

TESTES DE DETERMINAÇÃO DE PERDAS INVISÍVEIS E EFICIÊNCIA DE LIMPEZA EM COLHEITA DE CANA-DE-AÇÚCAR COM E SEM PALHA

TESTS OF INVISIBLE LOSSES AND CLEANING EFFICIENCY DETERMINATION IN MECHANICAL SUGAR CANE HARVESTING WITH AND WITHOUT TRASH

JORGE LUIS MANGOLINE NEVES¹
PAULO SERGIO GRAZIANO MAGALHÃES²
EDSON ESTEVES DE MORAES³
FAUSTO VINICIUS DE ARAÚJO⁴

RESUMO

No Brasil, a agroindústria canavieira processou 431,4 milhões de toneladas de cana-de-açúcar na safra de 2005/2006. Atualmente de 5 a 15% desta matéria-prima é perdida no campo, quando o corte é feito de forma manual ou mecanizada respectivamente. A lei estadual nº 11.241 de 19 de setembro de 2002 estabelece o prazo de até 2021 para eliminação total da queimada em áreas mecanizáveis, o que irá inviabilizar, em médio prazo, o corte manual na forma como é praticado hoje. Neste período a colheita tende a tornar-se totalmente mecanizada nas áreas passíveis de mecanização. Este trabalho quantificou as perdas invisíveis de serem levantadas diretamente no campo (perdas invisíveis) e a eficiência de limpeza da cana processada pelas colhedoras de cana picada, comparando os resultados de cana com folhas e ponteiro e sem folhas e despontadas durante o processamento. Mantendo-se a colhedora sob condições controladas, os ensaios foram realizados em um galpão de manutenção de máquinas da Usina São João/Araras-SP. Nos ensaios de perdas invisíveis foram utilizadas canas limpas (desfolhadas e despontadas) e canas com folhas e pontas. As perdas invisíveis nos sistemas de colheita variaram de 1,2 a 2,4%, sendo maiores na cana de açúcar com palha. A eficiência de limpeza da matéria prima não mostrou diferenças estatisticamente diferentes nas rotações testadas, mas ficou entre 74 e 80% e no geral as perdas e a eficiência de limpeza foram maiores na maior rotação do ventilador do extrator (1350 rpm) .

Palavras-chaves: colhedora de cana picada, extrator, mecanização.

¹ Engenheiro Mecânico, Ph.D Eng. Agrícola, Pesquisador do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), Piracicaba – SP

² Professor Titular, Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas – SP, CEP 13083-875, e-mail: graziano@agr.unicamp.br

³ Engenheiro Agrícola, MSc Eng. Agrícola, Pesquisador do CTC, Piracicaba – SP

⁴ Graduando em Engenharia Agrícola, FEAGRI/UNICAMP, Estagiário do CTC, Piracicaba-SP

ABSTRACT

In Brazil, the sugar cane industry processed 431.4 million tons of sugar cane during the harvesting season 2005/2006. Nowadays, from 5 to 10% of this raw material is lost in the field when it is hand or mechanically harvested respectively. Due to State law number 11.241 of 09/19/2002, after 2021 burning sugar cane before harvesting will not be allowed, making it unfeasible for hand cut, thus harvesting system tend to become a 100% mechanized in feasible areas. This work quantified the invisible losses and cleaning efficiency in the cane processed by the harvester and compared the results with and without straw during the processing. The harvester, under controlled conditions, was tested at the maintenance workshop of Usina São João/Araras-SP. The tests of invisible losses in the harvesting system were initially conducted using clean canes (detrashed) and canes with leaves and tips. Invisible loss in the harvesting system varied from 1.2 to 2.4 %, and were larger when the cane was processed with the leaves. The cleaning efficiency of the raw material did not show significant statistical differences, but it was between 74 and 80% and in general, the loss and the cleaning efficiency were larger when using the higher rotation speed of the separator fan (1350 rpm).

