

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP**

**CAMPUS DE JABOTICABAL**

**COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR: O  
DESGASTE DAS FACAS COMO AGENTE REDUTOR DA  
QUALIDADE DO CORTE BASAL**

**Luan Pereira de Oliveira**

Engenheiro Agrônomo

**2018**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP**

**CAMPUS DE JABOTICABAL**

**COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR: O  
DESGASTE DAS FACAS COMO AGENTE REDUTOR DA  
QUALIDADE DO CORTE BASAL**

**Luan Pereira de Oliveira**

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

**Coorientador: Prof. Dr. Cristiano Zerbato**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para o título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal)

**2018**

Oliveira, Luan Pereira de  
O48c Colheita mecanizada de cana-de-açúcar: o desgaste das facas  
como agente redutor da qualidade do corte basal. / Luan Pereira de  
Oliveira. -- Jaboticabal, 2018  
xiv, 40 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2018  
Orientador: Rouverson Pereira da Silva  
Banca examinadora: Carlos Eduardo Angeli Furlani, Murilo  
Aparecido Voltarelli.  
Bibliografia

1. *Cana-de-açúcar*. 2. Energia de corte 3. Danos e abalos às  
soqueiras . I. Título. I. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e  
Veterinárias.

CDU 633.61:631.35

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



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal





**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR: O DESGASTE DAS FACAS COMO AGENTE REDUTOR DA QUALIDADE DO CORTE BASAL**

**AUTOR: LUAN PEREIRA DE OLIVEIRA**  
**ORIENTADOR: ROVERSON 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. ROVERSON 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. JORGE WILSON CORTÉZ  
Universidade Federal da Grande Dourados / UFGD - Dourados/MS

Jaboticabal, 16 de julho de 2018

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**LUAN PEREIRA DE OLIVEIRA** – nascido em Sousa, Paraíba, Brasil, no dia 11 de junho de 1991, filho de Junio José de Oliveira e Maria Ildanir Pereira, Natural de Sousa, PB. cursou o ensino fundamental na Escola E. E. Tito Lima, no município de São Bernardo do Campo, SP. E ensino médio nas escolas E. E. Antônio Caputo e E. E. M. Mestre Júlio Sarmiento em São Bernardo do Campo, SP, e Sousa, PB, respectivamente. Ingressou no ensino superior em 08 de agosto de 2011 no curso de Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, campus II, sediado na cidade de Areia, PB. Obteve o título de Engenheiro Agrônomo em julho de 2016. Durante a graduação foi bolsista de iniciação científica (CNPq) por um ano na área de ciências do solo sob a orientação do Prof. Dr. Lourival Ferreira Cavalcanti. Foi bolsista de extensão (PROBEX) e (PROEXT) durante três anos no qual trabalhou com projetos de extensão com hortas escolares sob a orientação da Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Núbia Pereira da Costa Luna. Em fevereiro de 2014 iniciou o curso Técnico em Agronegócio pelo SENAR – PB, finalizando o mesmo em dezembro de 2017, obtendo o título de Técnico em Agronegócio. Ao decorrer da graduação colaborou com a execução e apresentação de trabalhos científicos, com resumos e artigos científicos publicados em periódicos especializados. Em agosto de 2016, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal), com concentração na área de Máquinas e Mecanização Agrícola, pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Câmpus de Jaboticabal, São Paulo, pelo Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA), localizado no Departamento de Engenharia Rural dessa instituição. No decorrer do curso realizou pesquisas com foco em colheita mecanizada de diversas culturas, principalmente voltado para a cultura da cana-de-açúcar. Em julho de 2018, submeteu-se à banca examinadora para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

“Cem vezes todos os dias tens de lembrar a si mesmo que sua vida interior e exterior depende dos trabalhos de outros homens, vivos ou mortos, e que deves esforçar-te a fim de devolver na mesma medida que recebes”

(Albert Einstein)

Aos meus pais Junio José de Oliveira e Maria Ildanir Pereira e aos meus avós  
Francisca Gomes de Oliveira “Chiquita” (*In Memoriam*), Ortelina Pereira (*In  
Memorian*), João Deó Pereira (*In Memoriam*) e José Francisco de Oliveira “Zezinho”  
(*In Memoriam*).

A vocês,

**DEDICO!**

A minha irmã, aos meus sobrinhos e a todos os meus familiares,

**OFEREÇO!**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente à DEUS, por iluminar e dar proteção durante toda a minha vida, por tudo que nela já conquistei e ainda irei conquistar, e pela fé que move nossas vidas enfrentando os desafios em busca de novos horizontes.

Aos meus queridos pais, Junio e Ildanir, pelo companheirismo, educação e valores transmitidos, essenciais na formação do meu caráter; além de todo apoio em cada momento de minha vida, eu amo vocês!

À minha irmã Mayara pela parceria em todo nosso convívio, os grandes momentos compartilhados e ainda a serem vividos.

À minha noiva Karollayne Tomaz pelo amor, carinho, apoio e parceria em todos os momentos.

A toda minha família, tios e tias, primos, primas e sobrinhos que são a base que sustenta toda a minha vida, estando cada um sempre pronto a acolher meus problemas e apontar o caminho da sabedoria.

Ao Centro de Ciências Agrárias da UFPB, a todos seus professores e funcionários que contribuíram direta ou indiretamente para minha formação, e em especial aos estimados amigos da Turma de Agronomia 2011.2.

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 à CAPES pela concessão da bolsa.

Ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva, pelos conselhos, ensinamentos, parceria e amizade, além dos valores e conhecimentos a mim transmitidos. *The Best advisor ever!*

Ao meu coorientador e amigo, Prof. Dr. Cristiano Zerbato pela orientação e parcerias no desenvolvimento dos projetos e pela amizade!

À banca examinadora pela disponibilidade, Prof. Dr. Murilo Aparecido Voltarelli e Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez.

Ao Departamento de Engenharia Rural da FCAV, aos seus professores e funcionários, que de alguma forma colaboraram com minha formação e realização deste trabalho.

Aos amigos integrantes do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA) – Adão Felipe, Aline Spaggiari, Aycon Tinoco, Carla Paixão, Danilo Tedesco, Edcarla Nicolau, Elizabeth Kazama, Franciele Morlin, Leonardo Bernache, Lígia Negri, Lucas Gírio, Mailson Oliveira, Marco Antônio, Maria Abertina, Nivanda Lima, Patrícia Candida, Paulo Sérgio, Rafael Bertonha, Rafael De Graaf, Rafael Noronha, Renata Queiroz, Tassio Ormond, Tiago Tavares e Watus Cleigson pela amizade, convivência e auxílio nas atividades durante todos estes anos.

Aos amigos Luiz Cláudio Mancha e José Ricardo pelo apoio e amizade durante a convivência.

Aos irmãos da República TOca Fogo, Adão Felipe, Edgard Henrique, Emmanuel Moreira e Anderson Formiga pela força e companheirismo mútuo.

À Cambuhy Agrícola Ltda., pela possibilidade de realização deste trabalho, em especial ao amigo Marcelo Cassia pelo apoio.

Finalmente agradeço a todos aqueles que de uma forma contribuíram para minha caminhada até este momento, por meio de conselhos, palavras amigas e momentos de sabedoria, fica aqui a minha eterna gratidão!



## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS</b> .....	1
<b>1. Introdução</b> .....	1
<b>1.1. Revisão bibliográfica</b> .....	2
<b>1.1.1. Colheita mecanizada de cana-de-açúcar</b> .....	2
<b>1.1.2. Desgaste das facas de corte basal, danos e abalos às soqueiras</b> .....	3
<b>1.1.3. Controle Estatístico de Processos</b> .....	5
<b>1.2. Referências bibliográficas</b> .....	6
<b>CAPÍTULO 2 – Demanda energética para o corte basal de cana-de-açúcar</b> .....	9
<b>RESUMO -</b> .....	9
<b>2.1. Introdução</b> .....	9
<b>2.2. Material e métodos</b> .....	10
<b>2.3. Resultados e discussão</b> .....	15
<b>2.4. Conclusão</b> .....	20
<b>2.5. Referências bibliográficas</b> .....	20
<b>CAPÍTULO 3: A perda de massa das facas de corte basal influencia os danos e abalos às soqueiras de cana-de-açúcar?</b> .....	23
<b>RESUMO -</b> .....	23
<b>3.1. Introdução</b> .....	23
<b>3.2. Material e métodos</b> .....	25
<b>3.3. Resultados e discussão</b> .....	29
<b>3.4. Conclusões</b> .....	35
<b>3.5. Referências bibliográficas</b> .....	35
<b>CAPÍTULO 4: CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	37

## **COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR: O DESGASTE DAS FACAS COMO AGENTE REDUTOR DA QUALIDADE DO CORTE BASAL**

**RESUMO** – A colheita mecanizada de cana-de-açúcar é o principal método de colheita nas regiões produtoras brasileiras. Com a crescente utilização deste método torna-se necessário verificar a qualidade da operação desenvolvida com o intuito de amenizar seus impactos nos canaviais. Objetivou-se por meio do presente trabalho avaliar o desgaste das facas de corte basal por meio da perda de área e aumento da espessura do fio de corte, levando em consideração a energia gasta pelas facas de corte basal durante a ação do corte e verificar a qualidade do processo de colheita durante a evolução do desgaste das facas de corte basal, usando como indicadores de qualidade os danos e abalos às soqueiras ao início e ao final dos turnos de operação. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado para verificar os parâmetros de desgaste das facas (perda de massa, perda de área aumento da espessura do fio de corte e demanda energética para efetuar o corte), os indicadores de qualidade danos e abalos às soqueiras foram avaliados seguindo as premissas do controle estatístico de processos, no qual os dados foram coletados de acordo com o tempo. O desgaste das facas foi significativo para todos os parâmetros avaliados, sendo a perda de massa, perda de área e aumento da espessura do fio de corte significativos ao longo dos turnos. A demanda energética foi menor quando a faca estava na condição de nova, bem como os danos e abalos às soqueiras eram menores quando a faca possuía maior massa.

