



EFICIÊNCIA E DEMANDA ENERGÉTICA DE UMA COLHEDORA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM TALHÕES DE DIFERENTES COMPRIMENTOS

Carlos Renato Guedes Ramos¹, Kléber Pereira Lanças², Ronilson de Souza Santos³, Murilo Battistuzzi Martins⁴ & Jefferson Sandi⁵

RESUMO: A eficiência e o consumo de combustível influenciam diretamente os custos totais das atividades mecanizadas da cultura da cana-de-açúcar, em especial na colheita. O objetivo deste trabalho foi avaliar o rendimento operacional e o consumo de combustível de uma colhedora em diferentes operações e talhões. Os talhões utilizados tinham comprimento linear de 1900, 1400, 800, 400 e 100 metros, onde realizou-se o estudo de tempos e movimentos e a avaliação do consumo de combustível da colhedora durante a colheita e nas ocasiões improdutivas, ou seja, em manobras de cabeceira, colhedora parada ao aguardar transbordo e deslocando-se no carreador, a fim de obter o consumo médio da operação. O dimensionamento dos talhões tem influência na eficiência e no consumo de combustível. Maior comprimento do talhão resultou em maior capacidade de colheita e menor consumo por área ou tonelada, porém necessita redimensionamento da quantidade de transbordos por máquina. Talhões muito curtos representaram perda de eficiência e aumento significativo de consumo de combustível. As funções de colheita desligadas em todas as operações improdutivas representou economia de combustível de até 30%. O aumento da rotação do motor resultou em aumento médio de 45% de consumo nas operações improdutivas.

PALAVRAS-CHAVE: consumo de combustível; rendimento operacional; colheita mecanizada; mecanização.

EFFICIENCY AND ENERGY DEMAND OF A SUGAR CANE HARVESTER IN DIFFERENT PLOT LENGTHS

ABSTRACT: The efficiency and the fuel consumption directly influence the total costs of sugar cane mechanized activities, specially the harvest. The objective of this study was to evaluate the operational performance and the fuel consumption of a sugar cane harvester in typical conditions of the operation, in different plots. The plots had linear lengths of 1900, 1400, 800, 400 and 100 meters. There was conducted the time and motion study and the evaluation of effective fuel consumption of the harvester. In addition, fuel consumption was evaluated in unproductive operations as maneuvers, harvester stopped while waiting haulout and moving on the carrier in order to obtain the average fuel consumption in operation. The plot length has influence on efficiency and fuel consumption. Bigger plot length resulted in increased harvesting capacity and lower fuel consumption per area or ton. Shorter plots represented less efficiency and significant increase in fuel consumption. When the harvesting functions are turned off on unproductive operations the harvester uses 30% less fuel. The increase on the engine rotation results in 45% higher fuel consumption in unproductive operations.

KEYWORDS: fuel consumption; operational performance; mechanized harvesting; mechanization.

1 INTRODUÇÃO

A eficiência gerencial das empresas tem sido um fator primordial no desempenho da colheita mecanizada da cana-de-açúcar, em função do alto custo do sistema produtivo.

O investimento em tecnologias de precisão, pesquisa e na capacitação dos operadores favorecem o desempenho das colhedoras e consequentemente redução de custos de operação.

Com a colheita mecanizada de cana-de-açúcar sem queima prévia, aumenta-se a presença de palhico nas lavouras e segundo Abramo Filho et al. (1993), a quantidade de material depende de uma série de condições intrínsecas à colhedora.

