

## DESEMPENHO OPERACIONAL DE COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

### OPERATING PERFORMANCE OF THE SUGAR CANE MECHANIZED HARVEST

<sup>1</sup>SILVEIRA, L.M.; <sup>2</sup>SILVA, L.A.P.; <sup>3</sup>CREPALDI, L.D.; <sup>4</sup>VICENTE, V.A.; <sup>5</sup>STEINER, F.

<sup>1 a 5</sup> Departamento de Agronomia – Faculdades Integradas de Ourinhos-FIO/FEMM

#### RESUMO

O melhor aproveitamento das horas disponíveis da colhedora para que se efetue a colheita, reflete em maior rendimento operacional, conseqüentemente torna a colheita mecanizada da cana-de-açúcar mais viável economicamente. O objetivo deste trabalho foi determinar o desempenho operacional de colhedoras de cana-de-açúcar, visando demonstrar quais os tempos que causam maior diminuição na eficiência da colheita mecanizada. O trabalho foi realizado em canaviais localizados no município de Eldorado - MS. Foram três dias de avaliações, 3 colhedoras (I, II, III) e três turnos de trabalho (Matutino, vespertino, Noturno). Foi realizado um estudo dos tempos envolvidos na operação de colheita, sendo eles: colheita, espera de transbordo, manobras de cabeceiras e outras interrupções, para avaliar a eficiência (%), capacidade de efetiva e operacional ( $\text{há.h}^{-1}$ ) e a capacidade de produção efetiva e operacional ( $\text{Ton.h}^{-1}$ ). Os coeficientes de desempenho operacional foram submetidos a uma análise estatística exploratória e para verificar a relação de influência entre eles foi realizada uma análise de correlação. A velocidade média de colheita, a capacidade de produção efetiva (CpE) e a capacidade de produção operacional (CpO) foram de 4,04 km/h; 77,37  $\text{Ton.h}^{-1}$  e 54,27  $\text{Ton.h}^{-1}$ , respectivamente. A eficiência de produção média encontrada foi de 66,82%, sendo que, o tempo perdido com espera de transbordo, outras interrupções e manobras de cabeceira corresponderam a 13,9, 11,8 e 7,5%, respectivamente. Como sugestão para aumentar a eficiência operacional da colhedora de cana na situação avaliada pode-se destacar ações para diminuir o tempo de espera do transbordo e com outras interrupções, que durante as avaliações constaram da obstrução do funcionamento (embuchamento), principalmente.

**Palavras-chave:** Eficiência Operacional. Colheita Mecanizada. Rendimento Operacional.

#### ABSTRACT

The best use of the harvester's available time to harvest, reflected in higher operating income thus becomes mechanized harvesting of sugar cane more economically viable. The objective of this study was to determine the operating performance of sugar cane mechanized harvest in order to show which times cause greater decrease in the operational efficiency of harvest. The work was carried out in plantations located in the city of Eldorado - MS. The three days of evaluate, 3 harvesters (I, II, III) and three work shifts (morning, afternoon, evening). We conducted a study of time involved in the harvesting operation, called: harvesting, waiting transshipment, headland maneuvers and other interruptions, to evaluate the efficiency (%), effective and operational capacity ( $\text{ha/h}$ ) and effective and operational production capacity ( $\text{ton/h}$ ). The coefficients of operating performance underwent exploratory statistical analysis and to check the influence relationship between them was performed a correlation analysis. The mean harvest speed, the effective production capacity and operating production capacity were 4.04 km/h; 77.37 ton h and 54.27 ton/h, respectively. The production efficiency average was 66.82%, and the lost time waiting for transshipment, and other interruptions bedside maneuvers accounted for 13.9, 11.8 and 7.5%, respectively. As a suggestion to increase the operational efficiency of sugarcane harvester assessed the situation can highlight actions to reduce the waiting time of the transshipment and other interruptions that during evaluations consisted of obstruction of operation (bushing), mainly.

