

**QUALIDADE DO CORTE BASAL DE CANA-DE-AÇÚCAR UTILIZANDO-SE DE TRÊS
MODELOS DE FACAS**Doi:<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n3p528-541/2015>**MURILO A. VOLTARELLI¹, ROUVERSON P. DA SILVA², MARCELO T. CASSIA³,
DANILO F. ORTIZ⁴, LUMA S. TORRES⁵**

RESUMO: A colheita mecanizada de cana-de-açúcar é uma tendência crescente e irreversível ao setor canavieiro, devido à sua maior operacionalidade durante os turnos diurno e noturno, em razão das leis ambientais e trabalhistas ligadas a esta operação. Entretanto, o grande desafio deste sistema é a melhoria do mecanismo de corte de base, uma vez que esse mecanismo é capaz de causar elevados índices de danos e abalos nas soqueiras quando associado ao desgaste das facas do mecanismo de corte basal. Diante do exposto, objetivou-se, neste trabalho, avaliar a qualidade do corte basal por meio dos índices de danos e abalos causados às soqueiras, bem como o desgaste de três modelos de facas do mecanismo de corte basal de cana-de-açúcar, em função do tempo de uso. O delineamento estatístico utilizado foi o inteiramente casualizado, utilizando-se de três malhas amostrais, com espaçamentos de 50,0 x 1,50 m entre si, para cada modelo de faca, em diferentes glebas no mesmo talhão e repetições. As avaliações realizadas foram: perda de massa, desgaste do comprimento, largura e espessura do fio de corte das facas, bem como altura de corte, índice de danos e de abalos às soqueiras. A qualidade do corte basal é afetada pelo modelo de faca utilizado e pelo tempo de uso. A faca B apresenta menor variação e maior qualidade do corte basal para os índices de danos e de abalos às soqueiras de cana-de-açúcar.

PALAVRAS-CHAVE: danos às soqueiras, controle estatístico de processo, colheita mecanizada.

BASAL CUT QUALITY IN SUGARCANE PLANTS USING THREE KNIFE MODELS

ABSTRACT: Sugarcane mechanized harvesting is a growing and irreversible trend towards sugarcane industry because of the increased workability during night and day shifts besides requirements of environmental and labor laws related to this operation. However, a major challenge is to improve basal cutting mechanism, since it may increase sugarcane stool damages and jolts combined with knife wear. Given the above, we aimed to evaluate basal cut quality through damage and jolt indexes in sugarcane stool, as well as wear of three knife models that are used in basal cut mechanism along run time. The experimental design was completely randomized, using three sample meshes with spacing of 50.0 x 1.50 m for each knife type at different plots over the same field stand with replications. We assessed weight loss, wear length, width and thickness of the cutting knives and cutting height, stool damage and jolt rates. It was found that basal cut quality is affected by knife model and run time. The knife B showed less variation and higher cut quality for damage and jolt rates in sugarcane stool.

KEYWORDS: stool damages, process statistical control, mechanized harvesting.

¹ Doutor em Agronomia (Produção vegetal), Univ Estadual Paulista, Jaboticabal - SP, Máquinas e Mecanização Agrícola, +55 (16) 3209-7289, murilo_voltarelli@hotmail.com

² Prof. Livre-docente, Departamento de Engenharia Rural, Univ Estadual Paulista, Jaboticabal - SP, Máquinas e Mecanização Agrícola, rouverson@fcav.unesp.br

³ Doutorando em Agronomia (Produção vegetal), Univ Estadual Paulista, Jaboticabal - SP, Máquinas e Mecanização Agrícola, marcelocassia@gmail.com

⁴ Engenheiro Agrônomo, Univ Estadual Paulista, Jaboticabal - SP, ortiz.danilofarinelli@gmail.com

⁵ Mestre em Agronomia (Produção vegetal), Univ Estadual Paulista, Jaboticabal - SP, Máquinas e Mecanização Agrícola, luma.storres@gmail.com

Recebido pelo Conselho Editorial em: 14-3-2014

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 02-2-2015

INTRODUÇÃO

O sistema de colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua é realizado por máquinas, que causam elevados níveis de perdas quali-quantitativas no decorrer da operação, podendo estas ocorrerem por meio do descuido do operador, pelas más condições do terreno, que dificultam a movimentação uniforme das máquinas, por variedades não adaptadas, porte do canavial, teor de água do solo, velocidade de deslocamento da colhedora, dentre outros aspectos (NEVES et al., 2006).

SALVI et al. (2007) relatam que é claro e visível que o desgaste dos componentes do mecanismo de corte basal, composto por discos rotativos com múltiplas lâminas de corte, também tenha grande influência e importância nos danos e abalos causados às soqueiras, podendo ocasionar maior dilaceramento dos tocos, facilitando o ataque de pragas e doenças, e destruindo ou removendo mecanicamente as soqueiras. Os autores relatam, ainda, que os cortadores de base das colhedoras de cana-de-açúcar provocam redução na produtividade potencial do canavial nos anos subsequentes, devido aos danos e abalos ocasionados às soqueiras.

Segundo CASSIA et al. (2014), ao estudarem o desgaste das facas de corte basal na colheita de cana-de-açúcar, relacionado aos índices de danos e abalos às soqueiras, relaram que à medida que ocorre o desgaste do fio de corte, ou seja, aumento de sua espessura, existe um incremento no índice de danos e abalos às soqueiras, o que potencialmente prejudicará a rebrota do canavial futuramente.

Aliado à expansão da colheita mecanizada de cana-de-açúcar, o uso do controle estatístico de processo nesta operação agrícola pode vir a ser fundamental, pois 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 da mesma. Alguns autores têm feito uso do controle estatístico de processo, utilizando-se de indicadores de qualidade. Nestes trabalhos, a ferramenta normalmente utilizada para identificar causas não aleatórias ou as causas especiais decorrentes da instabilidade do processo são as cartas de controle (BARROS & MILAN, 2010; CASSIA et al., 2013; CHIODEROLI et al., 2012; SILVA et al., 2011; SILVA et al., 2013; TOLEDO et al., 2008; VOLTARELLI et al., 2013; ZERBATO et al., 2013.).

Partindo da hipótese de que diferentes modelos de facas do mecanismo do corte de base possam apresentar desgaste de suas dimensões de maneira diferenciada, podendo influenciar a qualidade das soqueiras remanescentes de cana-de-açúcar, objetivou-se neste trabalho avaliar qualitativamente o desgaste de três modelos de facas do mecanismo de corte basal e a qualidade do corte por meio dos índices de danos e abalos às soqueiras, na colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em área produtiva de uma Usina, localizada no município de Pitangueiras – SP, nas proximidades das coordenadas geodésicas: latitude 20° 57' 40" S e longitude 48° 12' 38" O, com altitude média de 512 m, declividade de 4% e clima Aw na classificação de Köppen. A operação de plantio foi realizada com espaçamento de 1,50 m, utilizando a variedade RB86-7515. A colheita mecanizada de cana-de-açúcar em primeiro corte do canavial foi realizada com três colhedoras, cada uma portando facas do mecanismo de corte de basal de três diferentes marcas comerciais (Tabela 1).