A biomassa é uma das fontes de energia renováveis mais disponíveis no Brasil, todavia, seu aproveitamento é dificultado pelo alto custo de recolhimento, adensamento e transporte. Entretanto, de acordo com a configuração das funções de colheita das colhedoras para corte de ponteiros e limpeza de palha, a quantidade de material recolhido pode ser alterada, permitindo o recolhimento

¹ Prof. Adjunto, Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, Campus Tomé-Açu – PA, carlos.ramos@ufra.edu.br

² Prof. Titular, Faculdade de Ciências Agronômicas - FCA/UNESP, Botucatu, SP. kplanças@fca.unesp.br
^{3, 4 e 5} Doutorando, FCA/UNESP, rssantos@ufpa.br,
mbm_martins@hotmail.com; jffsandi@gmail.com

parcial ou integral, tendo esta última melhor eficiência energética e menor custo (Cortez et al., 2008; Michelazzo & Braunbeck, 2008).

Segundo Ripoli & Gamero (2007), com a queima de pré colheita o país deixa de aproveitar uma importante fonte energética renovável, pois em 1 ha de canavial se obtém de 4 a 10 toneladas de palhico ou um equivalente a 1,2 a 2,5 barris de petróleo americano por tonelada de palhico.

A colheita e o transporte representam cerca de 30% de todos os custos envolvidos (variedades, fertilizantes, mão de obra, agroquímicos, etc). Contudo, o maior agravante desta operação é o alto consumo de combustível das colhedoras, que atinge cerca de 50 a 60 L h⁻¹ por máquina (Ripoli & Ripoli, 2009).

O consumo horário efetivo de combustível refere-se ao momento de plena colheita de cana, diferindo do consumo horário operacional que é mensurado em uma média geral de diversas ocasiões de operação da máquina (Ripoli & Ripoli, 2009).

Lanças (2012) afirma que o consumo de combustível de colhedoras deve ser avaliado em diversas operações, tais como: colheita efetiva, manobras no talhão, desembuchamentos e com os acessórios cortadores de pontas e extratores ligados ou desligados, pois o tempo em que a colhedora passa em cada uma dessas situações durante a jornada de trabalho é determinante para que se obtenha um valor médio, alto ou baixo de consumo de combustível. Segundo o autor, o consumo horário operacional ou consumo médio que é conhecido pelas Usinas, de 30 a 35 L h⁻¹, refere-se ao consumo de um dia de trabalho, onde houveram situações em que a colhedora consumiu 50 L h⁻¹ (colheita efetiva) ou que obteve regime mais econômico, consumindo por exemplo 13 L h⁻¹ em condições de manobras.

Segundo Santos et al. (2015), para que se obtenha alta eficiência nos sistemas mecanizados são necessários altos investimentos gerenciais, em contrapartida o aumento da eficiência de campo diminui o custo de produção e aumenta a receita (Santos et al., 2014).

Mialhe (1974) define o estudo de movimentos e tempos como o estudo sistemático dos processos de trabalho com o objetivo de minimizar os custos e orientar o treinamento dos operários.

Conforme Spekken et al. (2015), a representatividade das manobras de cabeceira nos custos de produção é baixa, embora tenham grande impacto sobre a receita final. Já o transbordo prejudica a eficiência da colheita por demandar maior tempo de manobra que as colhedoras de cana-de-açúcar (Baio, 2012).

Segundo Magalhaes & Braunbeck (2014) uma das alternativas para diminuir a demanda de energia consumida na operação de colheita é a redução da potência do motor das colhedoras, principalmente para aqueles que realizam a colheita integral onde um sistema de limpeza a seco na indústria faz a separação da cana e da palha, havendo menor demanda do mecanismo de limpeza da colhedora.

Portanto, neste trabalho objetivou-se avaliar a eficiência de colheita e o consumo de combustível de uma

colhedora de cana-de-açúcar em diferentes talhões a fim de proporcionar melhor desempenho.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em campo de produção localizado no município de Ponta Porã – MS, sob as coordenadas UTM N 9.798.345m e E 565.345m. O trabalho foi dividido nas seguintes etapas:

Inicialmente, foi realizado o estudo de tempos e movimentos, com avaliação do consumo efetivo de combustível de uma colhedora em talhões de diferentes comprimentos, constituindo-se o delineamento de blocos ao acaso onde cada talhão representou um tratamento.