**Palavras-chave:** cana-de-açúcar, energia de corte, danos e abalos às soqueiras

## MECHANIZED HARVESTING OF SUGAR CANE: KNIFE WEAR AS A BASAL CUT QUALITY REDUCING AGENT

**ABSTRACT** – Mechanized harvesting of sugarcane is the main method of harvesting in Brazilian producing regions. With the increasing use of this method, it is necessary to verify the quality of the operation developed with the intention of mitigating its impacts on sugarcane fields. The objective with this work was to evaluate the wear of the basal cutting knives by means of the loss of area and increase of the thickness of the cutting wire, taking into account the energy spent by the cutting knives during the cutting action and verify the quality of the harvesting process during the evolution of the wear of the basal cutting knives, using as indicators of quality the damages and shakes to the ratoons at the beginning and the end of the turns of operation. The design was completely randomized to verify the wear parameters of the knives (loss of mass, loss of area, increase of shear thickness and energy demand to make the cut), indicators of damage quality and hamstrings were evaluated following the premises of statistical process control, in which data were collected according to time. The wear of the knives was significant for all evaluated parameters, being the loss of mass, loss of area and increase of the shear thickness significant throughout the shifts. The energy demand was lower when the knife was in the new condition, as well as the damages and shakes to the rattles were smaller when the knife has bigger mass.

**Keywords:** sugarcane, cutting energy, damages and shakes to ratoons

## **CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS**

### **1. Introdução**

Atualmente, o principal método de colheita de cana-de-açúcar nas regiões produtoras do Brasil consiste na colheita de cana crua. Tal método baseia-se na utilização de máquinas que efetuam o corte na base dos colmos, fracionando-os em rebolos para posterior descarga em um transbordo que leva a cana até a usina para ser transformada em seus subprodutos.

A colheita mecanizada é uma das operações mais importantes do ciclo produtivo devido ao seu alto valor econômico agregado, levando em consideração que ao desenvolver uma colheita de forma errônea, todas as operações efetuadas anteriormente terão sido em vão. Portanto, torna-se necessário direcionar a atenção para o mecanismo de corte basal das colhedoras, já que o corte é efetuado por meio do impacto de lâminas com o colmo da cana-de-açúcar. A ação do corte não pode-se tornar um problema dependendo do nível de desgaste das facas presentes no mecanismo de corte basal.

O contato das facas com o solo e com a cana causa desgaste por meio da perda das dimensões (espessura, massa e área) sendo imprescindível a troca eficiente das mesmas, uma vez que são os órgãos ativos do mecanismo, e a cada fração de segundo efetuam o corte nos colmos da cana-de-açúcar durante a operação de colheita.

Ao submeter os colmos ao corte com facas desgastadas, pode haver incremento nos índices de danos e abalos às soqueiras, pois com o desgaste, a espessura do fio de corte das facas aumenta. Os altos índices de danos e abalos às soqueiras estão relacionados à perda de produtividade nos cortes subsequentes, tendo em vista que os abalos às soqueiras causam o desprendimento das raízes do solo e os danos, a abertura de lacunas para ataques de fungos dentre outros patógenos.

Pressupõe-se que o desgaste das facas ao longo dos turnos de operação irá influenciar os danos e abalos às soqueiras e diminuir a qualidade da colheita e aumentar a demanda energética para efetuar o corte, objetivou-se avaliar o desgaste das facas de corte basal por meio da perda de área e aumento da espessura do fio de corte, levando em consideração a energia gasta pelas facas durante a ação do corte e verificar a qualidade do processo de colheita durante a evolução do desgaste, usando como indicadores de qualidade os danos e abalos às soqueiras.

A presente dissertação é dividida em 4 capítulos para a melhor compreensão do trabalho: No capítulo 1 está inserido o referencial teórico utilizado para o embasamento técnico-científico para a análise dos resultados obtidos nos capítulos seguintes. Em seguida, no capítulo 2 são apresentados e discutidos os resultados do desgaste das facas de corte basal por meio da perda de área e perda de medidas, bem como a energia gasta pelas facas para efetuar o corte e a qualidade do processo.

No capítulo 3 são abordados os resultados do ensaio para perda de massa das facas de corte basal e sua relação com a qualidade da colheita mecanizada realizada com uma colhedora CASE IH 8800 e facas de corte basal convencionais.

Por fim, no capítulo 4 encontram-se as considerações finais do trabalho.

## **1.1. Revisão bibliográfica**

### **1.1.1. Colheita mecanizada de cana-de-açúcar**

Devido às leis trabalhistas e a proibição da queima dos canaviais houve aumento exponencial na colheita mecanizada de cana-de-açúcar e juntamente ao aumento da mecanização vieram a redução de custos na colheita, maior capacidade operacional e a adequação a tais exigências ambientais e trabalhistas (Coelho et al., 2009). Além disso, quando comparados os custos da colheita mecanizada e manual, nota-se uma redução de 24% do custo da mecanizada em relação a manual (Socicana, 2017).

Os modelos de colhedoras mais comuns utilizados no Brasil, são as colhedoras de cana picada, que geralmente são compostas por: Despontadores que cortam as ponteiros da cana, após isso a cana é conduzida pelos divisores de linha e rolo tombador para a realização do corte basal. Após o corte é direcionada pelos rolos alimentadores aos rolos picadores, sendo cortada em rebolos. Depois de serem picadas, passam por extratores, em que parte das impurezas minerais e vegetais são removidas (John Deere, 2006).

Entretanto, a colheita mecanizada apresenta alguns problemas, como perda de qualidade da matéria prima (contaminação do material que chega na usina), perdas no campo (tocos, rebolos e colmos), danos e abalos às soqueiras, afetando diretamente a longevidade, rebrota e produção subsequente da área, além do pisoteio das linhas de cana-de-açúcar (Benedini e Conde, 2008).

Um dos maiores problemas causados pelas colhedoras no canavial estão no mecanismo de corte basal, em que é efetuado o corte da cana em sua base pelo impacto de discos rotativos com múltiplas lâminas (Mello e Harris, 2003). Durante o processo de corte, ocorre a penetração dos discos de corte no solo devido à sua geometria frontal não ser plana, o que causa revolvimento do solo e o corte impreciso dos colmos (Braunbeck e Magalhães, 2002).

A manutenção inadequada das facas das colhedoras prejudica as soqueiras, por meio do estilhaçamento e remoção dos colmos (Nussio e Schmidt, 2004). Entretanto, a maioria das colhedoras comercializadas nacionalmente, possuem os mecanismos de corte semelhantes, atuando então de maneira parecida, logo apresentam os mesmos problemas relacionados aos danos causados na área colhida (Gray, 2008; Castro Neto, 2011).

### **1.1.2. Desgaste das facas de corte basal, danos e abalos às soqueiras**

Um dos fatores com maior impacto sobre o desgaste abrasivo dos órgãos de trabalho de implementos e máquinas agrícolas são as condições de exploração, uma vez que incluem o meio e o tipo de solo a ser trabalhado (Herrera et al., 2010). Portanto, o contato das facas de corte basal com o solo, que é um mecanismo de

desgaste acarreta em seu desgaste prematuro, piorando a qualidade do corte ao longo das horas de trabalho (Holanda, 2016).

O solo influencia o desgaste acentuado das facas de corte basal por meio da perda de massa e medidas, o que incrementa o grau de danos às soqueiras de cana-de-açúcar (Reis et al., 2015). O desgaste, ou seja, a espessura das faces cortantes e a perda de massa aumentam com as horas de uso das facas de corte basal (Toledo, 2012).

Quando ocorre o monitoramento eficiente do desgaste das facas, conseqüentemente ocorrerão menores danos às soqueiras (Reis et al., 2015). A deficiência no controle do desgaste das facas de corte basal pode aumentar as perdas e reduzir a qualidade da cana colhida, além de aumentar os danos nas soqueiras, seja por sua remoção ou pelo corte inadequado (Salvi et al., 2007).

O fato de o corte basal da cana-de-açúcar ser efetuado por meio de um disco rotativo equipado com lâminas torna o processo de corte um dos principais responsáveis pelos danos às soqueiras, facilitando a entrada de patógenos no colmo (Mello e Harris, 2003).

O desgaste das facas do mecanismo de corte basal relacionado à perda de massa, aumento da espessura do fio de corte e perda de área, influencia os danos e abalos às soqueiras (Cassia et al., 2014; Voltarelli et al., 2015).

Uma vez danificada, a soqueira fica sujeita à ação de organismos patogênicos, além da possibilidade de remoção ou destruição das gemas presentes nos colmos, as quais são responsáveis pela brotação e desenvolvimento da rebrota do canavial (Volpato, 2001).

Na rebrota após o corte, que o número de colmos rebrotados foi superior nos pontos onde as facas de corte basal ainda estavam novas quando comparado com a rebrota dos colmos onde se utilizou facas desgastadas (Santos, 2008).

### 1.1.3. Controle Estatístico de Processos

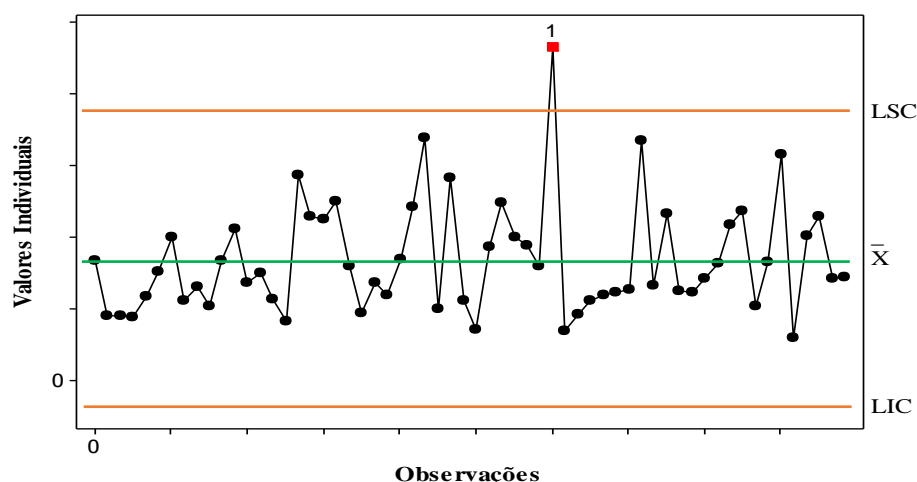
O Controle Estatístico de Processos (CEP) está inserido dentro do Controle Estatístico de Qualidade (CEQ), e é muito utilizado na área industrial para monitorar e reduzir variação de processos produtivos, o que conseqüentemente aumenta a qualidade do produto final (Montgomery, 2009).

