grau de relacionamento linear entre os valores de duas variáveis x e y de uma amostra e a

intensidade e direção da relação linear entre as variáveis quantitativas. Quanto mais próximo de -1, maior a correlação negativa, enquanto que quanto mais próximo de 1, maior a correlação positiva (Minitab, 2016). Quando o coeficiente de correlação é próximo a zero, menor é a correlação linear ou pode-se dizer que a correlação é fraca, como verificado na Tabela 3. Como os coeficientes de correlação medem apenas relações lineares, podem existir correlações não-lineares mesmo que o valor seja próximo a zero (Minitab, 2016).

O processo relativo a altura de corte, mostrou-se estável e com maior qualidade no sistema de plantio MPB1, tanto nas cartas de controle de valores individuais quanto de amplitude móvel e, instável e de menor qualidade, em MPB2 seguido por REB (Figura 5).

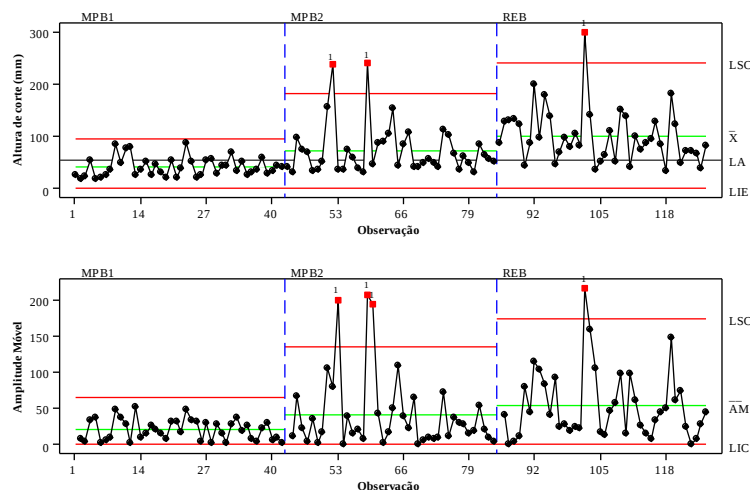


Figura 5. Cartas de controle de valores individuais e de amplitude móvel para o indicador de qualidade altura de corte nos três sistemas de plantio. LSC: limite superior de controle. LIC: limite inferior de controle. $\bar{X}$: média. $\bar{AM}$: amplitude móvel. LA: limite da altura de corte estabelecido pela unidade produtora.

Genericamente, para um processo ser considerado sob controle estatístico, é preciso que todos os pontos contidos nas cartas de controle estejam entre os limites de controle, não apresentem nenhum tipo de padrão no comportamento e que o número de pontos tanto acima quanto abaixo da linha central sejam aproximadamente iguais (Rosa 2015). Já a qualidade do processo é verificada pela menor variabilidade dos dados, representada nas cartas de controle pelo menor distanciamento entre os limites de controle (Montgomery, 2016).

Sendo assim, verifica-se que em MPB1 o processo relacionado a altura de corte está sob controle, pois não há nenhuma causa especial atuando e a distribuição dos pontos oscila, quase que igualmente, acima e abaixo do valor central; enquanto que em MPB2 e REB são verificados 1 e 2 pontos fora de controle, respectivamente, além de REB apresentar a maior dispersão dos dados (Fig. 5).

Em relação ao padrão da altura de corte estabelecido pela unidade produtora (55 mm), MPB1 foi a que apresentou maior quantidade de amostras igual ou abaixo ao limite estabelecido pela unidade produtora, com cerca de 76% pontos, seguido por MPB2 com 48% e REB com 22% e, em nenhum dos sistemas o corte foi igual a zero, ou seja, as lâminas não tocaram o solo (Figura 5).

Assim como mencionado por Voltarelli et al. (2017), as causas especiais podem ocorrer em função do chamado 6 M's, que seriam os fatores como mão-de-obra, meio ambiente, máquina, método, medição e matéria-prima. Para altura de corte, os fatores que podem ter predominado são mão de obra (já que o controle da altura do mecanismo de corte frontal era manual) e matéria prima (tendo em vista que o porte do canavial foi variado).

A observação é semelhante a realizada por Salvi et al. (2007) ao analisarem um dispositivo semi-automático de controle de altura de corte, em que o dispositivo, mesmo não atendendo a altura especificada pela usina, proporciona melhor controle da altura de corte em relação ao manual (fator mão de obra) e a condição do canavial ou porte (matéria prima) pode influenciar sensivelmente no controle dessa variável.

A altura de corte é um indicador de qualidade extremamente importante, pois o acúmulo de sacarose nos colmos da cana-de-açúcar ocorre da base da planta para a parte superior (Lisson et al., 2005). Por isso, quando realizada acima do desejado pela unidade produtora, pode-se aumentar a perda tipo toco ou pedaço fixo (Silva et al. 2008) que é um material rico em sacarose. Por outro lado, quando corte é realizado muito baixo, com as lâminas tocando o solo, pode desgastar o fio de corte das facas causando injúrias (interferindo na brotação) ou arranquio das soqueiras (Cassia et al., 2014).

Para o indicador de qualidade índice de danos, foi verificada a estabilidade do processo em MPB1 e MPB2 com todos os pontos entre os limites de controle tanto nas cartas de valores individuais quanto de amplitude móvel, indicando que apenas

causas aleatórias atuaram no processo (Figura 6). Entretanto, a variabilidade foi menor em MPB2, indicando que o este processo foi o de melhor qualidade.

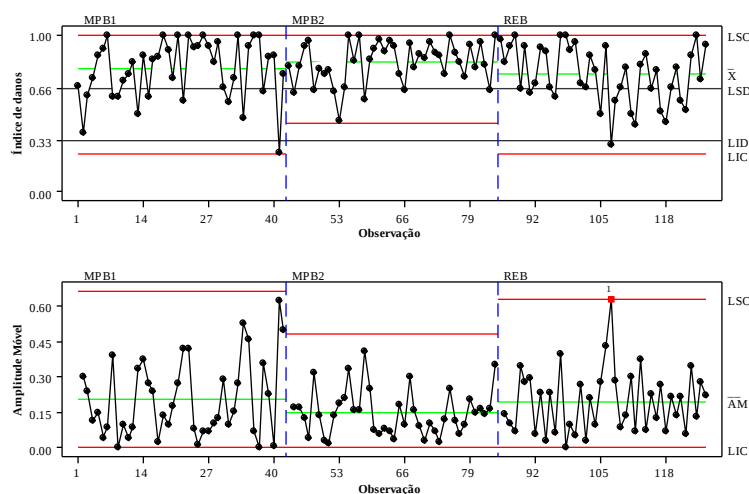


Figura 6. Cartas de controle de valores individuais e de amplitude móvel para o indicador de qualidade índice de danos nos três sistemas de plantio. LSC: limite superior de controle. LIC: limite inferior de controle. $\bar{X}$: média. $\bar{AM}$: amplitude móvel. LSE: limite superior estabelecido. LSD: limite superior de dano. LID: limite inferior de dano.

Apesar de MPB1 e MPB2 apresentarem processos sob controle estatístico, verificou-se nos três sistemas que a maior parte dos pontos ficaram acima do limite desejável, sendo: 74%, 83% e 71% dos pontos na faixa de danos extremos para MPB1, MPB2 e REB, respectivamente (Figura 6).

Tal fato pode ser explicado pela prática adotada pela unidade produtora de não fazer a inversão ou substituição das facas de corte periodicamente, realizando a manutenção prioritariamente em casos de quebra deste componente. Foram verificadas, após a colheita de cada sistema, facas com fio de corte de 1,5 mm e 3,0 mm de espessura nos discos externos e internos, respectivamente, sendo que em uma faca nova este valor é de aproximadamente 0,5 mm, evidenciando o desgaste causado por esta operação.

Segundo Ripoli e Ripoli (2009), a falta de manutenção adequada das facas de corte, associada a características varietais do canavial pode promover o aumento da quantidade de tocos e rebolos rachados e mal cisalhados, podendo, inclusive, resultar em perdas visíveis e invisíveis.

Voltarelli et al. (2015) ao avaliarem a qualidade do corte basal em função do desgaste de três modelos de facas de corte, também afirmaram que o desgaste das facas, bem como o modelo, podem afetar a qualidade do corte, o que reforça a importância da troca periódica destes componentes.

O índice de abalos apresentou processo estável apenas para REB, com todos os pontos entre os limites de controle tanto nas cartas de valores individuais quanto de amplitude móvel, não havendo a ação de causas especiais, porém, MPB1 foi o que apresentou menor variabilidade no processo (Figura 7).

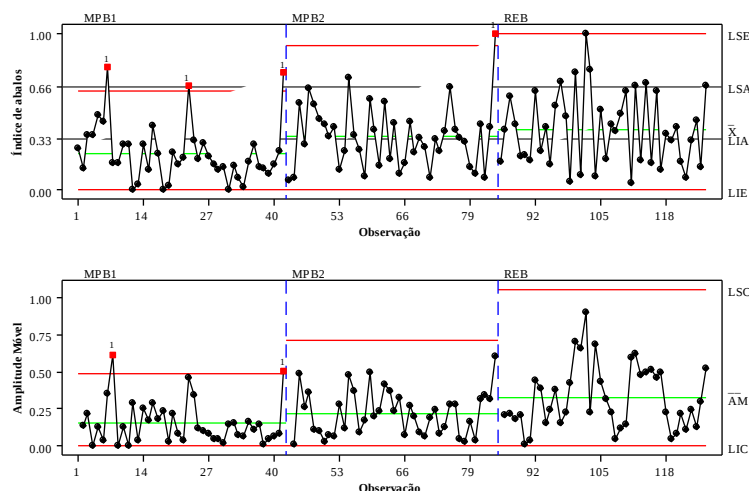


Figura 7. Cartas de controle de valores individuais e de amplitude móvel para o indicador de qualidade índice de abalos nos três sistemas de plantio. LSC: limite superior de controle. LIC: limite inferior de controle. $\bar{X}$: média. $\bar{AM}$: amplitude móvel. LSE: limite superior estabelecido. LSA: limite superior de abalo. LIA: limite inferior de abalo.

Apesar de não apresentar processo estável, MPB1 foi o sistema em que as soqueiras apresentaram a maior quantidade de valores na faixa desejável, com 83% dos pontos sem danos, seguido por REB com 45%. Por outro lado, em REB foram observados a maior quantidade de pontos (17%) na faixa de abalos fortes (Figura 7).

Os abalos estão diretamente relacionados a fixação da soqueira no solo pelas raízes e do suporte que o solo dá às soqueiras para resistir à ação mecânica que a colhedora exerce sobre os colmos. A maior quantidade de pontos com abalos fortes em REB pode ter acontecido em função do porte do canavial neste sistema ter sido caracterizado predominantemente como acamado. Kroes (1997) observou que o divisor de linhas da colhedora ao levantar e girar a cana da fileira vizinha para

preparação do corte quebrou o colmo abaixo do nível do solo, mesmo antes do mecanismo do corte de base atingir o colmo. As tensões de flexão e torção aplicadas nesse processo são máximas na base do colmo causando a ruptura.

Outro fator que pode ter favorecido o abalo das soqueiras é a altura de corte. Assim como nas cartas de controle para abalos, as cartas com os valores de altura de corte apresentam variabilidade e valores crescente do MPB1 para REB (Figura 5). Além das perdas causadas pela altura de corte elevada, os colmos podem atuar como alavancas, o solo como um ponto de apoio ou eixo ao qual a alavanca pode ser rodada em torno e as forças atuantes podem ser a força de resistência exercida pelas raízes e rizomas e a de esforço exercida pela faca sem fio de corte sobre o colmo. Quanto mais alto for o corte, maior o braço de momento (distância entre o ponto de apoio e o ponto em que a força está sendo aplicada) e, portanto, maior o torque e abalo a soqueira.

Além dos mecanismos de corte basal, o pisoteio das soqueiras pela colhedora também pode atuar sobre os danos e abalos e na longevidade do canavial. Verifica-se na Figura 8 que nos três sistemas o processo foi estável para RMSP, com todos os pontos entre os limites de controle, atuando apenas causas aleatórias.

