

Influência do formato e velocidade da lâmina nas forças de corte para cana-de-açúcar

Roberto da Cunha Mello

CEA, Instituto Agronômico de Campinas. Autor para correspondência. e-mail: rcmello@iac.sp.gov.br

RESUMO. As colhedoras mecânicas cortam a cana em sua base pelo impacto de múltiplas lâminas montadas em dois discos rotativos. No corte por impacto a força predominante é normal ao perfil da lâmina e causa grandes danos na soqueira e na cana colhida. Se a lâmina tiver um ângulo oblíquo relativo ao movimento, e estando o material a ser cortado aderido à lâmina, ocorre então, o corte por deslizamento, que além da força normal, também existe uma componente de força tangencial. Neste trabalho foram comparadas forças de corte para lâminas standard, inclinadas e serrilhadas, a duas diferentes velocidades de corte, correspondente às rotações dos discos de 450 e 600 rpm. A lâmina standard (corte por impacto) não variou significativamente com a velocidade, enquanto que para as lâminas inclinadas (corte por deslizamento) houve uma redução nas forças de corte com o aumento da velocidade. O perfil serrilhado com passo de 3 mm foi o que apresentou a menor força de corte.

Palavras-chave: forças de corte, corte de base, lâminas serrilhadas, colhedora de cana-de-açúcar.

ABSTRACT. Effect of blade shape and speed on cutting forces for sugar cane. Mechanical cane harvesters cut the cane at its base by the impact of multiple blades mounted on a rotating disk. In the impact cut, the essential force is normal to the blade edge and it causes large damage to the stool and cane. If the blade has an oblique angle relative to the direction of motion, a slicing cut occurs, where, besides the normal force there is a component of tangential force. In this work, the cutting forces for standard, angled and serrated blades with two different cutting speeds that correspond to a disk rotation of 450 and 600 rpm were compared. The standard blade (impact cut) did not show significant difference with the cutting speed but for angled blades (slicing cut) there was reduction of force when the speed increases. Serrated blade with pitch of 3 mm shows the smaller cutting force.

Key words: cutting forces, base cut, serrated blades, sugarcane harvester.

Introdução

O conhecimento das forças envolvidas no processo de corte basal é de grande importância para a redução de danos e perdas tanto na soqueira como na cana colhida, assim como para o dimensionamento da potência consumida pelas colhedoras.

O fato das lâminas adquirirem um formato arredondado após um determinado número de horas trabalhadas faz com que a cana deslize sobre o perfil da lâmina sem ser cortada adequadamente, forçando o operador a trabalhar com os discos do cortador de base abaixo da superfície do solo para evitar problemas na alimentação da máquina. Kroes (1997) mostrou que é impossível evitar este problema com a atual configuração do cortador de base.

Atualmente, as colhedoras cortam a cana em sua base pelo impacto de múltiplas lâminas montadas em dois discos rotativos. No corte por impacto, a força normal é predominante, o que causa grandes danos na soqueira e na cana colhida. Harris e Mello (1999) sugeriram lâminas serrilhadas e inclinadas para se

evitar estes problemas.

Se houver um ângulo oblíquo entre a lâmina e o material a ser cortado, ocorrerá um deslizamento e, estando o material aderido à lâmina, ocorrerá o corte por deslizamento (Person, 1987).

Segundo Chancellor (1957), nos perfis serrilhados, a ponta do dente inicia o corte com maior facilidade e ajuda a proteger o perfil cortante que se mantém amolado por mais tempo.

O objetivo deste trabalho é conhecer a intensidade e direção das forças normais e tangenciais, tanto no corte por impacto, como no corte por deslizamento.

Material e métodos

Os testes de laboratório foram realizados no Sugar Research Institute, Austrália, em 1999. Para sua realização foi utilizado o material descrito a seguir.

Uma estrutura foi desenhada e construída para realização dos testes, como mostra a Figura 1. Esta estrutura visa simular os dois movimentos a que está

sujeito o cortador de base das colhedoras de cana-de-açúcar, ou seja, movimento rotativo dos discos mais o movimento de deslocamento da máquina, sendo que o movimento rotativo foi testado em duas velocidades: 450 e 600 rpm (equivalente a uma velocidade linear no topo da lâmina de 18 e 22 ms⁻¹, respectivamente) e o movimento linear foi constante de 3 ms⁻¹, mas ao invés da máquina se deslocar, a cana é que se move na direção da lâmina.

