

C.S. Chang*
J.A. Bernardi**
J.V.G. Maziero**

RESUMO

O consumo de potência para corte do colmo de cana de açúcar é elevado; portanto, a medição da resistência ao corte é necessária para o melhoramento da eficiência do corte. O pêndulo é o mais simples dispositivo para a medição de resistência dinâmica, mas para um projeto simples e compacto com elevada capacidade de armazenamento de energia e exigência de velocidade de impacto, um par de pêndulos com uma mola torçã da são usados.

A investigação preliminar revelou que a resistência ao corte é grandemente afetada pela geometria do cortador e particularmente pelo afiamento da borda de corte.

A diferença de resistência ao corte entre um cortador manual afiado e um cortador comercial de base menos afiada da colheitadeira mecânica, é de 3 a 6 vezes, e a perda de potência envolvida não pode ser desprezada (ou não pode ser ignorada).

SUMMARY

Power consumption of cutting sugar cane stalk is high, measuring cutting resistance is therefore necessary for improving cutting efficiency. Pendulum is the most simple device for measuring dynamic strength, but for a simple compact design with high capacity of energy storage and impact velocity requirement a pair of pendulum with one torsional spring are used. The preliminary investigation revealed that the cutting resistance is greatly effected by the cutter geometries, particularly the sharpness of cutter edge. The difference of cutting resistance between a sharpened hand cutter and the less sharpened commercial base cutter of mechanical harvester is three to six times, the power loss for which can not be overlooked.

INTRODUÇÃO

O corte do colmo de cana de açúcar é uma operação que consome elevada quantidade de potência, especialmente nas colhedoras de cana picada em toletes (SPARGO e BAXTER - 1974). Portanto, para se introduzir qualquer melhoramento no projeto do sistema de corte, visando reduzir suas exigências de potência é necessário medir-se a resistência (ao corte) oferecida pelo colmo. Sendo o corte uma ação dinâmica, cuja resistência em contrário é afetada pela resistência e dureza de colmo de cana (COCHRAN e BAKER - 1970), também a geometria do cortador e a velocidade de corte (CHANG - 1977 e MOHSENIN - 1970), por isto, a resistência ao corte pode ser considerada como uma propriedade composta.

O objetivo deste estudo é desenvolver um dispositivo simples para verificar a resistência ao corte oferecida por colmos de diferentes variedades

(*) Universidade Estadual de Campinas, São Paulo - Brasil

(**) Instituto Agrônomo de Campinas, São Paulo - Brasil

de cana à ação de cortadores comerciais.

CHANG (1977) tentou desenvolver um dispositivo para medir a resistência ao corte por impacto; entretanto, em razão da necessidade de uma instrumentação sofisticada, seu emprego de modo generalizado é difícil.

Para superação de tal inconveniente, buscou-se uma solução mais simples, de aplicação universal, através da utilização de um par de pêndulos, como mostrado na Figura 1.

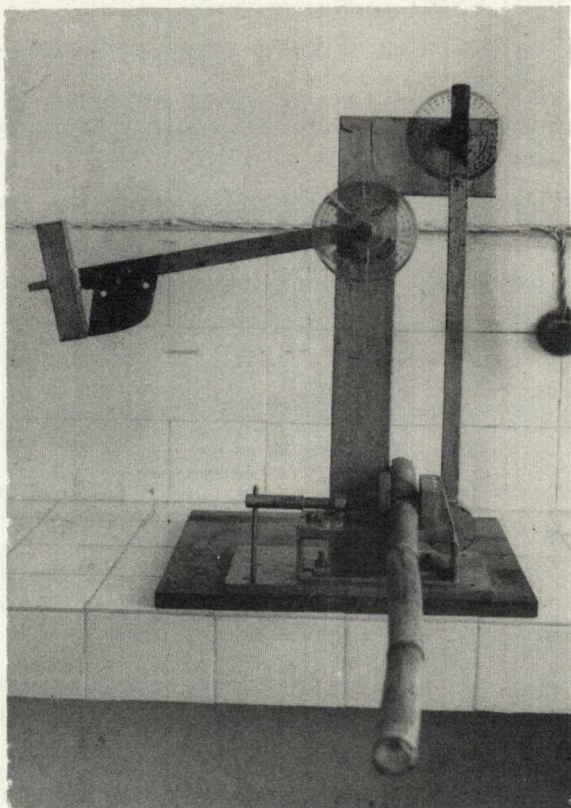


FIGURA 1 - O dispositivo usado para medir a resistência ao corte. À esquerda, o pêndulo acional com a mola de torção no eixo de rotação e um apurador com borracha no centro sob o martelo. À direita, o pêndulo de reação.