Paralelamente, foi avaliado o consumo de combustível nas ocasiões improdutivas, ou seja, a colhedora não se encontrava em colheita efetiva, mas realizando manobras de cabeceira, parada ao aguardar transbordo e deslocando-se no carreador.

A colheita ocorreu sem queima prévia do canavial e o espaçamento utilizado era de 1,5m. Os talhões em que foi realizada a colheita tinham comprimento linear de 1900, 1400, 800, 400 e 100 metros. A produtividade agrícola encontrada nos talhões foi de 72, 72, 76, 52, 52 toneladas por hectare, respectivamente.

Para acompanhar a colhedora durante o experimento foram utilizados dois transbordos com 20 toneladas de capacidade de carga cada.

Para o estudo dos tempos e movimentos da operação de colheita, realizou-se a cronometragem das atividades produtivas (colheita) e improdutivas (manobras e interrupções) pelo método multimomento, seguindo a metodologia proposta por Mialhe (1974). Para isso foi utilizado um cronômetro digital da marca Nautika, com precisão de 1/100 segundos. Para medição do comprimento das linhas foi utilizado um aparelho GPS da marca Garmin, modelo GPSmap 60CSx, com precisão de posição de 4 metros.

Durante a colheita não houve restrições com relação à quantidade de caminhões rodotrem (veículo de transporte da cana-de-açúcar até a Usina) disponíveis para a descarga do material recém-colhido e, além disso, as manutenções diárias da colhedora foram realizadas em outro turno de trabalho, com isso as interrupções de colheita observadas foram relativas apenas ao tempo demandado para o transbordo retornar à colheita após a descarga.

Quando efetiva, a capacidade de colheita ou de campo considera apenas o tempo na linha realizando a colheita, desconsiderando tempos perdidos em manobras de cabeceira e outras interrupções, enquanto a capacidade operacional está relacionada à jornada de trabalho completa, considerando a somatória do tempo efetivo de trabalho com todos os tempos de interrupções ocorridos durante a operação (Ripoli;Ripoli, 2009).

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 1:

$$CE = \frac{Atr}{\Delta_t} \cdot 0,36 \quad (1)$$

Em que:

CE = capacidade de campo efetiva (ha h⁻¹);

Atr = área útil da parcela trabalhada (m²);

Δ_t = tempo gasto no percurso da parcela (s);

0,36 = fator de conversão.

A capacidade de campo operacional foi determinada pela relação entre a área trabalhada e o tempo gasto na realização da operação, considerando tempo para colheita e manobra na parcela experimental por meio da equação 2:

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

Em que:

CO = capacidade de campo operacional (ha h⁻¹);

A = área trabalhada (m²);

Δt = tempo total (s) gasto na operação (colheita e manobra de cabeceira);

0,36 = fator de conversão.

A capacidade de colheita foi determinada pela relação entre produtividade da área e capacidade de campo operacional da colhedora, por meio da equação 3:

$$CC = P \cdot CO \quad (3)$$

Em que:

CC = capacidade de colheita (t h⁻¹);

P = produtividade do talhão (t ha⁻¹);

CO = capacidade de campo operacional (ha h⁻¹).

A eficiência representa o aproveitamento do tempo de trabalho efetivo do equipamento em relação ao tempo total para realizar a operação, sendo determinada por meio da equação 4.

$$Efc = \frac{CO}{CE} \cdot 100 \quad (4)$$

Em que:

Efc = eficiência (%);

CO = capacidade de campo operacional (ha ha⁻¹);

CE = capacidade de campo efetiva (ha ha⁻¹).

O tempo demandado para operação foi determinado por meio da equação 5:

$$Td = \frac{1}{CO} \quad (5)$$

Em que:

Td = tempo demandado (h ha⁻¹);

CO = capacidade de campo operacional (ha h⁻¹).