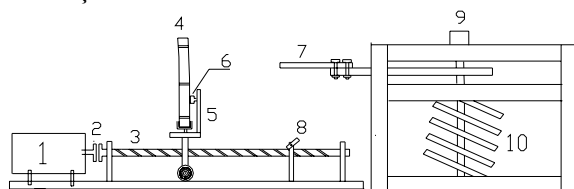


Figura 1. Vista lateral da estrutura de teste

Sendo que:

1. Motor elétrico de 1 kW
2. Embreagem eletromagnética
3. Rosca sem fim
4. Pedaço de cana
5. Pequeno carro para deslocamento da cana
6. Sensor piezo-elétrico
7. Lâmina
8. Dispositivo automático para liberação da lâmina
9. Sensor (RSE) para medir a velocidade da lâmina
10. Mola de torção para acelerar a lâmina

Para realização do teste, inicialmente, tensiona-se a mola de torção através de uma rosca, acionada por uma furadeira elétrica portátil. Em seguida, o motor elétrico é ligado e ao atingir as rotações de trabalho a embreagem é acionada, pondo em movimento o carro, com um pedaço de cana de aproximadamente 40 cm, que libera a lâmina automaticamente.

As forças de corte foram obtidas através de três sensores piezo-elétricos, como mostra a Figura 2, sendo um para medir a força normal e dois para medir as forças tangenciais. Estas são denominadas de força avante, quando a força está na mesma direção do deslocamento da colhedora, ou seja, a força está empurrando a cana para fora da máquina, e a força a ré, quando a direção é contrária ao deslocamento da colhedora; a força está puxando a cana para dentro da máquina.

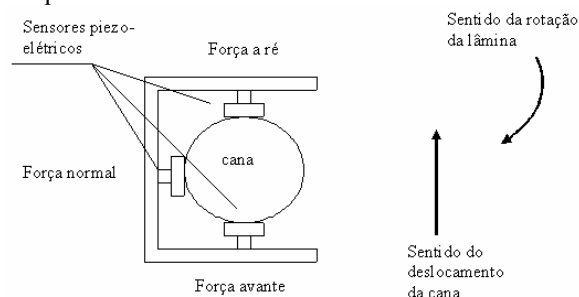


Figura 2. Vista de cima do carro com o pedaço de cana apoiada

pelos sensores de força

Foram utilizadas no teste lâminas inclinadas horizontalmente para frente e para trás como mostra a Figura 3. Estas lâminas possuíam um perfil cortante liso ou serrilhado, sendo que o perfil serrilhado apresentava três passos (distância entre os dentes) diferentes: 3 mm, 7 mm e 15 mm. Também foi utilizada uma lâmina standard para efeito de comparação.

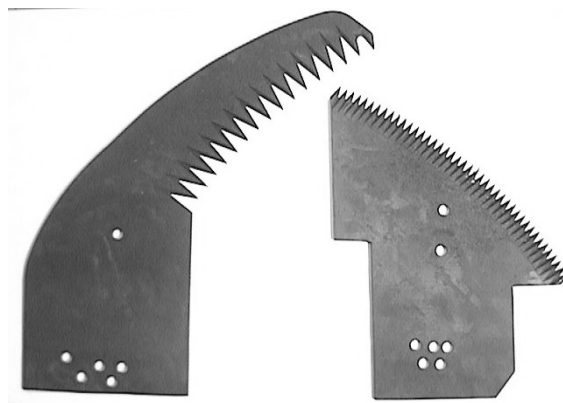


Figura 3. Lâminas serrilhadas utilizadas nos testes de laboratório

A Figura 4 mostra detalhes do perfil serrilhado. Estas lâminas foram construídas em aço 1020 e todas foram construídas pelo mesmo processo (fresa de 90°), variando apenas a distância entre os dentes.