MATERIAIS E MÉTODOS

O pêndulo é o mais comum dos dispositivos para medição da resistência dinâmica de materiais biológicos (BURAMISTROVA - 1963). Porém, no caso específico do colmo da cana de açúcar, a velocidade de corte exigida é bastante elevada, cerca de 10 m/seg., o que não pode ser obtido facilmente com dispositivos pendulares simples e de pequeno porte. A velocidade em tais dispositivos, cujo movimento se baseia em queda livre, é limitada pelo comprimento do braço, que no caso da cana necessariamente haveria de ser muito grande, comprometendo o seu dimensionamento geral. Por isso, propôs-se a construção de um dispositivo com par de pêndulos, no qual um deles é impulsionado com auxílio de uma mola de torção, que fornece energia ao sistema, permitindo, além disso, selecionar a velocidade a ser empregada. As peças de corte a serem testadas são montadas neste primeiro pêndulo. A energia excedente, remanescente do corte, é determinada pela segunda unidade pendular, chamada de pêndulo de reação através de uma ação de impacto.

A ação do primeiro pêndulo é imediatamente interrompida por um anteparo de borracha tão logo o contato com o segundo pêndulo, na posição de zero grau, é feito. Portanto, a principal vantagem da mola de torção é que sua capacidade de armazenamento de energia e velocidade de ação podem ser aumentadas muitas vezes sem o aumento das dimensões físicas do pêndulo.

TEORIA E EQUAÇÕES

A energia de corte absorvida pelo colmo da cana é determinada como se segue:

$$E_c = E_a - E_r \quad (1)$$

onde:

E_c = Energia absorvida pelo colmo de cana durante o corte em Kgf - cm

E_a = Energia fornecida pelo pêndulo de acionamento que é calculável em Kgf - cm

E_r = Energia excedente após o corte e recebida pelo pêndulo de reação em Kgf - cm.

A energia total E_a fornecida pelo pêndulo de acionamento é determinada pela fórmula:

$$E_a = W \cdot \bar{r} (1 - \cos \theta_a) + \int_{\theta_i}^{\theta_i + \theta_a} K\theta \, d\theta \quad (2)$$

onde:

W = Peso total do pêndulo de acionamento, incluindo o peso da unidade de corte

\bar{r} = Distância do centro de rotação do pêndulo ao seu centro de gravidade determinado com o cortador montado em seu braço

θ_a = Ângulo formado pelo pêndulo de acionamento em relação à sua posição inicial, central, para o teste, em graus.

θ_i = Ângulo inicial da mola de torção feito pelo carregamento inicial, em graus

θ = Ângulo de torção da mola produzido pela carga em graus

K = Constante da mola de torção em Kfg - cm/rad

Rad = Ângulo de radianos.

A velocidade de corte é, então, determinada da seguinte forma:

$$V = \sqrt{\frac{2E_a}{M}} \quad (3)$$

onde:

V = Velocidade de corte em m/seg.

M = Massa total do pêndulo de acionamento em Kg.

A força média de corte é determinada pela fórmula:

$$F = \frac{E_c}{D} \quad (4)$$

onde:

F = Força média cortante em Kfg

D = Diâmetro do colmo de cana ou a distância de corte através do colmo, em direção tangencial.

que: A unidade de resistência ao corte é, então, determinada como se

$$R = \frac{F}{A}$$
$$= \frac{E_c}{AD} \quad (5)$$

onde:

$$R = \text{Resistência ao corte em kgf/cm}^2$$
$$A = \text{Área transversal do colmo de cana em cm}^2$$

CONSTRUÇÃO

O pêndulo de acionamento tem um braço feito de barra chata de aço, medindo 362 x 25.4 x 6.2 mm. e um martelo de barra quadrada de 150 x 32 x 32mm cujo peso total é 1.670. O pêndulo de reação com um braço de barra chata de aço, medindo 500 x 25 x 6.2 mm e um martelo tronco de cilindro de 64.5 mm. de diâmetro x 43 mm.