Keywords: sugar cane harvester, extractor, mechanization.

INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar representa 8% do PIB do Brasil e 35% do PIB do Estado de São Paulo. Produziu 27,2 milhões de toneladas de açúcar e 17 bilhões de litros de álcool na safra de 2005/2006 nos 5,8 milhões de hectares em que foi colhida, além de gerar 1,2 milhões de empregos diretos e 4 milhões de empregos indiretos no país (ANUÁRIO BRASILEIRO DA CANA-DE-AÇÚCAR, 2006). Nos últimos anos tem crescido no país o interesse pela colheita de cana-de-açúcar por colhedoras de cana picada, principalmente em áreas com topografia adequada. De acordo com BRAUNBECK & MAGALHÃES (2004) a exigência, por parte dos ambientalistas, de que a colheita da cana seja realizada sem queima, tem crescido e encontrado respaldo político, à medida que demanda por investimentos de capital em outros setores tecnológicos exige melhor controle da

qualidade do ar. Segundo dados dos próprios fabricantes, a maioria das colhedoras de cana picada em operação no país é das marcas Case e John Deere, que trabalham no campo seguindo o mesmo princípio de operação, utilizando os mesmos componentes e sistemas de processamento da cana-de-açúcar. A adoção do sistema mecanizado de colheita de cana picada introduz certos inconvenientes, tais como o aumento dos índices de impurezas vegetais e minerais na carga, que implicam na redução da qualidade tecnológica da matéria-prima fornecida para moagem e perdas de cana no campo (FERNANDES et al., 1977).

Consideram-se como impurezas toda matéria estranha ao processamento industrial da cana-de-açúcar que não se prestam à extração de açúcar ou de álcool. Geralmente folhas, ponteiros e raízes

compreendem a maior porcentagem de impurezas nas cargas transportadas à usina, seguidas pela fração mineral como terra, pedras e eventuais pedaços de metal. A qualidade da cana-de-açúcar exige que para o processamento industrial o colmo deva estar maduro, recém cortado, limpo, com o mínimo possível de ocorrência de broca e podridão vermelha (FERNANDES, 1988).

A maior incidência de impurezas mineral ou vegetal também afeta a qualidade da matéria-prima. BURLEIGH (1988) detectou que, na colheita mecanizada, para cada 1% de acréscimo de impurezas na cana resulta em decréscimo de 1,3 a 1,4% de açúcar recuperável e aumento proporcional nos custos de transporte. Níveis de impurezas de 2 a 5% são típicos em sistemas de colheita manual bem manejados, enquanto que em colheita mecânica estes índices variam de 5 a 8% em cana ereta, podendo atingir índices de 10 a 20% em condições adversas (cana sem queimar ou tombada).

As perdas de cana-de-açúcar durante a colheita mecânica podem ser divididas em perdas visíveis e invisíveis. As perdas são denominadas visíveis quando são detectadas visualmente no campo após a colheita, constituindo-se principalmente de canas inteiras, rebolos e tocos resultantes da altura do corte basal, podendo ser facilmente determinadas por coleta manual. As perdas na forma de caldo, serragem e estilhaços de cana, que ocorrem devido à ação de mecanismos rotativos que cortam, picam e limpam a cana durante o processamento interno nas colhedoras, são definidas como perdas invisíveis (NEVES et al, 2003).

O sistema de extratores e/ou ventiladores é responsável pela ocorrência de perdas de matéria-prima, pois, na tentativa de reduzir os índices de impurezas na cana colhida por meio do aumento da

velocidade de saída de ar dos extratores/ventiladores das colhedoras, pode-se elevar as perdas de matéria-prima a níveis inaceitáveis (YOUNGER, 1980).