Para realização da análise experimental, foi utilizada a força de corte específica, que é a resultante da força de corte dividida pelo diâmetro da cana. A resultante da força de corte foi obtida pela seguinte equação:

$$F_C = \sqrt{(Força\ avante\ ou\ a\ ré)^2 + (Força\ normal)^2}$$

Foram conduzidos dois experimentos, um para lâminas inclinadas para frente e outro para lâminas inclinadas para trás. Foi utilizado um delineamento estatístico inteiramente casualizado, sendo: 2 velocidades de corte (450 rpm e 600 rpm), 5 perfis de corte (liso, serrilhado 3 mm, 7 mm, e 15 mm e lâmina standard) e quatro repetições para cada corte. As análises foram feitas separadas para as lâminas inclinadas para frente e para trás. Portanto, o delineamento foi: 2 velocidades X 5 perfis X 4 repetições, totalizando 40 parcelas para cada tipo de inclinação da lâmina.

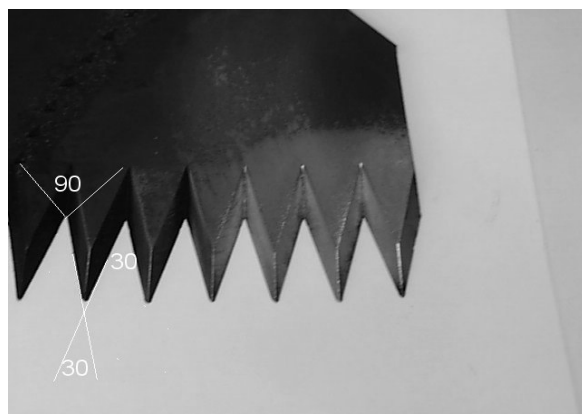


Figura 4. Detalhe dos dentes do perfil serrilhado

O teste de Tukey (ao nível de 5% de probabilidade) foi utilizado para comparação das médias.

Resultados e discussão

Neste trabalho, a força de corte foi decomposta em força normal e força tangencial avante ou a ré como mostra a Figura 2. Para a lâmina standard a força normal está de acordo com Kroes (1997), mas pelo fato da cana mover-se em direção à lâmina, existe uma pequena força tangencial avante, como mostra a Figura 5. Acredita-se que esta força está mais relacionada com a fricção entre a porção de cana já cortada com a lateral da lâmina, do que entre a cana e o perfil cortante. Esta afirmação explica a defasagem entre a curva da força avante em relação à força normal.

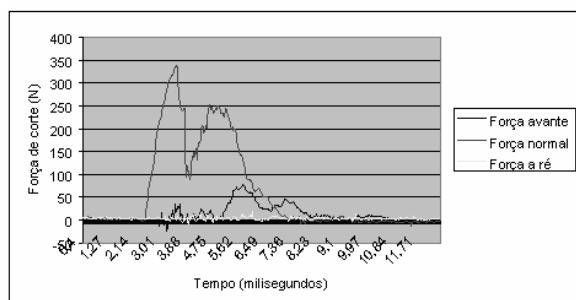


Figura 5. Forças de corte para a lâmina standard trabalhando a 600 rpm

Quando a lâmina standard foi utilizada a 450 rpm, causou maiores danos na cana. Kroes (1997) afirma que velocidades de corte abaixo de 14 ms^{-1} não cortam adequadamente. Este trabalho está de acordo com esta afirmação, pois mesmo trabalhando a 18 ms^{-1} , apesar do corte ter sido realizado, a cana deformou, causando forças tangenciais avante e a ré ao mesmo tempo, como mostra a Figura 6.

Kroes (1997), trabalhando com variedades de

cana bastante fibrosas, notou que o corte por impacto resulta na formação de trincas em forma de Y. Schembri e Harris (1996) explicam que a formação de trincas internas na forma de Y resultam do efeito de uma zona de impacto. Durante o impacto a lâmina desloca as células que contata. Se a resistência das células for menor que a força de impacto, haverá a ruptura; mas antes de romper, as células irão se mover distribuindo a força.

