

## Qualidade do corte basal de cana-de-açúcar efetuado por facas de diferentes angulações e revestimentos<sup>1</sup>

Quality of base cutting in sugarcane using knives of different angles and coatings

Murilo Aparecido Voltarelli<sup>2\*</sup>, Rouverson Pereira da Silva<sup>3</sup>, Marcelo Tufaile Cassia<sup>3</sup>, João Guilherme Muzetti Dalóia<sup>3</sup> e Carla Segatto Strini Paixão<sup>3</sup>

**RESUMO** - A mecanização da colheita de cana-de-açúcar vem crescendo nos estados produtores, devido à necessidade de erradicação da queima pré-colheita em toda área canavieira até 2017. Todavia, o sistema de corte basal das colhedoras ainda se mostra ineficiente, interferindo diretamente na qualidade da matéria-prima e comprometendo a longevidade do canavial. Neste contexto, objetivou-se neste trabalho avaliar os índices danos e de abalos causados às soqueiras de cana-de-açúcar por três modelos de facas utilizadas no corte de base das colhedoras, sendo duas facas revestidas com carbeto de tungstênio e outra sem revestimento, com diferentes angulações. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, em faixas, com o número de repetições definidas em função do tempo e do modo de uso das facas. Foram utilizados como indicadores de qualidade as variáveis altura de corte, os índices de danos e de abalos das soqueiras. Os índices de danos e de abalos às soqueiras apresentam influência em função do modelo de faca utilizado. A maior qualidade da operação para o índice de danos e de abalos às soqueiras ocorre para as facas revestidas com ângulo de 13°.

**Palavras-chave:** Colheita mecanizada. Índice de danos às soqueiras. Índice de abalo às soqueiras.

**ABSTRACT** - Mechanisation of the sugarcane harvest has been on the increase in those states where sugarcane is produced, because of the need to eradicate pre-harvest burning throughout the area of sugarcane plantation by 2017. However, the base cutting system of the harvesters is still proving inefficient, directly interfering in the quality of the raw material and compromising the life of the plantation. The aim of this study therefore, was to evaluate the indices for damage and loss in ratoon sugarcane, for three types of knife used in base cutting in harvesters, using two knives coated with tungsten carbide and another uncoated, all at different angles. The experimental design was completely randomised into bands, with the number of replications defined as a function of the time and mode of use of the knives. The variables cutting height and the indices of damage and loss in the ratoon cane were used as quality indicators. The indices of damage and loss are influenced by the type of knife used. From the indices of damage and loss in the ratoon cane, the highest operating quality is seen with coated knives at an angle of 13°.

**Key words:** Mechanical harvesting. Damage index in ratoon cane. Loss index in ratoon cane.

DOI: 10.5935/1806-6690.20170051

\*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 07/06/2013; aprovado em 04/10/2016

<sup>1</sup>Pesquisa financiada por empresa privada do ramo agrícola/industrial

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n - Campus Universitário, Viçosa-MG, 36570-900, voltarelli@ufv.br

<sup>3</sup>Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/Unesp/FCAV, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, S/N, Vila Industrial, Jaboticabal-SP, Brasil, 14.884-900, rouverson@fcav.unesp.br, marcelocassia@gmail.com, jgdaloia@hotmail.com, ca\_paixao@live.com

## INTRODUÇÃO

O corte de base baseia-se no princípio do corte inercial por impacto, sendo constituído por um cortador de discos duplos rotativos, com múltiplas lâminas (facas) que devem realizar o corte o mais perfeito possível, visando tanto assegurar o melhor aproveitamento da lavoura, com menores índices de perdas e de contaminações da matéria prima, quanto garantir as condições agrônômicas propícias para haver a rebrota do canavial sem diminuição da produtividade nas safras futuras (NEVES, *et al.*, 2006; SANTOS, 2008; SILVA *et al.*, 2008). O mecanismo de corte basal pode ser o responsável por parte das perdas na colheita mecanizada da cana-de-açúcar e além de proporcionar a incorporação de solo à matéria-prima, soma-se o fato do desgaste das lâminas de corte influenciando o aumento nos índices de danos e de abalos causados às soqueiras, podendo esta situação ser agravada quanto menor o ângulo de ataque da faca ao cortar os colmos (SESTARI *et al.*, 2010).

Aliado à importância do corte basal de cana-de-açúcar, o uso do controle estatístico de processo nesta operação agrícola pode vir a ser fundamental, pois o mesmo pode mostrar uma visão de como o processo está ocorrendo, indicando eventuais falhas e possíveis melhorias para as próximas operações, com o objetivo de aumentar a qualidade das mesmas. Alguns autores têm feito uso do controle estatístico de processo, utilizando as variáveis avaliadas como indicadores de qualidade para identificar causas não aleatórias ou causas especiais decorrentes da instabilidade do processo (CASSIA *et al.*, 2013; CHIORDEROLI *et al.*, 2012; NORONHA *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2011; SUGUISAWA *et al.*, 2007; TOLEDO *et al.*, 2008).

Partindo da hipótese de que o desgaste das facas do mecanismo de corte basal pode influenciar nos índices de danos e de abalos causados às soqueiras, objetivou-se neste trabalho avaliar a qualidade do corte basal na colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua efetivado por três modelos de facas, sendo duas delas revestidas com carbeto de tungstênio com ângulos de 10 e 13° e a outra sem revestimento com ângulo de 10° por meio da análise de variância e do controle estatístico de processo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em área de uma usina de cana-de-açúcar, localizada no município de Pradópolis, SP, com declividade média de 3% e solo de textura argilosa, com média de aproximadamente 57% de teor de argila. O clima foi classificado como Aw conforme Köppen-Geiger.

O espaçamento de plantio foi de 1,5 m nas entrelinhas, sendo padrão da usina. A variedade colhida foi a RB86-7515, sendo também padrão da usina a altura de corte média dos colmos a 5,0 cm do solo. A colheita da cana-de-açúcar foi realizada por uma colhedora Case-IH modelo A7700, fabricada em 2007, equipada com motor Cummins, cuja potência nominal é de 246 kW (330 cv). A colhedora é equipada com rodados de esteiras com bitola de 1,88 m e trabalhou com velocidade média de deslocamento de 5,0 km h<sup>-1</sup>, com copiador do perfil do solo desligado no momento da colheita. Todas as facas do mecanismo de corte basal eram constituídas de aço-cromo, sendo que as faces inferiores das facas com ângulos de 10 e de 13° foram revestidas com a liga metálica de carbeto de tungstênio às faces, inferiores, cortantes destas. Estas facas possuem espessura de 6 mm totais e a granulometria do revestimento é de 0,15 a 0,30 mm, com espessura de 0,5 a 1,0 mm. As facas sem revestimentos possuíam ângulos de 10° e espessura de 6 mm.