O consumo de combustível da colhedora foi avaliado durante a colheita (atividade produtiva da máquina) com a velocidade de deslocamento de 5,0 km h⁻¹ em todos os

talhões e em diferentes atividades improdutivas (quando a mesma não está realizando a colheita efetiva) que ocorreram durante a jornada de trabalho, como máquina parada, manobrando ou movendo-se entre os talhões.

Na condição da colhedora parada, a máquina encontrava-se com o motor ligado aguardando o veículo transbordo descarregar o material recém colhido ou realizar a manobra de cabeceira. Na condição da colhedora manobrando, a máquina encontrava-se em movimentação de velocidade variável, realizando movimentos para frente, para trás e para os lados executando as manobras de cabeceira para retornar à colheita efetiva. Na condição da colhedora em deslocamento, a máquina encontrava-se deslocando-se no carreador em velocidade constante de 8 km h⁻¹, mudando de talhão.

Para a avaliação do consumo de combustível nas atividades improdutivas, foi utilizado o delineamento estatístico de blocos ao acaso, em que para cada condição avaliada (parada, manobrando ou deslocando) foram utilizados seis tratamentos em arranjo fatorial 3x2, caracterizados da seguinte forma: Três rotações no motor, R1 = 800 rpm, R2 = 1200 rpm e R3 = 1800 rpm e duas condições de operação das funções de colheita da máquina C1 = dispositivos desligados e C2 = dispositivos ligados.

As rotações do motor R1, R2 e R3 são recomendadas para ociosidade da máquina, manobras de cabeceira e operação de colheita, respectivamente. As funções de colheita mencionadas referem-se aos dispositivos do sistema de alimentação (corte de base, rolos alimentadores, transportadores e picadores e elevador de taliscas) e do sistema de limpeza (cortadores de ponteiros, extratores primário e secundário).

Para avaliação do consumo de combustível da colhedora, foram utilizados dois medidores de fluxo da marca Oval, modelo LSF45 com capacidade máxima de leitura de 500 L.h⁻¹ e razão de 1 pulso elétrico para cada 10 ml, sendo o primeiro instalado no sistema de alimentação de combustível, entre o tanque e o motor e segundo instalado no retorno para o tanque de combustível.

Para aquisição dos dados foi utilizado um Controlador Lógico Programável (CLP) com a função de registrar os pulsos elétricos gerados pelos fluxômetros, o que permite calcular o consumo horário de combustível através da diferença de combustível que entra no motor e o que retorna ao tanque, seguindo a metodologia utilizada por Lyra (2013) e adotada pelo Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais (NEMPA) da Faculdade de Ciências Agrônomicas (FCA-UNESP) campus de Botucatu-SP.

O consumo horário de combustível foi obtido através do cálculo pela Equação 6:

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

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;

Δt = 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 área foi obtido através do cálculo realizado conforme a Equação 7:

$$Ca = Td.Ch \quad (7)$$

Em que:

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

Td = tempo demandado ($h ha^{-1}$);

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

O consumo de combustível por tonelada foi obtido através do cálculo realizado conforme a Equação 8:

$$Ct = \frac{Ch}{CC} \quad (8)$$

Em que:

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

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

CC = capacidade de colheita ($t h^{-1}$)

A partir dos resultados de consumo de combustível das ocasiões produtivas (colheita) e improdutivas (colhedora parada e manobrando), juntamente com a eficiência de colheita obtida em cada talhão foi possível obter o consumo médio de uma colhedora de cana-de-açúcar em diferentes situações de eficiência de colheita a partir dos cálculos pela equação 9:

$$CM = C.ChCE + M.ChM + P.ChP \quad (9)$$

Em que:

CM = consumo médio de combustível ($L h^{-1}$)

C = porcentagem do total de horas da colhedora realizando colheita (%);

$ChCE$ = consumo de combustível horário da colhedora em colheita efetiva ($L h^{-1}$);

M = porcentagem do total de horas da colhedora realizando manobras (%);

ChM = consumo de combustível horário da colhedora em manobras ($L h^{-1}$);

