

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS CÂMPUS
DE JABOTICABAL**

**DESGASTE DAS LÂMINAS DE CORTE BASAL: EFEITO NA
COLHEITA E NA REBROTA DO CANAVIAL**

**Leonardo Bernache
Engenheiro Agrônomo**

2018

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DESGASTE DAS LÂMINAS DE CORTE BASAL: EFEITO NA
COLHEITA E NA REBROTA DO CANAVIAL**

Leonardo Bernache

Orientador: Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva

Coorientadores: Prof. Dr. Cristiano Zerbato

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal)

2018

Bernache, Leonardo

B48d Desgaste das lâminas de corte basal: efeito na colheita e na rebrota do canavial / Leonardo Bernache. -- Jaboticabal, 2018

iv, 59 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2018

Orientador: Rouverson Pereira da Silva

Coorientador: Cristiano Zerbato

Banca examinadora: Murilo Aparecido Voltarelli, Tiago Rodrigo Fracetto

Bibliografia

1. Colheita mecanizada. 2. Cana-de-açúcar. 3. CEP. 4. Colhedora. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DESGASTE DAS LÂMINAS DE CORTE BASAL: EFEITO NA COLHEITA E NA REBROTA DO CANAVIAL

AUTOR: LEONARDO BERNACHE
ORIENTADOR: ROUVERSON PEREIRA DA SILVA
COORIENTADOR: CRISTIANO ZERBATO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre 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 Sinho/UFSCAR / Buri/SP


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

Jaboticabal, 24 de agosto de 2018

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Leonardo Bernache – nascido em Jaboticabal, São Paulo, no dia 11 de fevereiro de 1993, filho de Jaime Bernache e Hedlamar Aparecida Ferreira da Silva Bernache. cursou o Ensino Fundamental e Médio no Colégio Objetivo Jaboticabal, em Jaboticabal, tendo finalizado o Ensino Médio no ano de 2010. Ingressou no Ensino Superior no ano de 2011 no curso de Engenharia Agrônoma na Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), Câmpus de Jaboticabal. Durante a graduação foi bolsista CAPES durante 3 anos do Programa de Educação Tutorial (PET Eng^a Agrônoma) da SESu/MEC. Fez parte do Grupo Cana-de-açúcar e Derivados, tendo como orientador o Prof. Dr. Marcos Omir Marques. Trabalhou em Primavera do Leste-MT, durante todo seu estágio curricular trabalhou na empresa CERES Consultoria Agrônoma. No ano de 2016/02, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia, no programa de Produção Vegetal, pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Câmpus de Jaboticabal, São Paulo, sendo bolsista CNPq, no Departamento de Engenharia Rural, desenvolvendo suas pesquisas e fazendo parte do LAMMA - Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola, com ênfase e experiência na área de Engenharia Agrícola, atuando nas áreas de máquinas, mecanização agrícola e controle de qualidade nas operações agrícolas de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. Em agosto de 2018, submeteu-se à banca examinadora para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

“Se você quer ser bem-sucedido, precisa ter dedicação total, buscar seu último limite e dar o melhor de si.”

(Ayrton Senna)

Aos meus pais, Jaime Bernache e Hedlamar Aparecida Ferreira da Silva Bernache, por todo o esforço dedicado à minha criação e formação, abrindo mão muitas vezes de si mesmos. Sem eles nada disso seria possível...

Amo vocês...

DEDICO

À minha avó Celina Panobianco Ferreira da Silva

À todos os meus familiares e amigos

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por tudo que ele me proporcionou durante a vida, pelas conquistas e sempre me dando forças para superar os desafios.

Aos meus pais, Jaime Bernache e Hedlamar Aparecida Ferreira da Silva Bernache que fizeram todos os esforços possíveis, para que eu hoje tenha conquistado tudo que conquistei.

A minha namorada Marina Nogueira, por estar comigo em um momento muito importante da minha vida e ser essa pessoa tão especial e maravilhosa.

A toda a minha família, minha avó, tios e tias, primos e primas por sempre me apoiarem e serem meu exemplo de união.

Ao amigo e orientador, Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva, por todo o apoio durante esses dois anos, acreditando no meu potencial e pela dedicação para elaboração deste trabalho.

Ao amigo e coorientador, Prof. Dr. Cristiano Zerbato, pela grande amizade desenvolvida durante todos os experimentos e eventos organizados pelo grupo LAMMA, e por todo o suporte e apoio dedicados durante a minha passagem pelo laboratório.

Aos Prof(s). Dr(s). Marcelo Boamorte Ravelli, Evaldo Ferezin e Carlos Alberto Mathias Azania, pela imensa contribuição por meio da participação no exame de qualificação.

Aos Prof(s). Dr(s). Murilo Aparecido Voltarelli e Tiago Rodrigo Francetto, pela imensa contribuição por meio da participação na defesa do trabalho.

A todos os pós-graduandos do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA), Antônio Tassio, Elizabeth Kazama, Adão Felipe, Aline Spaggiari, Lucas Girio, Patricia Menezes, Franciele Morlin, Mailson Freire, Rafael Noronha, Tiago Tavares, André Damasceno, Matheus Borba, Lígia Negri, Renata Queiroz, Nivanda Lima, Edcarla Nicolau, Danilo Tedesco, Rafael de Graaf, Marco Antônio Vrech, Aycon Tinoco, Watus Alves, Paulo Sérgio e Maria Albertina por toda a atenção, amizade e auxílio prestado. Em especial, ao meu parceiro de trabalho Luan Pereira Oliveira, que juntamente comigo elaborou e desenvolveu todo trabalho durante esses 2 anos.

Também agradeço a todos os estagiários que compõem o LAMMA. Sem vocês esse laboratório não seria nada. Em especial aos parceiros e orientados Elias

Venâncio, Vinicius Noronha, Guilherme Duarte, Arthur Tufi, Rodrigo Graciano, Matheus Carnelossi, Julia Bernardes, Juliana Delgado e Amanda Finco, que tornaram a coleta de dados dos experimentos bem mais divertidas. Obrigado pelos momentos vividos!

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Rural da FCAV, que, de alguma forma, colaboraram com minha formação e realização deste trabalho, em especial, aos assistentes do LAMMA - Sebastião Filho e Valdecir Aparício.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa.

À República Tôa-Tôa minha segunda família que durante esses 7 anos (graduação e pós) me proporcionou momentos inesquecíveis e grandes amizades, que levarei comigo a vida toda.

A todos aqueles que, de uma forma ou de outra, contribuíram para tornar este momento possível, por meio de conselhos, palavras amigas e momentos de sabedoria, fica aqui a minha gratidão.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1. Colheita mecanizada de cana-de-açúcar	2
2.2. Danos e abalos as soqueiras	3
2.3. Rebrotas	6
2.4. Controle Estatístico de Qualidade (CEQ)	7
2.5. Cartas de Controle	8
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1. Local e informações relacionadas	10
3.3. Plantio, variedade e produtividade	11
3.4. Colheita e Máquina utilizada	11
3.5. Lâminas	12
3.6. Avaliações das lâminas	13
3.6.1. Desgaste das lâminas	13
3.6.2. Energia no corte por impacto	14
3.7. Avaliações dos indicadores de qualidade durante a colheita	16
3.7.1. Porte e posição do canavial	16
3.7.2. Comprimento de colmo	18
3.7.3. Índice de Danos	18
3.7.4. Índice de Abalos	19
3.8. Rebrotas do canavial	21
3.8.1. Número de perfilhos, altura e diâmetro	21
3.9. Análises estatísticas	22
3.9.1. Análise descritiva	22
3.9.2. Controle estatístico do processo (CEP)	22

3.9.2.1. Cartas de controle de valores individuais	22
3.9.3. Análise de Correlação	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1. Espessura e energia despendida no corte Correlação. Amplitude e dP	26
4.2. Análise descritiva MELHORAR DISCUSSÃO	29
4.3. Índices de danos e abalos	29
4.4. Porte e sentido do canavial.....	32
4.5. Comprimento de colmo.....	33
4.6. Análise da rebrota do canavial.....	34
4.7. Correlação MELHORAR	38
5. CONCLUSÃO CEP	40

DESGASTE DAS LÂMINAS DE CORTE BASAL: EFEITO NA COLHEITA E NA REBROTA DO CANAVIAL

RESUMO - A cana-de-açúcar é uma cultura de grande relevância no cenário agrícola nacional devido à produção de açúcar e etanol. O corte da cultura é realizado por meio do mecanismo de corte basal, composto por múltiplas lâminas. Devido ao seu desgaste, ocorrem danos e abalos às soqueiras, os quais podem vir a prejudicar o desenvolvimento do canavial, assim diminuindo a longevidade dos canaviais. objetivou-se neste trabalho avaliar a qualidade do corte basal de cana-de-açúcar em situações de desgaste intenso das lâminas, utilizando-se os indicadores danos, abalos e altura de corte, correlacionando-os com a rebrota do canavial, seguindo as premissas do Controle Estatístico do Processo. As variáveis relacionadas à colheita (porte e posição, índice de danos e abalos, comprimento de corte) foram coletadas a cada 30 minutos seguindo as premissas do Controle Estatístico do Processos. Para o desgaste das lâminas foram definidos 3 períodos de avaliação (8h, 16h e 24h de trabalho). Após a colheita foram realizadas avaliações em laboratório e em campo, sendo que em laboratório avaliou-se a energia gasta no corte basal com lâminas de períodos diferentes de trabalho (0, 8, 16 e 24 horas), já em campo foram realizadas avaliações de rebrota (78 DAC), avaliando-se o número de perfilhos, falhas, diâmetro e altura da soqueira. Para as variáveis índice de danos, índice de abalos, altura e diâmetro de planta nota-se que o 2º período de trabalho apresentou maior qualidade. O processo foi considerado fora de controle para as variáveis: altura de corte, número de perfilhos, altura e diâmetro de plantas; e sob controle para as variáveis: índice de danos, índice de abalos, porte e sentido, e energia no corte. O 1º período apresentou danos periféricos ou sem danos e índices de abalos fracos e médios, enquanto que para o 2º e 3º períodos predominaram de danos extremos e abalos médios e fortes.

Palavras chave: colheita mecanizada, colhedora, cana-de-açúcar, Controle Estatístico de Processos.

WEAR OF THE BASAL CUTTING BLADES: EFFECT ON THE HARVESTING AND REGROWTH OF THE SUGARCANE

Abstract - Sugarcane is a crop of great importance for the production of sugar and ethanol. The crop harvest is performed by the basal cutting mechanism, composed of multiple blades. Due to its wear, damage occurs and shakes to the ratoons, which can harm the development of the cane field, thereby decreasing the longevity of sugarcane fields. The objective was to evaluate the quality of the basal cut of sugarcane in situations of intense wear of the blades, using the indicators damages, quakes and cutting height, correlating them with the regrowth of the cane field, following the assumptions of the Statistical Process Control. The varieties related to the harvest (size and position, damage index and quakes, cut length) were collected every 30 minutes following the premises of the Statistical Process Control. Three evaluation periods (8h, 16h and 24h of work) were defined for the wear of the blades. After the harvest, laboratory and field evaluations were performed. In the laboratory, the spent energy in the basal section was evaluated with the blades of different work periods (0, 8, 16 and 24 hours), in the field, sprout evaluations were carried out 78 days after harvest, evaluating the number of tillers, growth failures, diameter and height of the ratoon. For the variables index of damages, index of shakes, height and diameter of plant, it is noticed that the second period of work presented higher quality. The process was considered out of control for the variables: cutting height, number of tillers, height and diameter of plants; and on control for the variables: index of damages, index of shakes, size and direction, and energy in the cut. The first period presented peripheral or no-harm damages and low and moderate damage rates, while for the second and third periods, there was a predominance of extreme damage and medium and strong shakes.

Keywords: mechanized harvest, harvester, sugarcane, Statistical Process Control.

1. INTRODUÇÃO

A colheita mecanizada de cana-de-açúcar possibilitou inúmeros benefícios para o setor sucroenergético, dentre eles, pode-se destacar principalmente o aumento da capacidade operacional, o que proporcionou grande diferenciação em relação ao corte manual. Porém, com a colheita mecanizada vieram também problemas, sendo os mais agravantes a redução da qualidade na matéria prima (impurezas), o aumento de perdas no campo e a intensificação dos danos causados às soqueiras.