O sistema de extratores e/ou ventiladores é responsável pela ocorrência de perdas de matéria-prima, pois, na tentativa de reduzir os índices de impurezas na cana colhida por meio do aumento da velocidade de saída de ar dos extratores/ventiladores das colhedoras, pode-se elevar as perdas de matéria-prima a níveis inaceitáveis (YOUNGER, 1980). DICK (1986) relata que, na Austrália, testes de campo mostraram que as perdas de cana pelos extratores das colhedoras variaram na faixa de 2 a 7 mg ha⁻¹ em colheita de cana sem queimar e 1 a 5 mg ha⁻¹ na cana queimada. Nestes números, entretanto, não foram consideradas as perdas de pequenos pedaços e fragmentos de cana (perdas invisíveis) resultantes de rebolos que foram desintegrados pelos extratores.

Portanto, para se avaliar a magnitude das perdas invisíveis, em várias velocidades de ajuste dos extratores das colhedoras de cana picada, torna-se necessária a determinação destes parâmetros em condições controladas de laboratório. NEVES et al. (2006) determinaram, sob condições controladas, que as perdas invisíveis totais em colhedoras de cana-de-açúcar picada trabalhando com a cana sem palha podem chegar a 10%. Entretanto, na colheita mecânica de cana sem queima, os índices de perdas e impurezas tendem a aumentar devido à maior massa vegetal que será processada pela colhedora.

Neste trabalho, avaliou-se o desempenho dos sistemas de processamento (rolos alimentadores, rolos picadores e sistema de limpeza) das colhedoras, e também se quantificou as perdas invisíveis e a eficiência de limpeza processando-se cana-de-açúcar com e sem palha.

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados no barracão da oficina mecânica da Usina São João, localizada em Araras/SP, em março de 1998. Cada amostra foi constituída de um feixe com 20 canas com folhas e ponteiros para o Ensaio A e despontadas

e desfolhadas para o Ensaio B, pesadas antes de cada repetição e distribuídas ao longo da esteira com espaçamento entre canas semelhantes ao do campo, onde geralmente encontra-se 10 canas por metro linear (Figura 1).



(a)



(b)

Figura 1: Esteira alimentada com canas para o ensaio com palha (a) e sem palha (b).

Utilizou-se a colhedora de cana picada modelo Austoft A-7000, ano 1998. Para a coleta do material expelido pelos extratores primário e secundário, quando se processou cana com folhas, os capuzes destes componentes da colhedora foram equipados com telas de nylon tipo mosquiteiros.

O delineamento experimental utilizado nos ensaios foi de blocos ao acaso com 13 repetições, com 20 canas por teste. Realizou-se análise de variância e as comparações entre as médias dos diferentes tratamentos foram feitas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade,

fornecendo a diferença mínima significativa (dms) entre as médias.

No experimento **A**, com amostras de cana com palha, a análise de variância das médias foi realizada para duas variedades de cana-de-açúcar, como sendo os blocos, e os tratamentos sendo duas diferentes velocidades de rotação do extrator primário, 1000 e 1350 rpm. Neste experimento, avaliaram-se as perdas invisíveis e a eficiência de limpeza da matéria-prima.

No experimento **B**, levantaram-se os dados de perdas invisíveis com as mesmas duas variedades de cana sem palha sendo processada pela colhedora, porém, com a

rotação do extrator fixa numa única velocidade de 1350 rpm. Também foi feita a análise de variâncias das médias dos dados de perdas invisíveis dos dois experimentos, com a velocidade do extrator primário a 1350 rpm, sendo os blocos as duas variedades e os tratamentos a cana com e sem palha.

As duas variedades ensaiadas, a SP80-1842 (10 meses) e RB72454 (13 meses), foram classificadas para os testes como cana de médio teor de fibra,

(Tabela 1) ambas em estágio de colheita para muda. O critério de classificação da cana quanto ao teor de fibra foi o mesmo utilizado pela Seção de Tecnologia de Ensaio de Competição (CTFT-4) do Centro de Tecnologia Canavieira: cana com alto teor de fibra “dura”, teor de fibra entre 12,5 a 14,0%; cana com médio teor de fibra “média”, teor de fibra entre 11,0 a 12,5%; e cana com teor de fibra baixo “mole”, teor de fibra entre 9,5 a 11,0%, (NEVES et al. 2003).