P = porcentagem do total de horas com a colhedora parada (%);

ChP = consumo de combustível horário da colhedora parada ($L h^{-1}$);

Durante o experimento, o dispositivo automático responsável pelo controle da rotação do motor foi desligado com a finalidade de obter a variação desejada. Para todos os tratamentos que utilizaram a configuração das funções de colheita ligadas, foi utilizada a rotação do extrator primário fixada a 1000 rpm. A rotação do motor utilizada durante a colheita foi de 1800 rpm. Para todo

experimento foi utilizado uma única colhedora com as características apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características da colhedora utilizada.

Ano de fabricação	2012
Horímetro	67 horas
Potência Nominal	358 cv (260kW)
Cortador de pontas	Tambor separador bidirecional
Extrator Primário	1100 rpm (máx.)
Rodado	Esteiras

Os resultados das avaliações de desempenho operacional e consumo de combustível foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade através do software SISVAR 5.3 (Ferreira, 2010). As condições de movimentação da colhedora nas atividades improdutivas não foram comparadas entre si, pois entende-se que estas condições não se substituem e uma não tem interferência na outra durante a jornada de trabalho.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A colheita mecanizada da cana-de-açúcar pode sofrer variações operacionais de desempenho de acordo com as condições específicas de cada canavial, dentre os fatores que são influenciados, destaca-se a capacidade de colheita ou a capacidade de campo.

Segundo Mialhe (1996), para colhedoras, diferenças de produtividade afetam sua capacidade de trabalho, portanto, a quantidade de trabalho deve ser aferida a partir da quantidade de produto colhido, entendendo-se que capacidade de trabalho é sinônimo de capacidade de colheita.

Neste trabalho, as velocidades de colheita utilizadas foram semelhantes em todos os tratamentos e não diferiram estatisticamente, seguindo a proposta do experimento para que a mesma não tivesse influência no comparativo de desempenho operacional nos diferentes talhões, portanto a capacidade efetiva de colheita de todos os tratamentos não apresentou diferença estatisticamente significativa (Tabela 2)

As variações de capacidade efetiva entre os tratamentos foram relativas à produtividade, confirmando as conclusões de Banchi et al.(2012) e Mathanker et al. (2015), que a capacidade efetiva da máquina tem relação diretamente proporcional à produtividade da área e que, portanto, numa mesma velocidade, varia de acordo com a produtividade agrícola colhida.

Durante as atividades produtivas (colheita) observou-se que a diminuição do comprimento dos talhões provocou redução de desempenho de todos os fatores operacionais, como a capacidade de campo operacional, o tempo demandado para realização da colheita e a eficiência (tempo em colheita efetiva), influenciando diretamente na capacidade de colheita da colhedora (Tabela 2).

Tabela 2 - Resultados de desempenho operacional nos cinco tratamentos.

Indicadores	Comprimento do Talhão (m)				
	1900	1400	800	400	100
Velocidade de Colheita (km h ⁻¹)	5,02 a	5,06 a	5,07 a	4,89 a	4,95 a
Capacidade de campo Efetiva (ha h ⁻¹)	0,75 a	0,76 a	0,76 a	0,73 a	0,74 a
Capacidade de campo Operacional (ha h ⁻¹)	0,66 a	0,65 a	0,62 b	0,54 c	0,31 d
Tempo Demandado (h ha ⁻¹)	1,50 a	1,53 ab	1,60 b	1,82 c	3,20 d
Capacidade de Colheita (t h ⁻¹)	47,7 a	46,8 a	47,2 a	28,5 b	16,2 c
Colheita Efetiva ou Eficiência (%)	87,8 a	85,7 b	81,7 c	74,6 d	42,2 e
Manobras de Cabeceira (%)	6,4 a	8,6 b	14,5 c	25,4 d	57,8 e
Interrupções (%)	5,8 a	5,7 a	3,8 b	0 c	0 c

Médias seguidas por letras distintas nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Os resultados demonstram que há redução da eficiência (tempo em colheita efetiva) à medida que diminui o comprimento dos talhões, enquanto a porcentagem do tempo em que a colhedora e o transbordo realizam manobras aumenta. Isto ocorreu basicamente pelo aumento da quantidade de manobras necessárias para realizar a operação.