É fundamental a utilização do CEP em experimentos para que o número de defeitos no seu produto final seja reduzido. Além da implementação de método, é essencial que os funcionários participem de treinamentos para que a melhoria e a diminuição das falhas sejam atingidas, o que proporcionará melhor qualidade e produtividade (Hessler, 2008).

A utilização do CEP para avaliações de natureza agrônômica está tornando-se muito difundida entre os autores tendo em vista que os processos agrônômicos também necessitam de acompanhamento ponto a ponto para o melhor entendimento dos mesmos. (Cassia et al., 2013; Noronha et al., 2011; Silva et al., 2008; Toledo et al., 2008; Voltarelli et al., 2017).

As ferramentas mais aplicáveis em operações agrícolas são as cartas de controle, sendo estas uma alternativa para aumentar o nível de qualidade de variáveis (Silva et al., 2013). A finalidade das cartas de controle de maneira geral é detectar as possíveis variações externas ao processo sempre levando em consideração até que ponto a melhoria contínua de um processo não afeta os custos de produção (Voltarelli, 2013).

As cartas de controle de valores individuais (Figura 1) são formadas por uma linha central que representa a média geral, bem como os limites superior e inferior de controle (LSC e LIC), calculados com base no desvio padrão das variáveis, (LSC = média mais três vezes o desvio padrão; LIC = média menos três vezes o desvio padrão, quando maior que zero) (Montgomery, 2009).



**Figura 1:** Modelo de carta de controle de valores individuais. LSC: Limite superior de controle;  $\bar{X}$ : Média; LIC: Limite inferior de controle.

## 1.2. Referências bibliográficas

Benedini MD, Conde AJ (2008) Espaçamento ideal de plantio para a colheita mecanizada da cana-de-açúcar. **Coplana** 52: 26-28.

Braunbeck AO, Magalhães PSG (2002) Segmento do perfil do solo no corte e/ou levantamento de produtos agrícolas rasteiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 6: 151-8.

Cassia MT, Silva RP, Chioderolli CA, Noronha RHF, Santos EP (2013) Quality of mechanized coffee harvesting in circular planting system. **Ciência Rural** 43: 28–34.

Cassia MT, Silva RP, Paixão CCS, 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.

Castro Neto F (2011) **Dispositivo acessório de corte aplicável a colhedoras combinadas de cana-de-açúcar**. PI0901295-8 A2.

Coelho MF (2009) **Planejamento da qualidade no processo de colheita mecanizada da cana-de-açúcar**. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Esalq, Piracicaba.

Gray GR (2008) **Metodologia de projeto de suspensão pantográfica para corte de base de cana-de-açúcar**. 84 f. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Herrera MS, Iglesias CC, González CO, López BE, Sánchez IÁL (2010) Análisis de los factores que inciden en el desgaste de los órganos de trabajo de los aperos de labranza. **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias** 19: 1-9.

Hessler CV (2008) **Aplicação de controle estatístico de processo na empresa “Metasa” como uma ferramenta de competitividade**. 120 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal de Caixias do Sul, Caixias do Sul.

Holanda LA (2016) **Desgaste das facas do corte de base na colheita mecanizada afetando o crescimento e a produtividade da cana-de-açúcar**. 78 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

JOHN DEERE. **Colhedora de cana John Deere 3510**: Manual do operador. 6. ed. Edição Sul Americana: Deere & Company, 2006. 238 p.

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.

Montgomery DC (2009) Introdução ao controle estatístico da qualidade. Rio de Janeiro: LTC. 528p.

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.

Nussio LG, Schmidt P (2004) **Tecnologia de produção e valor alimentício de silagens de cana-de-açúcar**. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, **Anais...** Maringá: Universidade Estadual de Maringá, p.1-33.

Reis GN, Voltarelli MA, Silva RP, Toledo A, Lopes A. (2015). Qualidade do corte basal na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em dois tipos de manejo do solo. **Comunicata Scientiae** 6: 143–153.

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.

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) - Unesp, Jaboticabal.

SOCICANA. **Custo médio operacional**. Disponível em: <http://socicana.com.br/2.0/wp-content/uploads/custos-producao-media-10-17.pdf>.

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

Silva RP, Cassia MT, Voltarelli MA, Compagnon AM, Furlani CEA (2013) Qualidade da colheita mecanizada de feijão (*Phaseolus vulgaris*) em dois sistemas de preparo do solo. **Revista Ciência Agrônômica** 44: 61-69.

Toledo A, Tabile RA, Silva RP, Furlani CEA, Magalhães SC, Costa BO (2008) Caracterização das perdas e distribuição de cobertura vegetal em colheita mecanizada de soja. **Engenharia Agrícola** 28: 710-719.

Toledo A (2012) **Qualidade do corte basal na colheita mecanizada de cana-de-açúcar**. 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Área de concentração em Ciência do Solo) – Unesp, Jaboticabal.

Volpato CES (2001) **Otimização de um cortador de base flutuante para seguimento do perfil de solo em colhedoras de cana-de-açúcar**. 204 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Voltarelli MA (2013) **Qualidade da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar nos turnos diurno e noturno**. 168 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Unesp, Jaboticabal.

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 Agrônômica** 48: 438–447.

## **CAPÍTULO 2 – Demanda energética para o corte basal de cana-de-açúcar**

**RESUMO** - A ineficiente utilização das facas presentes no mecanismo de corte basal das colhedoras de cana-de-açúcar prejudica a qualidade da colheita por aumentar a demanda energética do corte. Objetivou-se avaliar a perda de área e aumento da espessura do fio de corte das facas de corte basal na demanda energética do corte da cana-de-açúcar. O delineamento utilizado foi o delineamento inteiramente casualizado para o desgaste das facas (perda de massa e aumento da espessura do fio de corte). Os dados foram analisados pela estatística descritiva geral e teste de médias para a comparação dos indicadores de qualidade e cartas de controle de valores individuais. Os desgastes das facas diferiram entre si tanto para aumento de espessura quanto para perda de área e houve aumento da demanda energética para efetuar o corte da cana-de-açúcar.

**Palavras-chave:** desgaste de facas, colheita mecanizada, qualidade do corte

**ABSTRACT** – The inefficient use of the knives present in the basal cutting mechanism of the sugarcane harvesters harms the quality of the harvesting by increasing the energy demand of the cutting. The objective with this study was to evaluate the loss of area and increase of the thickness of the cutting wire of the basal cutting knives in the energy demand of the sugar cane cut. The design was a completely randomized design for knife wear (loss of mass and increase of cutting wire thickness). Data were analyzed by general descriptive statistics and averages test for the comparison of quality indicators and individual values control charts. Knife wear differed for thickness increase and area loss and there was an increase in energy demand to cut the sugarcane.

**Keywords:** wear of knives, mechanized harvest, quality of cutting

### **2.1. Introdução**

A colheita mecanizada de cana-de-açúcar está relacionada a perdas qualitativas nos canaviais tendo em vista que as facas presentes no mecanismo de corte basal ao se desgastarem causam danos e abalos às soqueiras (Voltarelli et al., 2015; Cassia et al., 2014; Silva et al., 2008).

Na colheita mecanizada de cana-de-açúcar, o corte de base se dá pela ação de discos contendo múltiplas facas (Mello, 2005), que devido ao contato com o solo e com a cultura, se desgastam causando estragos aos canaviais (Santos, 2008).

O desgaste abrasivo é uma das causas da deterioração de elementos presentes em máquinas agrícolas, sendo tal abrasão acompanhada por um impacto econômico significativo devido a manutenção e substituição (Perez, 2013).

O procedimento de abrasão das facas de corte, influencia a capacidade de corte da lâmina e determina a força e a energia operacional (Schuldt et al, 2013). O desgaste pode ser quantificado por meio da perda do material cortante da ferramenta, seja esta perda de área, de massa ou aumento da espessura do fio de corte.

A utilização do Controle Estatístico de Processos (CEP) para acompanhamento de processos agrônômicos torna-se importante, pois proporciona melhor percepção do mesmo. Sendo assim, a utilização do CEP vem sendo difundida entre cientistas que utilizam as cartas de controle para identificar a manifestação de causas especiais decorrentes da instabilidade de processos (Cassia et al., 2013; Noronha et al., 2011; Toledo et al., 2008; Voltarelli et al., 2017).

Pressupondo-se que o desgaste decorrente do tempo de uso das facas de corte basal proporciona incremento na energia necessária para as facas efetuarem o corte. Objetivou-se por meio do presente trabalho avaliar o quanto a demanda energética para o corte basal de cana-de-açúcar é afetada pelo desgaste das facas do cortador de base.

## **2.2. Material e métodos**

O experimento foi realizado aos dias 26 e 27 de junho de 2017 em uma área agrícola comercial do município de Nova Europa/SP, próximo às coordenadas geodésicas 21°44'S e 48°32'O, com altitude média de 618 metros e apresentando relevo suave ondulado.

O solo da área experimental foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico de textura média (franco-argilo-arenosa), contendo no horizonte A em profundidades entre 0 e 20 cm, 25% Argila, 3% Silte e 72% Areia (EMBRAPA, 2013). O clima da região foi classificado como Aw (Köppen, 1948), definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, com temperatura média

anual em torno de 20,5°C. A amplitude térmica anual possui temperatura anual mínima de 16°C e a temperatura mais quente em torno de 29,3°C. Com precipitação pluviométrica média anual de 1.350 mm.