A mola de torção é feita de arame de aço com 4 mm. com diâmetro de espera de 28 mm. constante de mola de 26.9 Kgf-cm/rd. Um aparador de borracha foi construído no centro sob o martelo do pêndulo de acionamento. Os dois martelos entram em contato em suas posições verticais de 0° (zero grau).

CALIBRAÇÃO

As calibrações foram feitas de 10° a 80° do pêndulo de acionamento com quatro condições diferentes da mola. O ângulo do pêndulo de acionamento versus o correspondente do pêndulo de reação das quatro condições de mola são mostradas na Figura 2.

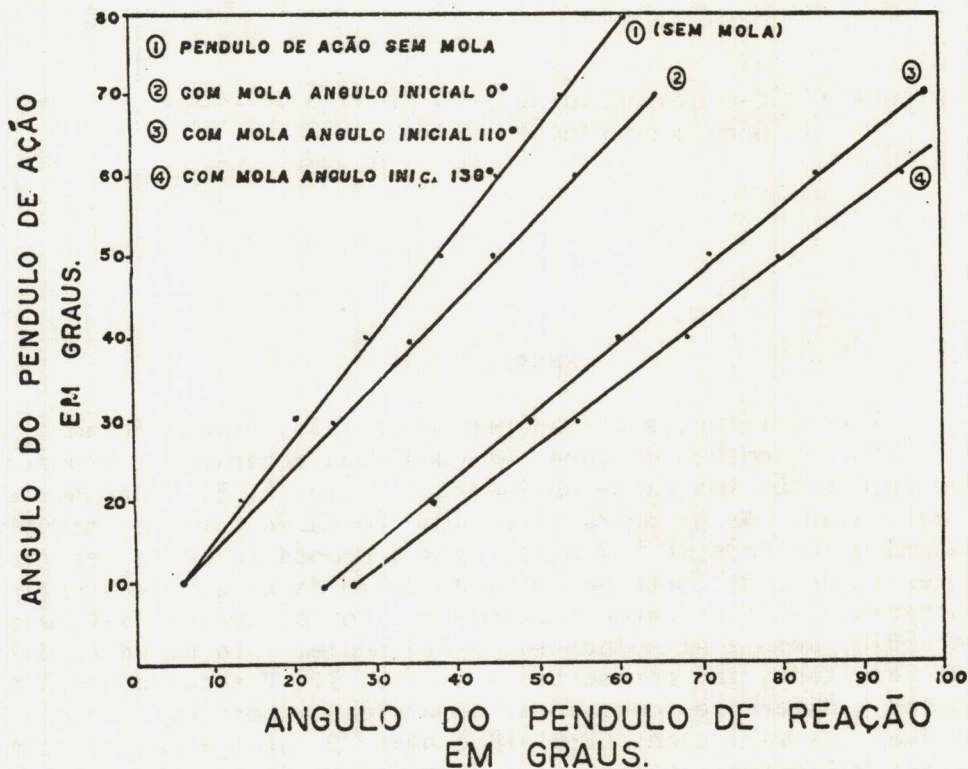


FIGURA 2 - Ângulo do pêndulo de ação versus ângulo do pêndulo de reação após impacto em quatro diferentes condições.

Os resultados mostraram que os ângulos entre os pêndulos de acionamento e de reação são lineares. A energia recebida pelo pêndulo de reação versus o correspondente ângulo de reação é mostrado na fig. 3. Neste caso, a relação não foi linear, devido à função trigonométrica envolvida. A energia recebida pelo pêndulo de reação é baseada na energia liberada pelo pêndulo de acionamento, portanto na calibração é incluída a perda por impacto.

