



## CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DA COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM DIFERENTES VELOCIDADES DE DESLOCAMENTO E ROTAÇÕES DO EXTRATOR PRIMÁRIO

Murilo Battistuzzi Martins<sup>1</sup>, Kléber Pereira Lanças<sup>2</sup>, Maria Márcia Pereira Sartori<sup>3</sup> & João Vitor Paulo Testa<sup>4</sup>

**RESUMO:** Este trabalho teve por objetivo avaliar o consumo de combustível da colheita mecanizada de cana-de-açúcar em diferentes velocidades de deslocamento e rotações do extrator primário. O experimento foi conduzido em um canavial colhido sem queima prévia, com a cana-de-açúcar da variedade CTC 15, em seu primeiro estágio de corte e com porte classificado como ereto. O espaçamento entre fileiras foi de 1,5m e a produtividade agrícola média da cultura de 92,5 t ha<sup>-1</sup>. A colhedora de cana-de-açúcar utilizada foi a de uma linha, operando em três velocidades de deslocamento, sendo V1 (3,0 km h<sup>-1</sup>), a velocidade V2 (5,0 km h<sup>-1</sup>) e V3 (7,0 km h<sup>-1</sup>). Foram utilizadas duas rotações do extrator primário, sendo a R1 de 700 rpm e R2 de 1000 rpm. No experimento foi avaliado o consumo de combustível da colhedora com o uso de fluxômetros assim como o desempenho da mesma. A capacidade de campo efetiva (ha h<sup>-1</sup>) e o consumo horário efetivo de combustível (L h<sup>-1</sup>) foram maiores, com o aumento da velocidade de deslocamento da colhedora de cana-de-açúcar e com o aumento da rotação do extrator primário. O estudo mostrou que com o aumento da velocidade de deslocamento da colhedora diminuiu o consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida (L t<sup>-1</sup>).

**PALAVRAS-CHAVE:** desempenho; rendimento operacional; avaliação; mecanização.

## FUEL CONSUMPTION OF SUGARCANE MECHANIZED HERVESTING UNDER PRIMARY EXTRACTOR DIFFERENT SHIFTING SPEEDS AND SPINS

**ABSTRACT:** This study aimed to evaluate the fuel consumption of mechanized harvesting of sugar cane under different speeds of displacement and rotation of the primary extractor. The experiment was conducted in a sugar cane variety CTC 15 in its first cutting stage and size classified as erect, harvested without burning. The row spacing was 1.5 m and the average agricultural crop yield of 92.5 t ha<sup>-1</sup>. The harvester used was of one line, operating in three shift speeds, V1 (3.0 km h<sup>-1</sup>), V2 (5.0 km h<sup>-1</sup>), and V3 (7.0 km h<sup>-1</sup>). Two rotations of the primary extractor were used, the R1 of 700 rpm and R2 of 1000 rpm. Fuel consumption was evaluated by using flowmeters as well as its performance. The effective field capacity (ha h<sup>-1</sup>) and the actual time fuel consumption (L h<sup>-1</sup>) were greater increasing traveling speed and rotation. Increased harvester travel speed decreased fuel consumption per ton of sugarcane harvested (L t<sup>-1</sup>).

**KEYWORDS:** performance; operating efficiency; evaluation; mechanization.

### 1 INTRODUÇÃO

O cultivo de cana-de-açúcar é considerado uma atividade de grande importância a nível nacional, tendo uma posição de destaque na economia brasileira, em relação à produção de açúcar e álcool. (BARBOSA E SILVEIRA, 2006).

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, seguido por Índia, China, Tailândia, México e Paquistão, sendo que a produção brasileira é aproximadamente semelhante à soma da produção de todos esses países juntos.

A mecanização agrícola tem ganhado destaque pois representa um fator de grande importância para a competitividade em termos de custo para o setor sucroalcooleiro, chegando a ser o segundo fator de produção mais importante, sendo inferior apenas à posse da terra. Em termos de potencial para redução dos custos de produção, a mecanização pode ser considerada como o fator principal (PELOIA & MILAN, 2010).

O processo de colheita da cana-de-açúcar atualmente é, predominantemente, realizado de forma mecanizada. A colheita mecanizada da cana-de-açúcar se faz necessária pela falta de mão-de-obra no campo, pressões ambientais, melhores rendimentos e menor custo de produção (REIS, 2009).