Os danos às soqueiras estão diretamente relacionados à atuação do mecanismo de corte basal, somando-se diversos fatores, sendo um deles o desgaste das lâminas de corte, que influencia no aumento dos índices de danos e de abalos causados às soqueiras. Os órgãos ativos do sistema de corte, as lâminas de corte, trabalham em contato direto com o solo, o que proporciona o desgaste natural das mesmas. Com o uso intensivo das lâminas é esperado que haja a intensificação dos danos e abalos às soqueiras.

Uma das principais etapas do desenvolvimento da cana é a brotação (ou rebrota), pois é a partir desse momento que será definida a sua produtividade. Com a intensificação do uso das lâminas tem-se o aumento dos impactos provocados com a colheita, os quais irão ter resultados na rebrota, tais como a redução da produtividade e da longevidade do canavial, devido ao agravamento dos danos e abalos às soqueiras.

Assim, este trabalho parte do pressuposto que a intensificação do uso das lâminas de corte basal é um agente amplificador dos danos e abalos às soqueiras, que prejudicam o posterior desenvolvimento do canavial e, portanto, que existe uma relação entre os impactos provocados pelo mecanismo de corte basal da colhedora durante o processo de colheita e o posterior desenvolvimento do canavial.

Baseado nessas pressuposições, objetivou-se neste trabalho avaliar a qualidade do corte basal de cana-de-açúcar em situações de desgaste intenso das lâminas, utilizando-se os indicadores danos, abalos e altura de corte, correlacionando-os com a rebrota do canavial, seguindo as premissas do Controle Estatístico do Processo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Colheita mecanizada de cana-de-açúcar

Segundo Ripoli (1996) as operações realizadas na colheita de cana-de-açúcar são: corte dos colmos, limpeza e seu carregamento em veículos de transporte, sendo que, historicamente, a pré-limpeza para a remoção da palha sempre foi realizada manualmente por meio da despalha a fogo.

A colheita mecanizada de cana-de-açúcar possibilitou inúmeros benefícios para o setor sucroenergético, dentre eles pode-se destacar a capacidade operacional, eliminação da queima e do corte manual reduzindo, conseqüentemente, os impactos ambientais. Mas a mecanização também apresenta desvantagens, como a redução da qualidade na matéria prima (impurezas), necessidade de mão-de-obra especializada, aumento de perdas no campo e dos danos causados às soqueiras (Silva et al., 2008).

No Brasil, o sistema de colheita manual predominou até o final da década de 1990. Entretanto, nos últimos anos, a adoção da mecanização em conjunto com o desenvolvimento de novas tecnologias nas colhedoras vem sendo responsável por uma redução acentuada nos custos da colheita mecanizada, contribuindo para uma maior adoção de colhedoras nos canaviais. Além desse fator, a escassez de mão de obra, a dificuldade de gerenciar o grande contingente de trabalhadores e a legislação que proíbe a despalha a fogo, são fatores que também têm influência na mudança do cenário atual, possibilitando ganhos de ordem operacional e econômicos (Belardo, 2015).

A região Centro-sul do Brasil, maior produtor de cana-de-açúcar do país, apresentou uma evolução de 28% em 2000 para 95% da área colhida mecanicamente em 2016 (Figura 1).

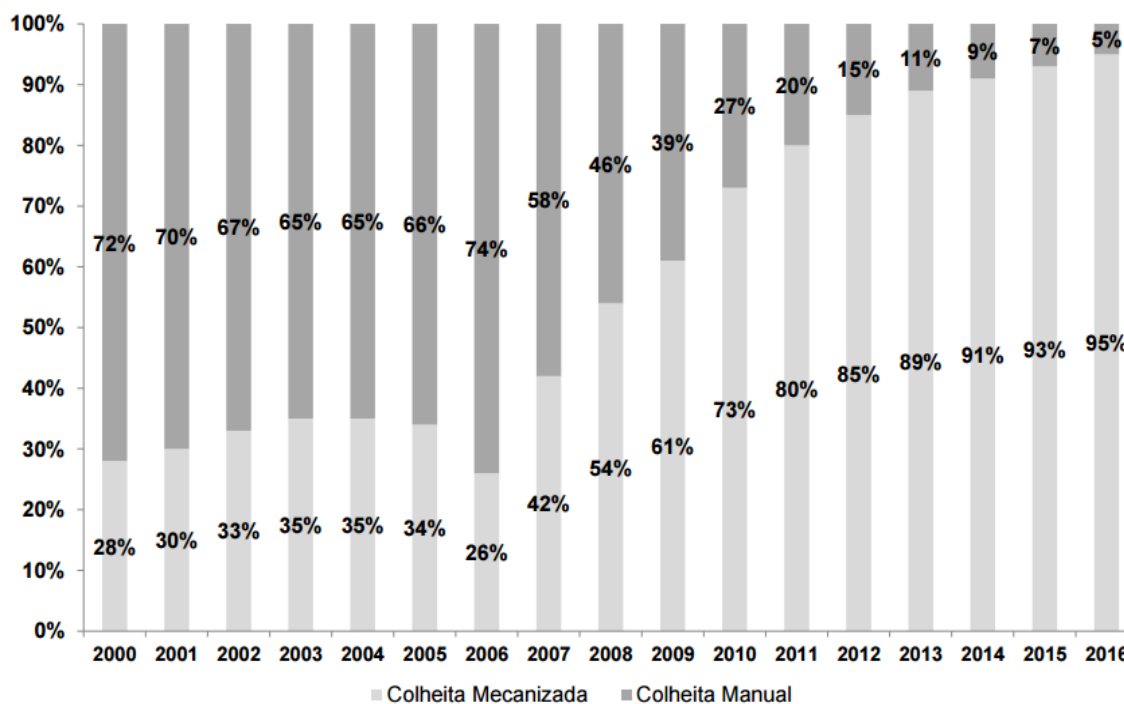


Figura 1. Evolução da colheita de cana-de-açúcar no Centro-Sul do Brasil e participação relativa (%) quanto a formas de colheita, manual e mecanizada. Fonte: UNICA e CTC – adaptado de Neves e Kalaki (2015).

Por meio do levantamento "Previsões e Estimativas das Safras Agrícolas do Estado de São Paulo, Ano Agrícola 2016/17", o índice de mecanização atingiu 90%, sobre uma área de corte de 5,6 milhões de hectares. Este índice é coletado em nível municipal por meio das Casas de Agricultura com seus técnicos e engenheiros agrônomos com conhecimento para avaliar quantitativamente a adoção de máquinas para o corte mecanizado, em um total de 504 municípios produtores de cana-de-açúcar (IEA, 2017).

2.2. Danos e abalos as soqueiras

O sistema de corte basal é um dos itens de maior importância em uma colhedora de cana, pois a qualidade da operação de colheita está diretamente ligada a ele (Neves, 2003). Além disso, segundo Mello e Harris (2003), os cortadores de base das colhedoras de cana-de-açúcar são responsáveis por causar alto volume de perdas de cana-de-açúcar e de provocar a redução na produtividade e longevidade

potencial devido à grande danificação ocasionada na soqueira, que são fonte de entrada para a ocorrência de fungos e doenças.

A ação do rolo defletor causa um momento fletor no caule da cana que, em alguns casos, excede a sua resistência (Kroes, 1997). Quando um corpo está sujeito a um momento fletor, aparecem forças internas de tração e compressão, como mostra a Figura 2.

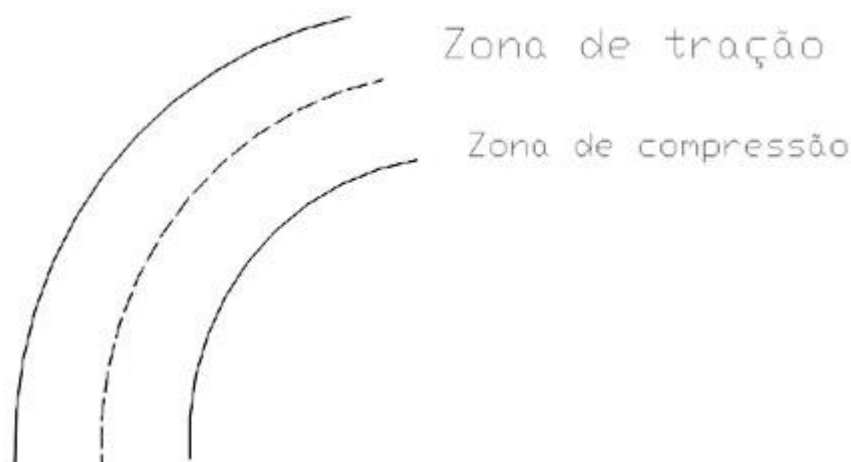


Figura 2. Corpo submetido ao momento fletor. (Kroes,

Person (1987) definiu o corte por impacto como sendo um tipo de corte onde a força é estritamente normal contra a superfície da cana. Pelo fato de a força ser normal, as fibras são deslocadas e rompidas principalmente devido a força de tração, esse deslocamento das fibras causa grandes danos à cana (Mello e Harris, 2003).

Kroes (1997), define danos aos colmos como distintos em relação superfície acima e abaixo de um corte. O dano abaixo do corte é definido como “dano de base” e dano acima do corte como “dano de caule”. Durante seu o projeto, o dano sofrido pela cana foi frequentemente uma combinação dos dois tipos descritos. A partir das avaliações os danos foram diferenciados, de acordo com a ordem crescente de severidade, em classes: periféricos, rachados e fragmentados. Quanto maior o número de entrenós afetados, também era maior a gravidade do dano. A Figura 3 resume as classificações de danos e mostra a extensão da gravidade dos danos para cada classificação.

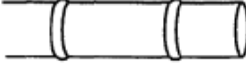
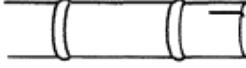
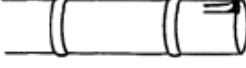
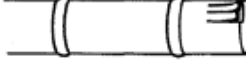
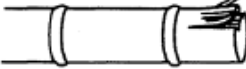
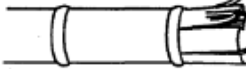
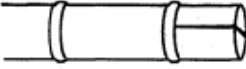
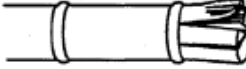
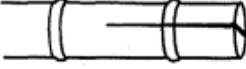
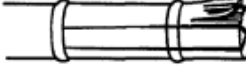
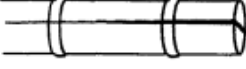





Classificação de danos	Limite inferior	Limite superior
(1) Sem danos		
(2) Mínimo dano periférico		
(3) Máximo dano periférico		
(4) Mínima rachadura		
(5) Rachado		
(6) Máxima rachadura		
(7) Mínima fragmentação		
(8) Fragmentado		

Figura 3. Tabela desenvolvida por Kroes (1997) e adaptada por Melo e Harris (2003).

O corte de base, quando realizado com qualidade, proporciona menores índices de perdas e de contaminações da matéria-prima colhida, bem como contribui para uma ótima rebrota, sem impactos no desenvolvimento do canavial nos anos subsequentes (Voltarelli et al., 2014).

Como o corte da cana-de-açúcar é realizado por impacto, utilizando discos rotativos dotados de múltiplas lâminas, a alternativa segundo Mello e Harris (2003) para reduzir os danos as soqueiras é o corte dos colmos por deslizamento. Os autores testaram comparativamente lâminas lisas e serrilhadas, inclinadas e perpendiculares com relação ao colmo, constatando que na presença de momento fletor e o emprego

de lâminas serrilhadas e inclinadas à frente proporcionam uma redução nos danos as soqueiras.

Outro ponto importante a destacar, é o desgaste das lâminas de corte, Santos (2008) determinou a influência do desgaste sobre a rebrota de cana-de-açúcar, concluindo que 60 dias após a colheita, o número de perfilhos foi superior quando a colheita foi realizada com a utilização de lâminas novas.