Os dados foram coletados no período de julho a agosto de 2011, utilizando-se três modelos de facas para mecanismo de corte basal. Para os conjuntos de facas com e sem revestimento (10 facas para cada tratamento), as avaliações foram efetuadas no prazo de 60 horas de trabalho. A vida útil das quatro faces cortantes das facas sem revestimento com inclinação de 10° foi utilizada durante todo o período de trabalho, sendo suas faces cortantes invertidas a cada 15 horas de uso, enquanto que para a faca revestida de 10 e 13° de inclinação as mesmas trabalharam o tempo todo na mesma face cortante, sem a necessidade de inversão. A escolha do momento de inversão das facas, quando não houve quebras, foi definida de acordo com critérios da usina, que considerou somente o desgaste da região do fio de corte da faca.

A caracterização do porte do canavial foi determinada utilizando-se triângulo padrão conforme Ripoli (1996). Foram tomadas cinco amostragens ao acaso, na área de avaliação, em diferentes fileiras de plantio para cada tratamento, dispondo-se o triângulo padrão longitudinalmente à fileira de plantio e anotando-se o número de colmos em cada condição. Já para a caracterização do teor de água no solo, foram retiradas quatro amostras na profundidade de 0 a 0,10 m, ao acaso na área de avaliação, de acordo com Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997).

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, em faixas, espaçados de 50,0 x 1,50 m com três tratamentos (três modelos de facas com diferentes angulações com e sem revestimentos), sendo eles constituídos por: FR 10° (facas revestidas com inclinação de 10°), FR 13° (facas revestidas com inclinação de 13°) e FSR 10° (facas sem revestimento com inclinação de 10°) e diferentes repetições, definidas em

função do tempo e do modo de uso das facas durante o processo de colheita mecanizada. As variáveis avaliadas foram a altura de corte, índice de danos e de abalos às soqueiras em uma área amostral quadrada de 0,25 m<sup>2</sup>, sendo contabilizados todos os colmos presentes para cada soqueira avaliada.

A altura do corte basal foi medida com o auxílio de um paquímetro digital, medindo-se a distância do solo até o ponto em que a faca atingiu o colmo, causando o corte. As medidas foram realizadas após a limpeza da área ao redor das soqueiras e quando o corte ocorreu abaixo da superfície do solo, as alturas foram consideradas iguais à zero, ou seja, o corte foi considerado como realizado na superfície do solo.

Os danos causados às soqueiras foram classificados de acordo com a metodologia adaptada de Mello e Harris (2003), sendo considerados em três níveis, e contabilizados por pesos atribuídos a cada tipo de danos existentes: sem danos (-1,00), danos periféricos (-0,33) e danos fragmentados (1,00). Após a identificação e contagem dos tipos de danos existentes em cada colmo das soqueiras avaliadas, propôs-se o cálculo do índice de danos atribuindo-se pesos para cada classificação segundo Toledo (2012), calculando-se conforme a equação 1:

$$i_D = \frac{P_{SD} \cdot n_{SD} + P_{DP} \cdot n_{DP} + P_{FR} \cdot n_{FR}}{N} \quad (1)$$

Em que:  $P_{SD}$  = peso atribuído aos colmos sem danos (-1);  $n_{SD}$  = número de colmos sem danos;  $P_{DP}$  = peso atribuído aos colmos com danos periféricos (-0,33);  $n_{DP}$  = número de colmos com danos periféricos;  $P_{FR}$  = peso atribuído aos colmos com danos fragmentados (1);  $n_{FR}$  = número de colmos com danos fragmentados;  $N$  = número total de colmos na soqueira.

O índice de abalo às soqueiras foi avaliado por meio da aplicação de força manual provocada pelo avaliador, verificando-se a mobilização direta das soqueiras no solo, sendo a classificação realizada por meio dos colmos existentes dentro da mesma área amostral, mas classificando-os e contabilizando-os também por meio de pesos (1,00; -0,33 e -1,00), sendo o abalo forte ( $0,33 \leq IA < 1,0$ ), médio ( $-0,33 \leq IA < 0,33$ ) e fraco ( $-1,0 \leq IA < -0,33$ ), respectivamente, de acordo com a mobilização da soqueira provocada pela força aplicada. Quanto maior a mobilização, maior é o abalo das soqueiras. Para maior controle experimental as avaliações dos índices de danos e de abalos às soqueiras foram realizadas por um único avaliador.

$$i_A = \frac{p_{ff} \cdot n_{ff} + p_{am} \cdot n_{am} + p_{af} \cdot n_{af}}{N} \quad (2)$$

Em que,  $p_{ff}$  = peso atribuído aos colmos com abalo forte (1);  $n_{ff}$  = quantidade de colmos com abalo forte;

$p_{am}$  = peso atribuído aos colmos com abalo médio (-0,33);  $n_{am}$  = quantidade de colmos com abalo médio;  $p_{af}$  = peso atribuído aos colmos com abalo fraco (-1);  $n_{af}$  = quantidade de colmos com abalo fraco, e  $N$  = número total de colmos na soqueira.

Os índices de danos e abalos às soqueiras representam em um único valor, a classificação atribuída às soqueiras com colmos sem danos, danos periféricos e fragmentados, bem como abalo fraco, médio e forte. Quanto mais próximo de 1,00, maior é o dano e/ou o abalo ocasionado às soqueiras, pois, demonstra que houve maior quantidade de colmos classificados como fragmentados e/ou com abalo forte em relação às outras categorias. Inversamente, quanto mais próximo de -1,00, os colmos sofreram menos danos e abalos às soqueiras, sendo totalmente sem danos e sem abalos quando o índice for igual a este valor (TOLEDO, 2012).