A velocidade de deslocamento é um fator significativo para o desempenho operacional das colhedoras de cana-de-açúcar e para o consumo de combustível. Quanto

<sup>1, 2, 3</sup> e <sup>4</sup> Faculdade de Ciências Agrônômicas - FCA/UNESP, Botucatu, SP. E-mails: [mbm\\_martins@hotmail.com](mailto:mbm_martins@hotmail.com) ; [kplancas@fca.unesp.br](mailto:kplancas@fca.unesp.br) ; [mmpsartori@fca.unesp.br](mailto:mmpsartori@fca.unesp.br) ; [joaovitorستا@outlook.com](mailto:joaovitorستا@outlook.com)

maior a velocidade de deslocamento maior será a capacidade operacional, sendo que com uma velocidade de deslocamento de 7 km h<sup>-1</sup> a eficiência de campo pode chegar a 75%. Em se tratando do consumo horário de combustível, o mesmo também tem influência da velocidade de deslocamento da colhedora, uma vez que quanto maior a velocidade maior o consumo horário e menor o consumo por tonelada de cana colhida (CARVALHO FILHO, 2000)

Na colheita mecanizada de cana-de-açúcar um dos maiores custos é o combustível, devido aos altos consumos das colhedoras, ultrapassando, muitas vezes, o valor de 60 litros por hora (RIPOLI; RIPOLI, 2009). Entre todos os elementos que compõem os custos da colheita de cana de açúcar, o gasto com combustíveis representa cerca de 40% do total devido a intensa mecanização nesta etapa do cultivo (ROSA, 2013). Pequenas reduções no consumo de combustíveis através da correta regulação de máquinas e equipamentos, bem como condições mais econômicas podem ocasionar importantes ganhos econômicos ao setor.

Esse trabalho teve por objetivo avaliar o consumo de combustível da colheita mecanizada de cana-de-açúcar em diferentes velocidades de deslocamento e rotações do extrator primário.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na usina Pederneiras pertence ao grupo Zambianco, localizado no município de Tietê, estado de São Paulo, com as coordenadas geográficas, 22°58'09" de Latitude Sul e 47°43'12" de Longitude Oeste.

A área experimental possuía a variedade CTC15, em uma área de 18,66 ha. O espaçamento entre fileiras era de 1,5 metros e o terreno apresentava declividade média de 6%, apto para a colheita mecanizada. Durante a realização dos tratos culturais na área experimental, foi realizada a operação de “quebra-lombo”. A colheita ocorreu sem a queima prévia do canavial e a produtividade média da área foi de 92,5 t ha<sup>-1</sup>.

Em todo experimento foi utilizada a mesma colhedora de cana-de-açúcar de uma linha conforme as características na Tabela 1.

**Tabela 1 - Características da colhedora utilizada.**

Ano de fabricação	2010
Horímetro	6017 horas
Potência Nominal	330 cv (243kW)
Cortador de pontas	Tambor separador bidirecional
Peso (Kg)	18.300
Rodado	Esteiras

Foram selecionadas três velocidades de deslocamento da colhedora, sendo a velocidade de 3,0 km h<sup>-1</sup> (V1), velocidade de 5,0 km h<sup>-1</sup> (V2) e a velocidade de 7,0 km h<sup>-1</sup> (V3). Foram utilizadas duas rotações do extrator

primário da máquina, sendo a rotação de 700 rpm (R1) e a rotação de 1000 rpm (R2). Os tratamentos foram submetidos a seis repetições, totalizando 36 parcelas. A área correspondente às parcelas foi obtida a partir de faixas de 100 m de comprimento de colheita.

A determinação da velocidade de deslocamento foi realizada através do tempo gasto para percorrer cada parcela, sendo que para determinar a distância de cada parcela e o tempo gasto no deslocamento foi utilizado um GPS modelo MAP 60csx da marca Garmin. A velocidade média foi obtida pela Equação 1:

$$Vel = \frac{L}{\Delta t} \cdot 3,6 \quad (1)$$

Em que:

Vel = velocidade de deslocamento da colhedora (km h<sup>-1</sup>);  
L = comprimento da parcela experimental (m);  
Δ<sub>t</sub> = tempo gasto para percorrer a parcela experimental (s);  
3,6 = fator de conversão.