Cassia et al. (2014) relacionaram o desgaste das lâminas aos índices de danos e abalos às soqueiras, observando que à medida que ocorre o desgaste do fio de corte, ou seja, aumento de sua espessura, existe um incremento no índice de danos e abalos às soqueiras, o que potencialmente prejudicará a rebrota do canavial futuramente, proporcionando o surgimento de falhas.

Salvi (2006) salienta a importância do corte de base relacionando além dos problemas destacados acima, a constante preocupação dos fabricantes em criar dispositivos para auxiliar os operadores no controle da altura de corte. Deste modo, o autor propôs estudo sobre a influência do dispositivo semiautomático de controle da altura de corte das colhedoras, na qualidade do corte basal, utilizando técnicas do Controle Estatístico de Processos (CEP) para avaliação dos resultados. Entretanto, constatou que, independente do emprego ou não do dispositivo, os índices obtidos não atendem aos padrões especificados pelas usinas para as variáveis analisadas.

2.3. Rebrota

Stolf et al. (2016) definem “falhas” como espaços vazios sem colmos nas linhas de cana-de-açúcar, que estão diretamente relacionadas à diminuição da produtividade. De acordo com Toledo et al. (2013) na implantação da cultura é dada grande importância às falhas de brotação, devido ao efeito direto provocado nessa etapa. Durante o desenvolvimento do canavial o controle de fatores como a presença de plantas daninhas, estiagem, ataque de pragas subterrâneas de rizoma, pisoteio das soqueiras também têm importância na diminuição das falhas e na manutenção do estande (Stolf et al., 2016). Toledo et al (2013) afirmam que as falhas no canavial relação com o tipo e estado da lâmina de corte das colhedoras, devido aos danos provocados às soqueiras.

A melhoria da qualidade do corte e da matéria-prima pode ser alcançada por meio de intervenções tanto na colheita propriamente dita, como nas outras práticas culturais (preparo de solo, plantio, espaçamento entre sulcos) e por meio de mudanças nos projetos das colhedoras (Salvi, 2006).

Segundo Volpato et al. (2002), os primeiros dispositivos cortadores de base que eram utilizados nas colhedoras de cana-de-açúcar, não possuíam os mesmos recursos que existem hoje, os quais permitiam o acompanhamento pantográfico do perfil do solo. Desta forma, quando a touceira da cana-de-açúcar se encontrava em um sulco profundo, as lâminas trabalhavam diretamente em contato com o solo, correndo-se o risco de a soqueira ser destruída durante o corte. Por outro lado, o corte pode não ser realizado na altura desejada, deixando um toco muito alto, o que aumenta as perdas de campo e a probabilidade de ataques de insetos e doenças, devido aos danos gerados na soqueira remanescente. A recomendação técnica tem sido a eliminação do colmo remanescente de forma manual, visando garantir que a rebrota do canavial seja proveniente das gemas basais. Esse cuidado é importante, pois acredita-se que as plantas provenientes de gemas basais são mais produtivas e persistentes que aquelas provenientes das gemas laterais (Manzano et al., 2004).

Salvi et al. (2007) observaram que, na colheita mecanizada de cana-de-açúcar, existem algumas peculiaridades relacionadas às interações solo-planta-máquina, o cortador de base é um dos componentes da colhedora que originam essas interações, que resultam em perdas no campo, redução na qualidade da matéria-prima e redução da longevidade do canavial.

mel

2.4. Controle Estatístico de Qualidade (CEQ)

No agronegócio, cada vez mais empresas disputam o mercado, seja na produção de alimentos ou de bioenergia. E com esta competitividade, tendem a buscar maior qualidade, reduzindo seus custos e melhorando seus produtos. A gestão da qualidade aplicada à agricultura pode proporcionar, além dos benefícios já citados, aumento da produtividade, maior sustentabilidade ao processo e melhoria da qualidade de vida do trabalhador rural e agroindustrial (Bonilla, 1994).

A hipótese do CEQ é de que a qualidade é assegurada com a redução da variabilidade das principais características do produto ou do processo. Em todo

processo existem variações, que podem ter origem em causas comuns ou especiais. O primeiro tipo de variação é decorrente de um efeito natural do processo, o qual é aleatória e difícil de ser controlada, tendo pouca influência na qualidade. O segundo tipo de variação é decorrente da ação de algum fator extrínseco ao processo e afeta diretamente a qualidade, sendo o foco das ferramentas de controle (STUART et al., 1996)

No CEQ existem diversas técnicas e ferramentas de análise da variabilidade que fornecem informações para a tomada de decisão, inclusive para operações agrícolas mecanizadas. Essas ferramentas estatísticas possibilitam a detecção de variações ou oscilações indesejáveis no decorrer das operações agrícolas (Bonilla, 1994). Assim, são evitados desperdícios e alcançados acréscimos na produtividade, usando a detecção e imediata solução das falhas (Lopes et al., 1995).

O Controle Estatístico de Processo (CEP), ferramenta do CEQ, tem como objetivo detectar rapidamente alterações dos parâmetros de determinados processos, afim de corrigi-las antes que muitos itens não-conformes sejam produzidos (MINGOTI e FIDELIS, 2001).

De acordo com Fernandes et al. (2000), sob o ponto de vista econômico, qualidade é a produzir, serviços ou produtos, a custos compatíveis, que possibilitem lucros para o produtor e que satisfaçam às necessidades dos consumidores. Sob o ponto de vista agrônomo, qualidade é a realização das operações agrícolas ou a obtenção de produtos que atendam às especificações ou padrões estabelecidos.

O uso do controle estatístico de processo (CEP), ferramenta do CEQ, nas operações mecanizadas agrícolas pode vir a ser fundamental. Aliado a isso tem-se à importância da qualidade do corte basal de cana-de-açúcar. Portanto, o CEP é capaz de apontar as eventuais falhas que ocorrem e as possíveis melhorias para as próximas operações, com o objetivo de aumentar a qualidade das mesmas.

2.5. Cartas de Controle

Alguns autores têm feito uso do controle estatístico de processo, utilizando as cartas de controle como ferramentas para identificar causas especiais (pontos fora de controle) decorrentes da instabilidade do processo (Noronha et al., 2011; Chioderoli et al., 2012; Zerbato et al., 2013).

Os limites de controle, inferior (LCL) e superior (USL), são determinados de acordo com a variabilidade dos processos, sendo que, quando ocorrem pontos fora dos limites estipulados, classifica-se os processos como instáveis, ou fora de controle, conforme citam Montgomery, (2009). Os limites de controle foram estabelecidos considerando a variação dos dados devido a causas não controladas no processo (causas especiais), tendo sido calculados com base no desvio-padrão das variáveis (média $\pm 3\sigma$).

Existem alguns trabalhos na literatura que utilizam o mesmo valor associado ao desvio-padrão (valor de número três) para análise de dos indicadores de qualidade de determinados processos (SILVA et al., 2008; NORONHA et al., 2011; CASSIA et al., 2014), podendo esta concepção tornar ineficiente a tomada de decisão pelos gestores da operação, influenciando sistemicamente o processo avaliado, em virtude de haver escassez de estudos referentes a essas análises, comprovando que este valor associado ao desvio padrão seja aceitável.

As cartas de controle tem por finalidade identificar as possíveis causas de variações externas ao processo; forçar o gerenciamento da operação com a criação de um plano de melhorias; inferir na capacidade e nos limites estabelecidos para o processo; redefinir, se necessário, os padrões de qualidade de determinados itens de produção; avaliar se as melhorias surtiram efeitos nos produtos e/ou serviços; e manter a qualidade da operação, caso a mesma satisfaça os padrões de qualidade exigidos, sempre levando em consideração até que ponto a melhoria contínua do processo não afeta os custos de produção (Voltarelli, 2013).

Porém, para a aplicação desta ferramenta em operações agrícolas mecanizadas, ainda não se tem definido qual o melhor modelo de carta de controle a ser utilizada ou, ainda, qual o melhor múltiplo do desvio-padrão para prever o comportamento de um determinado indicador de qualidade, tendo como intuito final realizar um monitoramento específico para cada variável (Voltarelli, 2017).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local e informações relacionadas

A infraestrutura e os materiais utilizados foram definidos de acordo com a disponibilidade da usina.

O experimento foi realizado em área comercial de cana-de-açúcar localizada próxima as coordenadas 21° 17' S e 47° 55' O localizadas nos arredores do município de Ribeirão Preto, SP (Figura 4). A área apresentava as seguintes características: altitude média de 660 m e declividade média de 14%; sendo a área avaliada de 15,7 ha.

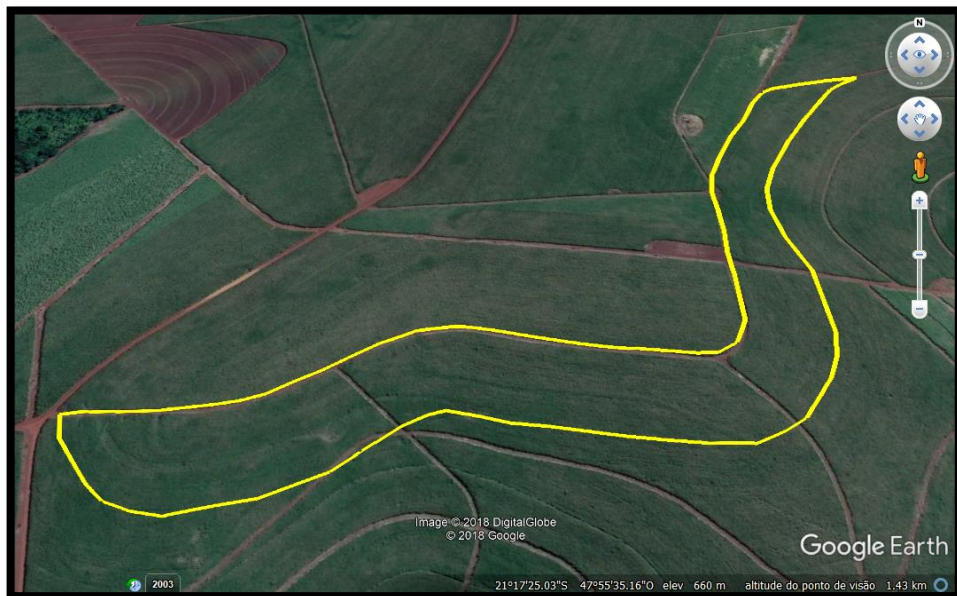


Figura 4. Área Experimental. Fonte: Google Earth® (2018).

3.2. Solo

Teor de água no solo durante a colheita, determinado pelo método gravimétrico, de 0,16 g g⁻¹ sendo Latossolo Vermelho Férrico Argiloso com de 55% de argila, 34% de silte e 11% de areia total, determinado pelo método granulométrico (Embrapa, 2017).

3.3. Plantio, variedade e produtividade

O plantio foi realizado em outubro de 2014 sendo utilizado o espaçamento convencional de 1,5 m, portando a variedade SP80-3280.

Para a determinação da produtividade, seguiu-se a metodologia utilizada por Belardo, (2016), onde foi utilizado o transbordo instrumentado com células de carga o qual registrou o valor proveniente da pesagem do material colhido a partir de uma distância pré-definida (100 m), sendo possível determinar, por meio da relação entre a massa do material colhido e a área (distância x plataforma colhedora), a produtividade média de 86 Mg ha⁻¹.

3.4. Colheita e Máquina utilizada

A colheita foi realizada nos dias 1 e 2 de novembro de 2017, estando a cana-de-açúcar em seu 3º corte, sendo utilizada uma colhedora da marca Case IH, modelo A8800 (Figura 5), rodados de esteiras com bitola de 1,88 m, com potência de 263,3 kW (358 cv) no motor a 188,4 rad s⁻¹ (1800 rpm). A velocidade média da operação foi padronizada a 2,5 m s⁻¹ (4,5 km h⁻¹) e a altura de corte a 0,5 m do nível do solo, com pressão no corte de base variando entre 10342,1 e 13789,5 kPa (1500 a 2000 psi). Todo colmo cortado acima desse valor foi considerado perda tipo toco segundo padrões estabelecidos pela usina.



Figura 5. Colhedora CASE IH A880 utilizada no experimento.