Tabela 1. Teor de fibra (%) das canas ensaiadas

Amostra	Data	Variedades	Brix%	Fibra%
1	12/03/98	RB72454	15,8	11,89
2	12/03/98	RB72454	14,6	11,02
3	13/03/98	SP80-1842	14,5	11,68
4	13/03/98	SP80-1842	14,8	11,60
5	17/03/98	SP80-1842	15,9	11,87
6	17/03/98	SP80-1842	16,2	11,28

Obs.: Amostras constituídas de cana crua em feixes de 20 canas com estado ereto

Para o levantamento de dados técnicos de funcionamento da colhedora Austoft A-7000 de pneus, determinou-se a velocidade de saída do ar do extrator/ventilador primário utilizando-se um anemômetro digital Homis modelo DA 40V. A velocidade média do ar na saída dos ventiladores da colhedora é apresentada na Tabela 2.

As perdas invisíveis foram identificadas como a soma das perdas de matéria prima que ocorreram nos conjuntos rolos transportadores; rolos síncronos picadores; extratores (primário e secundá-

rio); elevador de esteira com taliscas, sendo que as facas dos rolos síncronos picadores utilizadas neste ensaio não apresentavam qualquer nível de desgaste.

Experimento A – Cana-de-açúcar com palha

A perda invisível (PI%) foi determinada pela relação entre a massa da cana que se perdeu durante o processamento interno da colhedora e a massa inicial das amostras de canas-de-açúcar:

Tabela 2. Velocidade média do ar na saída do extrator primário

Tela de Coleta	Rotação do motor	Velocidade (m s ⁻¹)
Com Tela	1350	15,77
Sem Tela	1350	16,82
Com Tela	1000	11,49
Sem Tela	1000	12,03

$$PI\% = \frac{PSA - (TLC + TLP + TLM + PPC + PPP + PPM)}{PSA} \times 100$$

em que,

TLC - massa dos rebolos coletados na carroceria do transbordo [g];
 TLP - massa dos rebolos e pedaços coletados no piso do barracão [g];
 TLM - massa dos rebolos e pedaços coletados na colhedora [g];
 PPC- massa da palha e palmito coletados na carroceria do transbordo [g];
 PPP- massa da palha e palmito coletados no piso do barracão [g];
 PPM- massa da palha e palmito coletados na colhedora (g);
 PSA - massa total das amostras de canas-de-açúcar [g].

A eficiência de limpeza (EF%) da colhedora foi estimada tomando-se como base os resultados registrados para as impurezas vegetais na carroceria e massa foliar recolhida da máquina, das telas e do piso do barracão, equação 2.

$$EF\% = \left(1 - \frac{PPC}{PPC - MFC} \right) \times 100 \quad (2)$$

em que,

MFC = PPP + PPM = Massa foliar recolhida da colhedora e do piso do barracão [g].

Por massa foliar, entende-se a quantidade de palha (folhas verdes e folhas secas) e palmito coletada na colhedora e no piso do barracão, mais a quantidade de palha e palmito coletada nas telas montadas na saída de ar da carenagem dos extratores primário e secundário.

A eficiência de limpeza foi obtida na base úmida. A palha e os palmitos, das impurezas vegetais nas cargas e da massa foliar remanescente no piso do barracão foram pesados com o teor de água que se encontram nos ensaios.