A variedade de cana-de-açúcar colhida foi a RB867515, encontrando-se em 1º corte com 13 meses de idade, plantada em espaçamento simples de 1,5 m entre linhas, com produtividade média de 131 t ha<sup>-1</sup>.

A operação de colheita foi realizada utilizando-se uma colhedora Case IH A8800 Equipada com motor Case IH C9 – Potência nominal/máxima: 358 cv (260 kW). A colhedora se deslocou à velocidade média de 3,5 km h<sup>-1</sup>, com 1800 rpm de rotação do motor e largura de trabalho 1,5 m colhendo uma fileira de cana-de-açúcar por passada.

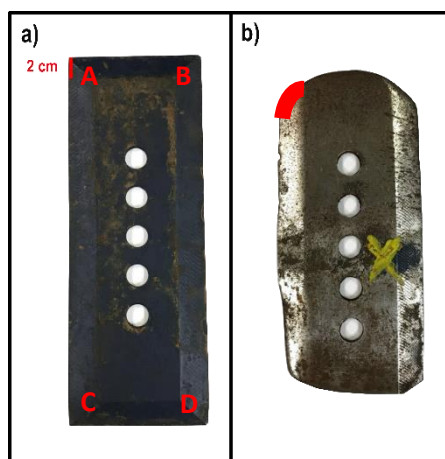
Para o desenvolvimento do experimento foram utilizadas facas convencionais com 5 furos e dimensões de 90x240 mm (Figura 1), contendo ácido bórico em sua composição, 0,35% de carbono e dureza de 52 a 56 segundo a Escala de Dureza de Rockwell (HRC), posicionadas no disco a partir do 2º furo. A pressão do corte de base durante toda a operação manteve-se em média em 6950 kPa.

A avaliação de desgaste das facas seguiu o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com dois tratamentos e 10 repetições. Os tratamentos foram definidos pela condição das facas, sendo facas novas (0 h) e facas usadas (32 h de uso). Foram avaliadas dez facas. O desgaste foi avaliado por meio da quantificação da perda do fio de corte (aumento da espessura do fio) e da perda de área decorrente do tempo de uso das facas durante os turnos de operação.

A avaliação da perda de área e aumento da espessura do fio de corte seguiu-se durante quatro turnos de operação efetuando-se assim, uma avaliação do desgaste das facas nos turnos vespertino: (16h-0h); noturno: (0h-8h), matutino: (8h-16h) e vespertino (16h-0h) denominados turnos 1, 2, 3 e 4 respectivamente.

Ao final de cada turno as facas foram retiradas do mecanismo de corte basal, lavadas com água, raspadas com a lâmina de uma faca e, posteriormente, limpas com a ajuda de um tecido.

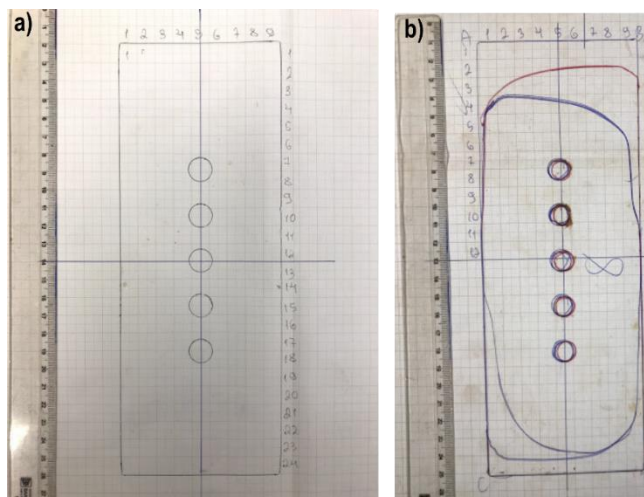
A espessura do fio de corte foi quantificada por meio da utilização de um paquímetro digital. A medição foi efetuada 2 cm abaixo borda da faca em seus quatro lados (A, B, C e D) (Figura 1a) quando a faca ainda estava nova, e quando desgastada efetuou-se no local onde era ocorrido o impacto (Figura 1b).



**Figura 1.** Pontos de avaliação da perda de medidas nas facas.

a) Faca nova; b) Faca usada (desgastada); A, B, C e D: lados da faca.

A perda de área das facas de foi verificada por meio da análise de imagens utilizando o software para cálculo de áreas ImageJ<sup>®</sup>. Durante as avaliações de perda de medidas foram efetuados desenhos dos limites das facas em papel milimétrico (Figura 2). No laboratório, efetuou-se o escaneamento dos desenhos dos limites das facas e partir dos mesmos foi efetuado o ajuste para o tamanho real das facas no software e verificou-se a perda de área das facas ao final das 32 horas de uso por meio da diferença entre a área das facas usadas e facas novas (21.600mm<sup>2</sup>).



**Figura 2:** Contornos das facas para verificação da perda de área. a) Contorno faca nova; b) Contorno faca usada.

A quantificação da demanda energética das facas para efetuar o corte, foi efetuada pelo cálculo de energia potencial, por meio de ensaio de impacto utilizando um martelo pendular acoplado a uma máquina de ensaios modelo JB-W300A (Figura 3). Utilizou-se metodologia adaptada de ASTM (2002) sendo o martelo pendular adaptado para acoplar as facas de corte. Os corpos de prova ao invés de serem metálicos, foram os colmos da cana-de-açúcar. A partir do ensaio foi verificada a quantidade de energia absorvida pela cana durante o corte efetuado pelas facas novas e usadas (0 e 32 h de desgaste, respectivamente). As lâminas utilizadas para o ensaio foram as mesmas utilizadas no experimento, bem como a mesma variedade da cana-de-açúcar.



**Figura 3:** Máquina JB-W300A com faca de corte basal acoplada no martelo pendular e colmo de cana-de-açúcar como corpo de prova.

Foi gerada a análise de estatística descritiva geral para os indicadores danos e abalos às soqueiras e para o desgaste das facas foi gerada análise de estatística descritiva geral, análise de variância (ANOVA) fator único pelo teste F de Snedecor a 5% de significância para evitar a existência ou não de diferenças significativas entre as médias das variáveis analisadas e, quando significativo, aplicou-se o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para a comparação das médias e foram elaboradas cartas de controle de valores individuais. Para realização das análises, utilizou-se o software MINITAB®.

As cartas de controle apresentam os indicadores de qualidade em cada ponto avaliado, tendo como linha central a média das observações e duas linhas com os limites inferior e superior de controle (LIC e LSC), que são calculados tomando como base o desvio padrão das variáveis (Montgomery, 2009).

### 2.3. Resultados e discussão

A média das áreas de corte basal diferiram entre os turnos (Tabela 1). Notou-se que, embora a área das facas medida ao início e às 8 h de uso não tenham diferido entre si, o desgaste (perda de área) foi mais acentuado neste período. Constatou-se também que apenas a partir das 16h de uso, a área das facas diferiu da área inicial.

Não existem trabalhos na literatura atualmente que abordam a perda de área das facas de corte basal, porém, Holanda (2016), verificando o desgaste lateral das facas de corte basal durante 5 horas de trabalho, relatou que o maior desgaste ocorreu na primeira hora de trabalho, resultado que corrobora com os do presente trabalho, pois a redução das laterais das facas, significa também uma perda de área.

Ao verificar a porcentagem das perdas de área, foi notado que ao final dos quatro turnos (32 h), a perda foi de 3.267 mm<sup>2</sup> (15,1%) da área total da faca. Tal diminuição se deu pelo atrito entre as facas com o solo e com a própria cana. Sendo a perda de área relacionada a perda de massa, haverá consequências ao canavial pois sabe-se que quanto maior é o desgaste geral das facas, maior é a incidência de danos às soqueiras (Voltarelli et al., 2017).

Holanda (2016), relatou que os danos às soqueiras estão relacionados a diminuição da rebrota nas safras subsequentes ao corte, diminuindo assim, a produtividade e conseqüentemente a longevidade dos canaviais.

A diminuição de área das facas de corte basal influencia para a causa de danos e abalos às soqueiras, tendo em vista que esta perda está relacionada também à perda de medidas como o aumento da espessura do fio de corte e perda de massa.

Além da causa de danos e abalos às soqueiras, ao diminuir a área das facas, principalmente em suas bordas longitudinais é necessário também a diminuição da altura de corte, tendo em vista que com altura de corte elevada, as facas desgastadas e curtas nas extremidades não atingem o alvo (colmo).

Os elevados valores de desvio padrão das amostras demonstraram que os dados se distanciaram mais das médias ao decorrer dos turnos. Os coeficientes de

variação das perdas de área foram classificados como altos e muito altos segundo Pimentel-Gomes e Garcia (2002).

Para a condição 0h (Faca nova), os coeficientes de assimetria e curtose foram iguais a zero, o que demonstra a simetria dos dados, uma vez que devido ao processo de fabricação, as facas são todas moldadas, resultando em áreas iniciais iguais. Os coeficientes para a condição 8 e 32 h (Facas com 8 e 32 horas de uso), demonstraram assimetria negativa dos dados, no qual os mesmos estão mais concentrados à direita em relação à média. Já as condições 16 e 24h apresentaram assimetria negativa, no qual os dados estão mais dispersos à esquerda, e grau de achatamento da curva de distribuição mais afilado, formando uma curva leptocúrtica.

**Tabela 1.** Estatística descritiva geral para a área das facas de corte basal entre os turnos.

Condição	Média de área (mm <sup>2</sup> )				
	$\bar{X}$ (mm <sup>2</sup> )	$\sigma$	CV (%)	Cs	Ck
Faca nova	21.600a	0	0	0	0
8h	19.610ab	679	7,71	0,01	-0,62
16h	18.841b	1972	24,52	-1,60	2,93
24h	18.643b	1339	17,78	-1,50	2,67
32h	18.333b	798	10,18	0,40	-0,96

$\bar{X}$  - média geral;  $\sigma$  – desvio padrão; CV (%) – Coeficiente de variação; Cs – Coeficiente de assimetria; Ck – Coeficiente de curtose. Letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \*Porcentagem média acumulada de perda de área ao longo dos turnos.