O mecanismo de corte basal (Figura 6) dessa máquina é composto por dois discos espaçados 0,63 m de centro a centro, que apresentavam em suas extremidades cinco lâminas cada, e não apresentava dispositivo de controle automático da altura de corte.

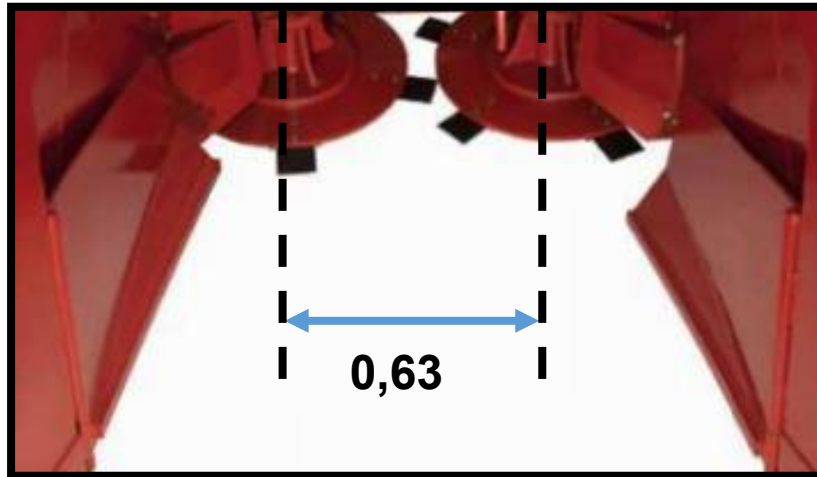


Figura 6. Sistema de corte basal da colhedora.

3.5. Lâminas

As lâminas eram da marca HRC (Figura 7), com bordas lisas e apenas duas faces laterais amoladas, segundo classificação do catálogo bussola. A constituição das mesmas era de aço HSLA (*High Strength Low Alloy*) com teor de carbono entre 0,05-0,25% para reter conformabilidade e soldabilidade, sendo 20 a 30% mais leves que as lâminas de aço carbono. Em sua formação ela apresentavam 5 furos de fixação, posicionadas a partir do 3º furo no sistema de corte basal.

Por meio de avaliação previa do conjunto de lâminas fornecido pela usina determinou-se as seguintes dimensões iniciais médias: 0,24 m de comprimento, 0,09 m de largura, espessura de fio de corte de 1,30 mm e massa média de 594 g.



Figura 7. Lâmina da marca HRC.

3.6. Avaliações das lâminas

Na operação de colheita as lâminas foram avaliadas determinando-se a perda de fio de corte e a energia no corte (Tabela 2), a cada 8h de trabalho, no momento da troca de turno dos operadores. A partir disso definiram-se 3 períodos de intensidade de desgaste: 0-8 h (primeiro período), 8-16 h (segundo período) e 16-24 h (terceiro período), totalizando-se durante os 3 períodos, 17h de trabalho efetivo das lâminas (hora-elevador). Em todos os períodos as lâminas foram mantidas sempre com o mesmo lado de trabalho.

Tabela 2. Número de amostras para cada variável relacionada as lâminas de corte.

Variáveis Resposta	Número de amostras
Espessura do fio de corte	6
Energia exigida no corte	5

3.6.1. Desgaste das lâminas

O desgaste das lâminas foi determinado por meio da espessura das mesmas, sendo avaliadas todas as lâminas da colhedora (10 lâminas), antes e após a operação de colheita, nos três períodos de avaliação. Com o decorrer do processo de colheita,

devido à quebra de algumas lâminas, definiu-se a avaliação em 6 delas para as análises estatísticas.

Para as avaliações utilizou-se um paquímetro digital para determinação da perda de fio de corte, relacionando a mesma ao ganho de espessura da lâmina, metodologia adaptada de Voltarelli, (2015).

3.6.2. Energia no corte por impacto

Os ensaios foram realizados na FATEC de Sertãozinho (SP) com o uso de uma máquina de ensaio de impactos. Para a caracterização da demanda energética para efetuar o corte, foi utilizado um martelo pendular adaptado e acoplado a uma máquina modelo JB-W300A, e assim simular a ação do mecanismo de corte de base. Tendo como referência a Figura 8, o sistema era montado da seguinte maneira: as lâminas eram posicionadas no martelo pendular para realização do corte e os colmos eram posicionados no lugar do corpo de prova.



Figura 8. Dispositivo de ensaio de impactos adaptado para avaliação das lâminas.

Fonte: Oliveira (2018).

A energia absorvida no impacto corresponde a diferença entre a energia potencial do pêndulo na altura de queda e a energia potencial do pêndulo na altura de rebote (Figura 9), seguindo os padrões estabelecidos nos testes Charpy (Callister, 2002), dada pela equação 1:

$$E_{\text{impacto}} = M \cdot g \cdot (H_q - h_r) \quad (1)$$

Em que:

M = massa pendulo

g = gravidade

H_q = altura de queda

h_r = altura de rebote

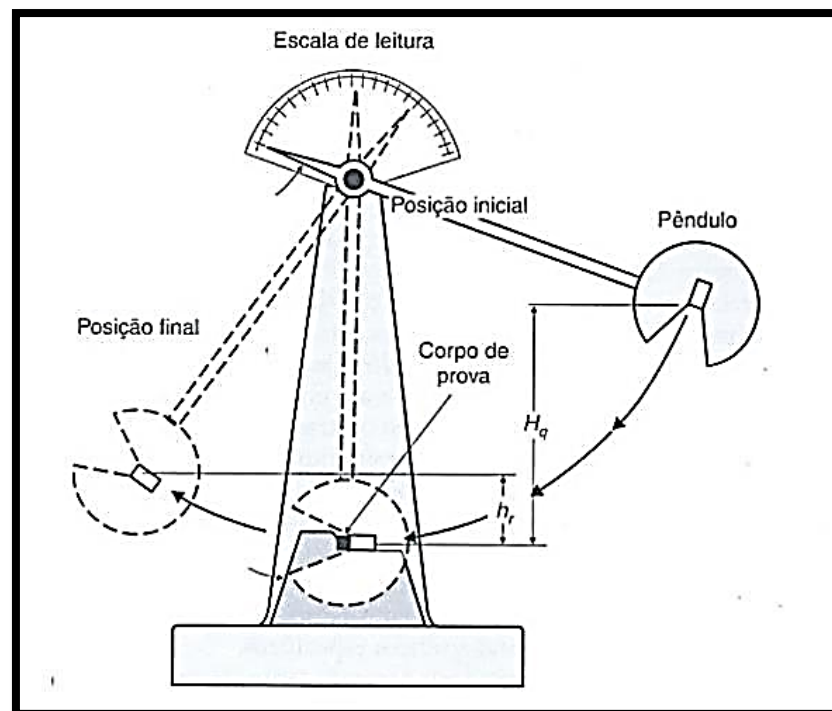


Figura 9. Desenho esquemático de um dispositivo Charpy.

Esse equipamento quantifica a energia (em joules) absorvida pelos colmos da cana durante o corte. As lâminas utilizadas para o ensaio foram as mesmas utilizados no experimento, assim como a mesma variedade da cana-de-açúcar. Os colmos

utilizados apresentavam comprimento e diâmetro médio de, 0,15 m e 29 mm, respectivamente, sendo que o corte sempre era realizado no entrenó dos colmos.

Foram realizadas 3 repetições por lâminas, sendo avaliadas 5 lâminas para cada período de desgaste (0 horas, 8 horas, 16 horas e 24 horas); 15 repetições por lâmina, totalizando 60 repetições. Definiu-se 5 lâminas, devido ao fato de a avaliação ser demorada e o número de repetições obtidas ser suficiente para uma boa representatividade dos dados, diferentemente das avaliações de desgaste onde foram definidas 6 lâminas para a avaliação.

3.7. Avaliações dos indicadores de qualidade durante a colheita

As variáveis avaliadas durante a colheita foram: porte e posição do canavial, comprimento de toco, índice de danos e índice de abalos; de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3. Número de amostras para cada variável coletada durante a colheita.

Variáveis Resposta	Número de amostras
Porte e Posição	34
Comprimento de colmo	34
Índice de Danos	34
Índice de Abalos	34

Seguindo as premissas do Controle Estatístico de Qualidade, foram coletados 34 pontos durante todo o período de avaliação, a cada 30 minutos de trabalho efetivo, sendo georreferenciados com o uso do GPSmap 60CSx – Garmin.

3.7.1. Porte e posição do canavial

O porte do canavial foi avaliado utilizando-se do triângulo padrão (Ripoli, 1996) (Figura 10), em que os colmos são classificados como eretos (ângulo com relação ao solo superior a 45°), acamados (ângulo entre 22,5 e 45°) e deitados (ângulo abaixo de 22,5°). Em todos os pontos de coleta era realizada a caracterização do porte previamente à operação de colheita.

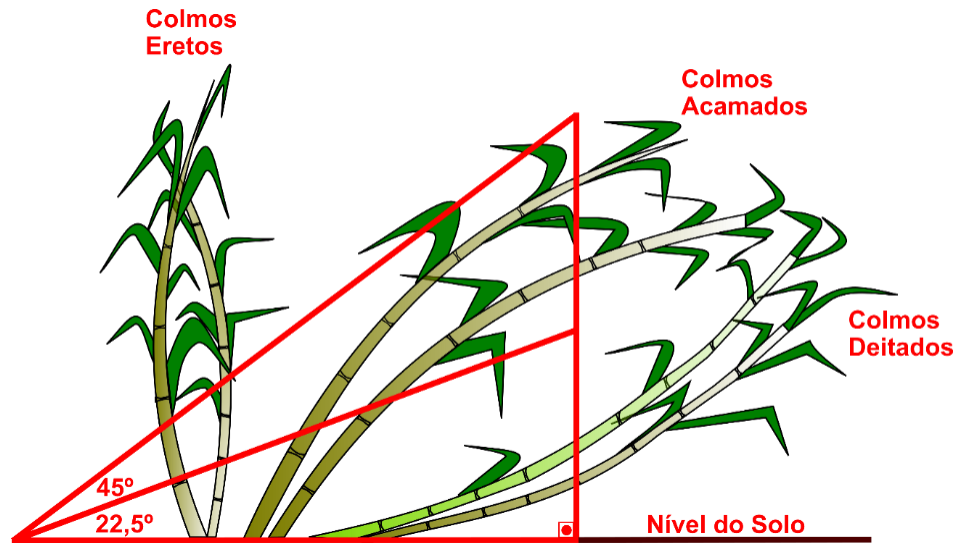


Figura 10. Triângulo padrão. Adaptado de Ripolli (1996).

A posição dos colmos foi definida em relação ao sentido em que a colhedora realizava a operação na linha, de modo que os colmos foram classificados como em posição a favor ou contra o sentido de deslocamento da máquina. A partir dessas variáveis foi criada uma classificação utilizando-se do porte e do sentido do canavial (Tabela 4):

Tabela 4. Classificação referente ao efeito do porte do canavial somado ao sentido da colheita em relação aos impactos a soqueira.

Característica		Classificação	Nota
Porte	Posição		
Deitado	Contra	Extremamente desfavorável	1
Acamado	A favor	Desfavorável	2
Deitado	A favor	Pouco favorável	3
Acamado	Contra	Favorável	4
Ereto	-	Extremamente favorável	5

As variáveis porte e posição foram coletadas anteriormente a passagem da colhedora, sendo classificado todos os pontos avaliados. As notas obtidas em cada ponto foram utilizadas posteriormente para gerar as cartas C.

Para a avaliação de comprimento de colmo, índice de danos e abalos foi adaptada uma área amostral de 0,75 m², composta por 3 armações de 0,25 m²

(Figura 11), onde foram avaliados todos os colmos em cada soqueira presente nesta área.