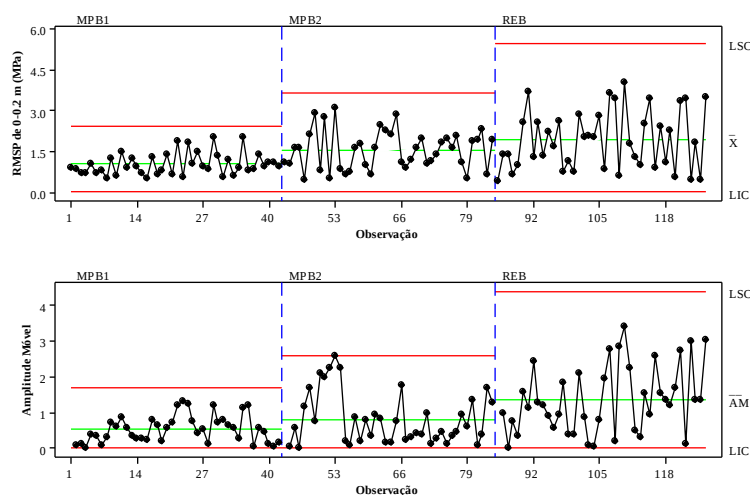


Figura 8. Cartas de controle de valores individuais e de amplitude móvel para o indicador de qualidade resistência mecânica do solo à penetração de 0-0,20 m nos três sistemas de plantio. LSC: limite superior de controle. LIC: limite inferior de controle. $\bar{X}$: média. $\bar{AM}$: amplitude móvel. LIE: limite inferior estabelecido.

Verificou-se a menor variabilidade em MPB1, seguido por MPB2 e REB. A menor variabilidade e os menores valores de RMSP indicam que o processo em MPB1 foi de

melhor qualidade que os demais, já que a umidade do solo foi próxima a 15% nos três sistemas, possivelmente devido ao menor pisoteio das soqueiras.

A RMSP acima de 2,0 MPa pode ser restritiva para a maioria das culturas, embora o valor crítico possa variar em função de características do solo como a textura, condições estruturais e manejo, bem como a cultura implantada (Baquero et al. 2012).

Ainda na Figura 8, foi verifica-se que no MPB1 todos os pontos ficaram abaixo do valor crítico, com valores médios em torno de 1,0 Mpa. Em MPB2, 78% dos pontos ficaram abaixo do limite, com valores médios de 1,6 Mpa. REB foi o sistema com a maior número de pontos acima do valor crítico, cerca de 40%, com valores oscilando entre 0 e 4,0 MPa e valor médio de 1,9 MPa.

A RMSP avaliada na camada de 0-0,2 m pode ser um indicador de qualidade efetivo, pois a maior concentração do sistema radicular está localizado nas camadas superficiais. Souza et al. (2012), ao avaliaram o controle de tráfego em cana-de-açúcar, verificaram que a maior concentração das raízes está na localizada nas camadas superficiais, especificamente de 0-01 m. Já Cury et al. (2014), verificaram que a maior concentração de raízes em cana-de-açúcar está localizada na camada de 0-0,2 m, com valores superiores a 60% dependendo do sistema de plantio (direto ou convencional), aplicação de calcário e época de avaliação. Faroni e Trivelin (2006) observaram 90% das raízes nas camadas entre 0 e 0,4 m.

O desenvolvimento do sistema radicular é extremamente importante para cana-de-açúcar para a longevidade do canavial e a fixação da touceira ao solo. No REB, a RMSP pode ser um indicativo de que o desenvolvimento do sistema radicular foi prejudicado, influenciando o porte do canavial (acamado) e, por conseguinte, os demais indicadores de qualidade relacionados.

Por outro lado, MPB1 pode ter sido favorecido pelo espaçamento reduzido que permitiu uma afastamento maior entre a banda de rodagem da máquina e a fileira de cana (Figura 1). Segundo Mialhe (2004), a distância ideal entre a banda de rodagem da máquina e a fileira de cana é chamada de distância de segurança por corresponder ao afastamento que não causa injúrias tanto na parte aérea quanto no sistema radicular da planta e que para Ripoli e Ripoli (2009), a distância ideal seria de 0,25 m,

valor inferior ao encontrado em MPB1 e superior ao encontrado em MPB2 e REB que apresentam espaçamento de 1,5 m entre as fileiras de cana (Figura 1)

CONCLUSÕES

Os sistemas com mudas pré-brotadas apresentaram a menor fração de colmos classificados com defeitos.

O material utilizado para plantio (rebolo ou muda) e as configurações de espaçamentos entre as fileiras de cana-de-açúcar tiveram efeito sobre a qualidade da operação de colheita.

O MPB1 foi o sistema que proporcionou a menor variabilidade no processo de colheita para os indicadores de qualidade avaliados, com exceção apenas do índice de danos. O processo se mostrou estável para altura de corte, índice de danos e resistência mecânica do solo à penetração.

O REB foi o que proporcionou a maior variabilidade no processo de colheita, apresentando processo estável apenas para os indicadores índice de abalos e resistência mecânica do solo à penetração.

REFERÊNCIAS

Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G. (2013) Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift** 22:711-728

Baquero JE, Ralisch R, Medina CC, Tavares Filho J, Guimarães F (2012) Soil physical properties and sugarcane root growth in a red oxisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 36: 63-70.

Barros FF, Milan M (2010) Operational quality of sugar cane planting. **Bragantia** 69: 221-229.

Belardo GC (2016) **Avaliação do desempenho de colhedoras multilinhas de cana-de-açúcar em três espaçamentos**. 198 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal) – Unesp, Jaboticabal.

Cassia MT, Silva RP, Paixão CSS, Bertonha RS, Cavichioli FA (2014) Basecutter blades wear in quality of mechanized harvesting. **Ciência Rural** 44: 987-993.

Cassia MT, Silva RP (2015) Avaliação da colheita mecanizada: avaliação da qualidade do corte basal. In: Belardo GC, Cassia MT, Silva RP (Eds.) **Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA, p. 363-366.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, safra 2018/2019, terceiro levantamento. Brasília: CONAB, 2018. 76 p.

Cortez JW, Missio C, Barreto AKG, Silva MDD, Reis GN (2016) Quality of sugarcane mechanized planting. **Engenharia Agrícola** 36:1136-1144.

Cury TN, Maria IC, Bolonhezi D (2014) Sugarcane root biomass in no-tillage and conventional systems with and without liming. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 38: 1929-1938.

FAOSTAT. 2014. Statistical database of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Accessed 20 October 2017.

Faroni CE, Trivelin PCO (2006) Quantification of sugarcane active metabolism roots. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 41: 1007-1013.

Gírio LAS, Dias FLF, Reis VM, Urquiaga S, Schultz N, Bolonhezi D, Mutton MA (2015). Bactérias promotoras de crescimento e adubação nitrogenada no crescimento inicial de cana-de-açúcar proveniente de mudas pré-brotadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 50: 33-43.

Gírio LAS, Silva RP, Ormond ATS, Paixão CSS, Noronha RHF (2016). Monitoramento de indicadores de qualidade biométricos de canaviais utilizando controle estatístico de processo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. **Anais eletrônicos...** Florianópolis: SBEA, 2016. Disponível em: <<http://publicacoes.conbea.org.br/anais/baixar/2633>>. Acesso em: 20 ago. 2017.

Kroes S (1997) **The cutting of sugarcane**. 356 f. Tese (Doutorado) - University of Queensland, Toowoomba.

Landell MG et al. (2013) **Sistema de multiplicação de de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas**. Ribeirão Preto: Instituto Agrônomo de Campinas, 16 p. (Documentos IAC, 109).

Lisson SN, Inman-Bamber NG, Robertson MJ, Keating BA (2005) The historical and future contribution of crop physiology and modeling research to sugarcane production systems. **Field Crops Research** 92: 321-335.

Mialhe LG (2004) Tráfego no canavial e suas consequências. In: Ripoli TCC (Ed.) **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: FEALQ, p. 241-255.

Minitab (2006) Minitab Statistical Software, Release 15 for Windows, State College, Pennsylvania. Minitab® is a registered trademark of Minitab Inc.

Mohanty M, Das PP, Nanda SS (2015) Introducing SSI (Sustainable Sugarcane Initiative) Technology for Enhanced Cane Production and Economic Returns in Real Farming Situations Under East Coast Climatic Conditions of India. **Sugar Tech** 17: 116-120.

Montgomery DC (Ed.) (2016) Introdução ao controle estatístico da qualidade. Rio de Janeiro: LTC, 549p.

Naik R, Annamalai SJK, Nair NV, Prasad NR (2013) Studies on Mechanisation of Planting of Sugarcane Bud Chip Settlings Raised in Protrays. **Sugar Tech** 15: 27-35.

Noronha RHF, Silva RP, Chioderoli CA, Santos EP, Cassia MT (2011) Statistical control applied in the process of mechanical sugar cane harvest in the diurnal and nocturnal periods. **Bragantia** 70: 931-938.

Silva RB, Araújo FS, Barbosa RS (2012) Soil compressibility and root system of sugarcane with and without controlled-traffic farming. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 47: 603-612.

Ripoi TC, Paranhos SB (1987) Colheita. In: Paranhos SB (Ed.) **Cana-de-açúcar, cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, p. 515-597.

Ripoli TCC (1996) Ensaio e certificação de máquinas para colheita de cana-de-açúcar. In: Mialhe, LG (Ed.) **Máquinas agrícolas**. Piracicaba: FEALQ, p. 653-673.

Ripoli TCC, Ripoli MLC (Eds.) (2009) Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente. Piracicaba: FEALQ, 333p.

Rosa LC (Ed.) (2015) Introdução ao controle estatístico de processos. Santa Maria: UFSM 176p.

Rossi Neto J, Souza ZM, Kölln OT, Carvalho JLN, Ferreira DA, Castioni GAF, Barbosa LF, Castro SGQ, Braunbeck OA, Garside AL, Franco HCJ (2018) The arrangement and spacing of sugarcane planting influence root distribution and crop yield. **Bioenergy Research** 11: 291-304.

Salvi J, Matos MA, Milan M (2007) Evaluation of the performance of a base cutting device of a sugar cane harvester. **Engenharia Agrícola** 27: 201-209.

Samant TK (2017) Bud chip method: A potential technology for sugarcane (*Saccharum officinarum*) cultivation. **Journal of Medicinal Plants Studies** 5: 355-357.

Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VA, Oliveira JB, Coelho MR, Lumbleras JF, Cunha TJF. (Eds.) (2014) Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos 376p.

Serafim LGF, Stolf R, Silva JR, Maniero MA, Bassinelo AI (2013) Influência do plantio mecanizado no índice de brotação da cana de açúcar. **Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil** 31: 22-25.

Silva RP, Corrêa CF, Cortez JW, Furlani CEA (2008) Statistical control applied in the process of mechanical sugar cane harvest in the diurnal and nocturnal periods. **Engenharia Agrícola** 25: 292-304.

Souza GS, Souza ZM, Cooper M, Tormena CA (2015). Controlled traffic and soil physical quality of an Oxisol under sugarcane cultivation. **Scientia Agricola** 72: 270-277.

Souza GS, Souza ZM, Silva RB, Araújo FS, Barbosa RS (2012) Soil compressibility and root system of sugarcane with and without controlled-traffic farming. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 47: 603-612.

Stolf R (1986) Metodologia de avaliação de falhas nas linhas de cana-de-açúcar. **Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil** 4: 22-36.

Stolf R (1989) Um modelo explicativo da competição entre colmos de um canavial e o vale da morte. **Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil** 8: 27-34.

Stolf R, Lee TSG (1990) Sistema comercial de plantio de plântulas de cultura de tecidos ou de gemas isoladas: plantio de estaca. **Álcool & Açúcar** 10: 20-25.

Stolf R, Garcia TB, Neris LO, Trindade Junior O, Reichardt K (2016) Avaliação de falhas em cana-de-açúcar segundo o método de Stolf utilizando imagens aéreas de alta precisão obtidas por VANT. **Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil** 34: 32-39.