A caracterização do porte do canavial foi determinada utilizando-se de triângulo retângulo padrão. Foram tomadas dez amostras ao acaso, nas glebas do talhão avaliado, em diferentes fileiras de plantio para cada tratamento, dispendo-se o triângulo padrão longitudinalmente à fileira de plantio e anotando-se o número de colmos em cada condição. Em seguida, o porte do canavial foi quantificado e definido de acordo com a condição de maior porcentagem apresentada de colmos eretos, acamados ou deitados. A caracterização do teor de água no solo foi realizada na

profundidade de 0 a 0,1 m, na qual foram coletadas cinco amostras ao acaso por talhão por turno de avaliação, conforme a metodologia da EMBRAPA (1997).

TABELA 1. Características dimensionais das colhedoras e das facas do mecanismo de corte basal utilizadas nos períodos de avaliação. **Dimensional characteristics of the harvesters and the knives used in basal cut mechanism during the evaluation time.**

Colhedoras	Case-IH/A7700	Case-IH/A8000	Case-IH/A8800
Rodado	Esteiras	Pneus	Esteiras
Bitola (m)	1,88	1,83	1,88
Velocidade de operação (km h ⁻¹)	6,0	6,0	6,0
Facas ¹	A	B	C
Dimensões (mm) ²	266 x 89 x 4,72	268 x 89 x 4,73	267 x 89 x 4,13
Massa (g)	844,9	865,2	841,9

¹Valor médio de dez facas; ²Comprimento x largura x espessura das facas.

Os dados foram coletados no mês de julho de 2012, utilizando-se três de modelos comerciais de facas do mecanismo de corte basal das colhedoras. Para todos os conjuntos de facas, as avaliações foram efetuadas em um prazo total de 60 h de trabalho. As quatro faces cortantes das facas, A, B e C, foram utilizadas durante todo o período de trabalho para a avaliação da vida útil, sendo suas faces cortantes invertidas a cada troca de turno de operação, sendo eles: manhã, tarde e noite (o intervalo de troca de turnos ocorria a cada 7 h 30 min, quando não houve quebras, sendo este os critérios adotados, pela usina que considerou somente o desgaste da região do fio de corte das facas.

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com três tratamentos, sendo eles constituídos por: três modelos comerciais de facas do mecanismo de corte basal, A, B e C, sendo 10 facas para cada tratamento, e o número de repetições foi definido em função da troca de oito turnos de operação no momento de inversão das facas, sendo todas avaliadas. Para a avaliação da altura de corte e dos índices de danos e de abalos às soqueiras, um total de 120 repetições foram realizadas, sendo 40 para cada modelo de faca e com 5 repetições para cada lado da face cortante utilizada ao longo dos turnos de operação. Para a realização das avaliações, foram utilizadas três malhas amostrais espaçadas de 50,0 x 1,50 m entre si.

As variáveis avaliadas constituíram-se do desgaste das facas do mecanismo de corte basal, altura do corte, índice de danos e de abalos às soqueiras. A determinação do desgaste das facas do mecanismo de corte basal foi realizada por meio da avaliação da perda de massa e do comprimento de cada faca, quando novas e depois de desgastadas, após a inversão das mesmas, utilizando-se de balança de precisão de 0,01 g de resolução e com paquímetro digital, respectivamente. Foram mensuradas também, em todas as avaliações, a largura e a espessura de corte de cada faca (fio de corte), tomada com o auxílio de um paquímetro digital. Para cada período de avaliação, as facas foram avaliadas individualmente, portanto, dez em cada período.

Para a avaliação da altura de corte, índice de danos e de abalos às soqueiras, foi definida uma área amostral de 0,25 m², sendo contabilizados todos os colmos presentes nesta área, 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 a zero, ou seja, o corte foi considerado como realizado na superfície do solo.

Os danos causados à soqueira de cana-de-açúcar foram classificados considerando-se três níveis, e contabilizados por meio de pesos atribuídos a cada tipo de danos existentes: sem danos (SD = -1,00), danos periféricos (DP = -0,33) e danos fragmentados (FR = 1,00). Após a identificação e a 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, de acordo com TOLEDO (2012), calculando-se conforme a [eq. (1)]:

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

em que,

ID - Índice de danos às soqueiras;

PSD - peso atribuído aos colmos sem danos (-1,00);

nSD - número de colmos sem danos;

PDP - peso atribuído aos colmos com danos periféricos (-0,33);

nDP - número de colmos com danos periféricos;

PFR - peso atribuído aos colmos com danos fragmentados (1,00);

nFR - número de colmos com danos fragmentados, e

n - número total de colmos na soqueira.

O índice de abalo às soqueiras de cana-de-açúcar [eq. (2)] foi avaliado por meio da aplicação de força manual provocada pelo avaliador, verificando-se a mobilização direta das soqueiras no solo, mas classificando e contabilizando-os também por meio de pesos (FF = 1,00, AM = -0,33 e AF = -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 mobilidade da soqueira provocada pela força aplicada. Quanto maior a mobilização, maior é o abalo das soqueiras.

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

em que,

IA - Índice de abalos às soqueiras;

PFF - peso atribuído aos colmos com abalo forte (1,00);

nFF - quantidade de colmos com abalo forte;

PAM - peso atribuído aos colmos com abalo médio (-0,33);

nAM - quantidade de colmos com abalo médio;

PAF - peso atribuído aos colmos com abalo fraco (-1,00);

nAF - quantidade de colmos com abalo fraco, e

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 abalos fraco, médio e forte. Quanto mais esse índice se aproxima 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, sendo totalmente sem danos e sem abalos (abalos fracos), quando o índice for igual a este valor. Para maior controle experimental, todas as avaliações foram realizadas por um único avaliador.

A análise da estatística descritiva foi realizada calculando-se medidas de tendência central (média e mediana). A verificação da normalidade dos dados foi realizada pelo teste de Anderson-Darling, teste esse que oferece uma medida de proximidade entre os pontos e a reta estimada na

probabilidade, conferindo maior rigidez à análise. A análise referente à estatística descritiva é discutida juntamente com as cartas de controle.