**Keywords:** Operational Efficiency. Mechanized Harvest. Operational Yield.

## INTRODUÇÃO

O avanço da mecanização na colheita da cana-de-açúcar ocorre principalmente em áreas com topografia adequada, ou seja, com declividades menores que 12%. Contudo, ainda são necessárias algumas alterações técnicas, como: sistematização dos solos e dimensionamento de talhões para evitar excesso de manobras; determinação do espaçamento mais adequado associado a um paralelismo na sulcação, para que evite o pisoteio da soqueira, além da adoção de variedades adequadas à colheita mecanizada, havendo ainda as mudanças que tratam do rendimento operacional das máquinas, melhoria na qualidade de matéria-prima colhida e na redução das perdas, o que proporciona ganhos em rendimento operacional e produtividade agrícola para a cultura. (BENEDINI; DONZELLI, 2007).

Costa Neto (2006) destaca que a colheita mecanizada da cana-de-açúcar é um fator importante, onde uma colhedora de cana equivale a 80 cortadores, podendo chegar a um rendimento diário (20 horas) de 400 toneladas contra 5 a 6 toneladas por dia por pessoa. Aliado ao rendimento tem-se a redução do custo da colheita de 32% de acordo com Rodrigues e Saab (2007), além de benefícios ambientais pela eliminação das queimadas. No entanto, para esses cálculos foram utilizados dados de eficiências gerais, sem um estudo prévio aprofundado levando em consideração os fatores adversos obtidos a campo, que poderiam interferir nos resultados. Desta maneira fazem-se necessários estudos detalhados dos tempos em que as máquinas efetivamente realizam o processo de colheita, tempos perdidos com manobras, espera de transbordo, lubrificações, etc. que resultam na eficiência de campo e capacidade operacional. Estas informações são utilizadas para o cálculo do número de máquinas necessárias para colher uma determinada área ou quantidade de produto num intervalo de tempo pré-estabelecido. Quando estes não são realizados de maneira correta, pode-se efetuar um dimensionamento inadequado do número de máquinas, tanto pelo excesso que resulta em máquinas paradas, como pela falta que proporciona queda no rendimento, na produção e na produtividade.

A capacidade de colheita de colhedoras de cana-de-açúcar está relacionada com a quantidade de trabalho que a máquina é capaz de executar na unidade de tempo, podendo ser efetiva ou operacional. A capacidade efetiva não considera os tempos perdidos em manobras de cabeceira e outras interrupções, além disso, tanto pode ser líquida, quando são levadas em consideração as perdas de matéria-

prima no campo, como pode ser bruta, quando se considera apenas o material recolhido pelo veículo de transporte. Já a capacidade operacional, pode estar relacionada a uma jornada de trabalho ou a uma safra, e considera a somatória do tempo efetivo com todos os tempos de interrupções ocorridos durante a operação. (RIPOLI; RIPOLI, 2009).

O presente trabalho teve como objetivo determinar o desempenho operacional de colhedoras de cana-de-açúcar, avaliando os tempos de todo o processo de colheita, obtendo através destes as capacidades e eficiências do sistema.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Os estudos e determinações de campo foram realizados na Fazenda Águas Claras (Usina Eldorado), localizada no município de Eldorado, estado do Mato Grosso do Sul. A colheita ocorreu sem queima prévia do canavial e o espaçamento utilizado era de 1,40 m. Os talhões em que foi realizada a colheita eram implantados com a variedade SP 81-3250 (2º corte) e tinham comprimento linear de 250 m.

A usina possui 5 colhedoras da marca Case HI, modelo A 7700, fabricadas no ano de 2007, com potência de 335cv, rodado tipo esteira e a altura máxima do despontador de 3,6 m. Para este trabalho foram utilizadas 3 máquinas escolhidas ao acaso. Para cada colhedora a usina dispunha de uma media de 2,5 conjuntos de transbordo, constituídos por um trator da marca New Holland, modelo TM 180, e dois transbordos com capacidade de 8 toneladas cada. Os caminhões reboque (Julieta), que levavam a cana até a usina, eram terceirizados.

Os turnos de trabalho são de oito horas e divididos em: Matutino (7:00h às 15:00h); Vespertino (15:00h às 23:00h) e Noturno (23:00h às 7:00h). A troca das lâminas do cortador de base é realizada quando o operador percebe que as mesmas não estão cortando corretamente sendo esta realizada pelos mecânicos do caminhão oficina. Os operadores trabalham sempre na mesma máquina e no mesmo turno.