Toledo A (2012) **Qualidade do corte basal na colheita mecanizada de cana-de-açúcar**. 90 f. Doutorado (Agronomia – Produção Vegetal) – Unesp, Jaboticabal.

Toledo A, Silva RP, Furlani CEA (2013) Quality of cut and basecutter blade configuration for the mechanized harvest of green sugarcane. **Scientia Agricola** 70: 384-389.

Voltarelli MA, Silva RP, Cassia MT, Ortiz DF, Torres LS (2015) Basal cut quality in sugarcane plants using three knife models. **Engenharia Agrícola** 35: 528-541.

Voltarelli MA, Silva RP, Cassia MT, Daloia JGM, Paixão CSS (2017) Quality of base cutting in sugarcane using knives of different angles and coatings. **Revista Ciência Agronômica** 48: 438-447.

CAPÍTULO 4 – Subjetividade do método de avaliação de danos e abalos às soqueiras na colheita mecanizada de cana-de-açúcar

RESUMO - A colheita mecanizada de cana-de-açúcar pode causar danos e abalos às soqueiras, interferindo na rebrota do canavial. As avaliações da qualidade de colheita por meio do Controle Estatístico de Qualidade (CEQ) visam detectar as possíveis interferências da máquina, do canavial e do ambiente, dentre outros fatores, na variabilidade do processo. Objetivou-se com este trabalho inferir o grau de subjetividade da avaliação de índice de dano e abalo no corte basal de cana-de-açúcar. O experimento foi realizado em área agrícola localizada no município de Guariba/SP. Os dados de índice de abalo e de danos foram avaliados por quatro indivíduos distintos e, posteriormente foram analisados por meio das cartas de controle de valores individuais, com a finalidade de verificar a variabilidade do processo. Foram avaliados teor de água no solo, altura do corte basal dos colmos, índice de abalo e índice de danos na soqueira. Não há padrão entre os resultados da avaliação de cada avaliador, demonstrando que a avaliação depende da percepção de cada indivíduo no momento da coleta dos dados. As avaliações de danos e abalos apresentaram variações na classificação de acordo com o avaliador, mas os abalos estão mais sujeitos a essas variações. A avaliação deve ser realizada, sempre que possível, por mais de um indivíduo para garantir uma maior proximidade dos resultados analisados com a realidade do campo. Para reduzir a subjetividade da classificação de abalos, é necessário que sejam estabelecidos intervalos para classificação mais concretos assim como há para danos.

Palavras-chave: *Saccharum spp.*, corte de base, controle estatístico de processo, cartas de controle.

INTRODUÇÃO

A colheita mecanizada de cana-de-açúcar é realizada por máquinas que podem causar elevados níveis de perdas tanto de qualidade quanto de volume de material colhido ao longo da operação.

Dentre os fatores responsáveis por essas perdas tem-se: ações do operador, condições do terreno, que dificultam a movimentação das máquinas, variedades não adaptadas à colheita mecanizada, porte do canavial, teor de água do solo e velocidade de deslocamento da colhedora, dentre outros aspectos (Neves et al., 2006).

As colhedoras de cana realizam o corte basal por impacto, por meio da ação de discos rotativos com várias lâminas distribuídas ao seu redor, auxiliado por um rolo defletor que empurra a planta para frente antes de cortá-la, facilitando a ação dos rolos alimentadores (Mello e Harris, 2003; Magalhães, 1998).

O corte basal e a deflexão são os principais causadores de danos na cana colhida e na soqueira da cultura, influenciando a qualidade da matéria-prima e os níveis de perdas, podendo causar redução na longevidade e na rebrota da cana, diminuindo a produtividade (Gray et al., 2009).

Os danos na soqueira, com a exposição do toco (mais altos e dilacerados), destruição ou remoção das gemas (que darão origem às novas brotações) e a danificação do sistema radicular, propiciam o aumento da vulnerabilidade a doenças e pragas (Kroes e Harris, 1996).

A verificação da qualidade de colheita é destinada a detectar oscilações ou variações indesejáveis durante a execução da operação, comparando com indicadores selecionados ou confrontando-os com os padrões aceitáveis de perdas, tendo a finalidade de inibir a presença de falhas, diminuindo gastos de correção (Cassia et al., 2014; Silva et al., 2013).

Dentre as ferramentas de qualidade, o Controle Estatístico de Processo (CEP) se destaca, com as cartas de controle são normalmente utilizadas para identificar causas não aleatórias ou as causas especiais decorrentes da instabilidade do processo.

Na área agrícola, alguns autores como Noronha et al. (2011) e Barros e Milan (2010), utilizaram a carta de controle em seus experimentos com cana-de-açúcar, tendo a possibilidade de observar variações em operações agrícolas que se encontravam fora dos padrões especificados de qualidade para o processo em questão.

Operações que antes não eram tratadas com tanta relevância como sistematização de linhas e controle de tráfego, atualmente são consideradas

essenciais no desenvolvimento de um canavial produtivo, devido a diversas pesquisas que mostraram seus efeitos benéficos.

A qualidade do corte basal é um fator de pouco interesse atualmente, porém, é uma maneira eficaz de correlacionar o impacto realizado pelo corte de base causado pelo tipo de faca e desgaste da mesma, o que pode ser correlacionado com a longevidade e produtividade dos canaviais (Voltarelli et al., 2015).

Partindo do pressuposto que a subjetividade existente nas avaliações da qualidade da colheita mecanizada de cana-de-açúcar possa afetar a variabilidade e a confiabilidade dos métodos utilizados, objetivou-se com este trabalho inferir o grau de subjetividade da avaliação de índice de dano e abalo no corte basal de cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em área agrícola do Condomínio Agrícola Santa Isabel da Fazenda Santana, localizada nas proximidades do município de Guariba, São Paulo, Brasil (21°24'42" S, 48°10'17" W).

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico (Santos et al., 2014) e ambiente de produção B2, textura franco argilo arenosa, com 34,7% de argila e o clima como Cwa pela classificação de Köppen (Alvares et al., 2013).

A variedade colhida foi a CTC 7, e se encontrava em seu 2º corte. A colhedora utilizada foi a Case IH A8800, ano 2012, com potência nominal de 263,3 kW (358 cv), equipada com piloto automático e o mecanismo de corte de base, composto por dois discos com cinco facas de corte acoplados cada, operados a pressão de trabalho média de 45 Bar, regulado para realizar o corte à altura de 0,050 m ($\pm$ 0,005 m).

O delineamento seguiu as premissas do Controle Estatístico de Processo (CEP), com a amostragem realizada no tempo, coletando-se no campo três pontos por linha, sendo espaçados aproximadamente 50 m entre si, totalizando 27 pontos em nove linhas de colheita.

Antes da colheita, o porte do canavial foi caracterizado em cada ponto seguindo a metodologia de Ripoli (1996), considerando a posição relativa do colmo em relação

ao solo, sendo classificado de acordo com o ângulo de inclinação como: colmo deitado (abaixo de 22,5°), colmo acamado (22,5 a 45°) e colmo ereto (acima de 45°).

Os indicadores de qualidade utilizados foram: o teor de água no solo, porte do canavial, altura do corte basal, índices de abalos e danos às soqueiras.

O teor de água no solo foi determinado pelo método gravimétrico na camada de 0,0-0,20 m, coletando-se amostras de solo com trado ao lado da soqueira.

Para as avaliações da soqueira foram utilizadas armações metálicas com área de 0,25 m² (0,5 x 0,5 m) posicionadas em cada ponto de coleta. Foram contabilizados e analisados todos os colmos presentes dentro da armação.

A altura do corte basal foi aferida por meio de régua graduada em centímetros posicionada verticalmente em relação ao solo. As avaliações de danos e abalos foram realizadas sequencialmente de maneira subjetiva pelos quatro avaliadores.

O abalo das soqueiras foi avaliado por meio da aplicação de um esforço manual sobre os colmos, classificando-os como abalo fraco, médio e forte.

Para cada classe de abalo um peso foi atribuído da seguinte forma: fraco (0,00), médio (0,33) e forte (1,00), e, posteriormente, foi calculado o índice de abalo às soqueiras (IA) apresentado na equação 1 (Cassia e Silva, 2015):

$$IA = \frac{P_{af} \cdot N_{af} + P_{am} \cdot N_{am} + P_{aff} \cdot N_{aff}}{N} \quad (1)$$

Em que,

IA: índice de abalo às soqueiras ($0,0 \leq IA \leq 1,0$);

P_{af}: peso atribuído aos colmos com abalo fraco (0,00);

N_{af}: número de colmos com abalo fraco;

P_{am}: peso atribuído aos colmos com abalo médio (0,33);

N_{am}: número de colmos com abalo médio;

P_{aff}: peso atribuído aos colmos com abalo forte (1,00);

N_{aff}: número de colmos com abalo forte;

N: número total de colmos.

Para o Índice de Abalo obtido, quanto mais próximo de 1,00, maior será o abalo das soqueiras, e quanto mais próximas de 0,00, menor será o abalo das soqueiras.

Os danos às soqueiras foram classificados quanto a ocorrência, classificados em três classes: sem danos (SD), com danos parciais (DP) e danos extremos (DE), segundo proposto por Kroes (1997) e adaptado por Toledo et al. (2013).

Assim como nos abalos, para cada classe de danos um peso foi atribuído da seguinte forma: sem danos (0,00), danos periféricos (0,33) e danos extremos (1,00), e, posteriormente, foi calculado o índice de danos às soqueiras (IA) apresentado na equação 2 (Toledo et al., 2013):

$$IA = \frac{P_{SD}.N_{SD} + P_{DP}.N_{DP} + P_{DE}.N_{DE}}{N} \quad (2)$$

Em que,

ID: índice de danos às soqueiras ($0,0 \leq ID \leq 1,0$)

P_{SD} : peso atribuído aos colmos sem danos (0,00);

N_{SD} : número de colmos sem danos;

P_{DP} : peso atribuído aos colmos com danos parciais (0,33);

N_{DP} : número de colmos com danos parciais;

P_{DE} : peso atribuído aos colmos com danos extremos (1,00);

N_{DE} : número de colmos com danos extremos;

N : número total de colmos.

Em relação aos valores obtidos, quanto mais próximos do valor 1,00, maiores serão os danos ocasionados às soqueiras e, quanto mais próximos de zero, menores serão os danos (Toledo et al., 2013).

As avaliações dos índices de danos e abalos foram realizadas por quatro indivíduos separadamente. Os avaliadores foram denominados A, B, C e D, sendo o avaliador A um indivíduo com experiência no método de avaliação e, portanto, utilizado como referência. Os demais indivíduos não possuíam experiência com o método e receberam um treinamento antes das avaliações.

O comportamento geral dos dados foi verificado por meio da análise descritiva utilizando-se medidas de tendência central (média aritmética e mediana), de posição (desvio padrão e amplitude) e os coeficientes de assimetria, curtose e variação. Para verificar a normalidade dos resultados foi realizado teste de Ryan-Joiner.

A variabilidade do processo foi verificada pelas cartas de controle de valores individuais e de amplitude móvel e a correlação dos dados foi analisada pela correlação de Pearson a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelos resultados da análise descritiva e do teste de normalidade, pode-se observar que, mesmo com valores elevados de coeficiente de variação para algumas variáveis, todos foram considerados normais de acordo com o teste Ryan-Joiner (Tabela 1).

Tabela 1. Análise descritiva e teste de normalidade das variáveis estudadas.