Os resultados foram avaliados por meio do controle estatístico de processo, utilizando-se das cartas de controle 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 (LSC e LIC), respectivamente, 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, provocada por algum fator externo, decorrente do processo, bem como avaliar a qualidade da operação, utilizando-se como indicadores de qualidade de todas as variáveis descritas anteriormente. Todos os indicadores de qualidade foram utilizados para a confecção das cartas de controle, independentemente da suposição de normalidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O porte do canal foi classificado como ereto, pelas médias das avaliações, reportando a uma condição ideal para a realização da colheita mecanizada de cana-de-açúcar. Já o teor de água no solo, para o referido talhão avaliado, manteve-se praticamente constante ao longo do experimento, com aproximadamente o valor médio de 17,7%.

O indicador de qualidade massa das facas apresentou distribuição normal de probabilidade para as facas A e B, de acordo com o teste de Anderson-Darling. Por outro lado, a faca C apresentou assimetria do conjunto de dados (média menor que sua mediana), indicando que existe a maior concentração de pontos acima da média, o que pode refletir em uma curva de distribuição mais alongada à esquerda (Figura 1).

Pela análise das cartas de controle, apesar de os três modelos de facas apresentarem instabilidade do processo, tanto para as cartas de valores individuais quanto para as de amplitudes móveis (Figura 1a e b). Tal situação pode ser explicada em função da variabilidade existente na massa das facas (conjunto de 10 facas), ou seja, proveniente de seu processo de fabricação e/ou da ação do desgaste, sendo este último causado pelo impacto com a própria cana-de-açúcar e com o contato com o solo. Esta elevada variação que ocorre ligeiramente em menor e maior escala para as facas A e B, respectivamente, pode ser verificada pelas cartas de amplitudes móveis (Figura 1b).

Observa-se, também, a perda crescente e acentuada da massa das facas A e B, com percentual médio de desgaste de 4,2 e 5,9%, respectivamente, durante as 60 h trabalhadas. À medida que as facas vão sofrendo a ação do desgaste, as inversões das faces cortantes devem ser realizadas a fim de não comprometer a qualidade do corte basal durante o processo de colheita, podendo elevar os índices de danos e de abalos às soqueiras.

Por outro lado, a faca C apresentou o percentual de desgaste médio de 1% ao longo do total das horas trabalhadas, situação esta bem inferior aos demais modelos de facas utilizados. Este fato pode ser explicado devido à quantidade elevada de facas quebradas durante a operação de colheita, sendo substituídas, posteriormente, por facas novas no disco de corte basal que possuem maior massa e, conseqüentemente, não houve tempo suficiente para as mesmas sofrerem a ação do desgaste até chegar os momentos de avaliação, elevando a média da massa deste conjunto de facas.

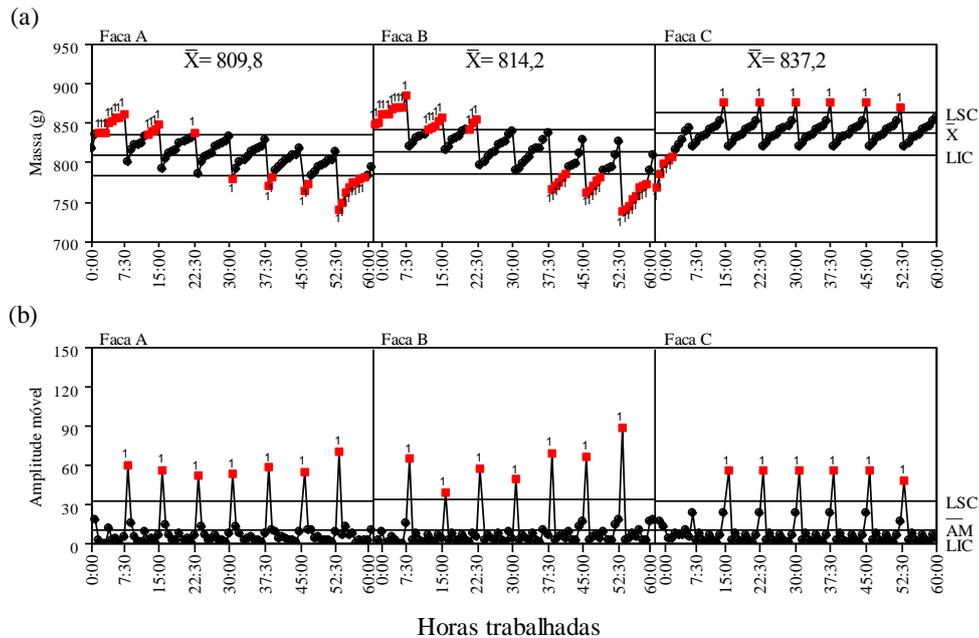


FIGURA 1. Cartas de controle para a perda de massa (g) dos três modelos de facas utilizados na colheita mecanizada de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{X} : Média. \bar{AM} : Média da amplitude móvel. **Control charts for weight loss (g) of the three knife models used in sugarcane mechanized harvesting. (a) Individual values. (b) Moving range. LSC: upper control limit. LIC: Lower control limit. \bar{X} : average. \bar{AM} : average moving range.**

MILANEZ (2013), avaliando a perda de massa das facas de corte basal revestidas com a liga metálica de carbeto de tungstênio e associando-se este desgaste ao índice de danos e abalos às soqueiras de cana-de-açúcar, relata que a perda de massa destas facas de corte em função do tempo de uso resulta no aumento do índice de danos, possuindo tal valor médio semelhante ao apresentado no presente trabalho (facas sem revestimento).

A faca B, para o indicador de qualidade comprimento, apresentou distribuição normal de probabilidade, caso este que não ocorre para as facas A e C, que apresentaram comportamento semelhante ao da variável massa das facas, sendo as concentrações de pontos agrupadas acima das médias (Figura 2), situação que pode ter levado à não normalidade dos grupos de dados.

Ao se analisar as cartas de controle para este indicador de qualidade, verificou-se a instabilidade do processo para os modelos de facas A, B e C, tanto para as cartas de valores individuais quanto nas de variação do processo (amplitude móvel), sendo a menor variabilidade encontrada para a faca B (Figura 2a e b). Nota-se também que, com o aumento das horas trabalhadas pelas facas, maior é a ação de seu desgaste e, conseqüentemente, menor se torna seu comprimento. Tal fato pode ser evidenciado pelas facas A e B, que apresentaram percentuais de desgaste de 3,6 e 5,1%, respectivamente.

Por outro lado, os modelos de faca A e B, ao final das 60 h trabalhadas, apresentaram pontos fora do limite inferior de controle, situação que pode indicar a diminuição do comprimento causado pela ação do desgaste, podendo ser comprovado pelos elevados valores crescentes de amplitude encontrados na carta de variação do processo (Figura 2b).