Segundo Esperancini et al. (2012), o aumento do rendimento operacional das colhedoras e a minimização dos custos de colheita devem ser alcançados com o planejamento da sistematização do canavial, que gere condições próximas às ideais, pois o custo com a colheita pode chegar a 60% do custo final da produção da cana-de-açúcar.

Observou-se que a porcentagem de tempo de interrupções diminuiu com a redução do comprimento do talhão (Tabela 2). Isto ocorreu devido à capacidade de colheita obtida nos maiores talhões não ter sido suprida pela quantidade de transbordos disponíveis, já que houve apenas dois transbordos para acompanhar a colhedora durante todo o experimento. Essas interrupções ocorreram pela espera de veículo transbordo, pois o tempo em que a colhedora terminava um ciclo de colheita era menor que o tempo necessário para que o transbordo utilizado no ciclo anterior retornasse à colheita, fazendo com que a máquina ficasse aguardando esse retorno sem realizar colheita e, conseqüentemente, perdendo eficiência.

Em contrapartida, com a diminuição do comprimento dos talhões, observou-se que a partir de determinado comprimento, esta perda de eficiência por espera do

veículo transbordo (interrupções) deixou de ocorrer, pelo motivo inverso ao ora comentado, ou seja, o transbordo recém-preenchido realizava o trajeto até o caminhão rodotrem e retornava ao talhão de colheita em tempo inferior ao que a colhedora necessitava para preencher o outro transbordo.

Segundo Spekken et al. (2015), o custo por área para manobrar é dependente da largura e comprimento das linhas, contudo o aumento do comprimento dos talhões deve ser limitado entre 500 e 700 metros para favorecer a logística de transporte.

Portanto, em talhões de maiores comprimentos, há necessidade de redimensionamento da quantidade de transbordos por colhedora ou da capacidade de carga dos transbordos para que não haja perda de eficiência por ausência de capacidade de carga para acompanhamento da máquina.

Segundo Santos et al. (2014), são necessários grandes investimentos gerenciais para que se obtenha alta eficiência de campo, porém a diminuição dos custos de produção eleva a renda líquida.

Os resultados de consumo de combustível analisados em todos os tratamentos estão presentes na Tabela 3. O consumo horário da colhedora utilizada foi semelhante em todos os tratamentos, não apresentando diferença estatisticamente significativa. Contudo, observou-se que a redução do comprimento do talhão proporcionou aumento do consumo de combustível por área e por tonelada colhida, fatores estes que estão diretamente ligados à capacidade de colheita e eficiência da máquina.

Tabela 3 - Consumo de combustível de uma colhedora de cana-de-açúcar em talhões de diferentes comprimentos.

Indicadores	Comprimento do Talhão (m)				
	1900	1400	800	400	100
Consumo Efetivo de Combustível (L h ⁻¹)	51,7 a	51,5 a	51,2 a	52,9 a	51,6 a
Consumo de Combustível por Área (L ha ⁻¹)	78,0 a	79,0 a	82,4 a	96,7 b	165,4 c
Consumo de Combustível por Tonelada (L t ⁻¹)	1,08 a	1,09 a	1,08 a	1,85 b	3,18 c

Na Tabela 4 estão os resultados médios de consumo de combustível da colhedora parada, para composição do consumo nas ocasiões improdutivas. Os resultados demonstram que tanto com o aumento da rotação do

motor quanto com a ativação das funções de colheita houve aumento do consumo de combustível da colhedora quando esta encontrava-se parada com o motor ligado.

Tabela 4 - Consumo de combustível ($L h^{-1}$) da colhedora parada em diferentes rotações do motor e condições de ativação das suas funções de colheita.