A capacidade de campo efetiva foi determinada pela relação entre a área útil da parcela trabalhada e o tempo efetivo gasto no percurso da parcela experimental, através da equação 2:

$$CE = \frac{Atr}{\Delta t} \cdot 0,36 \quad (2)$$

Em que:

CE = capacidade de campo efetiva (ha h<sup>-1</sup>);  
Atr = área útil da parcela trabalhada (m<sup>2</sup>);  
Δ<sub>t</sub> = tempo gasto no percurso da parcela (s);  
0,36 = fator de conversão.

Para avaliação do consumo de combustível da colhedora foram utilizados dois medidores de combustível tipo fluxômetro da marca Oval, modelo LSF45 com capacidade máxima de leitura 500 L h<sup>-1</sup>, instalados no sistema de alimentação de combustível entre o tanque e o motor e outro instalado no retorno para o tanque. Para aquisição dos dados foi utilizado um controlador lógico programável (CLP), que registra uma unidade de pulso a cada 10 mL de combustível que passou pelos fluxômetros, permitindo calcular através da diferença de combustível que entra no motor e o que retorna ao tanque, o consumo horário de combustível, através da aquisição dos dados, segundo a metodologia utilizada por Lyra (2013) e adotada pelo Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais (NEMPA) da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA-UNESP) campus de Botucatu-SP.

Em cada repetição o controlador lógico programável (CLP) foi acionado no início da colheita e parado ao final, obtendo o resultado de consumo de combustível de cada linha colhida. Para todos os tratamentos foi utilizado o sistema Smart Cruise da colhedora, o qual

permite selecionar a potência do motor mais adequada para as diferentes condições de colheita.

O consumo horário de combustível foi obtido através da coleta dos dados fornecidos pelo CLP após percorrer cada parcela. Sendo calculado pela Equação 3:

$$Ch = \left( \frac{\sum (pe - ps) \cdot 3,6}{\Delta t} \right) \cdot 10 \quad (3)$$

Em que:

$Ch$  = consumo horário de combustível ( $L h^{-1}$ );

$\Sigma(pe - ps)$  = diferença entre os somatórios de pulsos dos fluxômetros de entrada e de retorno do motor, equivalendo ao volume de combustível gasto;

$\Delta t$  = tempo gasto no percurso da parcela (s);

3,6 = fator de conversão;

10 = razão entre pulsos gerados pelo fluxômetro e o volume de combustível medido.

O consumo de combustível por tonelada foi obtido através do cálculo realizado conforme a Equação 4:

$$Ct = \frac{CCa}{P} \quad (4)$$

Em que:

$Ct$  = consumo de combustível por tonelada ( $L t^{-1}$ )

$CCa$  = consumo de combustível por área ( $L ha^{-1}$ )

$P$  = produtividade do canavial ( $t ha^{-1}$ )

A análise estatística foi efetuada pelo software Minitab (16). As médias foram analisadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias de capacidade de campo efetiva ( $ce$ ) foram estatisticamente diferentes a 5% de significância para todas as velocidades avaliadas (Tabela 2). Obteve-se a maior capacidade de campo para a velocidade de V3 (7,0

$km h^{-1}$ ), mostrando assim que o aumento de velocidade de deslocamento da colhedora resultou em aumento da capacidade de campo efetiva. Para as diferentes rotações do extrator primário não houve diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos.

Os resultados encontrados para a capacidade de campo efetiva ( $Ce$ ) na velocidade de deslocamento V2 (5  $km h^{-1}$ ) são semelhantes aos de Belardo (2010), de 0,74  $ha h^{-1}$  em avaliação de três colhedoras de cana-de-açúcar de uma linha, em canavial de primeiro corte com produtividade média de 100  $t ha^{-1}$ . Já para a velocidade V1 (3  $km h^{-1}$ ) os valores são inferiores aos de Testa (2014), em avaliação do desempenho operacional e energético de colhedoras de cana-de-açúcar de uma e duas linhas, em canavial com produtividade média de 83,5  $t ha^{-1}$ , onde os resultados da colhedora de uma linha gerou valores de 0,57  $ha h^{-1}$  como pode ser observado na tabela 2.