Foi realizado um estudo dos tempos demandados na operação de colheita, sendo eles: (1) tempo de colheita; (2) tempo das manobras de cabeceiras; (3), tempo de espera do transbordo; e, (4) outras interrupções. A partir destes tempos

foi possível determinar as capacidades de campo efetiva e operacional. Para o estudo dos tempos foi utilizado três cronômetros da marca Nautika, com precisão de 1/100 segundos. O primeiro (1º) cronômetro da esquerda foi utilizado para marcar o tempo em que a máquina estava efetivamente colhendo (TC), o segundo (2º) cronômetro do meio para marcar as manobras de cabeceira (TM) e, o terceiro (3º) cronômetro, para marcar os tempos classificados como outras interrupções (TI). Os tempos eram marcados em planilhas e os cronômetros zerados após cada anotação.

O tempo de espera de transbordo (TE) contabilizava o tempo que a máquina encontrava-se parada aguardando o transbordo, que foi computado quando o transbordo que acompanhava a máquina enchia antes de acabar a linha que estava sendo colhida, ou após a manobra de cabeceira quando a máquina precisa aguardar o transbordo para retomar a colheita. O tempo de manobra (TM) é o tempo que o operador leva para manobrar a máquina e retomar a colheita e; o tempo de outras interrupções (TI), o tempo que a máquina para a colheita por motivos diversos, como: obstrução do funcionamento, troca de lâminas do cortador de base, abastecimento, quebra, limpeza, entre outros.

Para determinar a área de cana colhida pelas colhedoras durante o estudo, utilizou-se um aparelho GPS da marca Garmin, modelo Etrex Legend, com precisão de posição de 7 metros. Foram marcados pontos, que indicavam a trajetória da máquina dentro do talhão e foram utilizados para determinar o comprimento da linha. Para determinar a velocidade média das colhedoras dividiu-se o comprimento total percorrido pela máquina, pelo tempo total que a máquina ficou efetivamente colhendo. Com o comprimento da linha, multiplicado pelo número de linhas e pelo espaçamento entre as linhas de cana determinou-se a área colhida. A massa de produto colhido pela máquina foi estimada multiplicando-se a área colhida, pela produtividade média da cana, que foi obtida junto a Usina.

Os cálculos dos coeficientes de desempenho operacional das colhedoras de cana-de-açúcar foram determinados utilizando-se as equações propostas por Mialhe (1974).

A capacidade de campo efetiva foi determinada pela relação entre a área útil da parcela colhida e o tempo gasto no percurso da parcela (tempo em que a colhedora fica efetivamente colhendo), por meio da equação 1:

$$CcE = \frac{A}{\Delta t} \quad [1]$$

em que:

$CcE$  – capacidade de campo efetiva ( $\text{há.h}^{-1}$ );

$A$  – área útil da parcela colhida (ha);

$\Delta t$  – tempo gasto no percurso da parcela experimental (h).

A capacidade de campo operacional foi determinada pela relação entre a área colhida e o tempo gasto na realização da operação (tempo total da máquina no campo), por meio da equação 2:

$$CcO = \frac{A}{T} \quad [2]$$

em que:

$CcO$  – capacidade de campo operacional ( $\text{há.h}^{-1}$ );

$T$  – tempo gasto na operação (h).

A capacidade de produção efetiva foi determinada pela relação entre a quantidade de cana colhida e o tempo gasto no percurso da parcela (tempo em que a colhedora fica efetivamente colhendo), por meio da equação 3:

$$CpE = \frac{prod.}{\Delta t} \quad [3]$$

em que:

$CpE$  – capacidade de produção efetiva ( $\text{Ton.h}^{-1}$ );

$Prod.$  – massa do produto processado (Ton)

A capacidade de produção operacional foi determinada pela relação entre a quantidade de cana colhida e o tempo gasto na realização da operação (tempo total da máquina no campo), por meio da equação 4:

$$CpO = \frac{prod.}{T} \quad [4]$$

em que:

$CpO$  – capacidade de produção operacional ( $\text{Ton.h}^{-1}$ ).