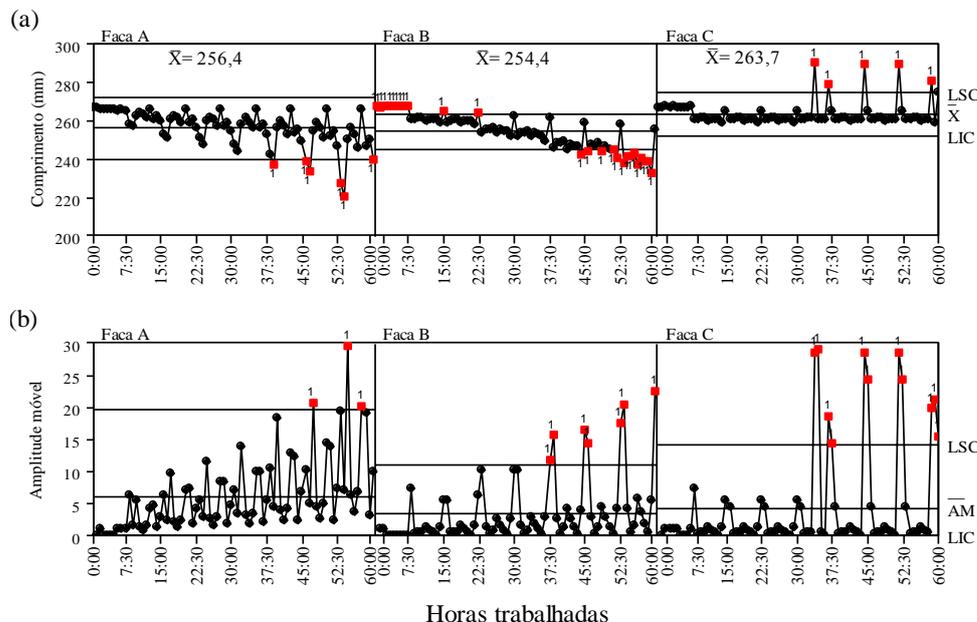


FIGURA 2. Cartas de controle para o comprimento (mm) dos três modelos de facas utilizados na colheita mecanizada de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{X} : Média. \bar{AM} : Média da amplitude móvel. **Control charts for length (mm) of the three knife models used in sugarcane mechanized harvesting. (a) Individual values. (b) Moving range. LSC: upper control limit. LIC: Lower control limit. \bar{X} : average. \bar{AM} : average moving range.**

Já a faca C apresentou percentual de desgaste inferior aos demais modelos utilizados, com 1,3%, situação que, de maneira análoga, a variável massa das facas pode ser explicada pela maior quantidade de quebras ao longo da jornada de trabalho. Quando essas facas foram substituídas por novas, possuíam maior comprimento do fio de corte, e após serem avaliadas nos períodos de troca de turno, elevaram o valor médio do comprimento desse conjunto.

Ressalta-se ainda que este modelo de faca (C), ao final das horas trabalhadas, apresentou alguns pontos fora do limite superior de controle na carta de valores individuais, situação que pode ser explicada em função da variabilidade existente entre o comprimento das facas novas e devido à ação do desgaste, fazendo também refletir esta instabilidade na carta de amplitude móvel.

Já a largura das facas A, B e C não apresentou distribuição normal de probabilidade de acordo com o teste de Anderson-Darling. No entanto, a maior qualidade da operação para este indicador de qualidade foi encontrada para o conjunto de facas A, representando o tratamento que possui a menor variabilidade da operação, podendo ser verificado na carta de amplitude móvel (Figura 3a e b).

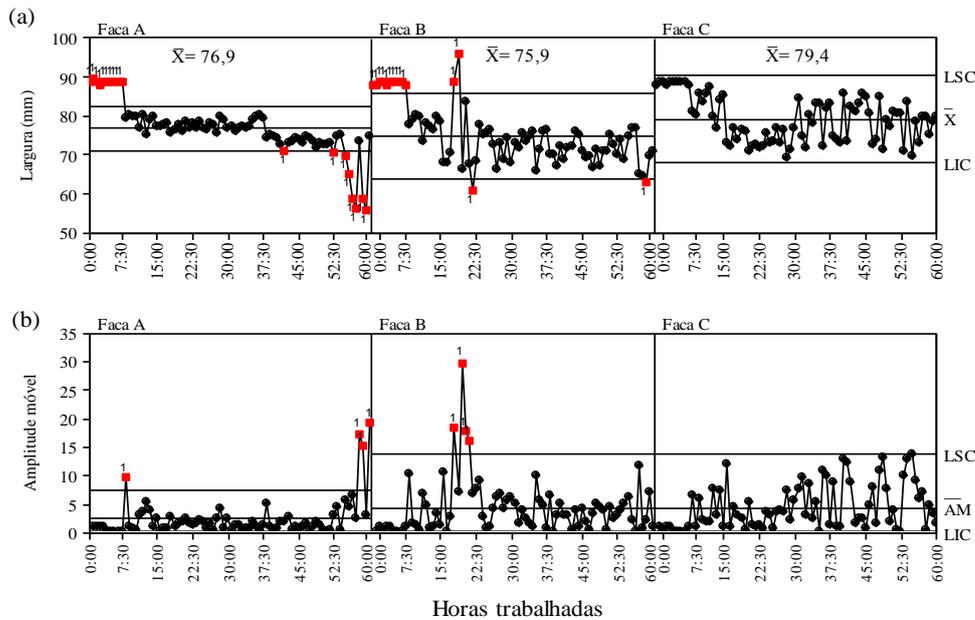


FIGURA 3. Cartas de controle para a largura (mm) dos três modelos de facas utilizados na colheita mecanizada de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{X} : Média. \bar{AM} : Média da amplitude móvel. **Control charts for the width (mm) of the three knife models used in sugarcane mechanized harvesting. (a) Individual values. (b) Moving range. LSC: upper control limit. LIC: Lower control limit. \bar{X} : average. \bar{AM} : average moving range.**

Apesar de a faca A apresentar a menor variabilidade, o processo foi considerado instável com um grupo de pontos acima do limite superior de controle e outro grupo abaixo do limite inferior de controle, podendo ser verificado na carta de valores individuais. Tais pontos fora dos limites de controle podem indicar a diminuição da largura das facas em função da ação do desgaste e das elevadas variações encontradas na carta de amplitude móvel ao final das 60 h trabalhadas, com percentual médio de desgaste de 13,6%.

GRAY et al. (2009) relatam que, à medida que as facas de corte do mecanismo basal tocam o solo e as plantas, na colheita mecanizada de cana-de-açúcar, há um decréscimo na largura, no comprimento e, por fim, um aumento da espessura do fio de corte, situação que pode ser observada para o presente trabalho pela redução da largura das facas utilizadas (Figura 3).