Variáveis	Avaliador	$\bar{X}$	σ	CV	Mediana	Amplitude	Cs	Ck	RJ
Teor de água do solo	-	13,41	2,27	16,89	13,93	10,73	-1,23	2,59	0,934 ^N
Altura de corte	-	0,15	0,049	46,99	0,10	0,17	0,56	-0,50	0,977 ^N
Abalos	A	0,44	0,23	52,54	0,46	0,83	-0,21	-0,67	0,987 ^N
	B	0,41	0,19	47,24	0,42	0,79	-0,50	0,12	0,982 ^N
	C	0,33	0,18	55,67	0,33	0,58	-0,12	-1,23	0,985 ^N
	D	0,34	0,16	47,13	0,33	0,59	-0,28	-0,32	0,978 ^N
Danos	A	0,75	0,10	13,65	0,73	0,36	-0,42	-0,40	0,986 ^N
	B	0,57	0,22	38,15	0,61	0,70	-0,53	-0,99	0,966 ^N
	C	0,67	0,21	31,69	0,73	0,75	-1,46	1,26	0,895 ^N
	D	0,73	0,19	26,56	0,78	0,71	-1,48	1,54	0,908 ^N

* $\bar{X}$: média aritmética da amostra; σ : desvio-padrão; CV: coeficiente de variação; Cs: coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose; RJ: teste de normalidade de Ryan-Joiner; (^N: Distribuição normal; ^A: Distribuição não normal com $p < 0,10$).

Com exceção da altura de corte, todas as variáveis, apresentaram distribuições ligeiramente assimétricas à esquerda. Já para os coeficientes de curtose apenas umidade, danos C e danos D apresentaram valores positivos.

Com relação ao coeficiente de variação, todas as variáveis apresentaram valores acima de 30%, considerados muito altos (Andrade e Ogliari, 2007), com exceção apenas para os índices de danos para os avaliadores A (médio) e D (alto) (Tabela 1).

Ainda com relação ao coeficiente de variação, os valores dos índices de abalos foram mais elevados devido à maior dificuldade para classificação dos abalos, por não haver limites claros para classificação.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados das análises dos padrões de não-aleatoriedade.

Tabela 2. Valores padrões de probabilidade dos gráficos sequenciais para os indicadores de qualidade índice de danos e abalos analisados por quatro avaliadores.

Variável	Avaliador	Agrupamento	Mistura	Tendência	Oscilação
Abalos	A	0,280 ^{ns}	0,72 ^{ns}	0,215 ^{ns}	0,785 ^{ns}
	B	0,280 ^{ns}	0,72 ^{ns}	0,215 ^{ns}	0,785 ^{ns}
	C	0,581 ^{ns}	0,419 ^{ns}	0,215 ^{ns}	0,785 ^{ns}
	D	0,280 ^{ns}	0,72 ^{ns}	0,376 ^{ns}	0,624 ^{ns}
Danos	A	0,917 ^{ns}	0,083 ^{ns}	0,865 ^{ns}	0,135 ^{ns}
	B	0,985 ^{ns}	0,015*	0,942 ^{ns}	0,058 ^{ns}
	C	0,494 ^{ns}	0,506 ^{ns}	0,563 ^{ns}	0,437 ^{ns}
	D	0,917 ^{ns}	0,083 ^{ns}	0,942 ^{ns}	0,058 ^{ns}

^{ns} valores-padrão de aleatoriedade e *valores-padrão de não aleatoriedade identificados pelo teste de probabilidade, sendo $p > 0,05$, ao nível de 5% de probabilidade.

Quando os dados apresentam comportamento não aleatório, podem indicar alguma interferência externa que, posteriormente, pode ser confirmada pela análise das cartas de controle. Desta forma, os índices de danos e abalos às soqueiras obtidos por todos os avaliadores, com exceção do índice de danos do avaliador B, não apresentaram padrões de não-aleatoriedade, indicando que possivelmente as variações destes indicadores ocorreram somente por ação de causas naturais.

Nas cartas de controle para a avaliação do teor de água do solo no momento da colheita, verificou-se baixa variabilidade ao longo dos pontos amostrados na área, com valor médio de 13,4% (Figura 1a).

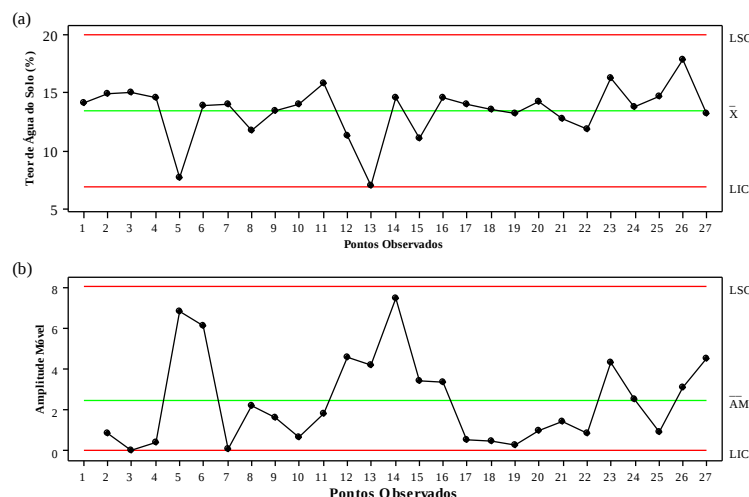


Figura 1. Carta de controle de valores individuais (a) e de amplitude móvel (b) para o teor de água do solo. LSC: limite superior de controle. LIC: limite inferior de controle. $\bar{X}$: média. $\overline{AM}$: amplitude móvel.

O teor de água no solo pode afetar a variabilidade espacial da resistência mecânica do solo a penetração, sendo estas variáveis inversamente proporcionais (Souza et al., 2006). O baixo teor de água do solo no momento da colheita, pode ser desejável pois reduz a capacidade de compressão do solo quando submetido ao tráfego intenso de máquinas e pode diminuir os abalos às soqueiras por favorecer a fixação da soqueira ao solo.

Constata-se também, na carta de controle de amplitude móvel (Figura 1b) que a amplitude média do teor de água do solo foi de 2,45%, indicando a baixa variabilidade deste indicador dentro da área avaliada.

Verifica-se nas cartas de controle para a altura de corte basal das soqueiras (Figura 2) que mesmo dentro dos limites de controle, a altura média de corte se encontrou acima da altura estabelecida pela unidade produtora ($0,050 \pm 0,005$ m).

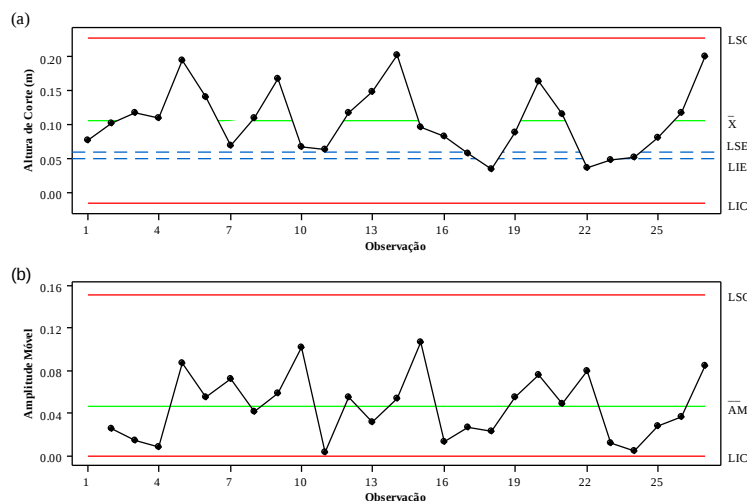


Figura 2. Carta de controle de valores individuais (a) e de amplitude móvel (b) para a altura de corte basal. LSC: limite superior de controle. LIC: limite inferior de controle. LSE: limite superior estabelecido. LIE: limite inferior estabelecido. $\bar{X}$: média. $\overline{AM}$: amplitude móvel.

A altura de corte basal das colhedoras de cana pode ser regulada por dispositivos automáticos presentes nas máquinas, porém, nem sempre o controle da altura é mantido, fazendo com que a altura estabelecida não seja atingida (Salvi et al., 2007).

Tal constatação fica evidente quando observadas as alturas avaliadas em relação aos limites específicos estabelecidos (Figura 2a). De todos os pontos avaliados, apenas três estão contidos entre os limites específicos, indicando a dificuldade da máquina em manter a altura de corte dentro dos padrões desejados.

Além disso, a variabilidade da altura de corte também pode ser influenciada por fatores como o relevo da área e imperfeições do solo e o tempo de resposta dos sensores contidos no mecanismo de controle de altura de corte.

Apesar de o processo se mostrar estável para este indicador de qualidade, verifica-se que houve alta variabilidade do mesmo, pois a amplitude móvel média foi de 0,046, apresentando valores extremos de 0,106 m.

Quando observados os resultados de abalo à soqueira por avaliador (Figura 3a), constatou-se que os valores das médias dos índices de abalos, foram enquadrados na classe de abalos medianos ($0,33 \leq IA < 0,66$). Entretanto, a ordem decrescente das variabilidades observadas foi A, B, C e D, respectivamente (Figura 3b).

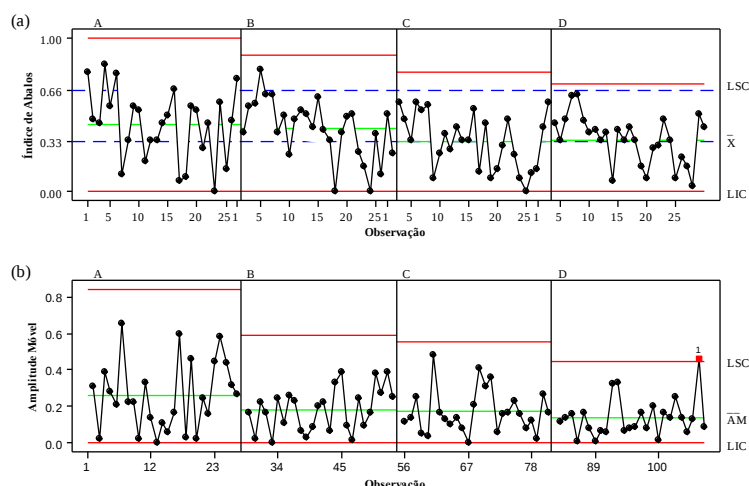


Figura 3. Carta de controle de valores individuais (a) e de amplitude móvel (b) para índice de abalos. LSC: limite superior de controle. LIC: limite inferior de controle. LSA: limite superior de abalo. LIA: limite inferior de abalo. $\bar{X}$: média. $\bar{AM}$: amplitude móvel.

Embora as médias dos índices de abalos para os quatro avaliadores tenham sido próximas, a diferença entre as variabilidades foi acentuada (Figura 3a). No caso, a menor variabilidade não indica necessariamente a melhor qualidade da avaliação, pois depende da qualidade da operação da colheita.

Segundo Voltarelli et al. (2017), o índice de abalo às soqueiras consiste na avaliação dos colmos pela aplicação de uma força manual provocada pelo avaliador, verificando-se a mobilização de cada colmo para classificar o abalo à soqueira. Por isso, a diferença entre os avaliadores pode estar relacionada à subjetividade do método de avaliação que, apesar de prático, depende da experiência e sensibilidade do avaliador ao imprimir a força sobre o colmo e classificá-lo quanto ao abalo.

Pela carta de amplitude móvel (Figura 3b), constata-se que a variabilidade interna do índice de abalos do avaliador de referência (A) foi maior que os índices dos demais avaliadores, indicando a maior sensibilidade deste avaliador em perceber as nuances do abalo à soqueira.

Os resultados dos índices de danos às soqueiras avaliados pelos quatro avaliadores, demonstram uma pequena variabilidade dos dados na avaliação do avaliador de referência em relação aos demais (Figura 4a).

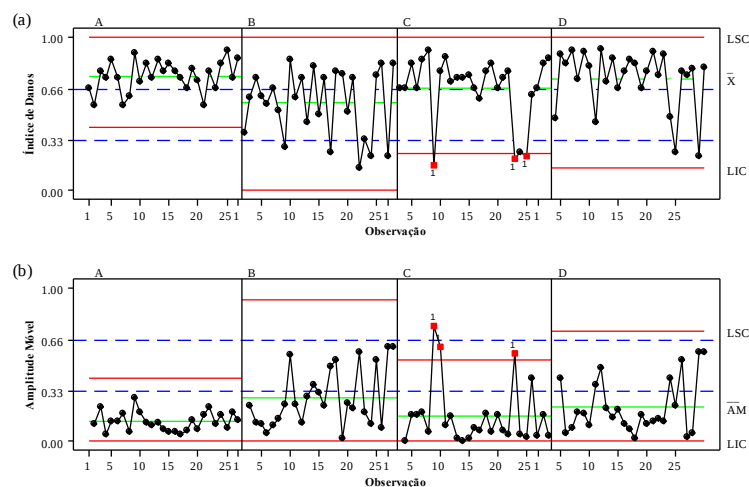


Figura 4. Carta de controle de valores individuais (a) e de amplitude móvel (b) para índice de danos. LSC: limite superior de controle. LIC: limite inferior de controle. LSD: limite superior de dano. LID: limite inferior de dano. $\bar{X}$: média. $\overline{AM}$: amplitude móvel.