A eficiência de campo foi determinada pela relação entre a capacidade de campo operacional ( $CcO$ ) e a capacidade de campo efetiva ( $CcE$ ), por meio da equação 5. A eficiência de campo representa a porcentagem do tempo total da máquina no campo que a colhedora ficou realmente colhendo

$$Efc = \frac{CcO}{CcE} \times 100 \quad [5]$$

em que:

$Efc$  – eficiência de campo (%).

A eficiência de produção foi determinada pela relação entre a capacidade de produção operacional ( $CpO$ ) e a capacidade de produção efetiva ( $CpE$ ), por meio da equação 6. A eficiência de produção determina a porcentagem do tempo total da máquina no campo que a colhedora realmente esta produzindo.

$$Efp = \frac{CpO}{CpE} \times 100 \quad [6]$$

em que:

$Efp$  – eficiência de produção (%).

Os coeficientes de desempenho operacional foram submetidos a uma análise estatística exploratória, onde foram calculados a média, erro padrão, mediana, desvio padrão, variância, curtose, assimetria, intervalo, mínimo, máximo e o coeficiente de variação.

Para verificar a relação de influência dos coeficientes avaliados procedeu-se uma análise de correlação entre a capacidade de campo teórica, a capacidade de produção operacional, a eficiência de produção, tempo perdido com manobras, tempo perdido com espera de transbordo, tempo perdido com outras interrupções, comprimento da linha, área colhida, velocidade, número de linhas colhidas e número de manobras.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para melhor visualização do desempenho operacional das colhedoras, realizou-se uma análise estatística exploratória (Tabela 1) das capacidades de campo, eficiência de campo, tempo perdido com manobras, tempo perdido com

espera de transbordo, tempo perdido com outras interrupções, área do talhão, número de manobras e número de linhas colhidas (tiros). Pode-se observar uma desuniformidade do desempenho operacional das variáveis avaliadas, visto que todas apresentaram um CV acima 20%.

**Tabela 1.** Estatística descritiva dos coeficientes de desempenho operacional e características relativas às condições de avaliação de cada máquina

	<i>CpE</i> (t/h)	<i>CpO</i> (t/h)	<i>Efp</i> (%)	<i>TM</i> (%)	<i>TE</i> (%)	<i>TI</i> (%)	Área (ha)	Veloc. (km/h)	N. Tiros	N. Manobra
Média	77,37	54,27	66,82	7,53	13,90	11,75	0,43	4,04	5,38	6,05
E. padrão	4,59	4,94	3,78	1,12	2,73	3,71	0,04	0,25	0,36	0,44
Mediana	70,59	48,62	68,60	7,12	11,72	5,94	0,38	3,65	5,00	6,00
D. padrão	21,04	22,62	17,33	5,14	12,52	17,01	0,19	1,13	1,66	2,01
Intervalo	75,67	71,96	63,35	21,53	41,10	70,89	0,61	4,00	4,00	7,00
Mínimo	44,65	22,84	26,98	1,41	0,72	0,00	0,20	2,36	4,00	4,00
Máximo	120,32	94,80	90,34	22,94	41,82	70,89	0,81	6,37	8,00	11,00
CV (%)	27,19	41,68	25,94	68,32	90,09	144,76	44,36	27,93	30,80	33,27