Outro fenômeno que gera forças tangenciais avante e a ré ao mesmo tempo ocorreu com o perfil serrilhado de 15 mm, pois os dentes grandes, ao penetrarem na cana, pressionaram os sensores avante e a ré simultaneamente.

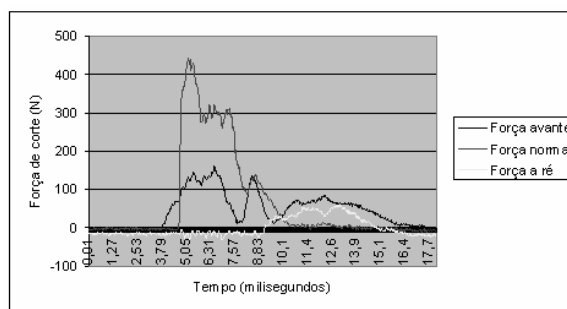


Figura 6. Forças de corte para lâmina standard trabalhando a 450 rpm

A Figura 7 mostra um típico corte por deslizamento, com lâmina inclinada para trás, no qual a força tangencial avante é maior que a força normal.

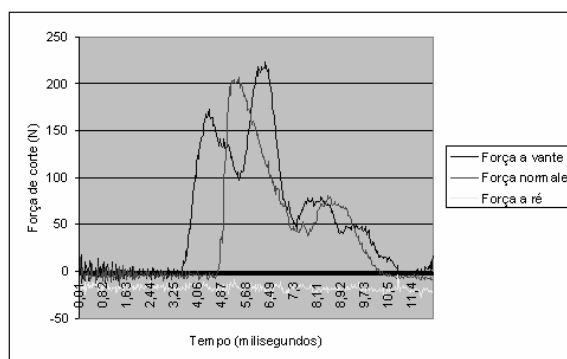


Figura 7. Forças de corte para lâmina lisa, inclinada 75° para trás trabalhando a 600 rpm

A Figura 8 mostra um típico corte por deslizamento com lâmina inclinada para frente, no qual existe uma força tangencial a ré. Acredita-se que a força a ré auxilie na alimentação da colhedora, fazendo com que seja possível cortar um pouco acima da superfície do solo, sem causar prejuízo na alimentação.

Quando foram utilizadas lâminas lisas, as direções das forças de corte ocorreram como previsto, ou seja, a lâmina inclinada para trás apresenta forças normais

e tangenciais avante, enquanto que as lâminas inclinadas para frente apresentaram forças normais e a ré. As direções destas forças estão de acordo com determinações numéricas realizadas por Harris e Mello (1999).

Quando foi utilizado perfil serrilhado, à medida que o passo do perfil aumentou, ficou mais difícil de se prever a direção das forças, pois estas dependiam da posição e lado do dente quando este iniciava o corte. Isto pode ser verificado pela Figura 9, que mostra um corte por deslizamento com lâmina serrilhada com passo de 15 mm, e inclinada para frente, no qual a força tangencial avante é maior que a força normal, como ocorre com as lâminas inclinadas para trás.

A Tabela 1 mostra as forças específicas de corte para lâminas standard, inclinadas para trás e para frente, em função da velocidade. Nota-se que para a lâmina standard (corte por impacto) não houve diferença significativa em função da velocidade, enquanto que para as lâminas inclinadas (corte por deslizamento), tanto para trás como para frente, houve uma diminuição da força específica de corte com o aumento da velocidade.

Para o corte por deslizamento, pelo fato de poucas fibras se envolverem no processo de corte ao mesmo tempo, acredita-se que, com o aumento da velocidade não houve tempo das fibras se acomodarem na presença de uma força externa, portanto, a ruptura ocorreu com uma redução na força de corte.

A Tabela 2 mostra que houve diferença significativa nas forças de corte em função do passo do serrilhado, tanto para as lâminas inclinadas para trás, como para as inclinadas para frente, sendo que a

lâmina standard foi a que apresentou a maior média. De um modo geral, pode-se observar que o perfil serrilhado de 3 mm foi o que apresentou as menores médias, tanto para as lâminas inclinadas para frente como para as inclinadas para trás. Acredita-se que com este passo do serrilhado poucas fibras são envolvidas no processo de corte ao mesmo tempo, o que justifica esta redução na força de corte.