Utilizando-se como referência o avaliador A, que era o indivíduo de referência por possuir maior experiência, menor variabilidade dos dados em relação aos abalos e a ordem decrescente de danos entre os avaliadores foi B, D, C e A (Figura 4).

Os danos nos colmos também estão sujeitos a diferenças de classificação por cada avaliador assim como para abalos, porém o método de classificação está menos sujeito a variação pois estabelece limites mais definidos de classificação.

Toledo et al. (2013), propuseram intervalos para classificação dos tipos de danos às soqueiras, baseados em limites visuais pela adaptação da classificação de danos sugerida por Kroes (1997), o que permite que haja menor variabilidade entre as avaliações mesmo que o avaliador seja menos experiente.

Observa-se na Tabela 3 que houve correlação positiva entre o índice de danos de A com os valores obtidos pelos demais avaliadores. O mesmo foi observado para o índice de abalos.

Tabela 3. Correlação dos dados por meio do coeficiente de correlação de Pearson para altura do corte basal, teor de água no solo, índice de dano dos avaliadores e índice de abalo dos avaliadores.

	Altura do corte basal	Teor de água no solo	Índice de dano A	Índice de dano B	Índice de dano C	Índice de dano D	Índice de abalo A	Índice de abalo B	Índice de abalo C
Teor de água no solo	-0,314 ^{ns}								
Índice de dano A	0,186*	-0,172 ^{ns}							
Índice de dano B	0,304*	-0,246 ^{ns}	0,547*						
Índice de dano C	0,433*	-0,069 ^{ns}	0,470*	0,491*					
Índice de dano D	0,208 ^{ns}	0,007 ^{ns}	0,720*	0,215 ^{ns}	0,259 ^{ns}				
Índice de abalo A	0,393*	-0,084 ^{ns}	0,047 ^{ns}	-0,074 ^{ns}	0,331*	0,191 ^{ns}			
Índice de abalo B	0,430*	-0,066 ^{ns}	0,042 ^{ns}	-0,237 ^{ns}	0,440*	-0,014 ^{ns}	0,516*		
Índice de abalo C	0,686*	0,009 ^{ns}	0,068 ^{ns}	0,141 ^{ns}	0,589 ^{ns}	0,143 ^{ns}	0,655*	0,738*	
Índice de abalo D	0,614*	-0,173 ^{ns}	-0,090 ^{ns}	-0,190 ^{ns}	0,273 ^{ns}	0,273 ^{ns}	0,698*	0,518*	0,61*

Além disso, houve correlação positiva para os índices de danos e abalos com a altura de corte, exceto para o índice de danos em D. A altura de corte apresentou correlação moderada com o índice de danos C, índice de abalos B, C e D e correlação fraca (0,20 a 0,39) para índice de danos A e B e índice de abalos A (Tabela 4).

No que diz respeito aos índices de danos e abalos, observa-se que somente o D apresentou correlação forte com o A, enquanto que os demais apresentaram correlação moderadas (Tabela 4).

Apesar da ocorrência das correlações lineares mencionadas, não foi possível ajustar regressões para os parâmetros avaliados.

CONCLUSÃO

Não há padrão entre os resultados da avaliação de cada avaliador, demonstrando que a avaliação depende da percepção de cada indivíduo no momento da coleta dos dados.

As avaliações de danos e abalos apresentaram variações na classificação de acordo com o avaliador, mas os abalos estão mais sujeitos a essas variações.

A avaliação deve ser realizada, sempre que possível, por mais de um indivíduo para garantir uma maior proximidade dos resultados analisados com a realidade do campo.

Para reduzir a subjetividade da classificação de abalos, é necessário que sejam estabelecidos intervalos para classificação mais concretos assim como há para danos.

REFERÊNCIAS

Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G (2007) Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift** 22: 711-728, 2013.

Andrade DF, Ogliari PJ (Eds.) (2007) Estatística para ciências agrárias e biológicas com noções de experimentação. Florianópolis: UFSC, 432p.

Barros FF, Milan M (2010) Qualidade operacional do plantio de cana-de-açúcar. **Bragantia** 69: 221-229.

Cassia MT, Silva RP, Paixão CSS, Bertonha RS, Cavichioli FA (2014) Desgaste das facas do corte basal na qualidade da colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Ciência Rural** 44: 987-993.

Gray GR, Magalhães PSG, Braunbeck AO (2009) Suspensão pantográfica para o corte de base de cana-de-açúcar. **Ciência Rural** 39: 766-771.

Kroes S (1997) **The cutting of sugarcane**. 356 f. Tese (Doutorado) - University of Queensland, Toowoomba.

Kroes S, Harris HD (1996) Knockdown causes major damage to cane during harvesting. In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONFERENCE. **Anais...** Brisbane: Watson Ferguson: p. 137-44.

Magalhães PSG, Braunbeck AO (1998) Colheita de cana-de-açúcar: atualidade e perspectiva. In: CONGRESSO DE INGENIERÍA RURAL Y MECANIZACIÓN AGRARIA EN EL AMBITO LATINOAMERICANO. **Anais...** La Plata: EUNLP: p.262-273.

Mello RC, Harris H (2003) Desempenho de cortadores de base para colhedoras de cana-de-açúcar com lâminas serrilhadas e inclinadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 7: p. 355-358.

Neves JLM, Magalhães PSG, Moraes EE, Araújo FVM (2006) Avaliação de perdas invisíveis na colheita mecanizada em dois fluxos de massa de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola** 26: 787-794.

Noronha RHF, Silva RP, Chioderoli CA, Santos EP, Cassia MT (2011) Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada diurna e noturna de cana-de-açúcar. **Bragantia** 70: 931-938.

Ripoli TCC (1996) Ensaio e certificação de máquinas para colheita de cana-de-açúcar. In: Mialhe, LG (Ed.) **Máquinas agrícolas**. Piracicaba: FEALQ, p. 653-673

Salvi JV, Matos MA, Milan M (2007) Avaliação do desempenho de dispositivo de corte basal de colhedora de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola** 27: p. 201-209.

Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VA, Oliveira JB, Coelho MR, Lumbreras JF, Cunha TJF. (Eds.) (2014) Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos 376p.

Silva RPD, Corrêa CF, Cortez JW, Furlani CE (2008) Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola** 28: 292-304.

Souza ZMD, Campos MCC, Cavalcante IHL, Marques Júnior J, Cesarin LG, Souza SRD (2006) Dependência espacial da resistência do solo à penetração e do teor de água do solo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural** 36: 128-134.

Toledo AD, Silva RP, Furlani, CEA (2013) Quality of cut and basecutter blade configuration for the mechanized harvest of green sugarcane. **Scientia Agrícola** 70: 384-389.

Voltarelli MA, Silva RP, Cassia MT, Ortiz DF, Torres LS (2015) Qualidade do corte basal de cana-de-açúcar utilizando-se de três modelos de facas. **Engenharia Agrícola** 35: 528-541.

Voltarelli MA, Silva RP, Cassia MT, Daloia JGM, Paixão CSS (2017) Qualidade do corte basal de cana-de-açúcar efetuado por facas de diferentes angulações e revestimentos. **Revista Ciência Agronômica** 48: 438-447.

CAPÍTULO 5 – Proposta de metodologia padrão para avaliação de abalos às soqueiras de cana-de-açúcar

RESUMO - A colheita é uma das etapas mais importantes do sistema produtivo da cana-de-açúcar. O sistema mecanizado na colheita de cana-de-açúcar já é o principal método de corte utilizado nas regiões produtoras e unanimidade nas áreas de expansão. Embora tenha trazido diversos benefícios, a colheita mecanizada tem causado grandes impactos na longevidade, perdas e produtividade dos canaviais. Por isso, é importante que se avalie, de forma precisa, a qualidade com que a colheita está sendo realizada, mas com frequência não é o que ocorre. Diante do exposto, objetivou-se propor uma metodologia padrão que elimine a subjetividade do método de avaliação de abalos às soqueiras existente. Os testes foram realizados em três localidades e inicialmente, os abalos foram avaliados pela metodologia subjetiva e posteriormente as soqueiras foram avaliadas pela metodologia proposta chamada de padrão. Esta consiste em quantificar o deslocamento dos colmos e atribuir valores a área que seu movimento projeta ao ser imprimida uma força conhecida sobre o mesmo. A metodologia proposta apresentou grande potencial para padronizar a avaliação de abalos às soqueiras. As informações geradas a partir da metodologia padrão permitem que sejam feitas comparações entre avaliações sem a influência do avaliador.

Palavras-chave: *Saccharum* spp.; qualidade do corte; colheita mecanizada

INTRODUÇÃO

A colheita é uma das etapas mais importantes do sistema produtivo da cana-de-açúcar. O fim da queima aliado a questões de cunho social, fizeram com que a colheita mecanizada atingisse, na região Centro-Sul, patamares próximos a 97% (Agência Estado, 2015).

O sistema mecanizado na colheita de cana-de-açúcar já é o principal método de corte utilizado nas regiões produtoras e unanimidade nas áreas de expansão, por promover aumento da capacidade operacional (Pereira e Torrozan, 2006).

Embora tenha trazido diversos benefícios, a colheita mecanizada tem causado grandes impactos na longevidade, perdas e produtividade dos canaviais (Neves et al. 2006).

As colhedoras cortam a cana pelo impacto de múltiplas lâminas montadas em dois discos rotativos do mecanismo de corte de base (Mello, 2005) que podem causar danos considerados como o maior problema das colhedoras (Kroes, 1997) e abalos nas soqueiras que podem danificar o seu sistema radicular (Toledo et al. 2013).

Um corte de qualidade visa tanto assegurar o melhor aproveitamento da lavoura, com menores índices de perdas e de contaminações da matéria prima, quanto garantir as condições agrônômicas propícias para ocorrer a rebrota do canavial sem diminuição da produtividade nas safras futuras (Silva et al., 2008).

Por isso, é importante que se avalie, de forma precisa, a qualidade com que a colheita está sendo realizada, o que frequentemente não ocorre (Dodson, 1998).

Dentre os indicadores de qualidade de uma colheita, os abalos têm grande relevância ao se avaliar a operação. Para isso, utiliza-se com frequência o índice de abalos que consiste em atribuir um valor ao esforço empregado em cada colmo de uma soqueira por um avaliador (Cassia e Silva, 2015).

Entretanto, a metodologia, apesar de prática, é considerada subjetiva pois depende da percepção do indivíduo que está imprimindo força e pode apresentar grande divergência nos valores quando realizado por pessoas com diferentes níveis de experiência.

Diante do exposto, objetivou-se propor uma metodologia padrão que elimine a subjetividade do método de avaliação de abalos às soqueiras existente.

MATERIAL E MÉTODOS

Os testes em campo foram realizados em três áreas agrícolas distintas, nas proximidades dos municípios paulistas de Guariba, Jaboticabal e Monte Alto (Tabela 1).

Tabela 1. Localidades onde foram realizadas as avaliações, classificação do solo, cultivar e tipo de colheita.

Área Experimental	Classificação do Solo*	Cultivar	Colheita
Guariba, SP	Latossolo Vermelho distrófico	CTC 20	Mecanizada
Jaboticabal, SP	Latossolo Vermelho distrófico	SP80 3280	Mecanizada
Monte Alto, SP	Neossolo Quartizarênico órtico	RB92 579	Manual

*Classificação de acordo com Santos et al. (2014).