Verificou-se que, atrelado à perda de área das facas, também ocorreu incremento na espessura do fio de corte das mesmas durante os turnos de operação (Tabela 2). A evolução do desgaste das facas de corte basal ao longo do tempo, encontrou resultados significativos para a diminuição da qualidade do corte após a quinta hora de uso das facas (Holanda, 2016). Neste caso, a espessura das facas diferiu já após o primeiro turno, comprovando que o desgaste foi significativo.

Foi notado que ao final do quarto turno, houve incremento de 2,15 mm no fio de corte, o que representa aproximadamente 59% mais espessura quando comparado

com as facas novas. Tal incremento, segundo Voltarelli et al., (2015) pode prejudicar a rebrota do canavial no corte subsequente, já que o aumento da espessura se transforma em um agente causador de danos e abalos às soqueiras.

O desvio padrão das amostras demonstrou que os dados estavam mais dispersos da média nos turnos 2 e 4, e o coeficiente de variação das amostras segundo Pimentel-Gomes e Garcia (2002), foi considerado alto apenas para a condição de faca com 16 h de desgaste, sendo considerado baixo para os demais.

Os coeficientes de assimetria e curtose para a condição de faca nova manteve-se próximo de zero, indicando distribuição dos dados uniforme em torno da média. Quanto ao turno um (8 h de uso das facas), os resultados indicam uma assimetria negativa, no qual os dados estão agrupados à direita em relação a curva de distribuição normal, e quanto ao grau de achatamento da curva (curtose), o valor positivo indica uma curva mais afilada (leptocúrtica). Os turnos dois, três e quatro (16, 24 e 32 h de uso das facas) indicaram uma assimetria positiva, no qual os dados estão mais agrupados à esquerda em relação à média.

O incremento no fio de corte ao longo dos turnos representa que, para o solo avaliado deve-se atentar-se para a inversão das facas em menores intervalos de tempo durante os turnos, tendo em vista que com facas com fio de corte menos espesso, existe maior uniformidade do corte.

**Tabela 2.** Estatística descritiva geral para o aumento da espessura do fio de corte das facas entre os turnos.

Condição	Espessura do fio de corte (mm)				
	$\bar{X}$	$\sigma$	CV (%)	Cs	Ck
Faca nova	1,49a	0,08	5,12	0,54	0,0
8h	1,96b	0,11	5,73	1,37	2,49
16h	2,51c	0,294	11,71	-0,50	-2,80
24h	2,97d	0,254	8,55	-0,14	-0,02
32h	3,64e	0,291	7,99	-1,29	1,21

$\bar{X}$  - média geral;  $\sigma$  – desvio padrão; CV (%) – Coeficiente de variação. Letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Cs – Coeficiente de assimetria; Ck – Coeficiente de curtose.

A energia absorvida pelo colmo da cana no momento do corte (Tabela 3) apresentou diferença estatística, com a faca nova demandando em média, 16,4% menos energia para efetuar o corte da cana-de-açúcar em relação às facas com 32 h de desgaste.

O aumento da demanda energética para efetuar o corte pode ser atribuído à perda de medidas das mesmas ao longo dos turnos de operação. Este aumento na demanda de energia indica que efetuar o corte utilizando facas desgastadas pode influenciar no aumento da pressão do corte de base já que a pressão é calculada pela relação da força e da área. Uma lâmina afiada exerce menor força no material a ser cortado, o que reduz o impacto do corte e, conseqüentemente, provoca menor dano ao colmo (Mello, 2011).

O coeficiente de variação foi considerado como alto para a faca nova e baixo para a faca usada segundo Pimentel-Gomes e Garcia (2002). A diminuição do coeficiente de variação para a faca usada, pode ser justamente atribuída à uniformidade no desgaste, já que ocorre um adensamento do material ao longo das horas. Os coeficientes de assimetria e curtose para a faca nova manteve-se próximo de 0, indicando que os dados são simétricos para esta variável, ou seja, estão mais concentrados ao centro da curva de distribuição normal, tal resultado demonstra que a média, moda e mediana estão muito próximas. Quanto ao coeficiente de curtose, o mesmo indicou uma curva mesocúrtica. A situação foi semelhante para as facas 1 e 10.

**Tabela 3.** Estatística descritiva geral para a demanda de energia das facas para efetuar o corte.

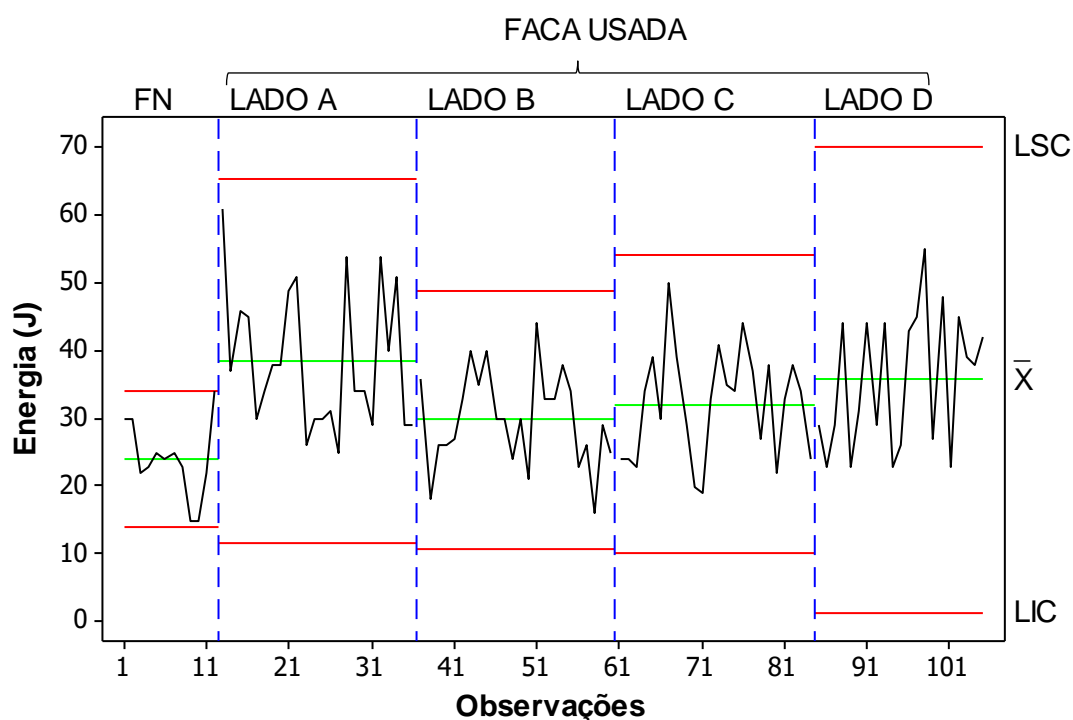
Condição	Demanda energética (J)							
	$\bar{X}$	** (%)	$\sigma$	CV	Cs	Ck	RJ	p-Valor
FN (0h)	24,00a	0	5,61	23,37	-0,03	0,07	0,978	0,226 <sup>N</sup>
FU (32h)	28,71b	16,4	0,67	2,36	-0,38	-0,10	0,987	0,100 <sup>N</sup>

FN - Faca Nova; FU – Faca Usada;  $\bar{X}$  - média geral;  $\sigma$  – desvio padrão; CV (%) – Coeficiente de variação. Letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \*\*Porcentagem média da energia gasta pelo corte das facas desgastada em relação a faca nova. <sup>N</sup>: Distribuição normal pelo teste de Ryan Joiner ( $P > 0,05$ ); <sup>A</sup>: Distribuição não normal pelo teste de Anderson Darling ( $P < 0,05$ ).

Quanto ao processo do corte efetuado pelas facas novas e facas usadas, observou-se que as maiores médias de energia, como verificado na Tabela 3, foram encontradas na situação de faca desgastada, comprovando que o menor desgaste (faca nova) influenciou para um menor gasto de energia (Figura 4).

Além do desgaste influenciar a demanda energética, influencia também a qualidade da superfície do corte. Sendo assim, havendo melhor uniformidade no corte, é correto afirmar que também haverá melhor uniformidade do material deixado no campo para rebrota no caso da cana-de-açúcar (Schuldt et al., 2013).

Sob a óptica do CEP (Figura 4), observou-se que a menor variabilidade dos dados foi encontrada quando a faca estava nova, o que pode resultar em melhor qualidade do processo de corte. O resultado expressa que ao utilizar uma faca nova (com fio de corte menos espesso e maior massa), haverá uma melhor uniformidade no corte.



**Figura 4:** Carta de controle de valores individuais para a demanda energética das facas para efetuar o corte. FN: Faca Nova; LSC: Limite superior de controle;  $\bar{X}$ : Média; LIC: Limite inferior de controle.

## 2.4. Conclusão

A demanda energética para o corte basal de cana-de-açúcar aumenta com o tempo de uso das facas, notadamente devido ao aumento da espessura do fio de corte e da diminuição de área causados pelo desgaste.

## 2.5. Referências bibliográficas

ASTM - American Society for Testing and Materials Standard E 23 (2002) Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials.

Cassia MT, Silva RP, Chioderolli CA, Noronha RHF, Santos EP (2013) Quality of mechanized coffee harvesting in circular planting system. **Ciência Rural** 43: 28–34.

Cassia MT, Silva RP, Paixão CCS, 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.

EMBRAPA (2013) Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos. 353p.

Holanda LA (2016) **Desgaste das facas do corte de base na colheita mecanizada afetando o crescimento e a produtividade da cana-de-açúcar**. 78 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

Koppen W (1948) Climatologia: Con um estudo de los climas de la Tierra. **Fondo de Cultura Economico** 1948. 561p.

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 (2011) **Utilização de lâminas serrilhadas no corte basal da cana-de-açúcar**. 2011. 104 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Unesp, Botucatu.

Montgomery DC (2009) Introdução ao controle estatístico da qualidade. Rio de Janeiro: LTC. 528p.

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.

Perez FM (2013) Selección de materiales y tratamiento térmico para el trabajo en suelos. **Revista Ingeniería Agrícola** 3: 40-44.