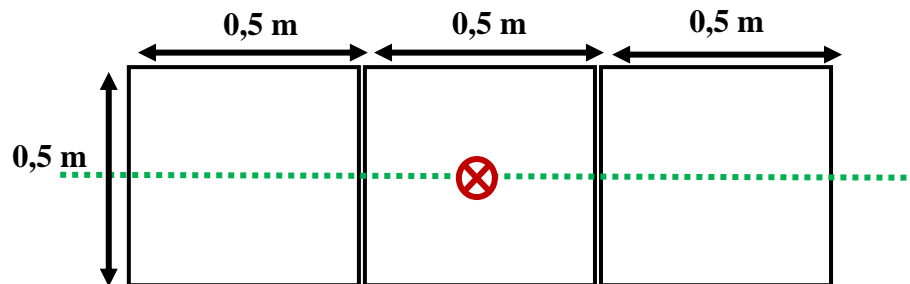


Figura 11. Área amostral de avaliação. ⊗ – ponto georreferenciado; linha de plantio.

3.7.2. Comprimento de colmo

O comprimento do colmo (Figura 12) foi medido com o auxílio de uma régua, sendo mensurado a distância da base do colmo até o ponto de corte.



Figura 12. Determinação do comprimento do colmo. -.-> comprimento da base da soqueira até altura de corte.

3.7.3. Índice de Danos

As avaliações de danos e abalos foram realizadas de maneira subjetivas, sendo feitas por um único avaliador padrão com experiência na avaliações. Para as avaliações de danos seguiu-se a metodologia adaptada de Toledo et al. (2013), a qual classifica os danos causados às soqueiras, considerando-se três níveis: sem danos

($0,00 \leq ID < 0,33$), danos periféricos ($0,33 \leq ID \leq 0,66$) e danos extremos ($0,66 < ID \leq 1,0$) (Figura 13).




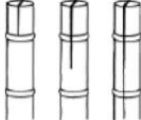
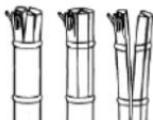

Classificação	Limite inferior	Limite superior
Sem danos (SD)		
Danos parciais (PD)		
Danos Extremos (ED)		

Figura 13. Classificação visual dos danos. Adaptado da tabela de Kroes (1997).

Com os valores encontrados após a identificação e contagem dos tipos de danos existentes, foi gerado um índice calculado conforme a equação 2:

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

Em que:

i_D = índice de danos;

P_{SD} , P_{DP} e P_{DE} = pesos atribuídos aos colmos sem danos (0,00), com danos periféricos (0,33) e com danos extremo (1,00), respectivamente;

N_{SD} , N_{DP} e N_{DE} = número de colmos sem danos, com danos periféricos e com danos extremos, respectivamente;

N = número total de colmos na soqueira.

3.7.4. Índice de Abalos

Os abalos causados às soqueiras foram avaliados por meio da aplicação de força manual, verificando-se mobilização das soqueiras no solo, classificando-os de acordo com a intensidade da força exigida para deslocar/tombar o colmo para os lados

(fraca, média e forte). A partir dessa classificação foi calculado o índice de abalo (IA, equação 2), sendo definidas três classes: abalo fraco ($0,00 \leq IA < 0,33$), médio ($0,33 \leq IA \leq 0,66$) e forte ($0,66 < IA \leq 1,0$) (Figura 14), respectivamente, baseada na metodologia de Cassia e Silva (2015). Quanto maior a mobilização, maior é o abalo das soqueiras.

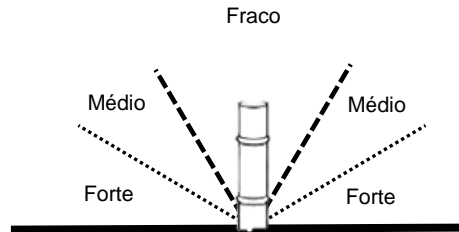


Figura 14. Classificação dos abalos. Fonte: Gírio (2015).

O índice de abalo foi avaliado por meio da equação 3:

$$i_A = \frac{P_{AF} \cdot N_{AF} + P_{AM} \cdot N_{AM} + P_{FF} \cdot N_{FF}}{N} \quad (3)$$

Em que:

i_A = índice de abalos;

P_{AF} , P_{AM} e P_{FF} = pesos atribuídos aos colmos com abalo fraco (0,00), com abalo médio (0,33) e com abalo forte (1,00), respectivamente;

N_{AF} , N_{AM} e N_{FF} = número de colmos sem danos, com danos periféricos e com danos extremos, respectivamente;

N = número total de colmos na soqueira.

Para determinar os índices de danos e abalos foram também estabelecidos limites de controle específicos ($LSE=0,66$ e $LIE=0,33$) a fim avaliar a qualidade da operação com base nesses limites. Dessa forma para pontos localizados abaixo do LIE a danificação e o abalo às soqueiras são considerados com baixo impacto (soqueiras sem danos e com abalo fraco); pontos localizados entre o LIE e LSE são considerados com impacto médio às soqueiras (soqueiras com danos periféricos e com abalo médio) e pontos acima do LSE são considerados com alto impacto as soqueiras, apresentando soqueiras com danos extremos e com abalo alto.

3.8. Rebrotas do canavial

Aos 78 dias após a colheita, com o fechamento do dossel do canavial, foram realizadas avaliações de rebrotas utilizando-se do GPSmap 60CSx – Garmin para localizar as mesmas soqueiras avaliadas durante a colheita. As variáveis analisadas nessa etapa foram número de perfilhos, altura da planta, diâmetro do colmo e falhas, sendo a área amostral a mesma apresentada anteriormente (0,75 m²).

Tabela 5. Número de amostras para cada variável coletada após a colheita.

Variáveis Resposta	Número de amostras
Número de perfilhos	34
Altura de Plantas	34
Diâmetro de plantas	34
Falhas	34

3.8.1. Número de perfilhos, altura e diâmetro

A altura e o diâmetro dos colmos foram determinados com o auxílio de uma trena e um paquímetro, respectivamente, sendo contabilizados todos os perfilhos presentes em 1,5 m de comprimento, tomando-se como centro da avaliação o ponto georreferenciado.

3.8.2. Falhas

Para a determinação das falhas foi adaptada a metodologia de Stolf et al. (2016), na qual contabilizou-se como falhas, espaços superiores a 50 cm entre plantas. A amostragem foi realizada em 1,5 m, referente a área amostral já definida anteriormente (0,75 m²). Os pontos onde foram encontradas falhas, padronizou-se a nota 1, sendo esse valor referente a presença de defeito. Pontos onde não foram encontradas falhas, a nota dada era 0, referente a ausência de defeito. Esse processo foi realizado em todos os pontos avaliados durante a rebrota, para posteriormente serem geradas as cartas NP (cartas de controle por atributos para itens defeituosos).

3.9. Análises estatísticas

3.9.1. Análise descritiva

A varáveis contínuas foram inicialmente analisadas por meio da estatística descritiva, utilizando-se medidas de tendência central (média aritmética e mediana), de posição (amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação). Em seguida aplicou-se o teste de normalidade de Ryan-Joyner.

3.9.2. Controle estatístico do processo (CEP)

3.9.2.1. Cartas de controle de valores individuais

O delineamento experimental seguiu as premissas do Controle Estatístico de Processos (CEP), ferramenta pertencente ao CEQ, que visa avaliar o processo no decorrer do tempo (Montgomery, 2009).

A avaliação da variabilidade das varáveis contínuas se deu por meio das cartas de controle de valores individuais, as quais possuem linhas centrais (média geral e amplitude média), os limites superiores e inferiores de controle (LSC e LIC), respectivamente, as quais resultaram da análise estatística e foram determinadas de acordo com a variabilidade do processo (para LSC, média mais três vezes o desvio-padrão, e para LIC, média menos três vezes o desvio, quando maior que zero). (Voltarelli et al., 2017)

Os limites de controle permitem inferir se há variação dos resultados devido a causas não controladas no processo (causas especiais), e são calculados com base no desvio-padrão das variáveis, como demonstrado nas equações 4 e 5:

$$LSC = \bar{x} + 3\sigma \quad (4)$$

$$LIC = \bar{x} - 3\sigma \quad (5)$$

Em que:

LSC: limite superior de controle;

\bar{x} : média geral da variável;

σ : desvio-padrão; desvio em torno de uma média;

LIC: limite inferior de controle.

As causas especiais são responsáveis pelos pontos fora de controle que podem ser atribuídas a fatores como mão-de-obra, meio ambiente, máquina, método, medição e matéria-prima, constituindo os chamados “6 M’s”.

3.9.2.2. Cartas de controle por atributos

As cartas por atributos são semelhantes as cartas de controle de variáveis individuais, exceto pelo fato de que elas plotam dados de contagem em vez de dados de medição. Por exemplo, os produtos podem ser comparados com um padrão e classificados como defeituosos ou não, como também podem ser classificados pelo número de defeitos (Minitab, 2007).

Assim como nas de controle de variáveis, o número de defeitos, é plotada em relação ao tempo. A partir dos pontos é gerada uma linha central (média) e duas outras linhas - os limites de controle superior e inferior - acima e abaixo da linha central, por padrão, calculados da mesma forma que para as cartas de valores individuais.

3.9.2.2.1. Cartas para não-conformidades (defeitos por amostra)

Para avaliação da variabilidade do porte e posição do canal foram utilizadas as cartas de controle por atributos C, que é indicada quando o tamanho da amostra é fixo, podendo também ser utilizada para investigar dados discretos.

Essas cartas são utilizadas para determinar itens com defeito, um defeito não significa necessariamente que o produto ou serviço não pode ser usado, apenas que não foi usado como pretendido (Minitab, 2007). Os limites de controle são obtidos diretamente por meio das equações 6 e 7 descritas a seguir (Montgomery, 2009):

$$LSC = \bar{c} + 3 \sqrt{\bar{c}} \quad (6)$$

$$LIC = \bar{c} - 3 \sqrt{\bar{c}} \quad (7)$$

Em que:

LSC = limite superior de controle;

c = média geral da variável;

LIC: limite inferior de controle.

3.9.2.2.2. Carta para itens não-conformes (defeituosos)

Para avaliação das falhas encontradas no canavial, foram utilizadas as cartas de controle por atributos NP, essas cartas são utilizadas para determinar itens defeituosos (quando todo o produto ou serviço é considerado inaceitável).

Segundo Montgomery (2009) o número de defeituosos np se define como o número de itens defeituosos (não conformes) na amostra. A construção das cartas NP tem por base a distribuição binomial, e este gráfico de controle só pode ser construído quando lidamos com amostras de tamanhos iguais. Os Limites de Controle são obtidos diretamente da carta P e estão descritos a seguir (equações 8 e 9):

$$LSC = \bar{np} + 3 \sqrt{np(1 - p)} \quad (8)$$

$$LIC = \bar{np} - 3 \sqrt{np(1 - p)} \quad (9)$$

Em que:

LSC: limite superior de controle;

\bar{p} = média da proporção de defeituosos;

m = número total de amostras defeituosas;

\bar{np} = média das amostras com defeito;

n = número total de amostras com defeitos;

LIC: limite inferior de controle.

O uso dessas cartas, por meio das notas 1 ou 0, facilitou a identificação de itens defeituosos ou não-conformes.

3.9.3. Análise de Correlação

Foi utilizado o software Minitab® para cálculo do coeficiente de correlação Pearson a 5% de probabilidade, classificando-os de acordo com o proposto por

Callegari-Jacques (2003) em fraco ($|0,00| < r < |0,30|$), moderado ($|0,30| \leq r < |0,60|$), forte ($|0,60| \leq r < |0,90|$) e muito forte ($|0,90| \leq r < |1,00|$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Espessura e energia despendida no corte

Observando os valores médios de espessura das lâminas (Figura 15) fica evidente a relação entre a perda de fio de corte e o aumento da espessura, fato esse que está diretamente ligado à intensificação do uso das lâminas. Cassia et al., (2014) ao avaliarem desgaste das lâminas de corte basal na colheita de cana-de-açúcar, relataram que à medida que ocorre o desgaste do fio de corte, ou seja, aumento de sua espessura, ocorre também um aumento no índice de danos e abalos às soqueiras, o que poderá prejudicar a rebrota, proporcionando redução de produtividade, aparecimento de falhas e redução de longevidade.

Pode-se notar também que nas primeiras horas de uso o desgaste é mais intenso, tornando-se mais estável com o decorrer do processo de colheita. Nota-se que existe uma constante (1,8 horas) inerente ao processo de aumento de espessura, evidenciando o acentuado desgaste nas primeiras horas de trabalho. A partir do 2º período, o desgaste das lâminas se torna mais estável, indicando menor intensificação da perda de fio de corte.