Na área próxima a Guariba, o modelo de colhedora utilizada foi uma Case A8800 multi-row, com potência nominal de 263 kW (358 cv), operada a velocidade média de deslocamento de 2,5 km h⁻¹ e a rotação média no motor de 1800 rpm. Na área nas proximidades de Jaboticabal, o modelo de colhedora foi uma Case A8800 com potência nominal de 263 kW (358 cv), operada a velocidade e rotação média de 5,0 km h⁻¹ e 1800 rpm, respectivamente.

Logo após a realização da colheita, foram realizadas as avaliações em campo descritas a seguir em seis soqueiras, com 26 colmos no total movimentados cada um em oito sentidos, gerando 208 informações:

Procedimentos das avaliações em campo

Foram selecionados pontos aleatórios para avaliação, lançando-se sobre as fileiras de cana colhida uma armação metálica de 0,25 m².

Dentro da área amostral os colmos foram identificados com minibandeiras numeradas (Figura 1), em que cada colmo teve sua altura de corte aferida – corresponde a distância perpendicular entre o ponto em que as facas do mecanismo de corte cisalharam o colmo até a superfície do solo – e os abalos classificados de acordo com a metodologia adaptada de Toledo (2012) por Cassia e Silva (2015) e, posteriormente, pela metodologia proposta no presente estudo.



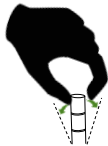
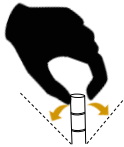
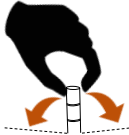
Figura 1. Identificação dos colmos dentro da área amostral com minibandeiras numeradas.

Metodologia de adaptada de Toledo (2012) por Cassia e Silva (2015) para determinação do índice de abalos às soqueiras

Para o cálculo do índice de abalos às soqueiras, primeiro foi classificada a condição de cada colmo dentro da armação após aplicar, manualmente, uma força perpendicular ao mesmo.

De acordo com a resistência do colmo à força aplicada, classificou-se o abalo no colmo conforme a percepção do avaliador em: fraco (af), médio (am) ou forte (aff), atribuindo-se pesos para cada tipo de abalo. Para abalos fracos, o peso atribuído foi 0,00; para abalos médios, 0,50; e para abalos fortes, foi atribuído 1,00 (Tabela 2).

Tabela 2. Classificação dos tipos de abalos, representação gráfica da avaliação e os pesos atribuídos a cada classe abalo.

Classificação	Representação	Peso*
Abalo Fraco (af)		0,00
Abalo Médio (am)		0,50
Abalo Forte (aff)		1,00

*Valores propostos Cassia e Silva (2015) e adaptados pelo autor.

Com os valores dos pesos de cada colmo, foi calculado o Índice de Abalos às Soqueiras (IA) apresentado na Equação 1:

$$IA = \frac{P_{af} \cdot N_{af} + P_{am} \cdot N_{am} + P_{aff} \cdot N_{aff}}{N} \quad (1)$$

em que,

IA: Índice de abalo às soqueiras (0,00 a 1,00);

P_{af} : peso atribuído ao abalo fraco (0,00);

N_{af} : número de colmos com abalo fraco;

P_{am} : peso atribuído ao abalo médio (0,50);

N_{am} : número de colmos com abalo médio;

P_{aff} : peso atribuído com abalo forte (1,00);

N_{aff} : número de colmos com abalo forte;

N: número total de colmos contidos na área amostral.

Após os cálculos, as soqueiras tiveram os abalos classificados em: fraco ($0,00 \leq IA < 0,33$), médio ($0,33 \leq IA < 0,66$) e forte ($0,66 \leq IA \leq 1,00$).

As avaliações foram realizadas por dois indivíduos, um chamado de avaliador 1, com experiência na realização da avaliação e outro chamado de avaliador 2, sem experiência. Posteriormente, procedendo-se à análise comparativa dos índices de abalos obtidos, determinou-se o erro relativo das avaliações (Equação 2):

$$|ER| = \frac{(IA_1 - IA_2)}{IA_1} \cdot 100 \quad (2)$$

em que,

|ER|: erro relativo (%);

IA₁: índice de abalo às soqueiras Avaliador 1 (padrão);

IA₂: índice de abalos às soqueiras Avaliador 2.

Metodologia precisa para avaliação de abalos às soqueiras

A metodologia proposta não depende da sensibilidade e percepção do avaliador, pois consiste em determinar, numericamente, o abalo às soqueiras, compreendido como o resultado da capacidade da movimentação dos colmos de uma soqueira quando aplicada uma força conhecida.

Para padronizar a avaliação, primeiramente foram aplicados conceitos de momento de alavanca para estabelecer o intervalo de força máxima que pode ser aplicada no colmo para seu deslocamento, sem que houvesse o rompimento das raízes (Figura 2).

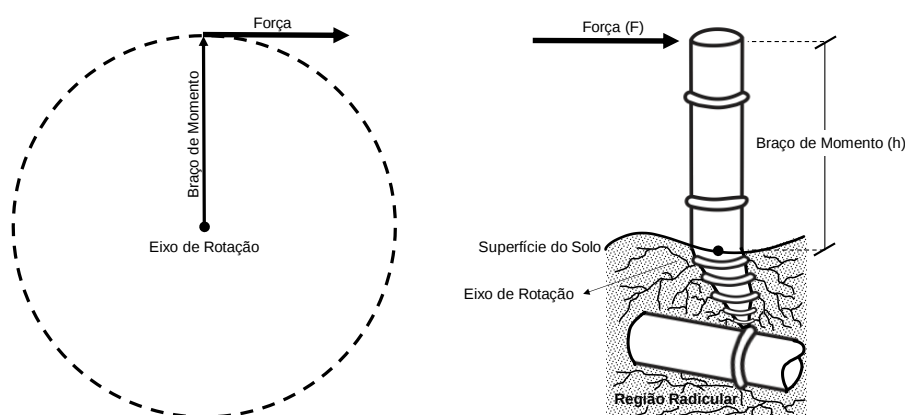


Figura 2. Representação gráfica da aplicação do conceito de momento de alavanca em um colmo.

O momento de alavanca ou torque é uma grandeza vetorial que pode ser definido como o produto da intensidade de uma força pela distância perpendicular desde a linha de ação da força até o eixo de rotação (Equação 3), ou seja, pode-se dizer que o torque é a fração da força aplicada sobre um objeto (colmo) que é efetivamente utilizada para fazer ele girar em torno de um eixo ou ponto central, conhecido como ponto pivô ou eixo de rotação (Figura 2).

$$\vec{\tau} = \vec{F} \cdot h \quad (3)$$

em que,

$\vec{\tau}$: torque (Nm);

$\vec{F}$: força (N);

h: altura do colmo (m).

A distância do ponto pivô ao ponto onde atua uma força (F) é chamada braço do momento (comprimento do colmo) e foi denotado por 'h' (Figura 2).

A força conhecida foi aplicada utilizando um Dinamômetro Digital Portátil da Instrutherm™ modelo DD-500, com capacidade de medição máxima de 49,03 N (5 kgf) e resolução de 0,01 N (0,1 kgf), com precisão de 0,4% (Figura 3).



Figura 3. Dinamômetro Digital Portátil Instrutherm modelo DD-500 e os acessórios (gancho, corda trançada de polipropileno de 1,5 mm e um parafuso 6,0 x 25 mm).

Após padronizar a faixa de força aplicável, iniciou-se a medição da movimentação da soqueira. Foi estabelecido que seria aferida a movimentação em oito sentidos, denominados: Norte (N), Nordeste (NE), Leste (L), Sudeste (SE), Sul (S), Sudoeste (SO), Oeste (O) e Noroeste (NO), sendo os sentidos L e O sempre paralelos à fileira de cana e os sentidos N e S perpendiculares (Figura 4).

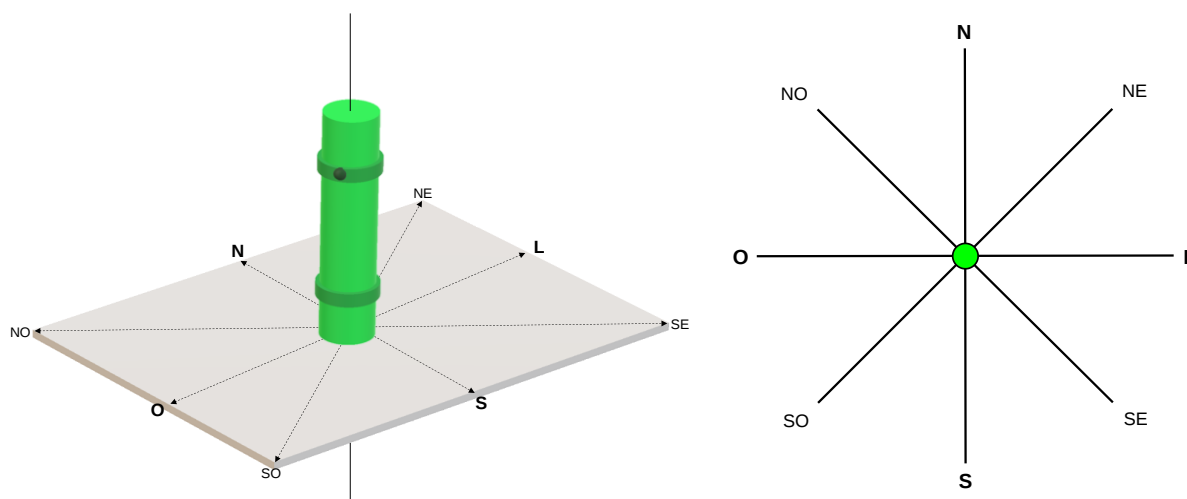


Figura 4. Representação de um colmo e os sentidos em que pode ser movimentado após aplicação de uma força. À esquerda, vista em perspectiva. À direita, vista superior do colmo.

A movimentação da soqueira corresponde a um movimento circular que a extremidade do colmo faz ao redor de um eixo de rotação (Figura 5), ou seja, o movimento corresponde ao ângulo formado entre a posição inicial do colmo quando em repouso (posição “a”) e a nova posição (posição “b”) após aplicar uma força determinada em um dos sentidos. O ângulo formado entre as posições “a” e “b” é chamado de deslocamento angular, representada por “ Θ ”, podendo variar de 0° a 180° .

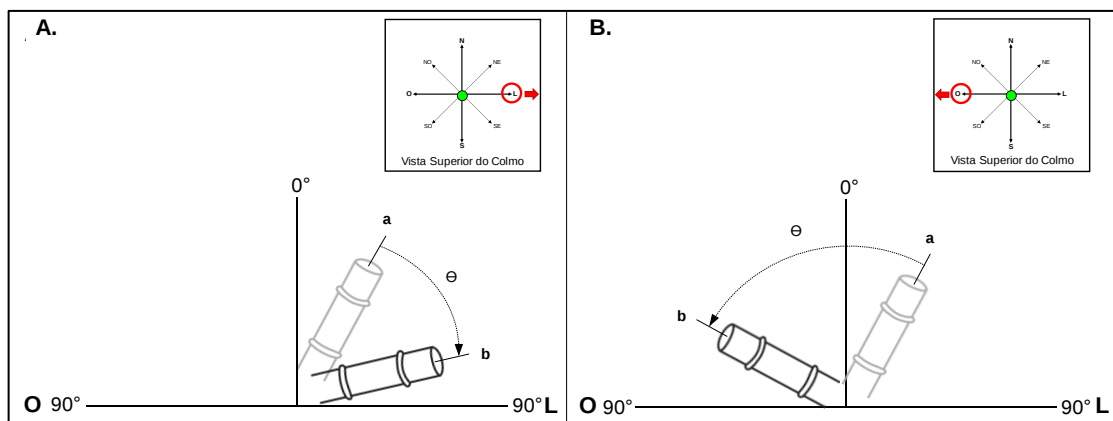


Figura 5. Deslocamento angular do colmo (Θ) da posição “a” para “b” dentro do mesmo quadrante com força aplicada no sentido Leste (A). Deslocamento angular do colmo (Θ) da posição “a” para “b” em quadrantes diferentes com força aplicada no sentido Oeste (B).