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

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) - Unesp, Jaboticabal.

Schuldt S, Arnold G, Roschy J, Schneider Y, Rohm H (2013) Defined abrasion procedures for cutting blades and comparative mechanical and geometrical wear characterization. **Wear**, v. 300: 8-43.

Silva RP, Correa 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, Tabile RA, Silva RP, Furlani CEA, Magalhães SC, Costa BO (2008) Caracterização das perdas e distribuição de cobertura vegetal em colheita mecanizada de soja. **Engenharia Agrícola** 28: 710-719.

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 Agrônômica** 48: 438–447.

### **CAPÍTULO 3 – A perda de massa das facas de corte basal influencia os danos e abalos às soqueiras de cana-de-açúcar?**

**RESUMO** – A crescente utilização da mecanização na colheita de cana-de-açúcar pode trazer riscos às produtividades dos canaviais. Os danos e abalos às soqueiras causados pela operação de colheita mecanizada podem acarretar em prejuízos econômicos. Objetivou-se avaliar a qualidade do processo de colheita durante a evolução do desgaste das facas de corte basal, usando como indicadores de qualidade os danos e abalos às soqueiras ao início e ao final dos turnos de operação. O delineamento utilizado seguiu as premissas do Controle Estatístico de Processos (CEP), no qual os pontos foram coletados de acordo com o tempo. Foi realizada análise de estatística descritiva geral e teste de médias para a comparação dos indicadores de qualidade e cartas de controle de valores individuais. Os desgastes das facas ao início e ao final dos turnos diferiram entre si, sendo os turnos iniciais os que apresentaram menores índices de danos e abalos. A perda de massa das facas influencia o aumento de danos e abalos na colheita mecanizada de cana-de-açúcar.

**Palavras-chave:** desgaste de facas, colheita mecanizada, qualidade de operação

**ABSTRACT** – The increasing use of mechanization in the harvesting of sugarcane can bring risks to the sugarcane fields productivities. Damage and shakes to ratoons caused by the mechanized harvesting operation can result in economic losses. The objective with this study was to evaluate the quality of the harvesting process during the evolution of the wear of the basal cutting knives, using as quality indicators the damages and shakes to the ratoons at the beginning and end of the operation shifts. The design used followed the premises of the Statistical Process Control (SPC), in which the points were collected according to the time. General descriptive statistics analysis and averages test were performed for the comparison of quality indicators and control charts of individual values. Knife wear at the beginning and at the end of the shifts differed, with the initial shifts having the lowest rates of damage and shaking. The loss of mass of the knives influences the increase of damages and shakes in the mechanized harvest of sugarcane.

**Keywords:** wear of knives, mechanized harvest, quality of operation

#### **3.1. Introdução**

A colheita mecanizada de cana-de-açúcar apresenta-se como o principal método de corte de cana crua nas regiões produtoras do Brasil. Tal crescimento se deu devido a proibição gradativa da queima do canavial em áreas mecanizáveis e não mecanizáveis no país.

A utilização de tal método de colheita proporciona a preservação da microbiota do solo, diminuição de poluentes para a atmosfera dentre outros fatores, tendo em vista que quando se colhe de forma mecanizada, a queima prévia dos canaviais não é necessária, porém, o conjunto de facas presente no mecanismo de corte da colhedora sofre desgaste devido ao atrito com o solo e com a própria cana provocando danos e abalos às soqueiras.

A incidência de danos e abalos às soqueiras durante o corte na colheita mecanizada pode comprometer a produtividade do canavial nos próximos cortes. Verificaram ainda que a medida em que as facas vão sofrendo desgaste, devem ser efetuadas as inversões das faces cortantes, a fim de evitar a ocorrência destes danos e abalos (Voltarelli et al., 2015).

Os mecanismos de desgaste contribuem para a perda de medidas de uma ferramenta de corte. E a abrasão, ou seja, o desgaste deste metal é causado por partículas do material de trabalho que recua a ferramenta de corte e gera perda de massa por meio do movimento relativo aplicado (Binder et al., 2017).

A produtividade da cana-de-açúcar apresenta diminuição de 32,42% entre o primeiro e o quinto cortes (CONAB, 2017). A produtividade da cana-de-açúcar no primeiro corte e em seus cortes subsequentes é dependente de fatores como clima e tratamentos culturais, porém, durante a colheita os danos e abalos às soqueiras se encaixam entre estes fatores pois tal ação antrópica pode influenciar para a ação de fungos e doenças.

O controle estatístico de processos (CEP) torna-se fundamental para a avaliação do processo de colheita pois proporciona melhor percepção do mesmo, indicando seus pontos fortes e fracos e possíveis melhorias. Diante disto, a utilização do CEP vem sendo muito difundida entre autores para avaliar indicadores de qualidade por meio das cartas de controle, que são utilizadas geralmente para identificar causas não aleatórias ou causas especiais decorrentes da instabilidade do processo (Cassia et al., 2013; Toledo et al., 2008; Voltarelli et al., 2017).

Partindo do pressuposto de que o desgaste das facas de corte basal é um agente amplificador dos danos e abalos às soqueiras, contribuindo para a redução da

longevidade do canavial. Objetivou-se avaliar a qualidade corte basal na colheita durante a evolução do desgaste das facas, usando como indicadores de qualidade os danos e abalos às soqueiras ao início e ao final dos turnos de operação.

### **3.2. Material e métodos**

O experimento foi realizado em junho de 2017 em uma área agrícola comercial do município de Nova Europa/SP, próximo às coordenadas geodésicas 21°44'S e 48°32'O, com altitude média de 618 metros e apresentando relevo suave ondulado.

O solo da área experimental foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico de textura média (franco-argilo-arenosa), contendo no horizonte A em profundidades entre 0 e 20 cm, 25% Argila, 3% Silte e 72% Areia (EMBRAPA, 2013). O clima da região foi classificado como Aw (Köppen, 1948), definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, com temperatura média anual em torno de 20,5°C. A amplitude térmica anual possui temperatura anual mínima de 16°C e a temperatura mais quente em torno de 29,3°C. Com precipitação pluviométrica média anual de 1.350 mm.

A variedade de cana-de-açúcar colhida foi a RB867515, encontrando-se em estado 1º corte com 13 meses de idade, plantada em espaçamento simples de 1,5 m entre linhas, com produtividade média de 131 Mg ha<sup>-1</sup>.

A operação de colheita foi realizada utilizando-se uma colhedora Case IH A8800 Equipada com motor Case IH C9 – Potência nominal/máxima: 358 cv (263,5 kW) a 1.800 rpm. A colhedora se deslocou a uma velocidade média de 3,5 km h<sup>-1</sup> durante a operação de colheita, com 1800 rpm de rotação do motor e largura de trabalho 1,5 m colhendo uma fileira de cana-de-açúcar por passada.

O delineamento experimental utilizado seguiu as premissas do controle estatístico de processos (CEP), no qual o monitoramento foi feito ao longo do tempo para a avaliação dos danos e abalos às soqueiras. A avaliação de desgaste das facas seguiu o delineamento inteiramente casualizado (DIC), no qual foi quantificada a perda de massa decorrente do tempo de uso das facas de corte basal durante os

turnos de operação por meio do uso de uma balança com resolução de 0,001 kg<sup>-1</sup>, na primeira e última hora de uso das facas durante os turnos.

Os indicadores de qualidade analisados foram os danos e abalos às soqueiras no tempo de uso inicial e final do lado da faca (primeira e última hora de uso das facas em cada turno de 8 horas de operação). Foram avaliados 3 turnos: vespertino: (16h-0h); noturno: (0h-8h) e diurno: (8h-16h) denominados turnos 1, 2 e 3 respectivamente. Para o desenvolvimento do experimento foram utilizadas facas de aço convencionais com 5 furos, contendo ácido bórico em sua composição e 0,35% de carbono e 52 a 56 Hrc na escala de dureza, posicionadas no disco a partir do 2º furo. A pressão do corte de base durante toda a operação manteve-se em média em 6950 kPa.

A avaliação dos danos às soqueiras foi efetuada por três avaliadores, que efetuavam a medição de danos e abalos de todos os colmos presentes em uma área amostral de 0,75 m<sup>2</sup> (1,5 x 0,5m) (Figura 1) utilizando a metodologia adaptada de (Toledo et al., 2013). A classificação dos danos causados às soqueiras foi efetuada em três categorias (Tabela 1), de acordo com a Equação 1:


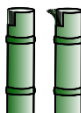
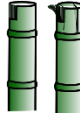
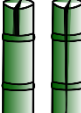
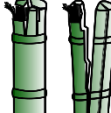

$$ID = \frac{(PSD \times nSD) + (PDP \times nDP) + (PDF \times nDF)}{n} \quad (1)$$

Em que, ID - Índice de danos às soqueiras; PSD - peso atribuído aos colmos sem danos (0); nSD - quantidade de colmos sem danos; PDP - peso atribuído aos colmos com dano periférico (0,33); nDP - quantidade de colmos com dano periférico; PDF - peso atribuído aos colmos com danos fragmentados (1); nDF - quantidade de colmos com dano fragmentado; n - número total de colmos na soqueira.



**Figura 1:** Avaliação de danos às soqueiras em área de 0,75m<sup>2</sup>

**Tabela 1:** Classificação dos danos às soqueiras.

Classificação	Limite Inferior	Limite Superior	Peso
Sem Danos (SD)			0
Danos Periféricos (DP)			0,33
Danos Fragmentados (FR)			1

Fonte: Oliveira, L. P. (2018). Adaptado de Mello & Harris (2003).