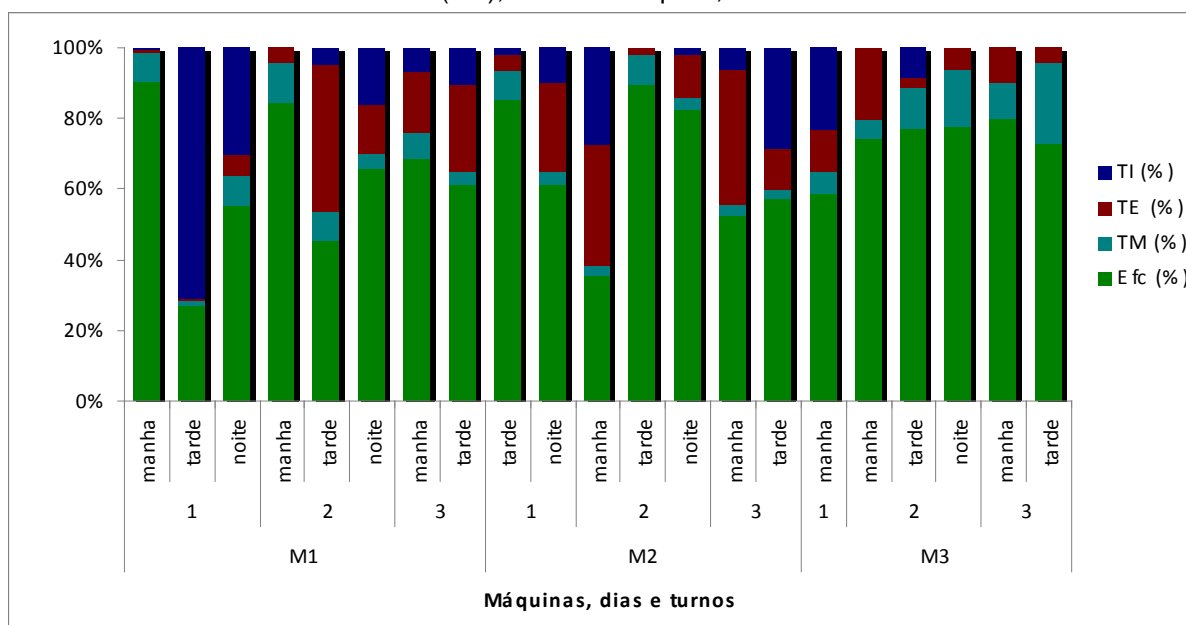
A capacidade de produção efetiva apresentou um intervalo entre as médias de 75,67? isso ocorreu devido à diferença de velocidade entre as máquinas, que variou de 2,36 a 6,67 km.h<sup>-1</sup>. Essa variação ocorreu, pois durante a colheita o operador se depara com uma série de fatores que podem ser favoráveis ou não, como por exemplo, umidade, acamamento, sincronia com o conjunto transbordo, dentre outros. A eficiência de campo média encontrada foi de 66,82%, essa média é 6,82% maior do que a eficiência usada por RODRIGUES (2006), para realizar a avaliação técnico-econômica da colheita manual e mecanizada da cana-de-açúcar.

A percentagem máxima do tempo perdido com outras interrupções em relação à capacidade de produção efetiva (*CpE*) foi de 70,89%. Isso ocorreu porque durante a colheita o operador avisou que sua máquina precisava de uma limpeza, mas a usina não autorizou pois estava precisando de cana, o operador foi instruído para continuar colhendo, o que causou um embuchamento na esteira do elevador, obrigando a máquina parar e efetuar a limpeza.

A eficiência de produção (*Efp*) apresentou uma perda de 13,90% causada pelo tempo de espera de transbordo. Esse tempo é diretamente influenciado pelo número de caminhões disponíveis para a transbordagem, setor que é terceirizado, o que em alguns momentos ocasionou a falta de caminhões, deixando os transbordos parados no ponto de atrelamento e conseqüentemente as máquinas também paravam.

Na Figura 1 pode-se visualizar os tempos avaliados em cada amostragem e suas consequências sobre a eficiência de campo. Pode-se observar que a maior diminuição na eficiência de campo é causada pelos tempos perdidos com espera de transbordo. As perdas com outras interrupções apresentaram a segunda maior diminuição na eficiência de campo. Na média essa diminuição foi de 11,75%, ocasionada pelo número de vezes que a máquina parou para realizar algum tipo de manutenção como, por exemplo; obstrução de funcionamento (embuchamento), troca de lâminas do cortador de base, limpeza, etc.

**Figura 1.** Participação dos tempos perdidos com espera de transbordo (TE), outras interrupções (TI) e manobras de cabeceira (TM), de cada máquina, dia e turno.