A demonstração geral do comportamento dos dados foi feita a partir da análise da estatística descritiva, calculando-se medidas de tendência central e as medidas de dispersão, bem como medidas de assimetria e de curtose. A verificação da normalidade dos dados foi realizada pelo teste de Anderson-Darling, sendo uma medida de proximidade dos pontos e da reta estimada na probabilidade conferindo maior rigidez à análise conforme Espinosa *et al.* (2004) e quando assimétricos realizou-se a transformação do conjunto de dados utilizando-se o melhor ajuste para cada variável (BOX COX transformation), sendo a melhor equação de ajuste designada pelo programa computacional Minitab 16®.

O diagrama de caixas é composto pela mediana (Q2), o quartil inferior (Q1) e superior (Q3), amplitude interquartilica (IQR = Q3 - Q1), os valores mínimos e máximos e pelos pontos discrepantes ou “outliers” (denotados por \*) sendo especialmente adequado para detecção de pontos discrepantes e para a comparação de dois ou mais conjuntos de dados correspondentes a uma variável. Realizou-se a análise de variância e quando procedente, aplicou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação das médias.

Os resultados foram também avaliados por meio do controle estatístico de processo, utilizando-se para verificar a existência de causas especiais decorrentes do processo os gráficos sequenciais na qual faz uso de valores-padrões (DELLARETTI FILHO; DRUMOND, 1994). Esses valores padrões permitem o monitoramento do processo e a identificação do tipo de variação a que o mesmo está submetido ao longo do tempo, podendo se constituir de: agrupamento, tendência, mistura e oscilação.

O agrupamento é representado por grupos de pontos em determinadas áreas do gráfico, acima ou abaixo da mediana; tendência representa uma sequência

de sucessivos aumentos ou diminuições nas observações detectadas quando o número de observações úteis for sucessivo, for superior a sete; mistura, trata-se de um padrão que indica a ausência de pontos próximos à linha central, ou seja, os pontos se alternam acima e abaixo da linha central (mediana), mostrando que há a existência de dois grupos distintos de dados e, por fim, oscilação, que indica a existência ou não de um padrão regular ocorrendo ao longo do tempo, sendo detectado quando os dados flutuam rapidamente acima ou abaixo da mediana.

A verificação da aleatoriedade dos dados foi realizada por meio do teste de probabilidade a 5% e, uma vez que o p-valor para os padrões seja inferior a 0,05, rejeita-se a hipótese nula de não aleatoriedade, em favor da alternativa para o padrão testado. A ocorrência destes padrões pode indicar que o processo se encontra próximo a extrapolar os limites de controle, ou seja, torna-se instável ou que o mesmo já se encontra nesta situação, mas esse tipo de análise deve ser complementada por meio da verificação das cartas de controle, obtendo assim maior precisão do comportamento dos indicadores de qualidade.

As cartas de controle utilizadas foram de valores individuais e de amplitude móvel, que possuem linhas centrais (média geral e amplitude média), bem como os limites superior e inferior de controle, definidos como LSC e LIC, calculados com base no desvio-padrão das variáveis (para LSC, média mais três vezes o desvio-

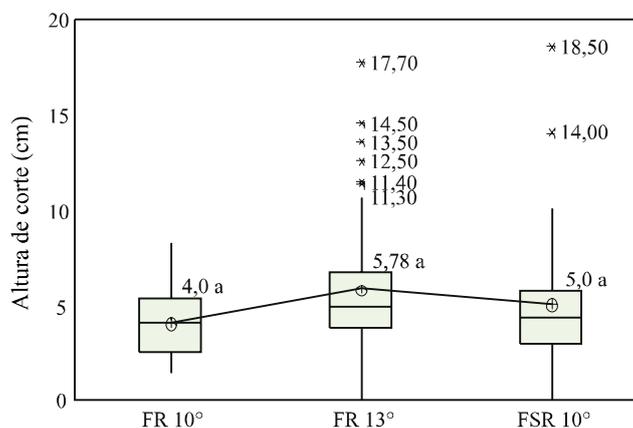
padrão, e para LIC, média menos três vezes o desvio, quando maior que zero). Estas cartas foram utilizadas a fim de identificar a não aleatoriedade, provocadas por algum fator externo, decorrente do processo, bem como avaliar a qualidade da operação, utilizando-se como indicadores de qualidade as variáveis descritas anteriormente.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A caracterização do teor de água no solo manteve-se praticamente constante ao longo do experimento, com média de 14,2%. Já a caracterização do porte do canavial foi classificada como ereto, com média de 50% de colmos acima de 45°, para todos os tratamentos. A classificação do canavial como de porte ereto representa uma situação mais ideal para realização da colheita mecanizada de cana-de-açúcar, favorecendo o deslocamento da colhedora, bem como a ação do mecanismo de corte basal (RIPOLI, 1996).

A altura média do corte basal (Figura 1), não diferiu para os três tratamentos avaliados, embora as médias encontradas tenham se situado próximas ao padrão especificado pela Usina, que é de 5,0 cm, apesar dos elevados valores dos desvios padrão e amplitude (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002).

**Figura 1** - Altura de corte na colheita mecanizada de cana-de-açúcar por três modelos de facas com e sem revestimento em 60 horas trabalhadas



Tratamentos	$\bar{X}$	Mediana	$\sigma$	A	Cs	Ck	AD
FR 10°	4,0	4,0	1,80	6,90	0,30	- 0,31	0,29 <sup>N</sup>
FR 13°	5,78	4,90	3,43	17,70	1,41	2,31	2,26 <sup>A</sup>
FSR 10°	5,0	4,25	4,11	18,50	2,08	5,55	1,44 <sup>A</sup>

FR10 (faca revestida com inclinação de 10°); FR13 (faca revestida com inclinação de 13°); FSR 10 (faca sem revestimento com inclinação de 10°);  $\bar{X}$  - Média aritmética;  $\sigma$  - Desvio padrão; A - Amplitude; Cs - Coeficiente de assimetria; Ck - Coeficiente de curtose; AD - Teste de normalidade de Anderson-Darling (N: distribuição normal; A: distribuição não normal)

Por outro lado, o tratamento FR10° apresentou distribuição de probabilidade normal do conjunto de dados. Já a FR 13° e FSR 10° foram consideradas assimétricas segundo o teste de normalidade de Anderson-Darling, apresentando coeficientes de assimetria e de curtose positivos, com as curvas mais alongada à direita (média maior que a mediana) e com maior afilamento, sendo denominada leptocúrtica, respectivamente, podendo ser verificado pelos diagramas de caixas. Observa-se ainda que, os pontos discrepantes encontrados com maior frequência para o tratamento FR 13°, podem indicar situações em que houve a perda do controle da máquina pelo operador e/ou que o mecanismo copiador de solo, que possivelmente controla a altura de corte, desta máquina encontrava-se fora de funcionamento e a mesma não acompanhou as pequenas variações do relevo da área.