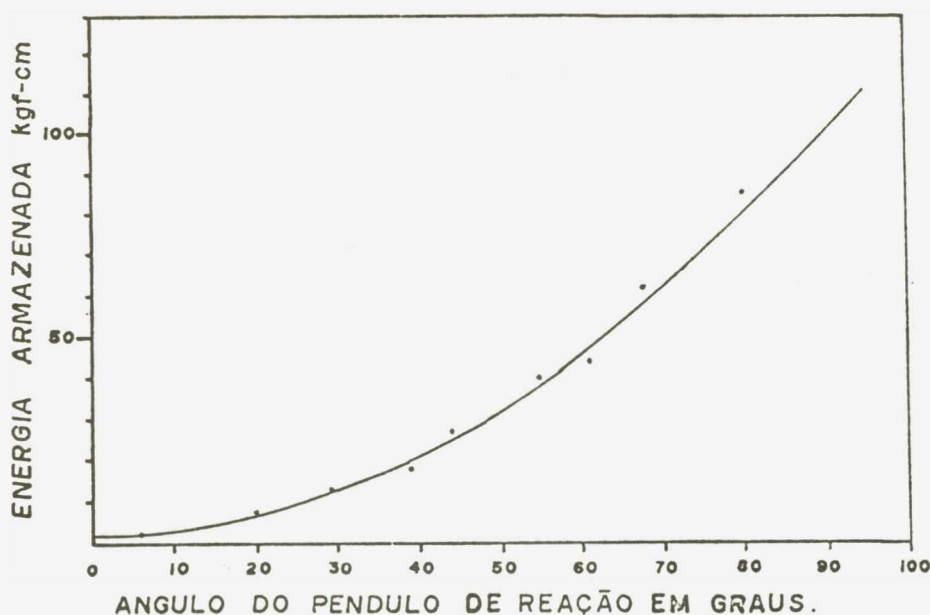
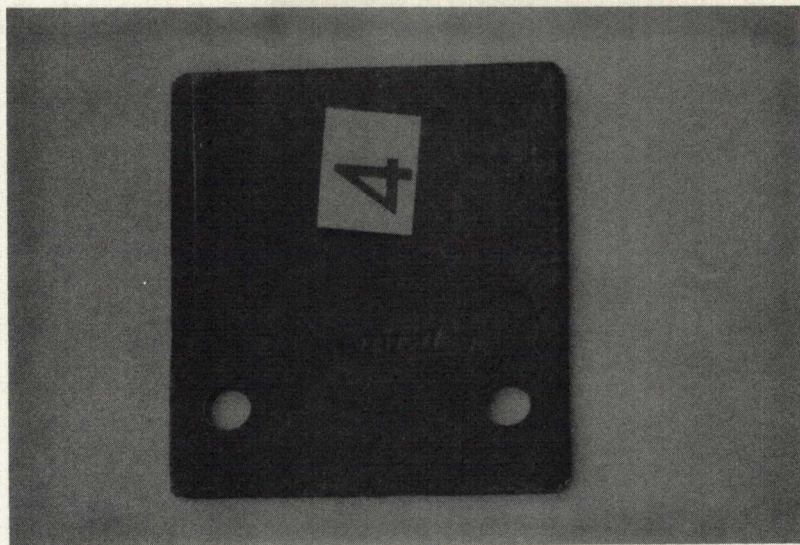


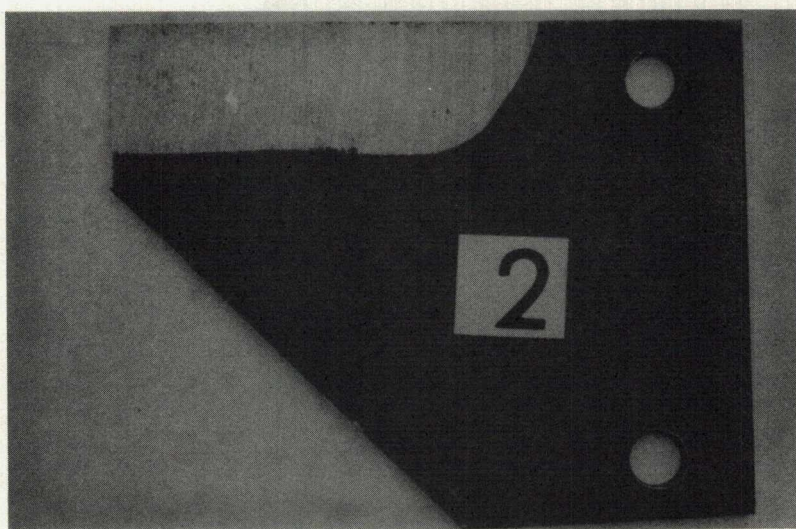
FIGURA 3 - Energia recebida pelo pêndulo de reação versus ângulo de reação.