Por outro lado, a faca B apresentou o percentual de desgaste de 14,8%, sendo levemente superior ao do conjunto A, apesar de este modelo não apresentar um comportamento semelhante ao da faca A, na qual o desgaste da largura de corte é evidente somente na carta de valores individuais, não havendo elevados valores de amplitude móveis no final das horas trabalhadas.

Observa-se ainda que a faca C apresentou comportamento aleatório no decorrer das horas avaliadas tanto na carta de valores individuais como na de variação do processo, com todos os pontos entre os limites superior e inferior de controle. Este conjunto (C) foi o que obteve o menor percentual de desgaste, com apenas 10%, fato que pode ser associado às trocas de facas, havendo elevada variação pelo fato de serem novas e de possuírem aproximadamente a mesma largura, o que refletiu também na maior variação dos desvios-padrão, que culminou nos limites de controle mais afastados da média geral.

Por outro lado, o indicador de qualidade espessura do fio de corte das facas, para todos os modelos avaliados, apresentou distribuição normal de probabilidade (Figura 4), o que proporciona uma situação em que a média está próxima à mediana e que os valores dos conjuntos de dados oscilam próximo à mesma.

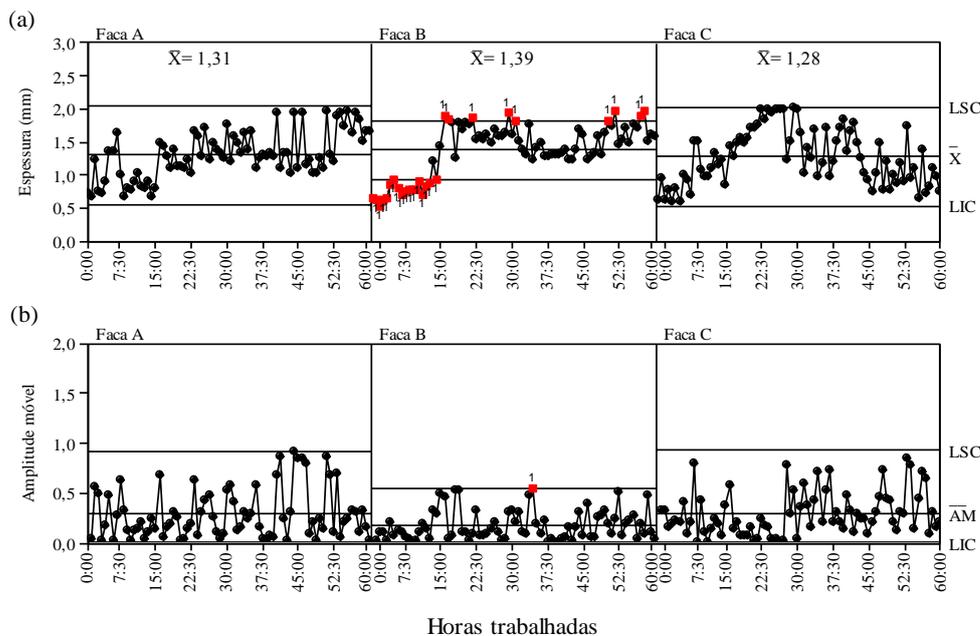


FIGURA 4. Cartas de controle para a espessura do fio de corte (mm) dos três modelos de facas utilizados na colheita mecanizada de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{X} : Média. \bar{AM} : Média da amplitude móvel. **Control charts for the cutting line thickness (mm) of the three knife models used in sugarcane mechanized harvesting. (a) Individual values. (b) Moving range. LSC: upper control limit. LIC: Lower control limit. \bar{X} : average. \bar{AM} : average moving range.**

Os modelos de facas A e C apresentaram estabilidade no decorrer do processo, com todos os pontos dentro dos limites superior e inferior de controle, tanto para as cartas de valores individuais como para as de variação do processo. Observa-se ainda que, de maneira geral, as facas A possuem aumento da espessura do fio de corte a cada avaliação realizada nas trocas de turnos, podendo destacar as últimas 15 h trabalhadas devido à maior quantidade de pontos próximos ao limite superior de controle, representando aproximadamente 42% da espessura total, fato que pode ser explicado em função do desgaste que as mesmas sofrem ao longo da jornada de trabalho pelo intenso atrito com a cana-de-açúcar e também com o solo.

Por outro lado, a faca C, em função das trocas realizadas por motivo de quebras durante a operação, fez com que a mesma não apresentasse aumento acentuado da espessura do fio de corte em relação às demais, situação que pode favorecer o corte basal, impondo maior qualidade à colheita mecanizada. SESTARI (2011) observou que a espessura das faces cortantes das facas aumenta com as horas de uso; porém, neste trabalho, em virtude das inversões em relação ao desgaste e das trocas em função das quebras das facas, não houve diferença entre os três modelos avaliados. Vale ressaltar ainda que as espessuras das facas neste ensaio, potencialmente, sofrem aumento em relação à espessura inicial das mesmas, fato associado ao desgaste ocorrido.

Por outro lado, MILANEZ (2013), ao avaliar o desgaste do fio de corte das facas revestidas com carbeto de tungstênio, na colheita mecanizada de cana-de-açúcar, descreve que as mesmas possuem um autoafiamento, na medida em que aumentam as horas de trabalho, possuindo um valor menor de espessura (1,0 mm) em relação aos valores médios das facas sem revestimento, utilizadas no presente trabalho, em aproximadamente 48 h de uso, em que tendem a aumentar sua espessura. O autor relata ainda que estas facas revestidas possuem durabilidade maior de até três vezes em relação às demais facas sem revestimento avaliadas.

Os conjuntos de faca A e C apresentaram normalidade de acordo com o teste de Anderson-Darling, enquanto o conjunto de faca B apresentou distribuição não normal do grupo de dados, o

que reflete na maior concentração de pontos abaixo da média, devido à mediana ser inferior à mesma (Figura 5).