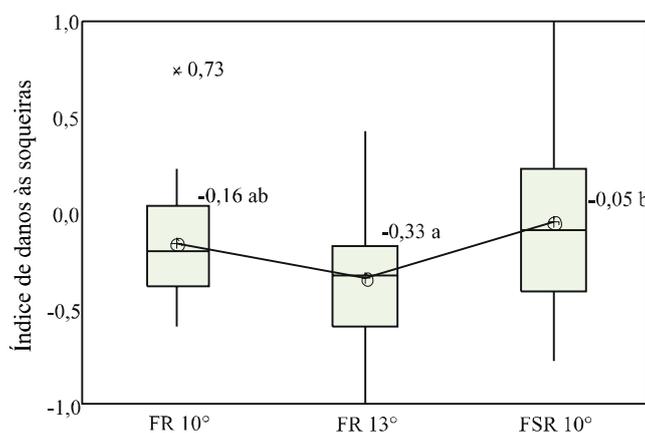
O índice de danos às soqueiras de cana-de-açúcar foi maior para as facas sem revestimento (FSR 10°) em relação à média das facas revestidas com angulação de 13° (FR 13°) e ambas não diferiram das facas revestidas (FR 10°) (Figura 2). Entretanto, a faca sem revestimento (FSR 10°) apresentou maior variabilidade em relação às demais facas, podendo ser observado pelos gráficos de diagramas de caixas, na qual pode evidenciar o comportamento da amplitude total e interquartilica do conjunto de dados. Observa-se ainda que, a médias para os três tratamentos situaram-se próximas às medianas, apontando para a

normalidade dos dados, o que foi comprovado pelo teste de Anderson-Darling.

Por outro lado, constata-se que as facas revestidas com ângulo de 13° apresentaram melhor resultado em relação às facas sem revestimento (FSR 10°) com índice médio de danos às soqueiras de -0,33, classificando os danos como parciais, o que caracteriza um melhor resultado da colheita mecanizada em relação a maior fragmentação das soqueiras obtida para o tratamento FSR 10° com índice de danos de -0,05. Tal situação pode também ser associada, ao fato que a FR 13° (revestida com a liga metálica carbeto de tungstênio), possui auto afiação do fio de corte, em função desta liga utilizada, o que proporciona a esta faca trabalhar maior parte da vida útil de suas faces cortantes mais afiadas, causando menor índice médio de danos às soqueiras. Vale ressaltar também que a durabilidade desta faca revestida é de aproximadamente quatro vezes mais em relação às facas sem revestimento, situação esta que também contribui para se obter menores índices de danos às soqueiras.

Noronha *et al.* (2011) avaliaram os índices de danos causados às soqueiras de cana-de-açúcar nos períodos diurno e noturno da operação de colheita mecanizada, com velocidade de deslocamento média da colhedora de 6,2 km h<sup>-1</sup>, e constaram que não houve diferença entre os turnos de operação. Tal constatação, apesar dos autores não citarem o modelo das facas utilizado, pode ser associada

**Figura 2** - Índice de danos às soqueiras de cana-de-açúcar por três modelos de facas com e sem revestimento em 60 horas trabalhadas



Tratamentos	$\bar{X}$	Mediana	$\sigma$	A	Cs	Ck	AD
FR 10°	- 0,16	- 0,20	0,30	1,33	0,43	1,91	0,42 <sup>N</sup>
FR 13°	- 0,33	- 0,33	0,32	1,43	0,43	0,08	0,44 <sup>N</sup>
FSR 10°	- 0,05	- 0,08	0,48	1,77	0,72	0,39	0,49 <sup>N</sup>

FR10 (faca revestida com inclinação de 10°); FR13 (faca revestida com inclinação de 13°); FSR 10 (faca sem revestimento com inclinação de 10°);  $\bar{X}$  - Média aritmética;  $\sigma$  - Desvio padrão; A - Amplitude; Cs - Coeficiente de assimetria; Ck - Coeficiente de curtose; AD - Teste de normalidade de Anderson-Darling (N: distribuição normal; A: distribuição não normal)

ao presente trabalho, pois partindo da ideia geral de que o turno de operação não exerça influência nos índices de danos às soqueiras, possivelmente a escolha do modelo de faca do mecanismo de corte basal se torna um dos fatores determinantes para haver menores índices de danos.

As facas revestidas (FR 10 e 13°) foram as que apresentaram os menores índices de abalo às soqueiras, em relação à média das facas sem revestimento (FSR 10°), uma vez que estas facas revestidas apresentaram menor quantidade de soqueiras com abalo médio e forte, apresentando maior quantidade de soqueiras com índice médio de abalo fraco, próximos ao valor -1,00, situação esta que proporciona melhores condições para a rebrota do canavial. Já os valores de desvio padrão foram elevados, apesar de todos os tratamentos apresentarem distribuição normal de probabilidade de acordo com o teste de Anderson-Darling (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002).

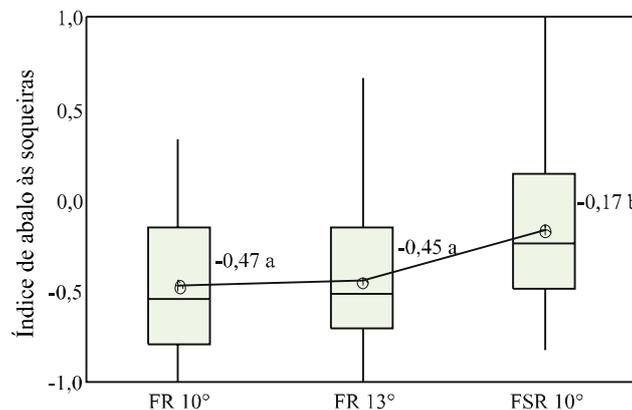
Observa-se ainda que, as facas revestidas com inclinação de 10° seguida das facas revestidas com 13° apresentam as menores variabilidades do conjunto de dados, respectivamente, em relação à FSR 10°, podendo ser verificado pela amplitude interquartílica dos diagramas de caixas (Figura 3). Tal situação pode indicar que este tipo de faca revestida contribua em maior proporção, para a menor probabilidade de ocorrer elevado índice de abalo e de arranquio das soqueiras de cana-de-açúcar. Pelóia *et al.* (2010), estudando a capacidade da colheita mecanizada

de cana-de-açúcar em rebolos, relataram a existência de elevada variabilidade para as variáveis avaliadas, situação esta semelhante ao presente trabalho podendo ser evidenciado pela FRS 10°.