Os abalos às soqueiras foram classificados por meio da metodologia apresentada por (Cassia e Silva, 2015) de acordo com a Equação 2:

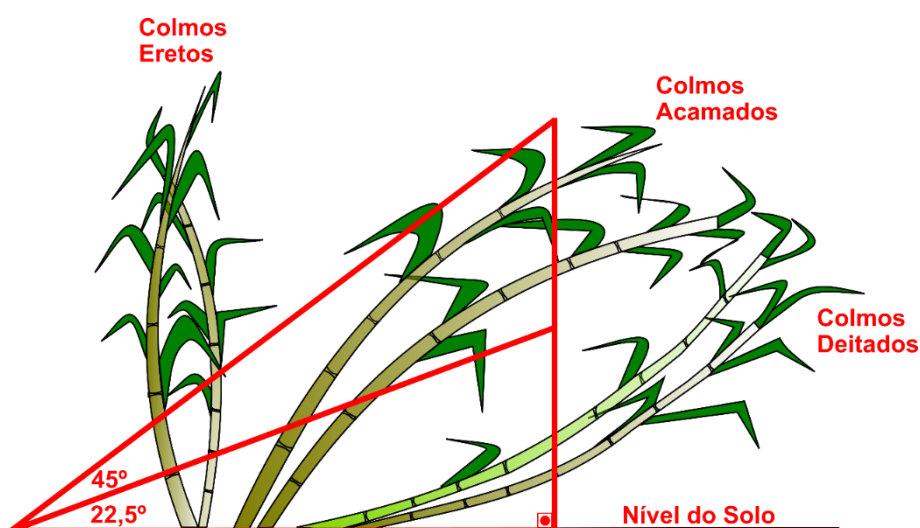
$$IA = \frac{(PAB \times nAB) + (PAM \times nAM) + (PAF \times nAF)}{n} \quad (2)$$

Em que, IA - Índice de abalos às soqueiras; PAB - peso atribuído aos colmos com abalo baixo (0); nAB - quantidade de colmos com abalo baixo; PAM - peso atribuído aos colmos com abalo médio (0,33); nAM - quantidade de colmos com abalo médio; PAF - peso atribuído aos colmos com abalo forte (1); nAF - quantidade de colmos com abalo forte; n - número total de colmos na soqueira.

Dessa forma, os danos às soqueiras com colmos foram classificados como sem danos, danos periféricos e danos fragmentados. Já os abalos à soqueiras foram classificados como abalo baixo, médio e alto.

Para a avaliação do porte do canavial, foi utilizado o método proposto por Ripoli (1996), por meio de um triângulo retângulo padrão, sendo o porte do canavial classificado determinando-se o ângulo entre o colmo e a superfície do terreno: deitado - ângulos menores que  $22,5^\circ$ ; acamado – ângulos entre  $22,5^\circ$  e  $45^\circ$ ; ereto – ângulos iguais ou superiores a  $45^\circ$  (Figura 2). Foram coletados 4 pontos de porte por linha na primeira e última horas de uso das facas.

O porte foi classificado como acamado durante os turnos 1 e 2, e deitado durante os turnos 3 e 4.



**Figura 2:** Critério para determinação do porte do canavial por meio de triângulo retângulo. Fonte: Oliveira, L. P (2018). Adaptado de (Ripoli, 1996).

Foram elaboradas cartas de controle de valores individuais e foi gerada a análise de estatística descritiva geral para os indicadores danos e abalos às soqueiras e para o desgaste das facas foi gerada análise de estatística descritiva geral, análise de variância (ANOVA) fator único pelo teste F de Snedecor a 5% de significância para evitar a existência ou não de diferenças significativas entre as médias das variáveis

analisadas e, quando significativo, aplicou-se o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para a comparação das médias. Para realização das análises, utilizou-se o software MINITAB®. As cartas de controle apresentam os indicadores de qualidade em cada ponto avaliado, tendo como linha central a média das observações e duas linhas com os limites inferior e superior de controle (LIC e LSC), que são calculados tomando como base o desvio padrão das variáveis (Montgomery, 2009).

Foram inseridos também nestas cartas os limite específicos: limite específico inferior (LEI = 0,33) e limite específico superior de controle (LES = 0,66), definidos a partir dos índices de danos e abalos que variam de 0 a 1. Os limites inferior e superior de controle foram fixados em 0 e 1 respectivamente.

### **3.3. Resultados e discussão**

Observou-se que ao decorrer dos turnos de operação, ocorre uma perda crescente da massa das facas de corte basal (Tabela 2). As massas médias das facas diferiram entre si entre os turnos de operação. O coeficiente de variação foi classificado como baixo (Pimentel-Gomes e Garcia, 2002). Os coeficientes de assimetria e curtose apresentaram-se positivos apenas para a condição de faca nova e negativos para os turnos subsequentes, com os valores de assimetria representando curvas de distribuição mais alongadas à direita. Enquanto os coeficientes de curtose para os dois primeiros turnos com valores próximos a zero apresentam curvas mais afiladas de tipo leptocúrtica.

Observa-se também, que durante todo o período de avaliações a massa da faca diminuiu em aproximadamente 22.3%, o que equivale a uma perda de massa de 129g. A perda de massa em facas de corte basal na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em solo argiloso encontrou valores de perda de massa entre 1 e 5% durante 60h de trabalho (Voltarelli et al., 2015). Este resultado demonstra que o desgaste foi bem acentuado, o que pode ser explicado pelo fato de o solo apresentar elevado teor de areia (72%).

**Tabela 2:** Estatística descritiva geral para a massa e perda de massa das facas entre os turnos.

Condição	Massa das Facas (g)						
	*(g)	**(%)	$\bar{X}$	$\sigma$	CV	Cs	Ck
Faca nova	0,0	0,0	619,4a	13,92	2,25	0,22	0,58
Turno 1	50,4	8,1	569,0b	10,68	1,88	-0,33	-0,21
Turno 2	53,9	9,5	515,1c	9,68	1,88	-0,89	-0,85
Turno 3	24,7	4,7	490,4d	10,43	2,13	-0,63	-3,21

$\bar{X}$  - média geral;  $\sigma$  – desvio padrão; CV (%) – Coeficiente de variação; Cs – Coeficiente de assimetria; Ck – Coeficiente de curtose. Letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \*Perda média de massa acumulada ao longo do tempo de uso das facas. \*\*Porcentagem média de perda de massa acumulada ao longo do tempo de uso das facas.

Os danos e abalos (Tabela 3) demonstraram que o durante o tempo de uso inicial das facas, os mesmos foram menores em relação ao tempo de uso final, este fator pode estar relacionado a perda de massa das mesmas (Tabela 2). Cassia et al., (2014), avaliando os danos e abalos às soqueiras na colheita de cana-de-açúcar relacionados ao desgaste das facas de corte basal utilizando facas convencionais retangulares, explanaram que ao mesmo tempo em que ocorre o desgaste, ou seja, a perda de massa, ocorre também um incremento nos índices de danos e abalos às soqueiras.

Os desvios padrão dos indicadores de qualidade apresentaram valores próximos de zero, o que representa baixa dispersão destes em torno da média (Tabela 3). Os coeficientes de variação representam variações entre altas e muito altas (Pimentel-Gomes e Garcia, 2002).

O coeficiente de assimetria (Tabela 3) para os abalos às soqueiras nos tempos de uso inicial e final das facas apresentou assimetria positiva, formando uma curva de distribuição mais alongada e apresentando maior concentração dos dados à esquerda, já o indicador de qualidade danos às soqueiras apresentou coeficiente de assimetria positivo apenas no tempo de uso inicial das facas, e no tempo de uso final,

coeficiente de assimetria negativo, o que representa uma curva de distribuição mais alongada a direita, com média menor que a moda e mediana.

O coeficiente de curtose apresentou para todos os indicadores de qualidade nos dois tempos de uso, valores próximos de zero e um, o que representa um grau de achatamento leptocúrtico em relação curva de distribuição normal. Ressalta-se que, apesar dos coeficientes de assimetria e curtose serem constatados como moderados a elevados, estes valores não foram suficientes para afastar a média da mediana evidenciando, portanto, a simetria dos dados (Reis et al., 2015)

De acordo com o teste de Normalidade de Ryan-Joiner, todos os dados apresentaram distribuição normal para todos os indicadores de qualidade, o que representa uma maior proximidade entre os pontos e a reta, conferindo maior rigidez à análise.

**Tabela 3:** Estatística descritiva geral para os indicadores de qualidade danos e abalos às soqueiras na colheita mecanizada de cana nos tempos de uso Inicial e Final das facas.

Indicador de qualidade	Tempo de uso Inicial das facas						
	$\bar{X}$	$\sigma$	CV	Cs	Ck	RJ	p-Valor
Dano	0,46	0,25	53,7	0,13	-1,14	0,981	0,100 <sup>N</sup>
Abalo	0,22	0,19	84,3	0,58	-0,95	0,969	0,089 <sup>N</sup>
Tempo de uso Final das facas							
Dano	0,69	0,19	28,7	-0,20	-0,96	0,988	0,100 <sup>N</sup>
Abalo	0,37	0,25	68,8	0,49	-0,02	0,985	0,100 <sup>N</sup>

$\bar{X}$  - média geral;  $\sigma$  - desvio padrão; CV (%) - Coeficiente de variação; Cs - Coeficiente de assimetria; Ck - Coeficiente de curtose; RJ - Teste de normalidade de Ryan-Joiner; p-Valor (>0,01) - N distribuição normal de probabilidade; A - Distribuição não normal de probabilidade.

Os resultados de danos expressos na carta de controle de valores individuais (Figura 3), demonstram que independentemente dos tempos de uso iniciais e finais, no decorrer dos turnos, os danos às soqueiras aumentam gradativamente ao longo dos turnos. Existe uma relação entre os danos e abalos às soqueiras com o desgaste

das facas, pois a espessura das faces cortantes e a perda de massa aumentam com o tempo de colheita (Toledo et al., 2013).