ENSAIO

Três diferentes cortadores comerciais, novos, foram ensaiados com três diferentes variedades de cana. As condições mecânicas e geométricas dos cortadores empregados são mostrados no Quadro 1 e fig. 4, 5. Duas séries de ensaios foram realizadas. Na primeira série uma lâmina de cortador manual, local, foi usada com uma velocidade de 4.2 m/seg. com o propósito de se verificar a distribuição da resistência de corte ao longo do colmo de cana. Três variedades de cana foram cortadas e se considerou o colmo inteiro com cortes realizados desde o primeiro internódio, sempre atingindo sua parte média, isto é, entre dois nós subsequentes. Os resultados são apresentados na fig. 3. O segundo grupo de ensaio foi conduzido com 3 diferentes cortadores comerciais: cortador manual, Santal e Toft. Apenas duas das variedades CB-41-14 e NA56-79 foram ensaiadas com velocidade de corte de 4.1 a 4.3 m/seg. O propósito desta série de ensaios foi uma tentativa para fazer uma investigação preliminar sobre o efeito de diferentes geometrias de cortadores. Quatro amostras do 1º internódio foram empregadas em cada ensaio com o corte atingindo sempre a sua parte mediana. Os resultados são apresentados na fig. 2.

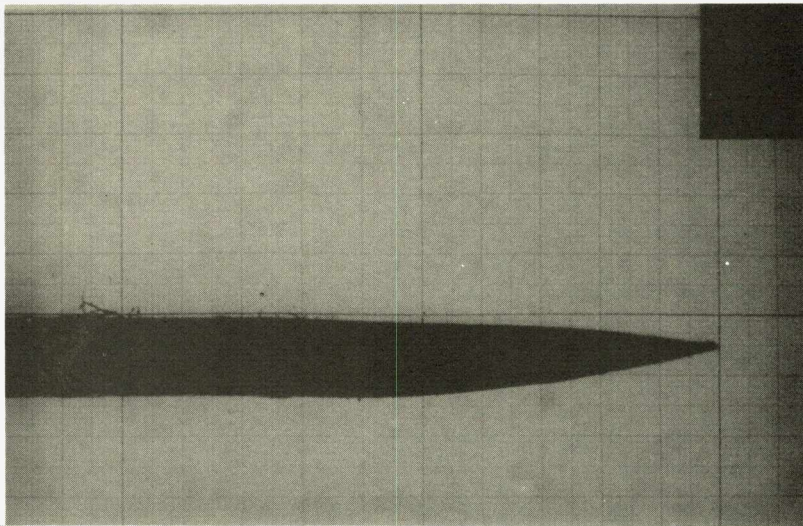


(a)

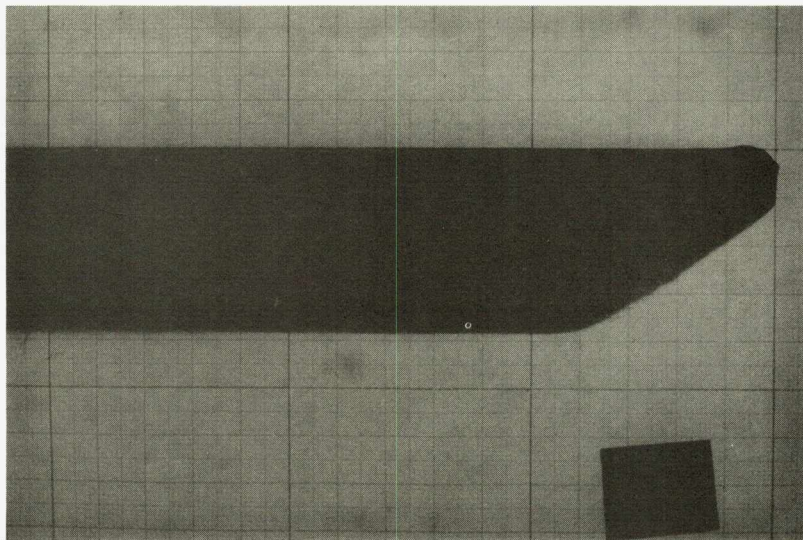


(b)