Quando o deslocamento do colmo ocorrer dentro do mesmo quadrante (Figura 5A), então Θ é a diferença entre a posição “a” e “b” (Equação 4).

$$\Theta = b - a \quad (4)$$

em que,

Θ : deslocamento angular (graus);

b: posição angular final do colmo após aplicar força (graus);

a: posição angular do colmo em repouso (graus).

Quando o deslocamento do colmo ocorrer entre dois quadrantes (Figura 5B), o ângulo Θ corresponde à soma dos ângulos das posições “a” e “b” (Equação 5).

$$\Theta = b + a \quad (5)$$

em que,

Θ : deslocamento angular (graus);

b: posição angular final do colmo após aplicar força (graus);

a: posição angular do colmo em repouso (graus).

Para aferir as posições inicial e final do colmo, foi utilizado o aplicativo Clinometer, desenvolvido pela PlainCode™ instalado em um *smartphone* Apple

iPhone modelo 5S. O aplicativo utiliza os três acelerômetros STMicroelectronics do aparelho para fazer as medições com resolução $\pm 0,1$ grau.

O *smartphone* foi posicionado sobre a superfície do colmo na posição inicial (Figura 6), sendo então aplicada uma força utilizando o dinamômetro em cada um dos oito sentidos até atingir a força e o deslocamento angular máximos.

Na Figura 6 é possível observar um exemplo de medição em que o celular está posicionado sobre o colmo na posição inicial “a” com valor de 16° e, após a aplicação da força máxima de 35 N, o colmo tem um deslocamento até atingir a posição final “b” de 61° . No caso, o deslocamento angular na posição Leste corresponde a 45° (Figura 6), uma vez que o deslocamento do colmo se deu em um mesmo quadrante.

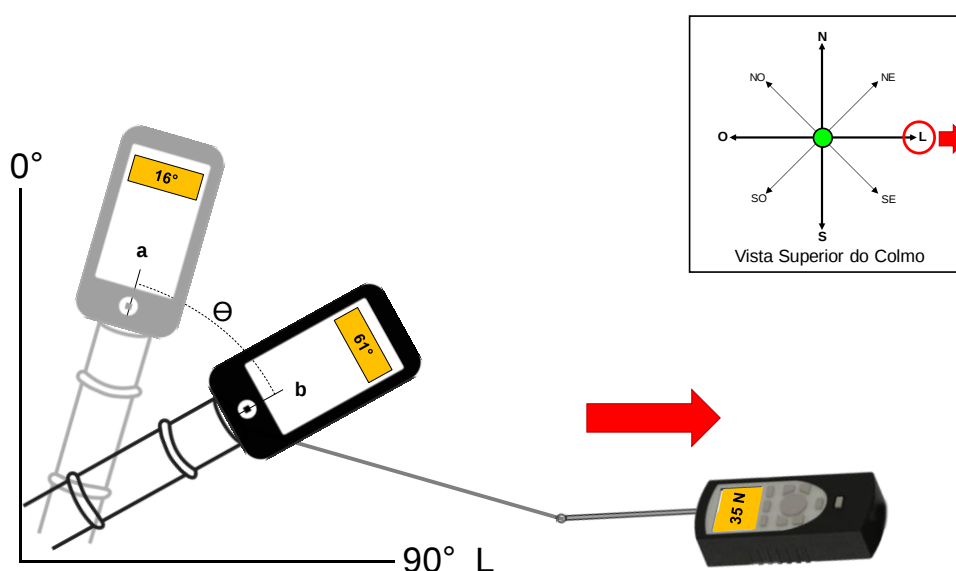


Figura 6. Simulação de uma medição do deslocamento angular no sentido Leste.

Cálculo da área de projeção da movimentação do colmo (APMC)

Após a aferição do deslocamento angular dos colmos nos oito sentidos em que a soqueira foi movimentada, os dados foram plotados em um gráfico polar (ou radar) com oito eixos (N, NE, L, SE, S, SO, O, NO), sendo que cada eixo representa um dos sentidos de movimentação do colmo. Para confecção dos gráficos, cada grau foi considerado equivalente a uma unidade de medida linear (u.m.l.) que variou entre 0 (zero) e 180.

Ao se traçar uma linha conectando os valores plotados em um eixo com os valores dos eixos seguinte e anterior, forma-se um polígono composto por diversos triângulos (Figura 7), cuja área total corresponde a área de projeção da movimentação do colmo, calculada pela Equação 6:

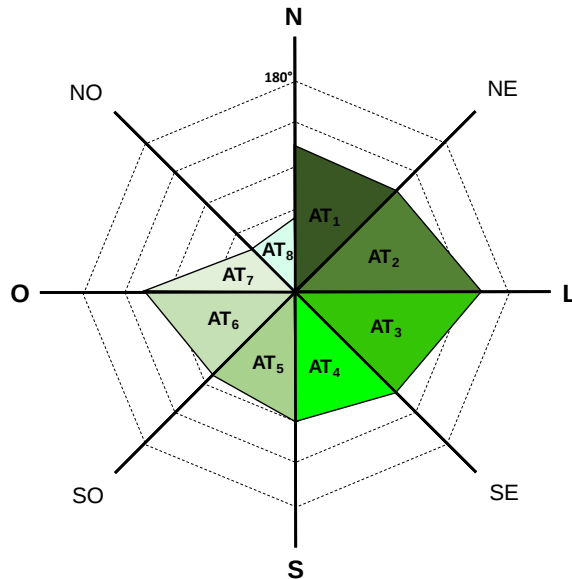


Figura 7. Exemplo de um gráfico radar gerado a partir da avaliação da projeção da movimentação de um colmo. AT₁ a AT₈ são as denominações dos triângulos que compõe o polígono formado.

$$APMC = \sum_{i=1}^8 AT_i \quad (6)$$

em que,

APMC: Área de Projeção da Movimentação do Colmo em unidade de medida de área (u.m.a);

AT₁: área do triângulo formado entre os eixos N e NE (u.m.a);

AT₂: área do triângulo formado entre os eixos NE e L (u.m.a);

AT₃: área do triângulo formado entre os eixos L e SE (u.m.a);

AT₄: área do triângulo formado entre os eixos SE e S (u.m.a);

AT₅: área do triângulo formado entre os eixos S e SO (u.m.a);

AT₆: área do triângulo formado entre os eixos SO e O (u.m.a);

AT₇: área do triângulo formado entre os eixos O e NE (u.m.a);

AT₈: área do triângulo formado entre os eixos NE e N (u.m.a).

Para calcular a área de cada triângulo que compõe APMC, primeiramente foi necessário calcular o lado do triângulo de valor desconhecido, “X” (Figura 8). Para isso, foi adaptada a Lei dos Cossenos (Equação 7), utilizada para calcular um lado ou ângulo desconhecido de um triângulo qualquer. Por se tratar de um gráfico com oito eixos, os triângulos têm um ângulo conhecido de $22,5^\circ$, e na equação foi aplicado diretamente o valor calculado do cosseno de $22,5^\circ$ ($\approx 0,924$).

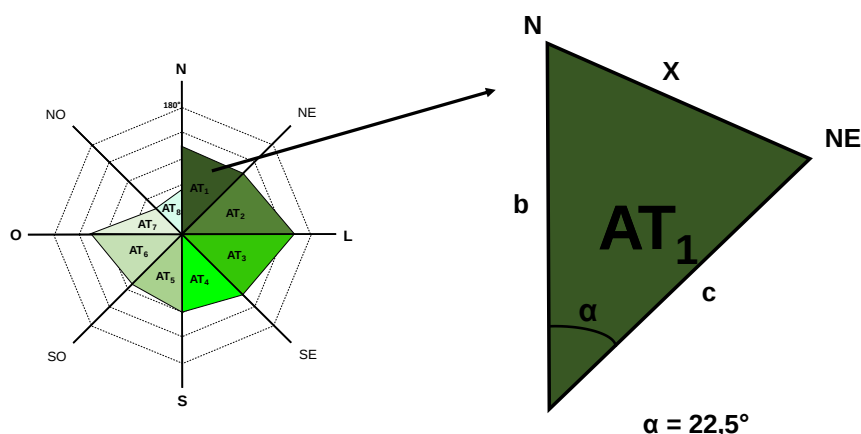


Figura 8. Detalhe de um dos triângulos que compõe do gráfico radar formado a partir da projeção da movimentação de um colmo.

$$X^2 = b^2 + c^2 - 2 \cdot b \cdot c \cdot 0,924 \quad (7)$$

em que,

X: lado desconhecido do triângulo;

b: lado do triângulo de valor correspondente ao plotado em um dos eixos;

c: lado do triângulo de valor correspondente ao plotado em um dos eixos;

Após a determinação do lado “X” dos triângulos, a área de cada triângulo foi calculada por meio da fórmula Heron (Equação 8):

$$AT = \sqrt{S(S - X)(S - b)(S - c)} \quad (8)$$

em que,

AT: área de um dos triângulos que compõe o polígono (u.m.a);

S: semiperímetro de um dos triângulos que compõe o polígono em unidade de medida linear (u.m.l.);

X: lado calculado do triângulo (u.m.l.);

b: lado do triângulo de valor correspondente ao plotado em um dos eixos (u.m.l.);

c: lado do triângulo de valor correspondente ao plotado em um dos eixos (u.m.l.).

O Semiperímetro (S), que compõe a equação para o cálculo de área, foi calculado pela Equação 9:

$$S = \frac{X + b + c}{2} \quad (9)$$

em que,

S: semiperímetro de um dos triângulos que compõe o polígono (u.m.l.);

X: lado calculado do triângulo (u.m.l.);

b: lado do triângulo de valor correspondente ao plotado em um dos eixos(u.m.l.);

c: lado do triângulo de valor correspondente ao plotado em um dos eixos(u.m.l.).

Baseado nos resultados de APMC obtidos, foram propostos intervalos para classificação dos abalos em: fraco, médio e forte.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para validação preliminar da metodologia, primeiramente foram avaliadas seis soqueiras pelo método subjetivo.

Na Tabela 3 são apresentados os valores dos índices de abalos calculados a partir da avaliação dos abalos realizados por dois indivíduos e a porcentagem de erro relativo entre as avaliações, considerando-se o avaliador 1 como padrão por possuir experiência com a metodologia.

Tabela 3. Índice de abalos e o erro relativo entre os índices de abalos calculados a partir da avaliação de um avaliador padrão e de um avaliador inexperiente.

Localidade	Soqueira	IA ₁	IA ₂	ER (%)
Guariba, SP	1	0,25	0,50	100,00
	2	0,70	0,60	14,29
Jaboticabal, SP	3	0,50	0,25	50,00
	4	0,50	0,30	40,00
Monte Alto, SP	5	0,13	-	-
	6	0,25	-	-

*IA₁: índice de abalos Avaliador 1. IA₂: Índice de abalos Avaliador 2. ER: erro relativo entre os índices IA₁ e IA₂.

Os maiores valores dos índices de abalos foram constatados nas áreas colhidas mecanicamente, localizadas em Guariba e Jaboticabal, enquanto que os menores valores foram constatados nas soqueiras colhidas manualmente, em Monte Alto (Tabela 3).

Com relação ao erro relativo entre os índices calculados, foram verificados valores que variaram entre 14,29 e 100,00% para as soqueiras de Guariba e 40,00 e 50,00% para as soqueiras de Jaboticabal, não coincidindo os valores de nenhuma das soqueiras avaliadas (Tabela 3).

A discrepância dos valores pode ser explicada pela maneira como é feita a avaliação do abalo que consiste na aplicação de uma força manual provocada pelo avaliador, verificando-se a mobilização direta das soqueiras no solo (Voltarelli et al., 2017), ou seja, a metodologia está sujeita a percepção dos avaliadores.

Por não haver uma referência na classificação, quando a verificação do abalo é realizada por uma pessoa inexperiente, as informações geradas podem ter a qualidade influenciada.