A equação de regressão ajustada para os dados de espessura explica 77% dos pontos avaliados (R^2 de 0,7752), portanto, é possível constatar que o aumento de espessura pode ser descrito linearmente em função do período de utilização das lâminas, embora seja notório que o desgaste é mais acentuado nas primeiras 8 horas de uso.

A adequação de uma equação relacionando a perda do fio de corte com o tempo de utilização das lâminas torna-se um instrumento interessante para que se possa posteriormente, correlacionando o desgaste com os danos e abalos às soqueiras, prever, para este tipo de solo, o tempo ideal para troca das lâminas.

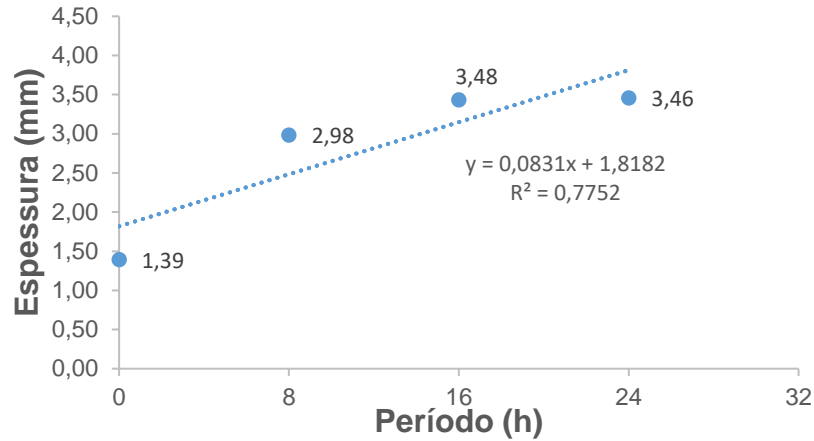


Figura 15. Médias dos valores de espessura em relação ao tempo de uso das lâminas.

Na carta de controle de energia no corte (Figura 16) pode-se identificar que as lâminas novas necessitaram de menor quantidade de energia para realização do corte da cana-de-açúcar, também se nota uma menor variabilidade do processor em relação aos demais períodos. Isso se deve ao fato de as lâminas neste período apresentarem maior afiação em relação aos outros períodos.

Quando se compara as lâminas após elas entrarem em trabalho, pode-se observar que as lâminas do 2º período (8-16h) apresentam menor variabilidade quando comparada aos demais períodos, o que pode ser relacionado a dois fatores: a menor variabilidade dos índices de danos e abalos e a menor necessidade de energia no corte, no mesmo período. Outro detalhe que pode ser observado é a maior exigência de energia para o corte com o decorrer do processo e a intensificação do desgaste das lâminas.

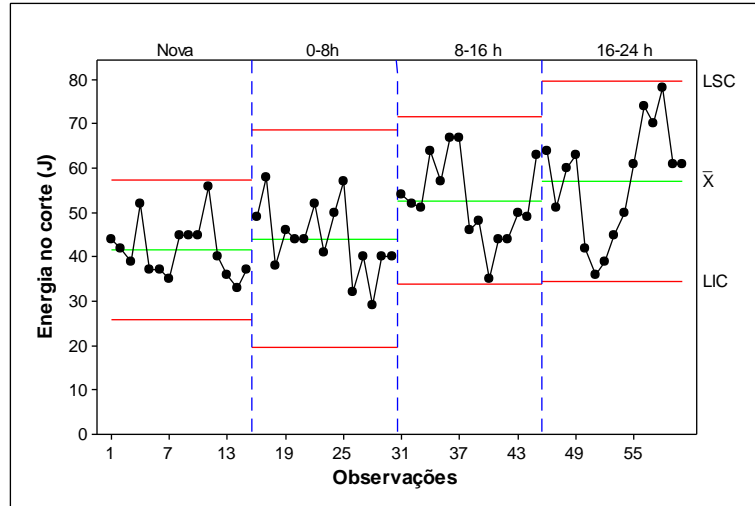


Figura 16. Carta de controle de valores individuais para média da energia exigida no corte. LSC – limite superior de controle; LIC – limite inferior de controle; \bar{x} - média aritmética dos valores individuais.

Em relação a Figura 17, também se nota que a energia para realização do corte da cana-de-açúcar quando realizado com lâminas novas é menor em relação as demais lâminas. Observa-se também que a equação de regressão ajustada para os dados de energia despendida no corte dos colmos de cana-de-açúcar explica cerca de 96% dos pontos avaliados (R^2 de 0,9587), indicando que o aumento de espessura decorrente do desgaste das lâminas reflete diretamente no aumento da energia despendida.

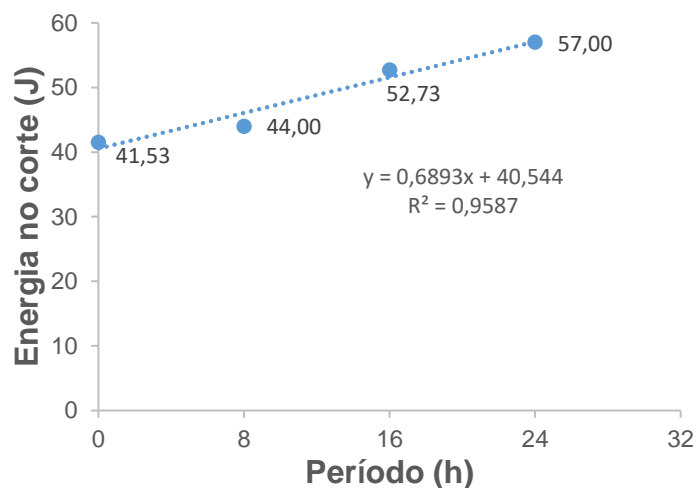


Figura 17. Médias dos valores de energia exigida no corte em relação ao tempo de uso das lâminas.

4.2. Análise descritiva

Pelos resultados da análise descritiva e do teste de normalidade (Tabela 6), observa-se valores elevados de coeficiente de variação para todas variáveis, indicando dispersão dos dados alta ou muito alta (Pimentel Gomes e Garcia, 2002). Reis et al. (2015) afirmam que a elevada variabilidade dos dados pode ser considerada uma causa comum da operação de colheita, a qual inevitavelmente não pode ser eliminada totalmente. Apesar dos elevados valores de CV encontrados, as variáveis índice de danos e de abalos apresentaram distribuição normal de probabilidade de acordo com o teste de normalidade de Ryan-Joiner.

Os parâmetros da estatística descritiva indicaram médias próximas das mediana indicando distribuições normais de probabilidade. Constatou-se que, com exceção dos índices de danos e abalos, as demais variáveis apresentaram distribuição normal.

Tabela 6 - Análise descritiva e teste de normalidade dos indicadores de qualidade

Indicadores de Qualidade	\bar{x}	M	A	σ	CV	RJ	p-Valor
Comprimento de colmo	9,49	8,07	28,10	5,63	59,28	0,870*	<0,010
Índice de danos	0,75	0,80	0,70	0,21	28,36	0,976 ^{ns}	>0,100
Índice de abalos	0,49	0,49	0,89	0,25	51,97	0,994 ^{ns}	>0,100
Nº Perfilhos	32,97	32,50	54,00	9,42	28,57	0,956*	0,017
Altura após o rebrote	35,11	36,45	53,50	9,19	26,17	0,953*	<0,010
Diâmetro após o rebrote	18,63	18,70	24,50	4,20	22,52	0,863*	<0,010

\bar{x} – Média geral; M – mediana; A – Amplitude total; σ – Desvio padrão; CV (%) – coeficiente de variação; RJ – valor do teste de normalidade de Ryan-Joiner; p-Valor – valor da distribuição de probabilidade ($p > 0,05$); * – significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} – não significativo a 5% de probabilidade.

4.3. Índices de danos e abalos

Em relação à carta de controle de índice de danos (Figura 18) pode-se observar que o processo permaneceu estável em todos os turnos de trabalho. Porém, pode-se notar que no 2º turno de trabalho (8-16h) a variabilidade do processo foi menor, em

relação aos demais turnos, o que pode ser constatado pela maior proximidade entre os limites superior e inferior de controle.

Avaliando cada período detalhadamente pode-se definir alguns padrões. No 1º período (0-8h) pode-se observar pontos nos 3 níveis de danificação (sem danos, danos periféricos e extremos), sendo que 58,3 % dos pontos estão localizados abaixo do LSE, onde nota-se a predominância de colmos com danos periféricos, situação está próxima do ideal para a colheita mecanizada. Nos períodos seguintes pode-se observar uma intensificação dos valores de índice de danos, sendo que 100,0 % e 75,0 % dos pontos do 2º período (8-16h) e 3º período (16-24h), respectivamente, situaram-se acima do LSE. Este índice de danos extremos para os períodos de 8 a 24h indica o efeito da intensidade de desgaste das lâminas na danificação à soqueira; o que se torna um problema para cultura, pois de acordo com Salvi et al. (2007), soqueiras danificadas são fonte de entrada para o ataque de pragas e doenças e proporcionam redução na produtividade potencial do canavial nos anos subsequentes.

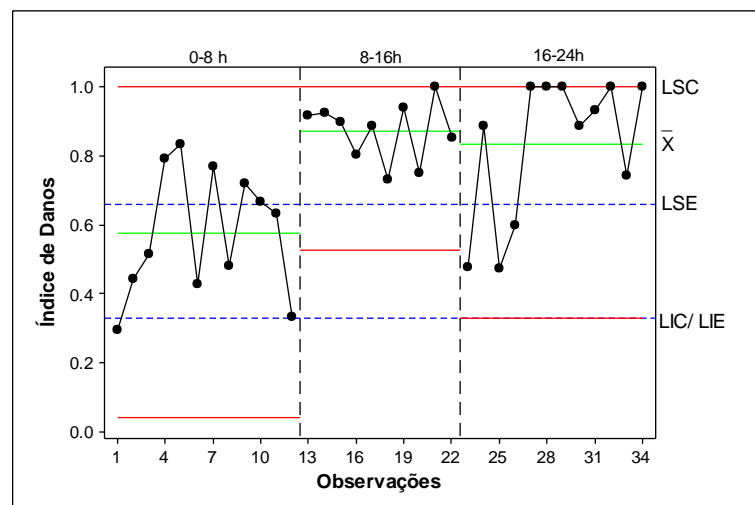


Figura 18. Carta de controle de valores individuais para média dos dados de índice de dano na soqueira dividida nos períodos trabalho da máquina. LSC – limite superior de controle; LIC – limite inferior de controle; LSE – limite superior específico; LIE – limite inferior específico; \bar{x} - média aritmética dos valores individuais.

Como apresentado para os índices de danos, a carta de controle de índice de abalos (Figura 19) não apresentou pontos fora de controle, indicando que o processo

é estável, ou seja, que as variações deste processo, para estes indicadores, se devem somente a ação de causas comuns (aleatórias).

Observando-se o 1º período de avaliação nota-se que 58,3 % dos pontos avaliados situaram-se abaixo do LIE e apenas 1 ponto (8,3 %) localizou-se acima do LSE. Já no segundo período 50,0 % dos pontos encontravam-se acima do LSE e os outros 50,0 % situaram-se dentro dos limites específicos (LIE e LSE), não apresentando nenhum ponto abaixo do LIE. No último período 41,7 % dos pontos encontrados apresentavam danos extremo e somente 25,0 % dos pontos apresentavam danos abaixo do LIE.

Quando se comparam os pontos em que a altura corte foi abaixo do LEC, o que é considerado ideal para a usina, observa-se que foram obtidos baixos valores de índice de abalos. Os resultados apresentados nesse trabalho vão ao encontro dos obtidos por Cassia et al. (2014), que verificaram que à medida que ocorre o desgaste das lâminas de corte, os índices de danos e abalos às soqueiras aumentam proporcionalmente, o que posteriormente prejudicará a rebrota do canavial.