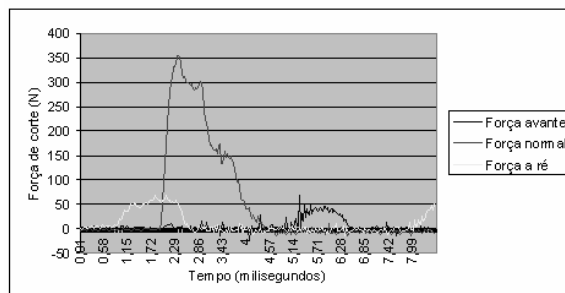


Figura 8. Força de corte para lâmina lisa inclinada 63° para frente trabalhando a 600 rpm

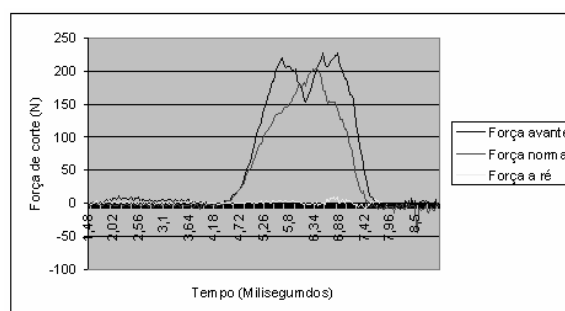


Figura 9. Força de corte para lâmina inclinada 51° para frente com serrilhado de 15 mm.

Tabela 1. Médias das forças específicas de corte em função da velocidade.

Velocidade rotacional	Médias (N/mm) para lâmina standard	Médias (N/mm) para lâmina inclinada para trás	Médias (N/mm) para lâmina inclinada para frente
450 rpm	16.12 A	15.14 A	15.27 A
600 rpm	16.88 A	12.88 B	13.50 B

Obs. Médias seguidas com a mesma letra nas colunas não diferem entre si significativamente (Tukey, 5%).
Coeficiente de variação para lâminas inclinadas para trás 17,7 % e para lâminas inclinadas para frente 16,3 %.

Tabela 2. Médias das forças específicas de corte em função do passo do serrilhado

Serrilhado	Média (N/mm) para lâminas inclinadas para trás	Média (N/mm) para lâminas inclinadas para frente
Standard	16.51 A	16.50 A
Liso	13.72 BC	13.19 C
15 mm	14.20 B	14.73 B
7 mm	13.17 BC	14.74 B
3 mm	12.46 C	12.76 C

Obs. Médias seguidas com a mesma letra nas colunas não diferem entre si significativamente (Tukey, 5%).

Conclusão

A lâmina standard (corte por impacto) não apresentou diferenças significativas na força específica de corte em relação à velocidade.

Com as lâminas inclinadas (corte por deslizamento) tanto para frente como para trás, houve

uma redução na força específica de corte com o aumento da velocidade.

Os perfis serrilhados com passo de 3 mm foram os que apresentaram as menores forças específicas de corte.

Referências

CHANCELLOR, W.J. *Basic concepts of cutting hay*. 1957. Doctor of Philosophy Thesis, Cornell University, Cornell 1957.

HARRIS, H.; MELLO, R. da C. Kinematics, blade shapes and edges for alternatives basecutter configuration. In: CONFERENCE OF AUSTRALIA SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 21, 1999, Townsville, *Proceedings...* Townsville: Society of Sugar Cane Technologists, 1999, p. 169-177.

KROES, S. *The cutting of sugarcane*. 1997. Doctor of Philosophy Thesis-University of Southern Queensland, 1997.

PERSSON, S. *Mechanics of cutting plant material*. Michigan: American Society of Agricultural Engineers, 1987.

SCHEMBRI, M.G.; HARRIS, H. Measuring the preparation of sugarcane under single impact loading. Mackay. In: CONFERENCE OF AUSTRALIA SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 18, 1996, Mackay. *Proceedings...* Mackay: Society of Sugar Cane Technologists, 1996, p. 242-248.

Received on March 04, 2005.

Accepted on November 30, 2005.