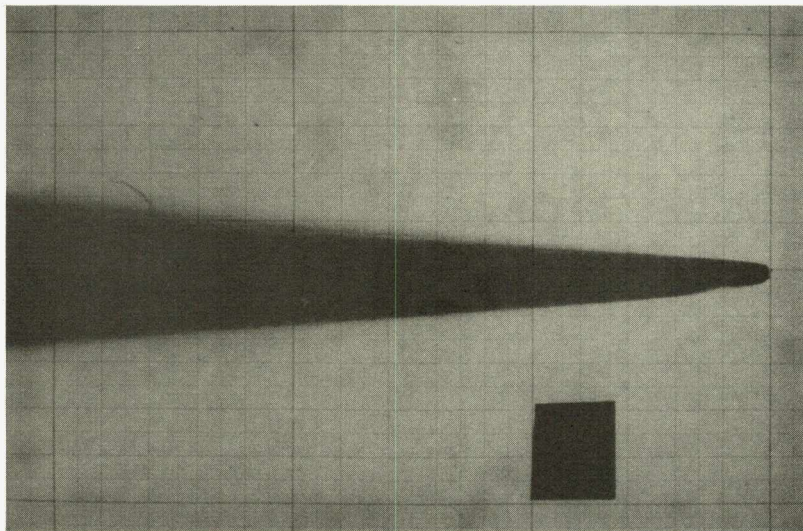
FIGURA 4 - Amostras de facas usadas nos testes
(a) Faca base nova (usada pela Santal)
(b) Faca base nova (usada pela Toft)



(a) Faca manual



(b) Faca base Santal



(c) Faca base Toft

Fig. 5 - Vista transversal das facas testadas, projetando somente o corte. Aumento x 9.35

RESULTADO E DISCUSSÃO

A resistência ao corte ao longo do colmo de cana do pé para o topo, cortada por um cortador manual para três diferentes variedades, como mostrado na fig. 6, indica que a resistência de corte distribuída na porção média é mais forte do que aquela distribuída nos internódios da base e topo.

Resultados similares foram revelados por MARTIN e COCHRAN para a medição da distribuição de dureza. Os resultados mostrados na fig. 6 também indicam que o colmo de cana responde à resistência de corte de acordo com a diferenciação de variedade.

Para o uso de um cortador manual mais afiado com um fio de corte de 0.12 mm, a NA 56-79 apresentou a mais elevada resistência ao corte; entretanto usando cortadores de máquinas Santal e Toft não afiados, como mostra o Quadro 2, os resultados são diferenciados; a resistência ao corte da CB41-14 é mais elevada da NA56-79.

Possivelmente a CB41-14 tem um mais elevado efeito de casca visível a borda afiada da lâmina do cortador manual, mas é muito sensível a borda cega da lâmina dos cortadores da máquina.

O Quadro 2 também mostra que a borda cega dos cortadores da máquina com afiamento de 0.53 mm da Toft a 1.0 mm da Santal tem uma resistência de corte de 3 a 6 vezes maior do que o corte do cortador manual com afiamento de 0,12 mm e espessura de lâmina de 1.2 mm, como mostrado no Quadro 1.