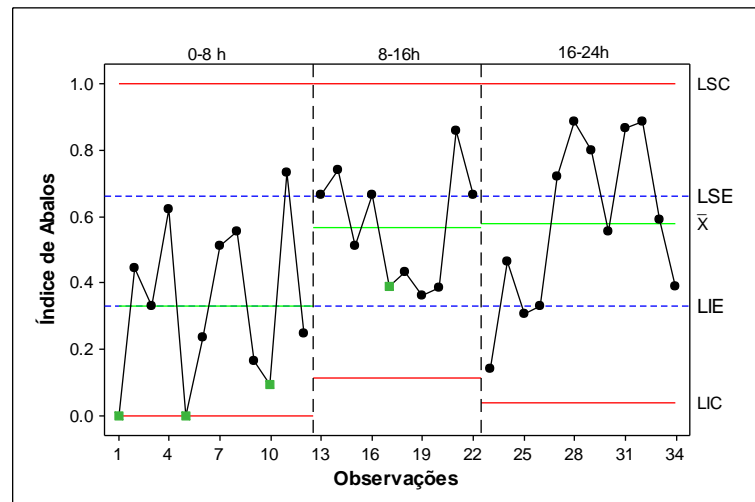


Figura 19. Carta de controle de valores individuais para média dos dados de índice de abalo na soqueira. LSC – limite superior de controle; LIC – limite inferior de controle; LSE – limite superior específico; LIE – limite inferior específico; \bar{x} - média aritmética dos valores individuais; ■ – Pontos em que a altura de corte foi igual ou inferior a 0,05 m.

É interessante destacar que para ambas as cartas de controle (índice de danos e abalos) a variabilidade do processo diminuiu no 2º período de trabalho quando

comparada aos demais períodos. Esse fato pode ter relação com o desgaste mais acentuado que ocorre no início do uso das lâminas, uma vez que o desgaste se torna menos intenso no decorrer do processo de colheita.

Também é interessante notar que apesar de o desgaste ser maior no período de 0-8h, este não reflete em aumento de danos e abalos. Por outro lado, a partir de 8h de uso, mesmo com menor acentuação do desgaste, o resultado é oposto do esperado onde observa-se um aumento de danos e abalos.

4.4. Porte e sentido do canavial

Em relação ao porte e posição do canavial (Figura 20) 38,2 % das observações (13 pontos) foram classificadas como desfavoráveis ou extremamente desfavoráveis à operação de colheita mecanizada. Esse fato, foi atribuído à ação da própria colhedora, que direcionava as plantas das linhas adjacentes à linha colhida, posicionando-se no sentido contrário ao que ela trabalharia em seguida, devido à ação do divisor de linhas.

De acordo com Voltarelli et al. (2015) e Noronha et al. (2011), embora o porte ereto do canavial seja o mais indicado para a operação de colheita mecanizada, é comum encontrar canaviais com porte acamado e deitado. Entretanto, estes autores não avaliaram em seus trabalhos a posição do canavial. Em virtude do mecanismo de ação das colhedoras de cana-de-açúcar, outro fator que incide sobre os danos e abalos das soqueiras é a posição do canavial em relação ao sentido de deslocamento da máquina, pois, quando este se encontra posicionado em sentido contrário ao deslocamento da colhedora pode resultar em condições mais inadequadas de colheita.

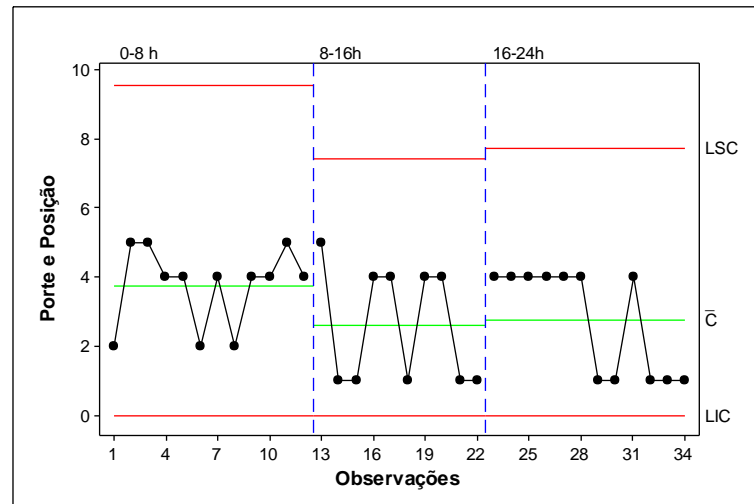


Figura 20. Carta de controle de atributos “carta c” para nota relacionada ao porte e sentido em relação a colheita. LSC – limite superior de controle; LIC – limite inferior de controle; \bar{x} - média aritmética dos valores individuais.

4.5. Comprimento de colmo

Para os valores de comprimento de colmo das soqueiras (Figura 21), observa-se que a altura média de corte se encontrou acima da altura regulada na máquina para a operação (0,05 m), apresentando somente 4 pontos abaixo do limite específico. Esses resultados são desfavoráveis para a operação de colheita da usina em questão, uma vez que todos os colmos acima do LEC são considerados perdas tipo toco, caracterizando uma colheita de baixa qualidade resultado em grandes perdas de matéria-prima no campo.

A carta de controle para o indicador de qualidade altura de corte, demonstrou que o processo foi considerado instável, devido à presença de pontos acima do limite superior de controle. Voltarelli et al. (2017) encontraram resultados que corroboram para identificação das causas especiais sendo que, possivelmente, os fatores máquina e mão-de-obra têm maior relação com o indicador de qualidade altura de corte.

Para esse trabalho pode-se identificar que a matéria prima e o meio ambiente também podem ter atuado como um dos fatores relacionados às causas especiais. O porte do canavial é um indicador notadamente relacionado aos fatores matéria prima e meio ambiente, no qual o teor de fibras e a produtividade (TCH – Mg ha⁻¹) da variedade influencia diretamente no acamamento do canavial; e o meio ambiente está

diretamente ligado aos efeitos das condições climáticas, como vento e chuva. Enquanto que o sentido pode ser relacionado tanto ao fator meio ambiente, quando da ocorrência de acamamento "natural" da cana-de-açúcar, quanto ao fator máquina, em decorrência da ação dos divisores de linha empurrando a linha adjacente de cana-de-açúcar ainda não colhida.

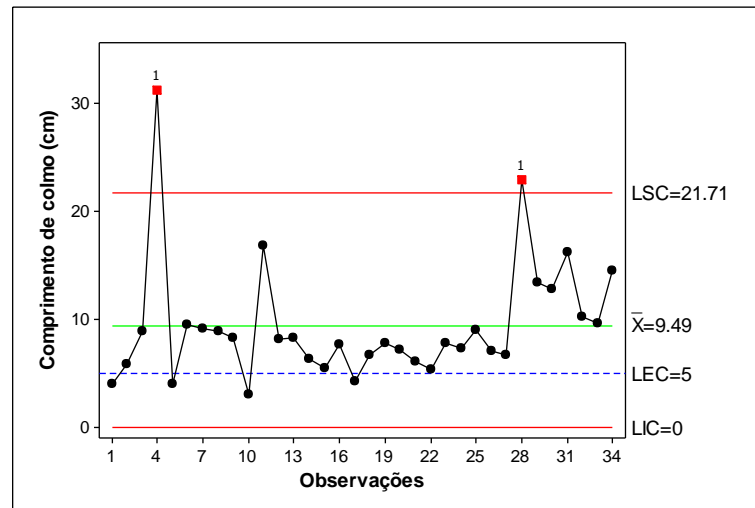


Figura 21. Carta de controle para dados individuais de altura de corte basal. LSC – limite superior de controle; LIC – limite inferior de controle; \bar{x} - média aritmética dos valores individuais; LE – Limite específico de controle.

4.6. Análise da rebrota do canavial

Para a carta de controle de número de perfilhos (Figura 22), observa-se que no 1º período de trabalho ocorreu um ponto fora de controle, o que ocorreu devido ao fato que existia uma grande falha que se estendia por toda a área amostral (1,5 m). No entanto, nos demais períodos de operação não se verifica a ocorrência de causas especiais que venham a influenciar o desenvolvimento da cana-de-açúcar. Esse ponto fora de controle se repete nas demais variáveis relacionadas à rebrota: altura de plantas e diâmetro de plantas.

A variabilidade do processo diminui conforme o tempo, sendo que dentre os períodos, o 3º período de trabalho apresentou a menor variabilidade, indicando que mesmo com o agravamento do desgaste das lâminas, observa-se redução na variabilidade do número de perfilhos no decorrer do processo.

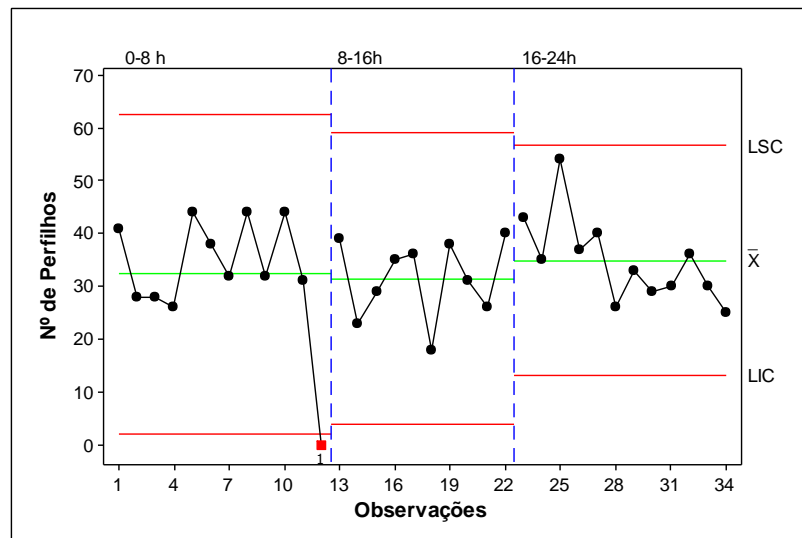


Figura 22. Carta de controle de valores individuais para média de número de perfilhos aos 70 dias após a colheita. LSC – limite superior de controle; LIC – limite inferior de controle; \bar{x} - média aritmética dos valores individuais.

A carta de controle de altura de plantas (Figura 23) apresenta um comportamento diferente da carta de número de perfilhos, podendo-se notar que o 2º período de trabalho a variabilidade é menor que nos demais períodos. Outro fator relevante nessa carta é a alta variabilidade dos dados em relação ao 3º período de avaliação, evidenciando o impacto as soqueiras com o decorrer do tempo de trabalho das lâminas.

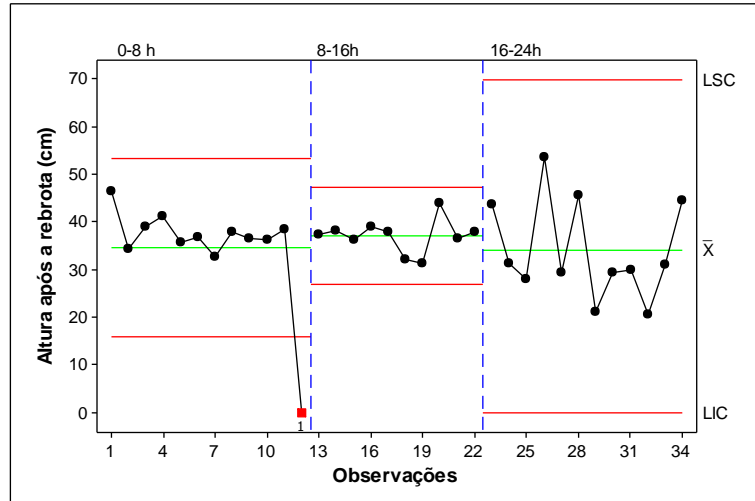


Figura 23. Carta de controle de valores individuais para média de altura de plantas aos 78 dias após a colheita. LSC – limite superior de controle; LIC – limite inferior de controle; \bar{x} - média aritmética dos valores individuais.

A carta de controle de diâmetro de plantas (Figura 24) apresenta comportamento semelhante à anterior, com menor variabilidade no 2º período de trabalho, fato esse que evidencia os menores impactos provocados pelo desgaste das lâminas após 8h de trabalho. Os períodos 1 e 3 apresentam elevada variabilidade, indicando maior relação entre o efeito do desgaste das lâminas de corte com os impactos provocados na rebrota do canavial.