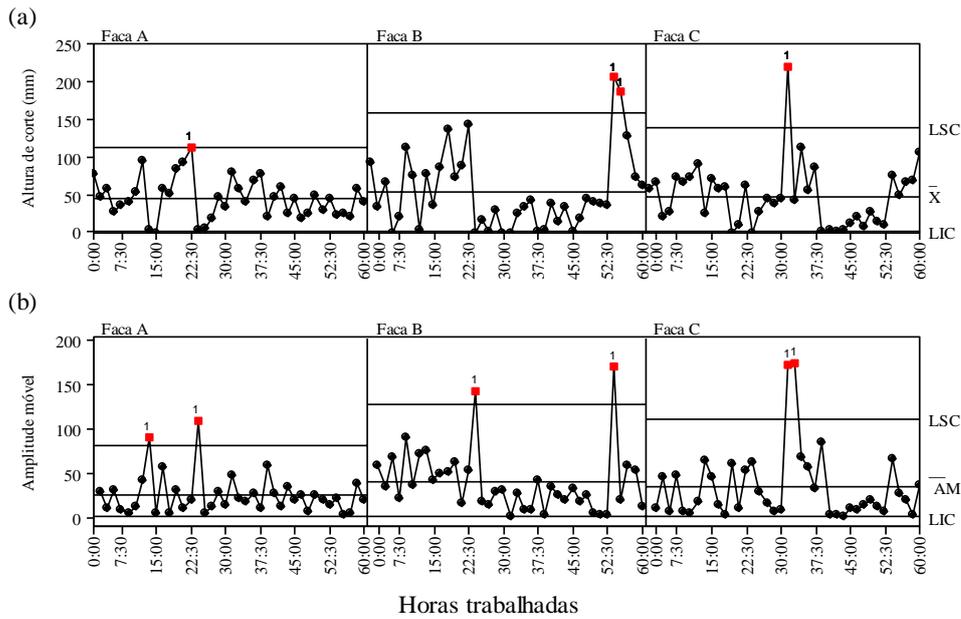


FIGURA 5. Cartas de controle para a altura de corte (mm) na colheita mecanizada de cana-de-açúcar por três modelos de facas. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{X} : Média. \bar{AM} : Média da amplitude móvel. **Control charts for the cut height (mm) in sugarcane mechanized harvesting for the three knife models. (a) Individual values. (b) Moving range. LSC: upper control limit. LIC: Lower control limit. \bar{X} : average. \bar{AM} : average moving range.**

As cartas de controle, para o indicador de qualidade altura de corte, demonstram que, para as facas A, B e C, o processo foi considerado instável, devido à presença de pontos acima do limite superior de controle, tanto para a carta de valores individuais (Figura 5a), quanto para a carta de amplitude móvel (variação do processo), evidenciando a ocorrência de causas não aleatórias, extrínsecas ao processo (Figura 5b). Situação semelhante a esta SALVI et al. (2007) encontraram avaliando um dispositivo de controle automático da altura de corte, na colheita mecanizada de cana-de-açúcar.

As causas não aleatórias ou especiais são resultados da ação de fatores externos que fazem com que o processo não atenda aos limites de controle estabelecidos. Dentre estes fatores, estão: mão de obra, meio ambiente, máquina, método, medição e matéria-prima (os chamados fatores “6 Ms”). Neste caso, as principais causas de o processo ser considerado instável podem ser atribuídas em relação aos fatores máquina e mão de obra, em que tal instabilidade pode ser explicada decorrente da não utilização do dispositivo de controle automático da altura de corte, e pelo fato de que o operador da máquina possa ter, eventualmente, perdido o controle da mesma, também afetando a qualidade da operação.

Verifica-se também que, para os conjuntos A, B e C, ocorrem pontos que tocam o solo, que pode ser visualizado nas cartas de valores individuais (LIC=0), fato que, possivelmente, poderá acelerar o processo de desgaste das facas ao longo do tempo, aumentando a quantidade de impurezas minerais levadas à indústria e diminuindo a qualidade da matéria-prima. Por outro lado, pode-se observar na carta de variação do processo que a variabilidade da altura de corte da faca A foi menor em relação às dos modelos C e B, respectivamente, indicando que a operação possui maior qualidade no tratamento em que se utilizou a faca A.

NORONHA et al. (2011), ao estudarem o efeito dos turnos diurno e noturno na operação de colheita mecanizada de cana-de-açúcar, relataram que a menor variabilidade para o indicador de

qualidade altura de corte foi para o período diurno, com valores próximos a 30 mm, valor inferior ao encontrado neste trabalho, quando a colheita foi realizada tanto no período diurno quanto noturno. PELOIA et al. (2010), estudando o desempenho da colheita mecanizada de cana-de-açúcar, relataram que a variabilidade decorrente deste processo é elevada, e que esta é difícil de ser controlada, ocorrendo fato semelhante para o tratamento em que se encontra a faca B, pois o mesmo apresentou também a maior variabilidade.

Para o indicador de qualidade índices de danos às soqueiras, verifica-se a distribuição normal dos dados de acordo com o teste de Anderson-Darling para os três modelos de facas utilizados (Figura 6). Ressalta-se, ainda, a estabilidade do processo para os conjuntos A e C evidenciada nas cartas de valores individuais e de amplitude móvel (Figura 6a e b), na qual a faca C foi a que apresentou maior variabilidade ao longo da operação. Por outro lado, a faca C também apresenta concentração de pontos próximos ao valor zero, podendo indicar que, nestes tratamentos, o índice de danos é em maior parte classificado como periférico.

A faca B apresentou instabilidade no decorrer do processo, porém foi a que obteve menor variabilidade. A instabilidade ocorreu devido ao ponto fora do limite superior de controle, apresentado na carta de variação do processo (Figura 6b), o que pode ser explicado pela elevada variação dos valores entre as observações na carta de valores individuais (Figura 6a).

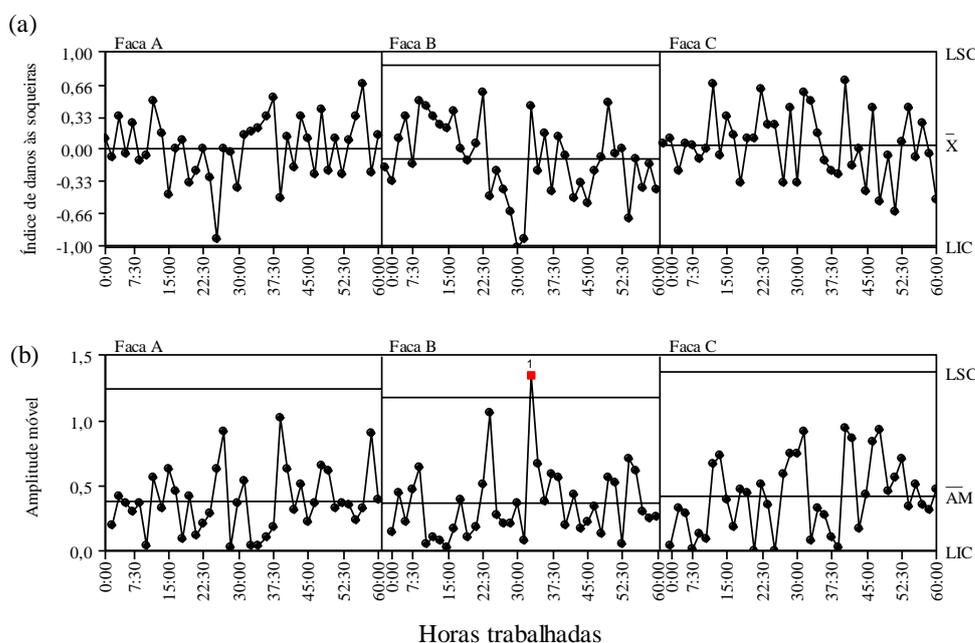


FIGURA 6. Cartas de controle para o índice de danos na colheita mecanizada de cana-de-açúcar por três modelos de facas. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{X} : Média. \bar{AM} : Média da amplitude móvel. **Control charts for the damage index in sugarcane mechanized harvesting for the three knife models. (a) Individual values. (b) Moving range. LSC: upper control limit. LIC: Lower control limit. \bar{X} : average. \bar{AM} : average moving range.**