Experimento B – Cana sem Palha

A perda invisível (PI%) foi determinada utilizando-se a equação 3.

$$PI\% = \frac{PSA - (TLC + TLP + TLM)}{PSA} \times 100 \quad (3)$$

Em todos os ensaios manteve-se a velocidade da esteira em aproximadamente 6,5 km h⁻¹, correspondente à velocidade de deslocamento da colhedora no campo em trabalho uniforme. A esteira foi acionada pelo sistema hidráulico de um trator de 140cv.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Perdas Invisíveis

Na Tabela 3 são apresentados os resultados de perdas invisíveis obtidas nos ensaios com cana-de-açúcar com palha e sem palha e os dados de eficiência de

limpeza da matéria-prima destinada à moagem, utilizando-se cana-de-açúcar com palha.

Tabela 3. Levantamento de perdas invisíveis nos ensaios com cana-de-açúcar com e sem palha e eficiência de limpeza para os ensaios de cana com palha.

Variedades	Rotação do Extrator Primário (rpm)	Perdas Invisíveis (%)	Eficiência de limpeza (%)	
			Base Úmida	Base Seca
Amostras de cana-de-açúcar com palha				
RB72454	1350	1,79 ^{ae}	68 ^{ae}	77
	1000	1,17 ^{bg}	65 ^{bf}	74
SP80-1842	1350	2,38 ^{cf}	70 ^{ce}	80
	1000	1,38 ^{dg}	66 ^{df}	76
Amostras de cana-de-açúcar sem palha				
RB72454	1350	1,24 ^h		
SP80-1842	1350	1,32 ^h		

Obs.: Médias seguidas por letras distintas diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey, sendo que para a coluna de perdas invisíveis e de eficiência de limpeza base úmida

a primeira letra refere-se a avaliação entre rotações para a mesma variedade e a segunda letra refere-se a avaliação entre variedades para a mesma rotação.

Observa-se nesta tabela que as médias dos valores das perdas invisíveis diferem entre as variedades ensaiadas para a rotação de 1350 rpm, e não diferem na rotação de 1000 rpm, com um nível de significância de 5%. Ainda dentro de uma mesma variedade existe diferença significativa em nível de 5% para as diferentes rotações avaliadas, chegando a ser 70% maior na variedade SP80-1842 e 54% maior na RB72454.

Estes resultados indicam que na colheita de cana crua, a porcentagem de perdas invisíveis é afetada principalmente pela velocidade de rotação do extrator primário, mas também pode ser afetada pela variedade de cana colhida, quando se opera a colhedora em velocidades mais altas do extrator primário. Ao se operar a colhedora em rotações menores do extrator primário, a variedade da cana não mais afeta o total de perdas invisíveis.

Nos ensaios com cana-de-açúcar sem palha observou-se que as perdas invisíveis não dependeram da variedade de cana, embora a RB72454 apresente tendência de perdas menores que na SP80-1842, como ocorreu nos ensaios com palha.

Os resultados de perdas invisíveis causadas pela colhedora, quando se processa cana-de-açúcar com palha, indicam que a porcentagem de perda aumenta em aproximadamente 45% independente da variedade, passando de 1,24% para 1,79% para RB72454 e de 1,32% para 2,38% para variedade SP80-1842. Comparando-se estes valores com os obtidos por Neves et al. (2003) observa-se que os valores obtidos neste trabalho são inferiores, entretanto estes autores incluíram

em sua avaliação o corte de base e trabalharam com facas em diferentes estágios de desgaste. Desconsiderando-se os valores de perdas referentes ao corte de base, entre 1% e 2,3%, pode-se afirmar que estes valores encontram-se na mesma faixa, confirmando que as perdas invisíveis na colheita realizada por colhedoras automotrizes sem considerar o corte de base estão entre 1,2% e 2,4%, quando esta processa respectivamente, cana sem palha ou com palha.