O comportamento dos dados para altura de corte, índice de danos e índice de abalos às soqueiras nos tratamentos FR 10° e FR 13°, FR 10° e FR 13°, respectivamente, podem ser considerados como não aleatórios, para os testes de valores padrões de probabilidade, sendo detectados nestes casos agrupamento dos dados (Tabela 1), o que pode vir a ser diagnosticado como causas especiais que afetam o processo de maneira incorreta, tornando-o instável, ou seja, fora dos limites superior e inferior das cartas de controle.

Os padrões de não aleatoriedade são diagnosticados por meio dos gráficos sequenciais, quando há diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre o número observado de transições do em torno da mediana de cada subgrupo (acima ou abaixo) e o número de seqüências esperadas (acima ou abaixo da mediana) havendo identificação de padrão não aleatório no conjunto de dados. Esses valores padrões quando detectados, podem auxiliar em conjunto com as cartas de controle estatístico de processo, pois também é uma ferramenta que tem por finalidade avaliar a qualidade das operações, analisar a possível ocorrência de não aleatoriedade ou a presença de causas especiais decorrentes do processo.

**Figura 3** - Índice de abalo das soqueiras de cana-de-açúcar por três modelos de facas com e sem revestimento em 60 horas trabalhadas



Tratamentos	$\bar{X}$	Mediana	$\sigma$	A	Cs	Ck	AD
FR 10°	- 0,47	- 0,55	0,35	1,33	0,45	- 0,32	0,30 <sup>N</sup>
FR 13°	- 0,45	- 0,52	0,39	1,66	0,63	- 0,03	0,36 <sup>N</sup>
FSR 10°	- 0,17	- 0,24	0,42	1,83	0,72	0,65	0,32 <sup>N</sup>

FR10 (faca revestida com inclinação de 10°); FR13 (faca revestida com inclinação de 13°); FSR 10 (faca sem revestimento com inclinação de 10°);  $\bar{X}$  - Média aritmética;  $\sigma$  - Desvio padrão; A - Amplitude; Cs - Coeficiente de assimetria; Ck - Coeficiente de curtose; AD - Teste de normalidade de Anderson-Darling (N: distribuição normal; A: distribuição não normal)

Considerando-se o indicador de qualidade altura de corte na colheita mecanizada de cana-de-açúcar, os tratamentos FR 13° e FSR 10° apresentaram a ocorrência de causas especiais decorrentes da instabilidade do processo tanto nas cartas de valores individuais como nas de variação

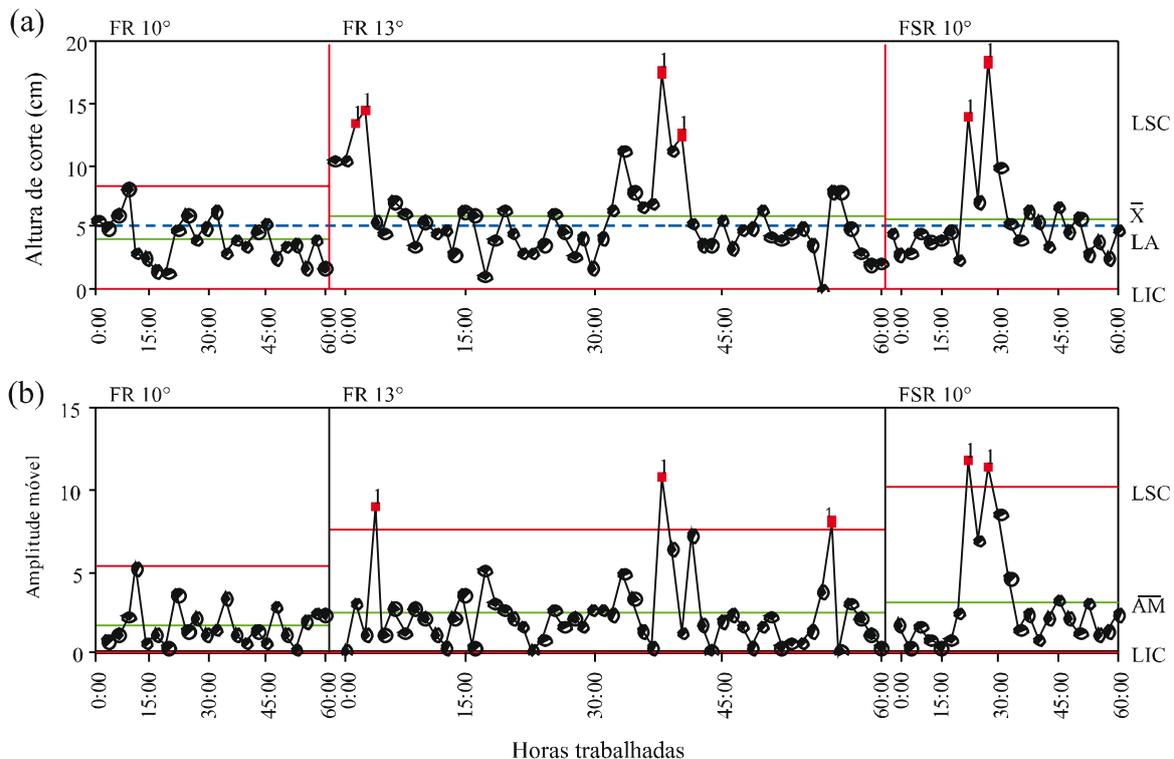
do processo (cartas de amplitude móvel), sendo que o primeiro apresentou valor padrão de agrupamento pela análise dos gráficos sequenciais e este comportamento pode indicar que o processo se torne instável, como foi verificado por meio das cartas de controle (Figura 4a e 4b).