Para demonstrar a relação entre os fatores determinados, determinou-se a análise de correlação de dados (Tabela 2). Nota-se que o tempo perdido com outras interrupções apresenta o maior coeficiente de correlação (CC) com a eficiência de produção. Esse coeficiente é de -0,78 demonstrando uma influência negativa na eficiência de campo. O tempo perdido com manobras de cabeceira apresentou influência de 0,470. Com isso pode-se dizer que o operador com a maior eficiência de produção também é o que perde mais tempo com manobras.

O coeficiente de correlação do tempo perdido com manobras em relação a eficiência de produção foi de -0,517. Esse tempo é diretamente influenciado pelo comprimento do talhão com um coeficiente de correlação de -0,602.



A maior correlação da velocidade é com a capacidade de produção efetiva e a capacidade de produção operacional com um coeficiente de correlação de 0,987 e 0,743 respectivamente. Como os coeficientes são positivos, o aumento da velocidade aumenta também a capacidade da máquina.

**Tabela 2.** Análise de correlação dos dados

	<i>CpE</i> (t/h)	<i>CpO</i> (t/h)	<i>Efp</i> (%)	<i>TM</i> (%)	<i>TE</i> (%)	<i>TI</i> (%)	<i>Comp.</i> Linha (m)	<i>Área</i> (ha)	<i>Veloc</i> (km/h)	<i>Nº</i> Linhas	<i>Nº</i> Manobra
<i>CpO</i> (t/h)	0,782**	–									
<i>Efp</i> (%)	0,200	0,704**	–								
<i>TM</i> (%)	0,615**	0,661**	0,470*	–							
<i>TE</i> (%)	-0,297	-0,467*	-0,517*	-0,416	–						
<i>TI</i> (%)	-0,172	-0,573**	-0,780**	-0,475*	-0,083	–					
<i>Comp.</i>	-0,094	-0,206	-0,283	-0,602**	0,175	0,342	–				
<i>Área</i> (ha)	-0,153	-0,237	-0,212	-0,562**	0,179	0,254	0,911**	–			
<i>Veloc.</i> (km/h)	0,987**	0,743**	0,216	0,636**	-0,319	-0,178	-0,116	-0,158	–		
<i>Nº</i> Linhas	-0,048	0,034	0,241	0,448*	-0,123	-0,290	-0,591**	-0,233	-0,005	–	
<i>Nº</i> Manobra	-0,064	-0,121	-0,208	0,089	-0,225	0,350	0,002	0,203	-0,090	0,459*	–

A capacidade de produção efetiva correlacionada com a capacidade de produção operacional apresentou um índice de 0,782, ou seja, quanto maior a capacidade de produção efetiva, em função do aumento da velocidade, mais aumenta a capacidade de produção operacional, pois mesmo que se tenha perdas de tempo, estes, são compensados pelo aumento da velocidade.

## CONCLUSÕES

Nas condições de colheita da Usina, em que o estudo foi realizado, a velocidade média de colheita, a capacidade de produção efetiva (*CpE*) e a capacidade de produção operacional (*CpO*) foram de 4,04 km.h<sup>-1</sup>; 77,37 Ton.h<sup>-1</sup> e 54,27 ton.h<sup>-1</sup>, respectivamente.

A eficiência de produção (*Efp*) média encontrada foi de 66,82%, sendo que, o tempo perdido com espera de transbordo, outras interrupções e manobras de cabeceira corresponderam a 13,9, 11,8 e 7,5%, respectivamente.

## REFERÊNCIAS

BENEDINI, M. S.; DONZELLI, J. L. Colheita mecanizada de cana crua: caminho sem volta. **Revista Coplana**, Guariba, n. 40, p. 22-25, 2007.

COSTA NETO, J. D. A cana em tempo bom. **Revista CREA-PR**, Curitiba, n. 41, p. 16-19, 2006.

MIALHE, L. G. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1974.

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.

RODRIGUES, E. B.; SAAB, O. J. G. A. Avaliação técnico-econômica da colheita manual e mecanizada da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) na região de Bandeirantes – PR. **Semina**: Ciências Agrárias, Londrina, v.28, n.4, p.581-588. 2007

RODRIGUES, L. **O processo de terceirização e a presença de arranjos institucionais distintos na colheita de cana-de-açúcar**. 2006. 120p. Dissertação (Mestrado em Economia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2006.