Para utilização da metodologia precisa, a partir da avaliação das seis soqueiras, foram gerados 208 dados que após serem analisados, permitiram estabelecer parâmetros, com intervalos de valores, para que a classificação sofra o mínimo possível de influência do avaliador (Tabela 4).

Analisando as condições dos colmos no campo após a colheita, simulou-se que a APMC gerada quando do deslocamento angular fosse entre 0 e 3° em todos os sentidos, corresponderia a um abalo fraco (APMC entre 0 e 15); quando a APMC gerada do deslocamento angular fosse entre 3,1 e 8,1° em todos os sentidos, corresponderia a um abalo médio (APMC entre 15,1 e 100); e quando a APMC gerada do deslocamento angular fosse maior que 8,1° em todos os sentidos, corresponderia a um abalo forte (APMC > 100) (Tabela 4).

Tabela 4. Classificação de abalos dos colmos baseada na área de movimentação.

Abalo	Θ (°)	APMC (u.m.a)	Representação Gráfica
Fraco	0 a 3	0 a 15	
Médio	3,1 a 8,1	15,1 a 100	
Forte	> 8,1	> 100	

* Θ : deslocamento angular do colmo. APMC: área de projeção da movimentação do colmo.

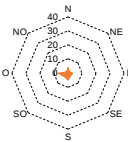
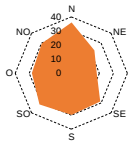
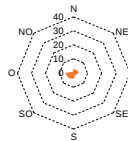
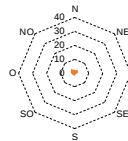
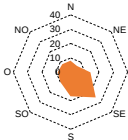
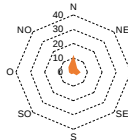
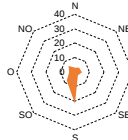
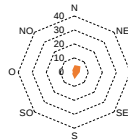
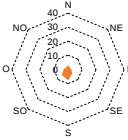
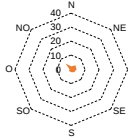
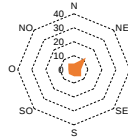
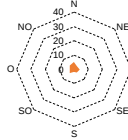
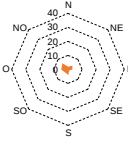
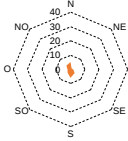
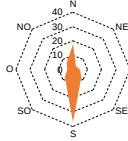
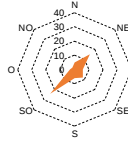
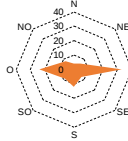
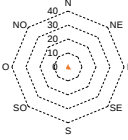
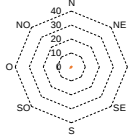
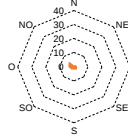
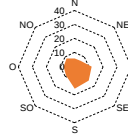
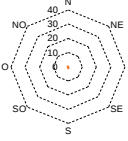
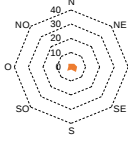
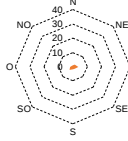
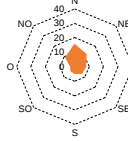
Na Tabela 5 são apresentados os gráficos representando a APMC e seus respectivos valores para cada soqueira e o índice de abalos calculado a partir da classificação proposta na Tabela 4.

As soqueiras 1 e 3 foram classificadas em medianamente abaladas com valores de IA iguais a 0,50 e 0,38, respectivamente (Tabela 5).

É possível observar na Tabela 5 que na soqueira 1, dos quatro colmos encontrados, um apresentava abalo fraco (APMC = 8,80), dois colmos abalo médio (APMC = 24,86 e 18,35) e um com abalo forte (APMC = 1225,57). Já na soqueira 2, os quatro colmos foram classificados com abalos médios (APMC = 24,47; 12,62; 51,81 e 18,55).

As soqueiras 2 e 4 foram classificadas com abalo forte (IA = 0,7), pois dos cinco colmos que ambas possuíam, três colmos foram classificados com abalos fortes e dois com abalos médios utilizando como referência os valores de APMC.

Tabela 5. Área de projeção dos colmos e índice de abalos às soqueiras.

Guariba-SP					IA*	
Soqueira 1					0,50	
	APMC: 24,86	APMC: 1225,57	APMC: 18,35	APMC: 8,80	Médio	
Soqueira 2						0,70
	APMC: 654,66	APMC: 249,13	APMC: 32,31	APMC: 69,40	APMC: 20,08	Forte
Jaboticabal - SP					IA	
Soqueira 3					0,38	
	APMC: 24,47	APMC: 12,62	APMC: 51,81	APMC: 18,55	Médio	
Soqueira 4						0,70
	APMC: 18,35	APMC: 17,40	APMC: 165,38	APMC: 94,26	APMC: 207,45	Forte
Monte Alto - SP					IA	
Soqueira 5					0,25	
	APMC: 4,02	APMC: 1,91	APMC: 11,66	APMC: 158,31	Fraco	
Soqueira 6					0,25	
	APMC: 2,49	APMC: 14,53	APMC: 7,07	APMC: 111,28	Fraco	

*IA: Índice de abalos às soqueiras calculado a partir da classificação gerada pela área de projeção do colmo. APMC: área de projeção da movimentação do colmo.

Já as soqueiras 5 e 6 foram classificadas como abalo fraco (IA = 0,25), sendo que dos quatro colmos encontrados em ambas, três foram considerados fracamente abalados e apenas um fortemente abalado (Tabela 5).

Assim como observado na classificação de abalos pelo método subjetivo (Tabela 4) quanto pelo método preciso (Tabela 5), as soqueiras com maiores valores de índice de abalos foram as colhidas mecanicamente, contra as de menor valor colhidas manualmente.

Isto se deve ao fato de que a colheita mecanizada pode ser agressiva às soqueiras, pois o corte do colmo é realizado pelo impacto de múltiplas facas acopladas em um disco rotativo, em que a força normal é predominante, o que causa grandes estragos na soqueira e na cana colhida (Mello, 2005).

Somado a isso, o corte basal da cana por impacto é auxiliado por um rolo defletor que empurra a cana para frente antes de cortá-la (Mello e Harris, 2003). O corte basal e a deflexão juntos, são considerados os principais responsáveis por causar perda da qualidade da matéria prima colhida e causar injúrias nas soqueiras prejudicando a rebrota e a longevidade do canavial (Salvi et al., 2007).

Por fim, foram calculados os erros relativos entre os IA calculados a partir das metodologias precisa e subjetiva (Tabela 3).

Tabela 6. Índice de abalos e o erro relativo entre os índices de abalos calculados a partir da avaliação de um avaliador padrão e da avaliação precisa.

Localidade	Soqueira	IA _{precisa}	IA ₁	ER (%)
Guariba, SP	1	0,50	0,25	100,00
	2	0,70	0,70	0,00
Jaboticabal, SP	3	0,38	0,50	24,00
	4	0,70	0,50	40,00
Monte Alto, SP	5	0,25	0,13	92,31
	6	0,25	0,25	0,00

* IA_{precisa}: Índice de abalos metodologia precisa. IA₁: índice de abalos avaliador 1. ER: erro relativo entre os índices IA₁ e IA_{precisa}.

Para ambas as metodologias, os IA foram maiores nas áreas onde foi realizada a colheita mecanizada. Verificou-se que para as soqueiras 2 e 6 os valores calculados de IA foram coincidentes, portanto o erro relativo foi igual a zero (Tabela 6).

Apenas as soqueiras 1 e 4 tiveram a classificação do IA em classes diferentes (Tabela 6). A maior parte dos erros ou discrepância das avaliações em campo, ocorre

entre os limites das classificações entre a classe média e as classes superiores e inferiores. A metodologia precisa, tem grande potencial principalmente por estabelecer valores de limites, reduzindo um dos principais problemas da avaliação de abalos.

CONCLUSÕES

A metodologia proposta apresentou grande potencial para padronizar a avaliação de abalos às soqueiras.

As informações geradas a partir da metodologia padrão permitem que sejam feitas comparações entre avaliações sem a influência do avaliador.

REFERÊNCIAS

AGENCIA ESTADO (2015) CTC: mecanização deve alcançar 97% dos canaviais no Centro-Sul em 2015. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/cana/safra/ctc-mecanizacao-97-canaviais-210515/>> Acesso em: 30 jul. 2018.

Gomes C (2014) IAC desenvolve sistema inédito que muda o conceito de plantar. **IAC Notícias**. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/noticiasdetalhes.php?id=836>>. Acesso em: 10 jan. 2014.

Cassia MT, Silva RP (2015) Avaliação da colheita mecanizada: avaliação da qualidade do corte basal. In: Belardo GC, Cassia MT, Silva RP (Eds.) **Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA, p. 363-366.

Dodson MS (1998) **Avaliação da influência de indicadores de qualidade no custo operacional de um sistema de produção de milho Zea mays (L.): estudo de caso de semeadura**. 80 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Unesp, Jaboticabal.

Kroes S (1997) **The cutting of sugarcane**. 356 f. Tese (Doutorado) - University of Queensland, Toowoomba.

Mello RC (2005) Influência do formato e velocidade da lâmina nas forças de corte para cana-de-açúcar. **Acta Scientiarum Agronomy** 27: 661-665.

Mello RC, Harris H (2003) Desempenho de cortadores de base para colhedoras de cana-de-açúcar com lâminas serrilhadas e inclinadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 7: 355-358.

Pereira LL, Torrezan HF (2006) Colheita mecanizada da cana-de-açúcar. In: Segato SV, Pinto AS, Jendiroba E, Nóbrega, JCM (Eds.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Livrocere, p.333-346.

Salvi JV, Matos MA, Milan M (2007) Avaliação do desempenho de dispositivo de cortes de base de colhedora de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola** 27: 201-209.

Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VA, Oliveira JB, Coelho MR, Lumbrreras JF, Cunha TJF. (Eds.) (2014) Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos 376p.

Silva RP, Corrêa CF, Cortez JW, Furlani CEA (2008) Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola** 28: 292-304.

Voltarelli, MA, Silva RP, Cassia MT, Daloia JGM, Paixão CSS (2017) Qualidade do corte basal de cana-de-açúcar efetuado por facas de diferentes angulações e revestimentos. **Revista Ciência Agronômica** 48: 438-447.

Voltarelli MA, Silva RP, Cassia MT, Ortiz DF, Torres LS (2015) Qualidade do corte basal de cana-de-açúcar utilizando-se de três modelos de facas. **Engenharia Agrícola**, 35: 528-541.

Xie FX, OU YG, LIU QT (2011) Experiment combined-lifter device of sugarcane harvester. **Journal of Agricultural Machinery** 2: 94-98.

Silva RP, Corrêa, CF, Cortez JW, Furlani CEA (2008) Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola** 28: 292-304.

Toledo A, Silva RP, Furlani, CEA (2013) Quality of cut and basecutter blade configuration for the mechanized harvest of green sugarcane. **Scientia Agricola** 70: 384-389.

CAPÍTULO 6 – Considerações finais

Com as mudanças que o setor sucroenergético tem passado, são necessárias novas técnicas e aumento da eficiência nas operações agrícolas.

O controle estatístico de processo se mostrou uma ferramenta interessante para monitorar o comportamento dos canaviais e das operações agrícolas envolvidas.

A necessidade do aumento da qualidade das operações faz com que surja a demanda por maneiras mais eficientes para se determinar a qualidade.

A classificação mais precisa dos canaviais quanto ao porte e o sentido de tombamento dos canaviais é interessante para prever a influencia da classificação sobre a qualidade da colheita.

A avaliação de abalos ser feita com cautela devido a subjetividade da classificação das condições dos colmos, sugerindo-se um treinamento intensivo antes de aplica-la.

A metodologia precisa para avaliação de abalos apresentou potencial para desenvolvimento de trabalhos futuros com a finalidade de formar um banco de dados robusto para refinar os intervalos de classificação de abalos.

Uma vez formado o banco de dados e com a metodologia refinada, espera-se desenvolver trabalhos futuros para desenvolvimento de novas tecnologias ou um equipamento que agilize as avaliações e forneça resultados mais precisos.