**Tabela 1** - Valores padrões de probabilidade dos gráficos sequenciais para os indicadores de qualidade avaliados na colheita mecanizada de cana-de-açúcar por três modelos de facas com revestimento (FR 10 e 13°) e sem revestimento (FSR 10°)

Indicadores de qualidade	Tratamentos	Padrões			
		Agrupamento	Mistura	Tendência	Oscilação
Altura de corte	FR 10°	0,022*	0,978 <sup>ns</sup>	0,749 <sup>ns</sup>	0,251 <sup>ns</sup>
	FR 13°	0,030*	0,970 <sup>ns</sup>	0,054 <sup>ns</sup>	0,946 <sup>ns</sup>
	FSR 10°	0,350 <sup>ns</sup>	0,650 <sup>ns</sup>	0,621 <sup>ns</sup>	0,379 <sup>ns</sup>
Índice de danos às soqueiras	FR 10°	0,006*	0,994 <sup>ns</sup>	0,201 <sup>ns</sup>	0,799 <sup>ns</sup>
	FR 13°	0,089 <sup>ns</sup>	0,911 <sup>ns</sup>	0,099 <sup>ns</sup>	0,901 <sup>ns</sup>
	FSR 10°	0,779 <sup>ns</sup>	0,221 <sup>ns</sup>	0,780 <sup>ns</sup>	0,220 <sup>ns</sup>
Índice de abalo às soqueiras	FR 10°	0,350 <sup>ns</sup>	0,650 <sup>ns</sup>	0,567 <sup>ns</sup>	0,433 <sup>ns</sup>
	FR 13°	0,030*	0,970 <sup>ns</sup>	0,260 <sup>ns</sup>	0,740 <sup>ns</sup>
	FSR 10°	0,650 <sup>ns</sup>	0,350 <sup>ns</sup>	0,892 <sup>ns</sup>	0,108 <sup>ns</sup>

\*valores padrões de não aleatoriedade detectados pelo teste de probabilidade a  $p < 0,05$ ; <sup>ns</sup> valores padrões de aleatoriedade detectados pelo teste de probabilidade a  $p > 0,05$

**Figura 4** - Cartas de controle para a altura de corte na colheita mecanizada de cana-de-açúcar por três modelos de facas com (FR 10 e 13°) e sem revestimento (FSR 10°) em 60 horas trabalhadas. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel. LSC: limite superior de controle. LA: Limite da altura de corte especificado pela usina. LIC: Limite inferior de controle.  $\bar{X}$ : média. AM: amplitude móvel



Por outro lado, apesar das facas FSR 10° não apresentar valores padrões diagnosticados pelos gráficos sequenciais a mesma apresentou instabilidade do processo com 8% de pontos verificados, acima do limite superior de controle, por meio das cartas de controle, sendo, portanto necessário à análise conjunta destes dois tipos de informações para uma abordagem mais detalhada do que acontece ao longo do processo. Observa-se ainda que, as facas revestidas com inclinação de 10° apresentaram valor padrão de probabilidade, pela análise dos gráficos sequenciais, para agrupamento e quando se analisa a carta de controle para este tratamento, a mesma é estável, ou seja, todos os pontos estão dentro dos limites superior e inferior tanto nas cartas de valores individuais quanto na de amplitude móvel, situação esta que pode indicar que o processo se torne instável, devido a uma quantidade de pontos com valores aproximados (agrupados), portanto deve ser monitorado frequentemente a fim de evitar a ocorrência de causas especiais no processo e posteriormente à produção de itens não conformes.

Além disso, houve elevada variabilidade na altura de corte, sendo maior para a faca lisa sem revestimento (FSR 10°), seguido da faca com revestimento (FR 13 e 10°), respectivamente, demonstrando, portanto, a ocorrência de causas especiais. Observa-se também que, no tratamento FR 10° e FSR 10° não ocorreram pontos nos quais as facas tocaram o solo (valor zero), fato este que poderia acelerar o processo de desgaste das facas e aumentar as quantidades de impurezas minerais enviadas à indústria, prejudicando a qualidade da matéria-prima. Ressalta-se que apesar da estabilidade e da instabilidade do processo apresentada pelas FR 10° e FR 13° e FSR 10°, respectivamente, houve maior concentração de pontos igual ou abaixo do limite da altura de corte especificado pela usina (LA) fato este que atende em 80; 60 e 62% (FR10°, FR 13° e FSR 10°, respectivamente) o padrão de qualidade total exigido.

As causas especiais são consideradas como as que geram variabilidade devido a fatores como mão-de-obra, meio ambiente, máquina, método, medição e matéria-prima, constituindo os chamados “6 M’s”. Para o indicador de qualidade altura de corte possivelmente o fator máquina (estando o mecanismo de controle de altura de corte desligado) e a mão-de-obra (pela falta de controle da máquina pelo operador em algum momento da operação e também ao fato de não ter se atentado ao fato que o mecanismo de controle da altura de corte estava desligado) foram os que potencialmente causaram a instabilidade do processo.

Salvi *et al.* (2007) estudaram o desempenho de um dispositivo automático de controle da altura de corte na colheita mecanizada de cana-de-açúcar nas variedades RB83-5089 e SP80-3250, na qual a velocidade de