Eficiência de limpeza na carga transportada para a usina

A maior eficiência de limpeza do extrator primário foi com as maiores rotações, considerando a massa vegetal tanto na base úmida quanto na base seca, sendo 5% mais eficiente para a variedade RB72454 e 6% para a variedade SP80-1842. A eficiência de limpeza não apresentou diferenças significativas ao nível de 5% em relação às duas variedades estudadas, nos dois tratamentos (1000 e 1350 rpm), provavelmente devido à quantidade de massa foliar das duas variedades serem praticamente as mesmas neste ensaio. Esta pesquisa confirma as afirmações de YOUNGER (1980) e DICK (1986), que estabelecem que o aumento da capacidade de limpeza dos extratores está diretamente relacionado com o aumento das perdas de cana-de-açúcar. Observa-se também nesta tabela que a redução de 25% na velocidade de rotação do extrator primário reduz em aproximadamente 1 ponto porcentual as perdas invisíveis e de 3 a 4 pontos percentuais a eficiência de limpeza. Considerando que cada ponto

percentual de impurezas vegetais significa a redução de 1,3 a 1,4% da ATR (BURLEIGHT, 1998), a redução da velocidade do extrator primário acarreta em maior perda de eficiência do sistema.

CONCLUSÕES

As perdas invisíveis nos sistemas da colhedora sem considerar o corte de base e utilizando facas em bom estado para os rolos picadores variaram de 1,2 a 2,4%, sendo maiores na cana-de-açúcar com palha em relação à cana-de-açúcar sem palha. A eficiência de limpeza não apresentou diferenças significativas ao nível de 5% em relação às duas variedades estudadas, nos dois tratamentos (1000 e 1350 rpm). Entretanto, a eficiência de limpeza da matéria-prima ficou entre 74% e 80% para matéria seca, na rotação de 1.000 rpm e 1.350 rpm no extrator primário, respectivamente. As perdas e a eficiência de limpeza foram maiores quando se trabalhou com a maior rotação do extrator (1300rpm).

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro. Aos pesquisadores, laboratoristas e técnicos do Centro Tecnológico Canavieiro (CTC), pelo suporte técnico e à Usina São João de Araras, SP pela disponibilidade da área e pela colaboração de seus funcionários no projeto.

REFERÊNCIAS

- ANUÁRIO BRASILEIRO DA CANA-DE-AÇÚCAR. *Cultura de impacto*, Santa Cruz do Sul, RS , p 12-13, 2005.
- BRAUNBECK, O. A.; MAGALHÃES, P. S. G. Colheita sustentável com aproveitamento integral da cana. *Visão Agrícola*, Piracicaba, SP, v.1, n.1, p.72-79, 2004.
- BURLEIGH & ASSOCIATES. *A comparative evaluation of sugarcane harvesting and transport systems for use in the Brazilian sugar industry*. São Paulo: Copersucar, 1988. 54 p. (Relatório Técnico- Copersucar).
- DICK, R.G. *Potential losses higher when harvesting green*, *BSES Bulletin*, Australia v. .15, n. 7 p. 10-18, 1986.
- FERNANDES, A.C. *Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar*. Piracicaba: CTC/ Copersucar, 1988. 88 p. (Relatório Técnico de Circulação Interna).
- FERNANDES, A.C.; OLIVEIRA, E.R.; QUEIROZ, L. Sugarcane trash measurements in Brazil. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 16., 1977, São Paulo. *Proceedings...* São Paulo: International Society of Sugar Cane Technologists, 1978. v.2.p. 1963-73.
- NEVES, J. L. M., MAGALHÃES, P. S. G., MORAES, E. E., MARCHI, A. S. Avaliação de perdas invisíveis de cana-de-açúcar nos sistemas da colhedora de cana picada. *Eng. Agrícola*, Jaboticabal, SP, v.23, n.3, p.539-546, set./dez. 2003.

NEVES, J. L. M., MAGALHÃES, P.S.G. MORAES, E. E., ARAUJO, F.V. Avaliação de perdas invisíveis na colheita mecanização em dois fluxos de massa de cana-de-açúcar. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 787-794, 2006.

YOUNGER, J.A. Quality cane and extraneous matter. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS, 17., 1980, Manila. *Proceedings...* Manila: International Society of Sugar Cane Technologists, 1980. v.1, p.885-90.