**Tabela 2 - Resultados das Médias dos valores de capacidade de campo efetiva ( $ha h^{-1}$ ).**

Velocidade de deslocamento ( $Km h^{-1}$ )	Rotação extrator primário (rpm)		Média
	R1	R2	
V1	0,45	0,44	0,44 C
V2	0,72	0,75	0,73 B
V3	1,04	1,09	1,06 A
Média	0,73 a	0,75 a	

V1: Velocidade média de 3,0  $km h^{-1}$ , V2: Velocidade média de 5,0  $km h^{-1}$ , V3: Velocidade média de 7,0  $km h^{-1}$ , R1: 700 rpm, R2: 1000 rpm. Médias seguidas de letras iguais e maiúsculas na coluna não diferem pelo teste de Tukey ( $\alpha=5\%$ ), médias seguidas de iguais e minúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey ( $<0,05$ ).

A tabela 3 apresenta os valores para o consumo horário efetivo de combustível ( $L h^{-1}$ ) para os tratamentos avaliados. A avaliação do consumo de combustível difere-se da avaliação do consumo de combustível médio avaliado, ou seja, a avaliação do consumo de combustível neste experimento referiu-se somente ao consumo da colhedora no momento da operação de colheita da cana-de-açúcar, não considerando situações envolvidas no processo como manobras de cabeceira, mudanças de talhão, esperar por transbordos, desembuchamentos, ou qualquer situação que envolva o consumo de combustível da máquina.

Com os resultados adquiridos pode-se observar que conforme houve aumento na velocidade de deslocamento em todos os tratamentos, obteve-se aumento no consumo de combustível, o maior valor encontrado foi na velocidade de deslocamento V3 (7,0  $km h^{-1}$ ), diferenciando-se estatisticamente de todas outras velocidades ao nível de 5% de probabilidade. O mesmo ocorreu para a rotação dos extratores primários, conforme se aumentou a rotação, R2 (1000 rpm), houve aumento no consumo de combustível, ocorrendo diferença estatística entre os tratamentos avaliados (Tabela 3).

**Tabela 3 - Médias dos valores de consumo efetivo de combustível horário ( $L h^{-1}$ )**

Velocidade de deslocamento ( $Km h^{-1}$ )	Rotação extrator primário (rpm)	Média
--	---------------------------------	-------

	R1	R2	
V1	44,2	46,7	45,4 C
V2	47,3	51,5	49,4 B
V3	62,6	68,1	65,3 A
Média	51,4 b	55,4 a	

V1: Velocidade média de 3,0 km h<sup>-1</sup>, V2: Velocidade média de 5,0 km h<sup>-1</sup>, V3: Velocidade média de 7,0 km h<sup>-1</sup>, R1: 700 rpm, R2: 1000 rpm. Médias seguidas de letras iguais e maiúsculas na coluna não diferem pelo teste de Tukey ( $\alpha=5\%$ ), médias seguidas de iguais e minúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey ( $<0,05$ ).

Os resultados para consumo horário de combustível deste trabalho no tratamento V2 (5 km h<sup>-1</sup>), são semelhantes ao de Carvalho Filho (2000) de 49,77 L h<sup>-1</sup>, Giachini (2012) com 57,5 L h<sup>-1</sup> e Lyra (2012) sendo de 55,88 L h<sup>-1</sup> com a colhedora se deslocando na mesma velocidade de 5 km h<sup>-1</sup>.

Schmidt Junior (2011), em avaliação do desempenho efetivo de colhedoras de cana-de-açúcar, utilizando uma velocidade de 5,7 km h<sup>-1</sup> e rotação de extrator primário a 1000 rpm obteve resultados de consumo na ordem de 50,3 L h<sup>-1</sup>, resultado próximo deste trabalho (Tabela 3). Entretanto, na velocidade de 7,0 km h<sup>-1</sup> e rotação do extrator primário de 1000 rpm os valores ficaram abaixo deste trabalho, sendo de 53,79 L h<sup>-1</sup>. Já Nery (2000), a uma colheita realizada a velocidade de 7,5 km h<sup>-1</sup> obteve um consumo de 66,27 L h<sup>-1</sup> resultando em um valor próximo ao encontrado nesse ensaio para o tratamento V3 (7 km h<sup>-1</sup>).

Em relação ao consumo de combustível por tonelada colhida, o maior consumo ocorreu na velocidade de deslocamento V1 (3,0 km h<sup>-1</sup>) de 1,09 L t<sup>-1</sup> diferenciando-se estatisticamente das demais velocidades ao nível de 5% de probabilidade. As velocidades V2 (5,0 km h<sup>-1</sup>) e V3 (7,0 km h<sup>-1</sup>) não se diferenciaram estatisticamente (Tabela 4). A rotação R2 (1000 rpm) apresentou maior consumo de combustível, diferenciando-se estatisticamente da rotação R1 (700 rpm).