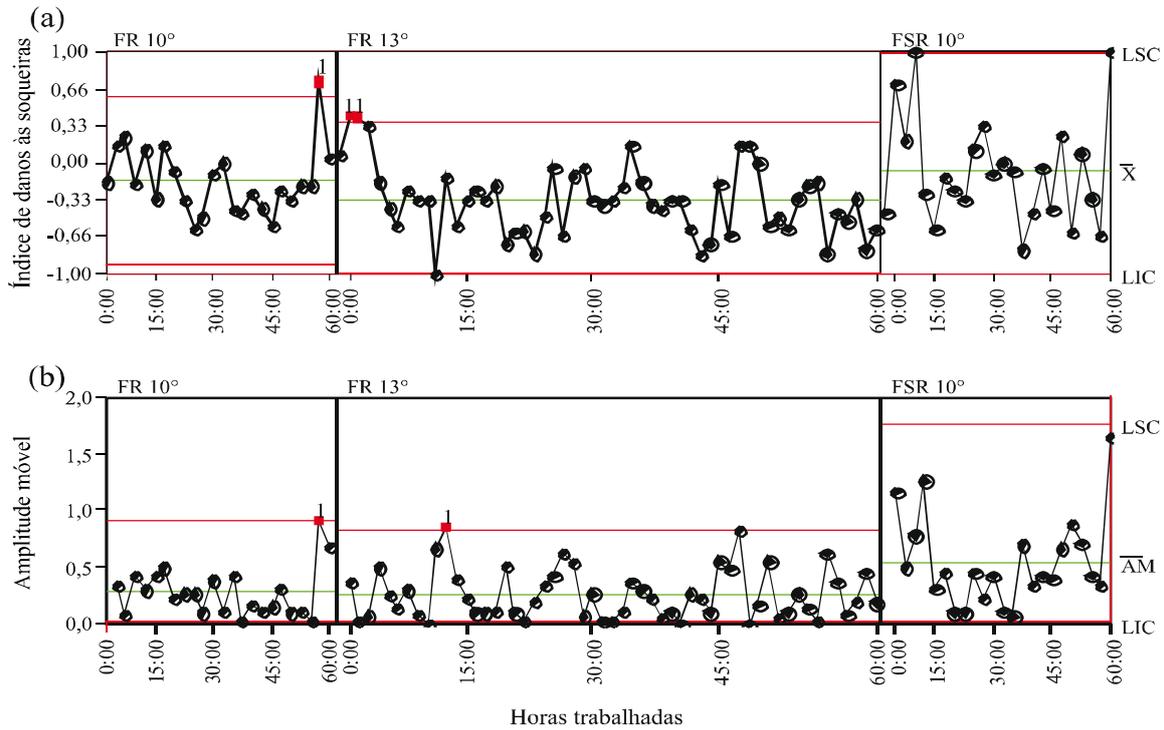
deslocamento da colhedora foi de 5,0 km h<sup>-1</sup>, e relataram que com o dispositivo funcionando ou não, o mesmo não conseguiu atingir o valor especificado pela usina da altura de corte, devido ao processo não estar sob controle estatístico. Estes autores também não informaram o tipo de faca do mecanismo de corte basal que foi utilizado durante a colheita mecanizada, mas esta situação se assemelha ao que ocorreu no presente trabalho, pois o dispositivo de controle da altura de corte encontrava-se desligado, tornando também o processo instável, mas com as médias próximas aos padrões de qualidade da usina.

O índice de danos às soqueiras apresentou comportamento aleatório para as facas sem revestimento com inclinação de 10° (Figuras 5a e 5b), não sendo verificados também valores padrões de probabilidade, e instabilidade do processo tanto para as cartas de valores individuais quanto para as cartas de amplitude móveis nos tratamentos com as facas revestidas de inclinação de 10 e 13°. Estes resultados indicam que, sob a óptica deste indicador, o corte com as facas revestidas com carbeto de tungstênio apresentou a ocorrência de causas especiais, enquanto que o tratamento com as facas sem revestimento apresentou a ocorrência de somente causas aleatórias de variação, que ocorrem ao acaso e, que de forma individual, têm pouca influência no processo.

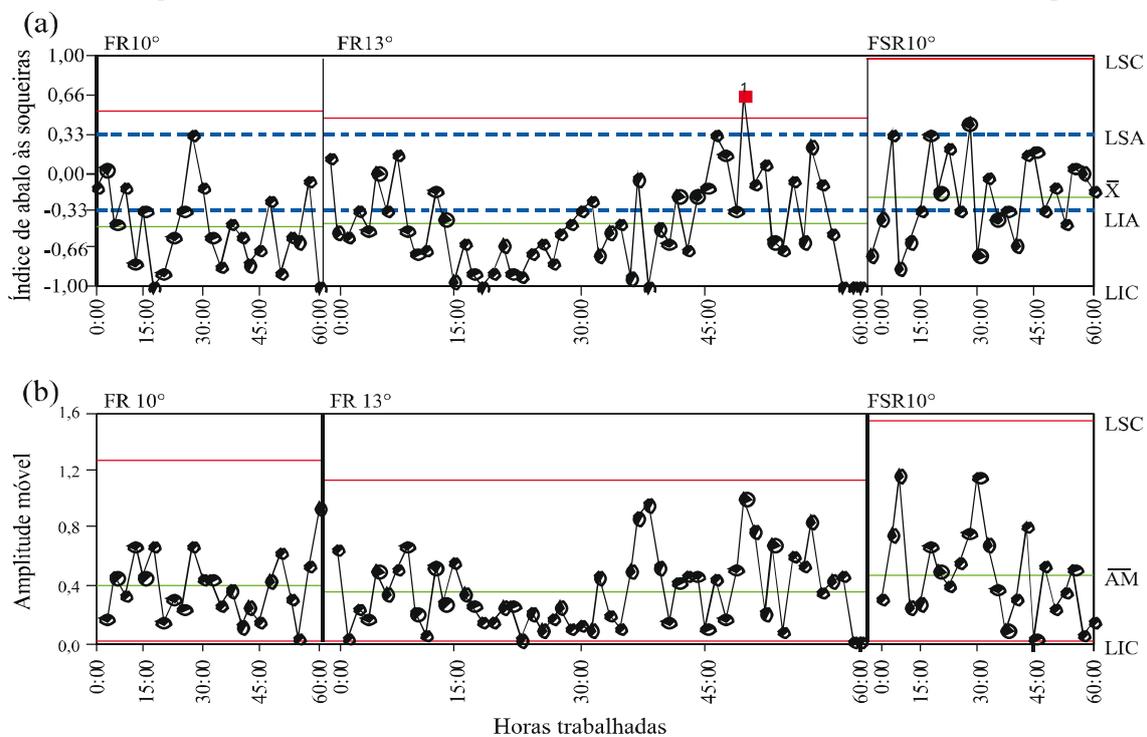
Porém, há que se considerar que o tratamento com a faca sem revestimento com inclinação de 10° foi o que apresentou maior variabilidade (carta de amplitude móvel) do índice de danos às soqueiras de cana-de-açúcar, além de apresentar alguns pontos situados no limite superior da carta de valores individuais (1,00) situação que indica alta danificação das soqueiras, classificando os danos como fragmentados. Os tratamentos com as facas revestidas (FR10 e 13°), apesar de apresentarem instabilidade do processo, tiveram menor variabilidade, bem como a presença de maior de número de observações próximas dos valores considerados adequados (sem danos e danos periféricos) para o índice de danos às soqueiras.