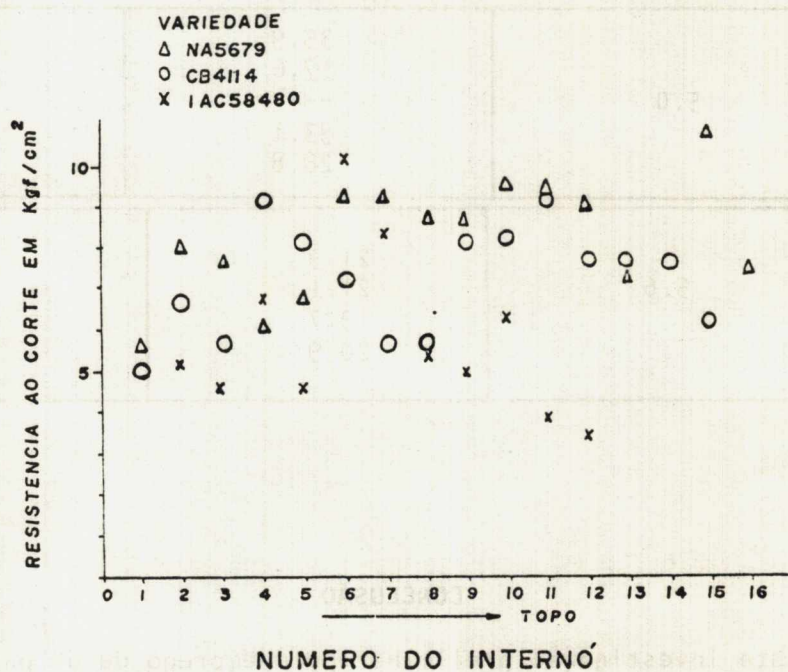


FIGURA 6 - Distribuição da resistência ao corte tomado na parte média de cada internó, usando faca manual.

BIBLIOTECA - UFPA
CAMPUS VII - PATOS - PB.

QUADRO 1 - CONDIÇÕES MECÂNICAS E GEOMÉTRICAS DAS FACAS TESTADAS

| Facas (Facas Base) | Ângulo do corte da Fa- ca em graus | Fios da lâ- mina - mm | Espessura da lâmina - mm | Dureza Rock- well c |
|-----------------------|---------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Faca Manual | 16.6 ⁰ | 0.12 | 1.2 | 48 - 54 |
| Santal (nova) | 32.0 ⁰ | 1.0 | 3.8 | 38 - 46 |
| Toft (nova) | 12.4 ⁰ | 0.53 | 4.6 | 42 - 51 |

QUADRO 2 - RESISTÊNCIA AO CORTE DO PRIMEIRO INTERNO COM DIFERENTES FACAS
(RESULTADO PRELIMINAR)

| Amostra | | Resistência ao Corte em Kg/cm ² | | |
|--------------|---|--|------------------|----------------|
| | | Faca Manual | Faca base Santal | Faca base Toft |
| CB - 41 - 14 | 1 | 5.0 | 35.9 | 13 |
| | 2 | | 17.6 | 20.5 |
| | 3 | | ---- | 20.7 |
| | 4 | | 33.1 | 17.1 |
| | X | | 28.8 | 17.7 |
| NA 56 - 79 | 1 | 5.6 | 21.9 | 15.4 |
| | 2 | | 21.1 | 16.1 |
| | 3 | | 19.7 | 16.4 |
| | X | | 20.9 | 15.8 |

CONCLUSÃO

Esta investigação preliminar pelo emprego de um par de pêndulos revelou que a resistência ao corte de colmos de cana de açúcar foi grandemente afetada pela geometria do cortador, especialmente do afiamento da borda da faca.

Isto mostra a possibilidade de que o elevado consumo de potência da presente colheitadeira de cana pode ser reduzido se a geometria apropriada do cortador manual puder ser usada para a colheitadeira da cana.

LITERATURA CITADA

- BURAMISTROVA, M.F., et alii, "*Physicomechanical Properties of Agricultural Crops*" National Science. 1963.
- CHANG, C.S. "*Measuring Cutting Resistance of Sugar Cane Stalk*" - Proceedings of the XVI Congress, International Society of Sugar Cane Technologists. 1977.
- COCHRAN, B.J. & BAKER G. "*Engineering Properties of Sugar Cane and Their Relationship to Mechanical Harvester*" *American Society of Agricultural Engineers*, Paper N° 70-359. 1970.
- MARTIN, F.A. & COCHRAN, B.J. "*Sugar Cane Internode Rind Hardness*" Sugar Y Azucar, N.Y.
- MOHSENIN, N.N., "*Physical Properties of Plant and Animal Materials*". Volume 1, Cordon and Breach Science. 1970.
- SPARGO, R.F. & BAXTER, S.N.D., "*The Development of the Australian Chopped Sugar Cane Harvester*" *American Society of Agricultural Engineers*, Paper N° 74-15-25. 1974.