Os resultados encontrados neste trabalho foram maiores no tratamento V3 (7 km h<sup>-1</sup>) que os encontrados por Belardo (2010) colhendo a velocidade de 7 km h<sup>-1</sup> em um canavial com produtividade de 100 t ha<sup>-1</sup> que obteve valores de 0,47 a 0,53 L t<sup>-1</sup>; porém, similar no tratamento V2 (5 km h<sup>-1</sup>), com valores de 0,66 a 0,70 L t<sup>-1</sup> e também são semelhantes aos valores encontrados por Testa (2014) de 0,77 L t<sup>-1</sup> (Tabela 4).

**Tabela 4 - Médias dos valores de consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida (L t<sup>-1</sup>)**

Velocidade de deslocamento (Km h <sup>-1</sup> )	Rotação extrator primário (rpm)		Média
	R1	R2	
V1	1,06	1,12	1,09 A
V2	0,68	0,74	0,71 B
V3	0,64	0,70	0,67 B
Média	0,79 b	0,85 a	

V1: Velocidade média de 3,0 km h<sup>-1</sup>, V2: Velocidade média de 5,0 km h<sup>-1</sup>, V3: Velocidade média de 7,0 km h<sup>-1</sup>, R1: 700 rpm, R2: 1000 rpm. Médias seguidas de letras iguais e maiúsculas na coluna não diferem pelo teste de Tukey ( $\alpha=5\%$ ), médias seguidas de iguais e minúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey ( $<0,05$ ).

## 4 CONCLUSÕES

A capacidade de campo efetiva (ha h<sup>-1</sup>) e o consumo horário efetivo de combustível (L h<sup>-1</sup>) foram maiores, com o aumento da velocidade de deslocamento da colhedora de cana-de-açúcar e com o aumento da rotação do extrator primário.

O aumento da velocidade de deslocamento da colhedora diminuiu o consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida (L t<sup>-1</sup>).

## 5 REFERÊNCIAS

BARBOSA, M.H.P.; SILVEIRA, L.C.I. Cana-de-açúcar: variedades, estabelecimento e manejo. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO ESTRATÉGICO DE PASTAGEM, 3, Viçosa. *Anais...* Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. P. 245-272.

BELARDO, G. C. *Avaliação de desempenho efetivo de três colhedoras em cana-de-açúcar (Saccharum spp) sem queima*. 2010. 136 p. Dissertação (Mestrado) –

Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2010.

CARVALHO FILHO, S. M. *Colheita mecanizada: desempenho operacional e econômico em cana sem queima prévia*. 2000. 108 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

GIACHINI, C. F. *Desempenho operacional de uma colhedora de cana-de-açúcar (saccharum spp.) em função dos turnos de trabalho*. 2012. 57 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2012.

LYRA, G. A. de. *Consumo de combustível de duas colhedoras de cana-de-açúcar em função da*

**velocidade e rotação do motor.** 2012. 53 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2012.

LYRA, G. A.; LANÇAS, K. P.; RAMOS, C. R. G.; GIACHINI, C. F.; MASIERO, F. C. Corte leve. **Cultivar Máquinas**, Ano 11, n. 131, p.26-27, 2013.

NERY, M. S. **Desempenho operacional e econômico de uma colhedora em cana crua.** 2000. 108 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de Sao Paulo, Piracicaba, 2000.

PELOIA, P. R.; MILAN, M. **Proposta de um sistema de medição de desempenho aplicado à mecanização agrícola.** Eng. Agríc., Jaboticabal, v.30, n.4, 2010.

REIS, G. N. dos. **Perdas na colheita mecanizada da cana-de-açúcar crua em função do desgaste das facas do corte de base.** 2009. 73 p. Tese (Doutorado em Agronomia / Ciência do solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e veterinárias, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 2009.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente.** Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2009. 333 p.

ROSA, J. H. M. **Avaliação do desempenho efetivo e econômico de uma colhedora de cana-de-açúcar (*saccharum spp.*) em espaçamento duplo alternado.** 2013. 153 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

SCHMIDT JUNIOR, J. C. **Avaliação do desempenho efetivo de colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*).** 2011. 108 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

TESTA, J.V.P. **Desempenho operacional e energético de colhedoras de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) para uma e duas linhas da cultura.** 2014. 40 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Energia na Agricultura ) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2014.