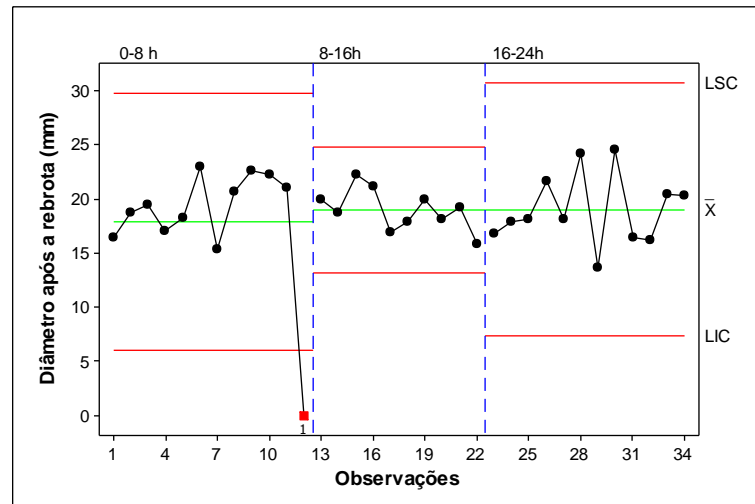


Figura 24. Carta de controle de valores individuais para média de diâmetros de plantas aos 78 dias após a colheita. LSC – limite superior de controle; LIC – limite inferior de controle; \bar{x} - média aritmética dos valores individuais.

Na carta de controle de falhas (Figura 25) pode-se observar que o 1º período apresentou menor quantidade de falhas em relação aos demais períodos avaliados, sendo 17% dos pontos avaliados nesse período.

O 2º período apresentou a maior quantidade das falhas representando 36% dos pontos deste período. Esse fato pode ser relacionado aos danos e abalo, pois nesse mesmo período os obteve-se os maiores valores médios desses indicadores de qualidade.

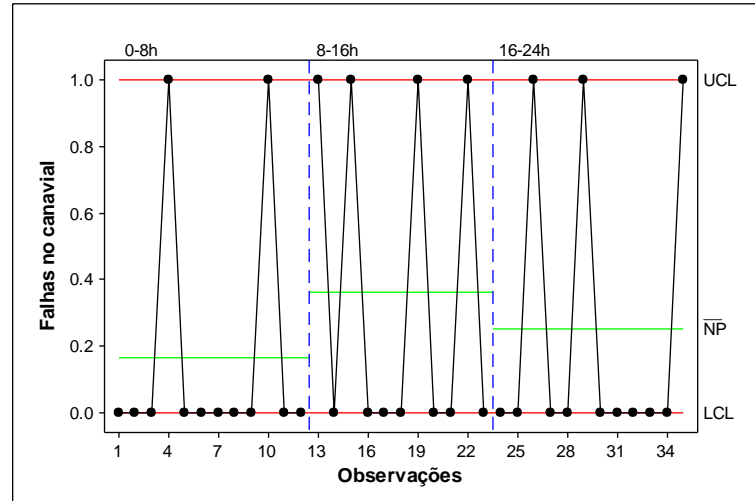


Figura 25. Carta de controle de atributos “carta np” para nota relacionada as falhas após a rebrota. LSC – limite superior de controle; LIC – limite inferior de controle; \bar{x} - média aritmética dos valores individuais.

4.7. Correlação MELHORAR

Na tabela 7 encontra-se o resumo da análise de correlação das variáveis estudadas, permitindo a detecção de relações diretas na qualidade das avaliações com as variáveis observadas em campo.

Tabela 7. Correlação dos dados por meio do coeficiente de correlação de Pearson.

Variáveis	Comprimento de colmo	Índice de danos	Índice de Abalos	Nº de Perfilhos	Altura
Índice de danos	0,210 ^{ns}	-	-	-	-
Índice de abalos	0,443*	0,633*	-	-	-
Nº de Perfilhos	-0,259 ^{ns}	-0,055 ^{ns}	-0,222 ^{ns}	-	-
Altura	0,058 ^{ns}	-0,003 ^{ns}	-0,139 ^{ns}	0,379*	-
Diâmetro	0,071 ^{ns}	0,232 ^{ns}	0,065 ^{ns}	0,434*	0,673*

Analisando-se os dados da Tabela 5 é possível observar que o índice de abalos apresentou correlação positiva moderada com o comprimento de colmo e positiva forte com o índice de danos. Foi encontrada correlação positiva moderada entre o número de perfilhos com a altura e o diâmetro dos colmos e correlação positiva forte entre altura e diâmetro. Estas correlações indicam que a mudança em uma variável é

associada à mudança proporcional na outra variável, porém, não foi possível ajustar regressões lineares que possam descrever estas relações.

O índice de abalos apresenta correlação com o comprimento do colmo, fato esse que pode ser explicado devido à não utilização do dispositivo de controle automático da altura de corte durante a colheita, fazendo com que o comprimento do colmo fosse associado ao abalo as soqueiras, devido ao efeito maior de torque provocado na base das soqueiras. Fato que pode ser relacionado ao momento fletor provocado pelo rolo tombador e as forças internas de tração e compressão descritas por Kroes (1997).

5. CONCLUSÃO

O desgaste ocorre de maneira mais intensa nas primeiras horas de trabalho das lâminas, proporcionando assim maiores variações em relação impactos provocados as soqueiras e a energia exigida pelo mecanismo de corte basal.

O desgaste das lâminas com o decorrer do tempo de colheita acentua os efeitos danos e abalos às soqueiras. No 1º período de uso das lâminas há a predominância de colmos com danos periféricos ou sem danos e índices de abalos fracos, enquanto que para o 2º e 3º períodos há predominância de danos extremos e abalos médios e fortes.

Para os índices de danos e abalos, bem como para a altura e diâmetro das plantas após a rebrota, a qualidade do processo é melhor no 2º período de trabalho quando comparada aos demais períodos.

Lâminas do 1º e 2º período, proporcionam os maiores valores de danos e abalos. Porém, este efeito não afeta a qualidade da rebrota em relação ao desenvolvimento da cana-de-açúcar. Portanto o uso intenso das lâminas de corte basal durante o processo de colheita não impactou diretamente no desenvolvimento das plantas.

A menor variabilidade do processo ocorre a partir do 2º período, para a maioria das variáveis avaliadas. Período esse em que o desgaste das lâminas se torna mais estável, indicando menor intensificação da perda de fio de corte.

6. REFERÊNCIAS

Belardo GC (2010) **Avaliação de desempenho efetivo em três colhedoras de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) sem queima**. 111 f. Dissertação (Mestrado e Máquinas Agrícolas) – ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Belardo GC, Rosa JHM, Magalhães PSG (2015) Evolução da colheita mecanizada na cana-de-açúcar. In.: Belardo G C, Cassia MT, Silva RP(Eds) **Processos Agrícolas e Mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, p. 608.

Bonilla JA (1994) **Qualidade total na agricultura: fundamentos e aplicações**. Belo Horizonte: Centro de Estudos de Qualidade Total na Agricultura p. 344.

Callegari-Jacques, SM (2003) **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artmed p. 365.

Callister, WDJ (2002) **Ciência e engenharia de materiais: Uma Introdução**. 5ª Edição. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.

Cassia MT, Silva RP, Paixão CSS, Bertonha RS, Cavichioli FA (2014) Desgaste das lâminas do corte basal na qualidade da colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**. 44(6): 987-993.

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(1): 112-121, 2012.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Manual de métodos e análise de solo. Rio de Janeiro, 2007. 574 p.

Fernandes RAT, Milan M, Peche Filho A (2000) Gerenciamento da qualidade em operações mecanizadas de um sistema de produção de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.20, n.3, p.215-20.

Instituto de Economia Agrícola (IEA) (2017) **Análises e Indicadores do Agronegócio**. (12(6): junho).

Kroes S (1997). The cutting of sugarcane. 356 f. PhD Thesis, University of Southern Queensland, Toowoomba, 1997.

Lopes MB, Lunardi-Filho D, Peche-Filho A, Coelho JLD, Milan M (1995) Qualidade em operações agrícolas mecanizadas na cultura de cana-de-açúcar. **Stab: Açúcar, Alcool e Subprodutos**. 13(3):26-30.

Gírio LAS Qualidade do plantio, transplântio e colheita mecanizados de rebolos e mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. 91f. Tese (Doutorado) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

Oliveira LP (2018) Colheita mecanizada de cana-de-açúcar: o desgaste das facas como agente redutor da qualidade do corte basal. 40 f. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

Manzano RP, Penati MA, Nussio LG (2004) **Cana-de-açúcar na alimentação de bovinos**. 2.ed. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, p. 29.

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(2):355-358.

MINITAB. MINITAB Release 16. MINITAB StatGuide [s.l.]: Minitab., 2007.

Mignoti SA, Fidelis MT (2001) Aplicando a geoestatística no controle estatístico de processo. **Revista Produto & Produção**, Porto Alegre, v.5, n.2, p.55-70.

Montgomery DC (2009) Control charts for variables. In: MONTGOMERY, D.C. Introduction to statistical quality control. Arizona: Wiley, v.6, p. 226-268.

Neves JLM (2003) **Avaliação de perdas invisíveis em colhedoras de cana-de-açúcar picada e alternativas para sua redução**. 223 f. Tese (Doutorado) Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Neves MF, Kalaki RB (2015) A dimensão do setor sucroenergético – Mapeamento e quantificação na safra 2013/2014. In: Belardo G de C, Cassia MT, Silva RP, **Processos Agrícolas e Mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, p. 608.

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(4): 931-938.

Person, S (1987). Mechanics of cutting plant material. Michigan, American Society of Agricultural Engineers, 288p.

Pimentel-Gomes F, Garcia CH (2002) **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. 11. ed. Piracicaba: FEALQ p. 309.

Reis GN, Voltarelli M, Silva RP, Toledo A, Lopes A (2015) Quality harvesting in the basement cut of sugarcane soil management systems. **Comunicata Scientiae**. 6: 143-153.

Ripoli TCC, (1996) Ensaio & certificação de máquinas para colheita de cana-de-açúcar. In: MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaios & certificação**. Piracicaba: Fundação de Estudos “Luiz de Queiroz”, Cap.13, p.635-673.

Salvi JV (2006) **Qualidade do corte de base de colhedoras de cana-de-açúcar**. 2006. 90 f. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

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(1), 201-209.

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**. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal.

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.

Stolf R, Garcia TB, Neris LO, Trindade Junior O, Reichardt K (2016) Avaliação de falhas em cana-de-açúcar segundo método de Stolf utilizando imagens aéreas de alta precisão obtidas por VANT. **Revista STAB** 34: 32-39.

Stuart M, Mullins E, Drew E (1996) Statistical quality control and improvement. **European Journal of Operational Research**, v. 88, p. 203-214.

Toledo A, Silva RP, Furlani CEA (2013) Quality of cut and basecutter blade configuration for the mechanized harvest of green sugarcane. **Scientia Agrícola**, 70(6): 384-389.

Volpato CES, Braunbeck OA, Oliveira CAA (2002) Desenvolvimento e avaliação de um protótipo de cortador base para colhedoras de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 6(2):345-8.

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 lâminas. **Engenharia Agrícola**, 35(3): 528-541.

Voltarelli MA (2013) Qualidade da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar nos turnos diurno e noturno. 168 f. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.

Voltarelli MA, Silva RP, Zerbato C, Silva VFA, Cavichioli FA (2014) Agronomic capability of mechanized sugarcane planting. **Australian Journal of Crop Science**, 8(10): 1448 – 1460.

Voltarelli MA, Silva RP, Cassia MT, Daloia JGM, Paixão CSS (2017) Qualidade do corte basal de cana-de-açúcar efetuado por lâminas de diferentes angulações e revestimentos. **Revista Ciência Agronômica**, 48 (3): 438-447.

Zerbato C, Cavichioli FA, Raveli MB, Marrafon M, Silva RP (2013) Controle estatístico de processo aplicado à colheita mecanizada de milho. **Engenharia na Agricultura**, 21 (3): 261-270.