O índice de abalos às soqueiras apresentou valor padrão de agrupamento por meio da análise dos gráficos sequenciais, fato este que possivelmente levou à instabilidade do processo apenas para o tratamento das facas revestidas com inclinação de 13° (Figuras 6a e 6b) com apenas um ponto fora dos limites de controle; porém foi o tratamento que obteve a menor variação do processo, apresentando 62% dos pontos dentro da classificação do índice de abalo fraco (menor ou igual ao LIA). Já para a FR 10° o processo apresenta-se estável, dentro dos limites superior e inferior de controle, e também com 62% dos pontos classificados dentro do menor índice de abalo às soqueiras, situação esta interessante sob este ponto de vista, pois foi o único tratamento que pode ser capaz de manter a maior qualidade da operação ao longo do processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar.

**Figura 5** - Cartas de controle para o índice de danos às soqueiras na colheita mecanizada de cana-de-açúcar por três modelos de facas com (FR 10 e 13°) e sem revestimento (FSR 10°) em 60 horas trabalhadas (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel. LSC: limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle.  $\bar{X}$ : média.  $\overline{AM}$ : amplitude móvel



**Figura 6** - Cartas de controle para o índice de abalo na colheita mecanizada de cana-de-açúcar por três modelos de facas com (FR 10 e 13°) e sem revestimento (FSR 10°) em 60 horas trabalhadas. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel. LSC: limite superior de controle. LSA: Limite superior de abalo. LIA: Limite inferior de abalo. LIC: Limite inferior de controle.  $\bar{X}$ : média.  $\overline{AM}$ : amplitude móvel



De maneira análoga à observada para o índice de danos às soqueiras, o tratamento para a faca sem revestimento (FSR 10°) foi o que apresentou maior variabilidade (carta de variação do processo), sendo o conjunto de facas que apresentaram a menor quantidade de pontos, aproximadamente 33%, classificados com índice de abalo fraco e a maior quantidade de pontos classificados como abalo forte (acima ou igual ao LSA) representando um total de 12%. Ortiz (2012) estudando o efeito de três modelos de facas, todas sem revestimentos com inclinação de 10°, do mecanismo de corte basal na colheita mecanizada de cana-de-açúcar, relatou que o processo foi estável para o índice de abalos às soqueiras tanto para a carta de valores individuais quanto para a variação do processo, situação esta que não ocorreu no presente trabalho.

## CONCLUSÕES

1. A altura de corte apresenta maior qualidade da operação para as facas revestidas com inclinação de 10°, não sofrendo influências entre os modelos de facas;
2. A maior qualidade da operação ocorre para as facas revestidas com ângulo de 13° em relação às facas sem revestimento com ângulo de 10°, apresentando também menor índice médio de danos às soqueiras;
3. As facas com revestimento de inclinação 13° apresentam menor variabilidade e/ou maior qualidade para os índices de danos e de abalos às soqueiras.

## REFERÊNCIAS

- CASSIA, M. T. *et al.* Quality of mechanized coffee harvesting in circular planting system. **Ciência Rural**, v. 43, n. 1, p. 28-34, 2013.
- CHIODEROLI, C. A. *et al.* Perdas de grãos e distribuição de palha na colheita mecanizada de soja. **Bragantia**, v. 71, n. 1, p. 112-121, 2012.
- DELLARETTI FILHO, O.; DRUMOND, F. B. **Itens de controle e avaliação de processos**. 1. ed. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1994. 151 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos e análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- ESPINOSA, M. M. *et al.* Métodos paramétricos e não paramétricos para determinar o valor característicos em resultados de ensaio de madeira. **Scientia Forestalis**, n. 66, p. 73-86, 2004.
- MELLO, R. C.; HARRIS, H.. Desempenho de cortadores de base para colhedoras de cana-de-açúcar com lâminas serrilhadas e inclinadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 355-358, 2003.
- NEVES, J. L. M. *et al.* Avaliação de perdas invisíveis na colheita mecanizada em dois fluxos de massa de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 3, p. 787-794, 2006.
- NORONHA, R. H. F. *et al.* Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada diurna e noturna de cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 70, n. 4, p. 931-938, 2011.
- ORTIZ, D. F. **Qualidade do corte basal de cana-de-açúcar em três modelos de facas**. 2012. 29 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2012.
- PELOIA, P. R. *et al.* Capacity of the mechanical harvesting process of sugar cane billets. **Scientia Agrícola**, v. 67, n. 6, p. 619-623, 2010.
- PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. 11. ed. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.
- RIPOLI, T. C. C. Ensaio & certificação de máquinas para colheita de cana de açúcar. In: MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas: ensaios & certificação**. 1. ed. Piracicaba: FEALQ, 1996. cap. 13, p. 635-674.
- SALVI, J. V. *et al.* Avaliação do desempenho de dispositivo de cortes de base de colhedora de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 27, p. 201-209, 2007.
- SANTOS, E. P. **Rebrota de duas variedades de cana-de-açúcar colhida crua sob dois níveis de desgaste das facas do mecanismo de corte basal**. 2008. 40 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.
- SESTARI, A. V. *et al.* Avaliação qualitativa do corte basal de cana-de-açúcar realizado por facas revestidas com carbeto de tungstênio. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIARÍA AGRICOLA, 9., 2010, Vitória. **Anais...** Vitória: ALIA, 2010. 1 CD-ROM.
- SILVA, R. P. *et al.* Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 2, p. 292-304, 2008.
- SILVA, R. P. *et al.* Perdas na colheita mecanizada de algodão. **Scientia Agropecuária**, v. 2, n. 2, p.07-11, 2011.
- SUGUISAWA, J. M. *et al.* Qualidade de aplicação de herbicida em lavoura de trigo. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 41-47, 2007.
- TOLEDO, A. *et al.* Caracterização das perdas e distribuição de cobertura vegetal em colheita mecanizada de soja. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 4, p. 710-719, 2008.
- TOLEDO, A. **Qualidade do corte basal na colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua**. 2012. 115 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2012.