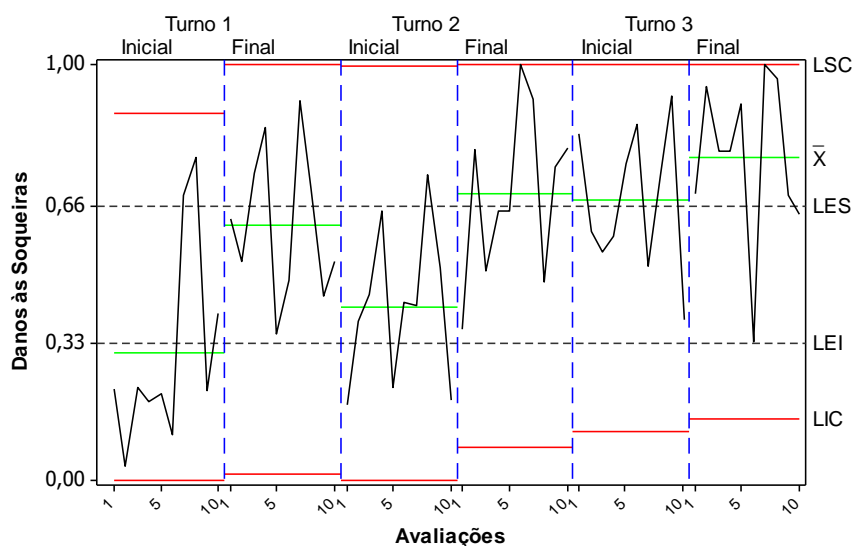
Ao observar a diferença entre os turnos, constata-se que os danos aumentaram em relação ao início e o final dos mesmos e diminuem ao início do turno subsequente, aumentando apenas ao final deste, este fato se dá pela inversão dos lados das facas, ou seja, cada lado da faca ao perder massa, também perde sua capacidade cortante causando danos às soqueiras de cana. A perda de massa em facas convencionais afeta os danos causados às soqueiras, que variam entre si devido às mudanças das faces cortantes das facas durante os turnos de operação (Cassia et al., 2014).

Apenas ao início do primeiro turno as médias de danos às soqueiras mantiveram-se abaixo do limite inferior específico de controle (LEI), enquanto que ao final do segundo e terceiro turnos, as médias de danos situaram-se acima do limite superior específico de controle (LES) (Figura 3), corroborando com os resultados de Voltarelli et al., (2015) que verificaram que à medida em que aumenta o tempo de uso das facas de corte basal durante a colheita mecanizada, aumentam também as ocorrências de danos fragmentados às soqueiras, danos estes que podem diminuir a produtividade e a longevidade do canavial na próxima safra.

De modo geral para os danos às soqueiras, em todos os turnos, apresentaram valores acima dos limites superior e inferior específicos de controle, sendo que os turnos 1, 2 e 3 apresentaram respectivamente 25, 30 e 65% de seus pontos totais acima LES, que representa os danos fragmentados. Este resultado comprova que à medida em que o tempo passa, ou seja, ocorre o desgaste das facas por intermédio do contato com o solo e com as soqueiras, os danos às soqueiras também aumentam.

Outra informação interessante diz respeito ao fato de que apenas ao início do turno 1, quando a faca ainda apresentava baixo desgaste, com menos de 8,1% de perda de massa (Tabela 2), foram encontradas soqueiras com predominância de colmos sem danos (70% dos pontos avaliados). Isso se explica pelo fato de que no início dos demais turnos, mesmo com a mudança de lado das facas, observava-se que os outros lados das facas apresentavam sinais de início de desgaste.

Sob a óptica do controle estatístico de processos todo o processo manteve-se estável, ou seja, não apresentou pontos fora dos limites superior e inferior de controle, porém, notou-se que o turno 3, apresentou menor variabilidade em relação aos turnos anteriores.



**Figura 3:** Carta de controle de valores individuais do indicador de qualidade danos às soqueiras. Inicial: Tempo de uso Inicial das facas no turno; Final: Tempo de uso Final das facas no turno. LSC: Limite superior de controle;  $\bar{X}$ : Média; LES: Limite específico superior de controle; LEI; Limite específico inferior de controle; LIC: Limite inferior de controle.

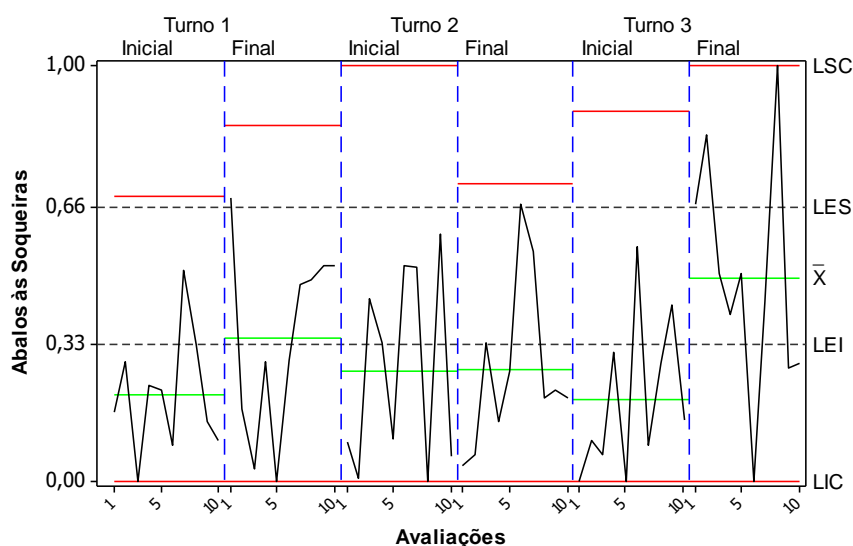
Verificou-se para os abalos às soqueiras (Figura 4) que ao início e ao final dos turnos houve índices de abalos baixos e altos respectivamente, e que os abalos aumentaram progressivamente ao longo dos turnos de operação. Este fato pode ser explicado pela perda de massa que ocorre ao longo da jornada de trabalho (Tabela 2) devido ao intenso atrito das facas de corte basal com as soqueiras e também com o solo, como também pelo desgaste acumulado das facas durante os turnos de operação.

Para este indicador de qualidade, foram encontradas médias acima do limite inferior específico de controle apenas ao final do turno 3, ou seja, após dois turnos de operação as facas de corte basal começaram a causar abalos consideráveis às soqueiras. Para o limite inferior específico de controle (LEI) que representa abalos médios, os turnos 1, 2 e 3 apresentaram, respectivamente, 30, 30 e 45% de seus pontos acima do mesmo. Voltarelli et al. (2015), avaliando o desgaste das facas de

corte basal em três turnos de operação, relataram que altos índices de abalos às soqueiras indicam que tal desgaste afeta a qualidade da operação de maneira inviável.

Os índices de abalos baixos às soqueiras ( $<0,33$ ) aos inícios e aos finais dos turnos de operação apresentaram-se mais uma vez sensíveis à perda de massa das facas de modo que no turno 1, os valores de abaixo do LEI somaram 90% ao início, e 50% ao final do mesmo. No turno 3 os valores foram reduzidos para 70% ao início e 30% ao final. Observação esta que torna-se interessante pois como observado na Tabela 2 o desgaste das facas no turno 1 correspondia apenas a 8,1% do total da massa das facas e ao final do turno 3, a 22,3%, o que comprova que quanto menos massa possui a faca, maiores são os abalos às soqueiras.

De acordo com os resultados expressos na Figura 4 os abalos as soqueiras não apresentaram pontos fora de controle, portanto, o processo foi considerado estável sob a óptica do CEP. Quanto a qualidade do processo, o turno três apresentou maior variabilidade quando comparado ao turno um.



**Figura 4:** Carta de controle de valores individuais do indicador de qualidade Abalos às soqueiras. Inicial: Tempo de uso Inicial das facas no turno; Final: Tempo de uso Final das facas no turno. LSC: Limite superior de controle;  $\bar{X}$ : Média; LES: Limite específico superior de controle; LEI; Limite específico inferior de controle; LIC: Limite inferior de controle.

### 3.4. Conclusões

Quanto maior é a perda de massa das facas, maiores são os índices de danos e abalos causados às soqueiras.

A qualidade dos indicadores avaliados é menor com o aumento do desgaste acumulado durante os turnos.

Os danos e abalos são mais acentuados aos finais dos turnos de operação.

### 3.5. Referências bibliográficas

Binder M, Klocke F, Doebbler B (2017) Abrasive wear behavior under metal cutting conditions. **Wear** 376-377: 161-171

Cassia MT, Silva RP, Chioderolli CA, Noronha RHF, Santos EP (2013) Quality of mechanized coffee harvesting in circular planting system. **Ciência Rural** 43: 28–34.

Cassia MT, Silva RP, Paixão CCS, 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.

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

CONAB (2017) Perfil do setor do açúcar e do etanol no Brasil. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_11\\_28\\_16\\_42\\_59\\_perfil\\_su\\_croalcool2014e15.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_11_28_16_42_59_perfil_su_croalcool2014e15.pdf). Acesso em: Mai. 13, 2018.

EMBRAPA (2013) Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos. 353p.

Koppen W (1948) Climatologia: Con um estudo de los climas de la Tierra. **Fondo de Cultura Economico** 561p.

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.

Montgomery DC (2009) Introdução ao controle estatístico da qualidade. Rio de Janeiro: LTC. 528p.

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

Reis GN, Voltarelli MA, Silva RP, Toledo A, Lopes A. (2015). Qualidade do corte basal na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em dois tipos de manejo do solo. **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: FEALQ 1996. p. 635-674.

Toledo A, Tabile RA, Silva RP, Furlani CEA, Magalhães SC, Costa BO (2008) Caracterização das perdas e distribuição de cobertura vegetal em colheita mecanizada de soja. **Engenharia Agrícola** 28: 710-719.

Toledo A, 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 4: CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O desgaste das facas de corte basal ao longo dos turnos é contínuo, o aumento da espessura e perda de área das facas acarreta em aumento da demanda energética pelas facas para efetuar o corte na cana-de-açúcar.

A perda de área e aumento da espessura do fio de corte aumentam a variabilidade da demanda energética no momento do corte.

A perda de massa das facas de corte basal influencia para o aumento dos danos e abalos às soqueiras.

Os danos e abalos aumentam aos finais do turno de operação devido ao desgaste excessivo das facas de corte basal.

Neste sentido, recomenda-se que as unidades produtoras efetuem a troca eficiente das facas de corte basal, reduzindo o momento de troca para menor tempo de uso, com o intuito de neutralizar o efeito ofensivo do desgaste na qualidade do corte.