Estes resultados indicam que, sob a óptica deste indicador, o corte com as facas A e C apresentou somente causas aleatórias de variação, que ocorrem de forma individual, tendo pouca ou nenhuma influência no processo. Isso significa que, para uma ação das facas provocando danos nas soqueiras dentro de determinada medida-padrão, serão encontradas muitas soqueiras com pequenas variações em torno desse padrão, variações que não prejudicam o processo, sendo sua eliminação técnica e economicamente inviável.

Há de se observar ainda que, para as facas B e C, à medida que aumentam seus tempos de uso durante a colheita mecanizada, possivelmente a probabilidade de ocorrer danos fragmentados é

maior, fato que não ocorreu devido à inversão das facas no mecanismo de corte basal e às trocas de facas quebradas no decorrer da operação, fazendo com que a qualidade do corte basal fosse melhor, podendo não afetar futuramente a rebrota do canavial. Já para a faca A, nota-se que não houve motivo de troca por quebra, podendo indicar que, à medida que estas são utilizadas, o desgaste ocasionado aumenta, e isso ocasiona maiores índices de danos nas soqueiras. Tal condição, pode ser observada na carta de valores individuais pela quantidade de pontos próximos ao índice de valor um, podendo ser os danos classificados como fragmentados, fato que pode comprometer a produtividade do canavial no próximo corte.

TOLEDO (2012), estudando a qualidade do corte basal em cana-de-açúcar avaliando modelos de facas (lisas e serrilhadas) e discos de corte basal com e sem inclinação, constatou que a menor variabilidade para o índice de danos foi verificada para a faca serrilhada acoplada ao disco de corte sem inclinação. Porém, este conjunto foi o que apresentou a menor porcentagem de soqueiras sem danos, situação diferente da encontrada para o presente trabalho, em que as facas utilizadas foram lisas, e os discos, sem inclinação, e que refletiram na maior quantidade de soqueiras sem danos.

Para o indicador de qualidade índice de abalos às soqueiras, de maneira análoga ao índice de danos, este também apresentou normalidade dos conjuntos de dados, e as facas A, B e C apresentaram comportamento estável no decorrer do processo, havendo somente presença de causas aleatórias intrínsecas ao mesmo, podendo ser observado nas cartas de valores individuais e nas de variação do processo (Figura 7a e b). Destaca-se que, quando se analisa a Figura 7a, houve pontos situados iguais e/ou acima do limite superior de abalo (LSA), sendo classificados como índice de abalo forte às soqueiras, que foi maior para o tratamento em que se encontra a faca C, representando 37,5% dos pontos amostrais, ao longo das horas trabalhadas.

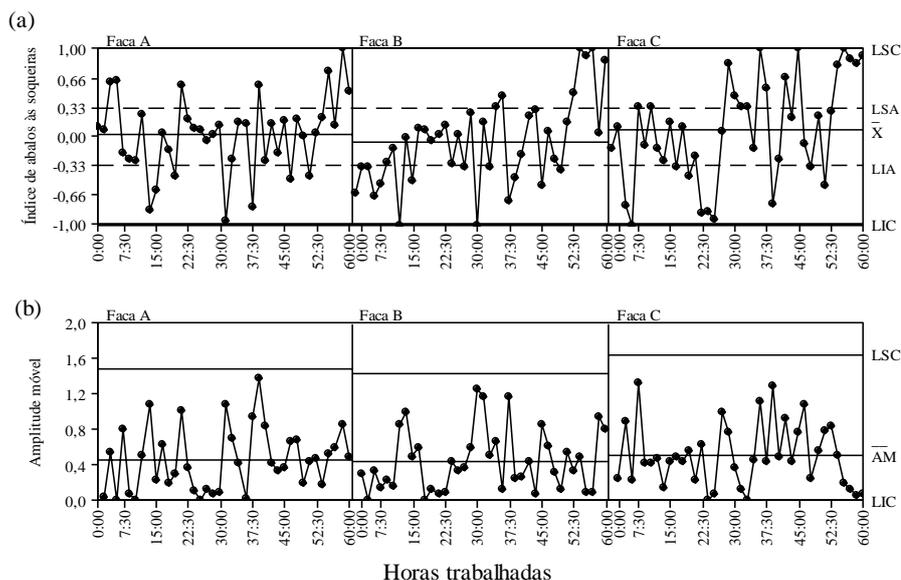


FIGURA 7. Cartas de controle para o índice de abalo na colheita mecanizada de cana-de-açúcar por três modelos de facas. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel. LSC: Limite superior de controle. LSA: Limite superior de abalo às soqueiras. LIA: Limite inferior de abalo às soqueiras. LIC: Limite inferior de controle. \bar{X} : Média. \bar{AM} : Média da amplitude móvel. **Control charts for the jolt index in sugarcane mechanized harvesting for the three knife models. (a) Individual values. (b) Moving range. LSC: Upper control limit. LSA: Upper limit for the jolt of ratoon. LIC: Lower control limit. \bar{X} : average. \bar{AM} : average moving range.**

Apesar da estabilidade apresentada para todos os conjuntos, a faca B foi a que apresentou menor variação do processo, fato que pode ser atribuído ao tratamento em que ocorreu a maior

qualidade da operação (menor intervalo entre os limites superior e inferior de controle na carta de amplitude móvel). Por outro lado, ao se analisar os limites superior e inferior de abalos às soqueiras (LSA e LIA), nota-se que a quantidade média de pontos classificados como abalo fraco, durante todo o período de trabalho, é de 17,5; 25 e 20% para as facas A, B e C, respectivamente, podendo ser comprovada a melhor qualidade da operação realizada pela faca B.

Ressalta-se ainda que, nas últimas 15 h trabalhadas para cada tratamento, houve uma quantidade de pontos classificados como índice de abalo forte, representando 7,5; 12,5 e 15% para as facas A, B e C, respectivamente. Tais índices podem indicar que os desgastes das facas do mecanismo de corte basal afetam a qualidade da operação de uma maneira inviável; portanto, seria necessária a inserção de novos conjuntos de facas. MARQUES (2011) relata que, associada ao desgaste das facas do mecanismo de corte basal, a velocidade de trabalho elevada da colhedora possui influência no aumento dos índices de abalos causados às soqueiras de cana-de-açúcar.

Observa-se ainda que, para todas as facas, independentemente da troca ou não das mesmas pelo motivo de quebras, tanto no início quanto no final das horas trabalhadas, é possível verificar pontos em que ocorreram índices fortes de abalos à soqueira (1,00). Esta situação pode, possivelmente, explicar que este índice não é causado somente pelo desgaste das facas, mas também por ser influenciado por outros fatores relacionados à operação, estando eles relacionados aos 6 Ms que, neste caso, podem ser atribuídos à mão de obra e à máquina.

VOLTARELLI et al. (2013) estudaram o efeito do desgaste das facas revestidas com carbeto de tungstênio e sem revestimento do mecanismo de corte basal das colhedoras de cana-de-açúcar, em função do tempo de uso, e relataram que as facas sem revestimento proporcionaram maior índices de abalos às soqueiras, ao longo do tempo, em relação às revestidas, com valores médios semelhantes ao apresentado pelo presente trabalho para estas facas sem revestimento.

A possível explicação para o fator mão de obra pode ser atribuído ao fato de que o operador possa ter aumentado a velocidade de deslocamento da máquina, em alguns momentos, e por perder o controle da mesma, fazendo com que as facas de corte tocassem o solo, movimentando bruscamente as soqueiras, culminando em pontos de abalo forte.

Em relação ao fator máquina, a possível explicação pode ser atribuída por o mecanismo de corte basal não possuir elevada qualidade técnica, caracterizando-se por ser um equipamento que trabalha em condições dinâmicas, e que dificilmente oferece maior proporção do índice de abalo fraco (-1,00) ao longo das horas trabalhadas, refletindo em uma situação na qual o canavial sofreria menos com eventuais falhas e perda de produtividade nos anos subsequentes.

CONCLUSÕES

A qualidade do corte basal, em relação aos índices de danos e abalos às soqueiras, é afetada pelo modelo de faca utilizado e pelo desgaste em função do tempo de uso.

O comprimento e a espessura do fio de corte da faca B apresentam maior qualidade e menor variabilidade durante a operação de colheita mecanizada.

A faca B apresenta menor variação e maior qualidade do corte basal para os índices de danos e de abalos às soqueiras de cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS

- BARROS, F. F.; MILAN, M. Qualidade operacional do plantio de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 221-229, 2010.
- CASSIA, M. T.; SILVA, R. P.; PAIXÃO, C. S. S.; BERTONHA, R. S.; CAVICHIOLI, F. A. Desgaste das facas do corte basal na qualidade da colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n.6, p. 987-993, 2014.

- CASSIA, M. T.; SILVA, R. P.; CHIODEROLLI, C. A.; NORONHA, R. H. F.; SANTOS, E. P. Quality of mechanized coffee harvesting in circular planting system. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n.1, p. 28-34, 2013.
- CHIODEROLI, C. A.; SILVA, R. P.; NORONHA, R. H. F.; CASSIA, M. T.; SANTOS, E. P. Perdas de grãos e distribuição de palha na colheita mecanizada de soja. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 1, p. 112-121, 2012.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos e análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212 p.
- GRAY, G R.; MAGALHÃES, P. S. G; BRAUNBECK, O. A. Suspensão pantográfica para o corte de base de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 766-771, 2009.
- MARQUES, D. B. **Qualidade da colheita de mudas de cana-de-açúcar para o plantio mecanizado em sistema MEIOSI**. 2011. 29 f. Monografia (Graduação em Agronomia: Área de concentração em Máquinas Agrícolas) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2011.
- MILANEZ, M. L. **Avaliação da qualidade do corte basal de colhedoras de cana-de-açúcar utilizando facas revestidas à base de carbeto de tungstênio**. Disponível em: <<http://www.sbea.org.br/spmec2013/inscricoes.html>>. Acesso em: 18 jun. 2013.
- NEVES, J. L. M.; MAGALHÃES, P. S. G; MORAES, E. E.; ARAÚJO, F. V. M. Avaliação de perdas invisíveis na colheita mecanizada em dois fluxos de massa de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 787-794, 2006.
- NORONHA, R. H. F.; SILVA, R. P.; CHIODEROLI, C. A.; SANTOS, E. P.; CASSIA, M. Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada diurna e noturna de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4 p. 931-938, 2011.
- PELOIA, P.R.; MILAN, M.; ROMANELLI, T.L. Capacity of the mechanical harvesting process of sugar cane billets. **Scientia Agricola**, v.67, p.619-623, 2010.
- SALVI, J. V.; MATOS, M. A.; MILAN, M. Avaliação do desempenho de dispositivo de cortes de base de colhedora de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 201-209, 2007.
- SESTARI, A. V. **Qualidade do corte basal com dois tipos de facas em colheita de cana-de-açúcar crua**. 2011. 40 f. Monografia (Graduação em Agronomia: Área de concentração em Máquinas Agrícolas) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2011.
- SILVA, R. P.; CASSIA, M. T.; VOLTARELLI, M. A.; COMPAGNON, A. M.; FURLANI, C. E. A. F. Qualidade da colheita mecanizada de feijão em dois sistemas de preparo do solo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 61-69, 2013.
- SILVA, R. P.; FERREIRA, I. C.; CASSIA, M. T. Perdas na colheita mecanizada de algodão. **Scientia Agropecuária**, Trujillo, v. 2, n. 1, p. 7-12, 2011.
- TOLEDO, A. **Qualidade do corte basal na colheita mecanizada de cana-de-açúcar**. 2012. 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Área de concentração em Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2012.
- TOLEDO, A.; TABELLE R.A.; SILVA, R.P.; FURLANI, C.E.A.; MAGALHÃES, S.C.; COSTA, B.O. Caracterização das perdas e distribuição de cobertura vegetal em colheita mecanizada de soja. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 710-719, 2008.
- VOLTARELLI, M. A.; SILVA, R. P.; SILVA, V. F. A. S.; COMPAGNON, A. M.; BRAME, L. J. Corte eficiente. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, v. 11, n. 128, p. 28-31, 2013.
- VOLTARELLI, M. A.; SILVA, R. P.; ROSALEN, D. L.; ZERBATO, C.; CASSIA, M. A. Quality of performance of the operation of sugarcane mechanized planting in day and night shifts. **Australian Journal Crop Science**, Brisbane, v. 7, n. 9, p. 1396-1406, 2013.
- ZERBATO, C.; CAVICHIOLI, F. A.; RAVELI, M. B.; MARRAFON, M.; SILVA, R. P. Controle estatístico de processo aplicado à colheita mecanizada de milho. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, MG v. 21 n. 3, p. 261-270, 2013.