Rotação do Motor	Ativação das Funções de Colheita		Média
	Desligadas	Ligadas	
Mínima - 800 rpm	3,9 Aa	6,2 Ab	5,1 A
Intermediária - 1200 rpm	8,6 Ba	13,0 Bb	10,8 B
Trabalho - 1800 rpm	21,9 Ca	37,0 Cb	29,5 C
Média	11,5 a	18,8 b	

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Observou-se que na rotação mínima do motor a colhedora consome $3,9 L h^{-1}$ quando está com suas funções desligadas e $6,2 L h^{-1}$ quando estas estão ligadas, representando aumento de 37% no consumo horário de combustível. O consumo de combustível subiu de $3,9 L h^{-1}$ para até $21,9 L h^{-1}$ apenas com o aumento da rotação do motor e até $37 L h^{-1}$ quando além do aumento da rotação, ativou-se as funções de colheita. O aumento da rotação do motor nesta situação, apenas representa maior gasto com combustível, já que a mesma não necessita deste aumento para realizar nenhuma operação.

Portanto, em uma condição da jornada de trabalho em que a máquina esteja parada com motor ligado por qualquer motivo que seja, mas que não necessite de alta rotação do motor ou ativação das suas funções de colheita, é recomendado que o operador a mantenha na sua rotação mínima do motor e com as suas funções de colheita (sistema de alimentação e limpeza) desligadas, para favorecer a economia de combustível.

Ao realizar manobras de cabeceira, observou-se que houve aumento do consumo de combustível com o aumento da rotação do motor, bem como com a utilização das funções de colheita ligadas (Tabela 5).

Tabela 5 - Consumo de combustível ($L h^{-1}$) da colhedora manobrando em diferentes rotações do motor e condições de ativação das suas funções de colheita

Rotação do Motor	Ativação das Funções de Colheita		Média
	Desligadas	Ligadas	
Mínima - 800 rpm	12,7 Aa	18,9 Ab	15,8 A
Intermediária - 1200 rpm	15,0 Ba	21,0 Bb	18,0 B
Trabalho - 1800 rpm	29,8 Ca	43,9 Cb	36,8 C
Média	19,1 a	28,0 b	

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Foi observado que na rotação mínima do motor e funções desligadas, a colhedora consumiu $12,7 L h^{-1}$ e que, apesar de ter sido estatisticamente diferente, o consumo de combustível de $15 L h^{-1}$ na rotação recomendada de manobra esteve muito próximo. Porém ao utilizar a rotação de trabalho para realização das manobras, observou-se um aumento significativo da ordem de 70% com as funções de colheita ligadas.

Lyra et al. (2013) ao avaliar a influência da funções de limpeza no consumo de combustível de colhedoras de cana-de-açúcar observaram que houve diferença significativa entre o consumo com as funções de limpeza acionadas ou não e concluiu que em canaviais acamados é possível se economizar combustível desligando o dispositivo para corte de ponteiros, pois este não realiza seu trabalho com eficiência nesta condição.

Os resultados foram semelhantes aos afirmados por Lanças (2012) de que uma colhedora de cana-de-açúcar consome em torno de $13 L h^{-1}$ para realizar manobras. Já Giachini et al. (2012) encontraram resultados em torno de $20 L h^{-1}$ para manobras de cabeceira, evidenciando que diferentes formas de operar a colhedora interferem em seu consumo de combustível.

Durante a manobra de cabeceira, a mínima rotação do motor tem influencia direta na facilidade com que esta é realizada, pois deixa a máquina mais lenta, sendo assim, embora consuma menos combustível, a sua utilização pode interferir na capacidade operacional por aumentar o tempo de manobra e conseqüentemente vir a causar maior consumo médio em $L h^{-1}$ ao final do turno.

Nesta situação, mesmo apresentando um consumo de combustível levemente maior quando comparada a mínima rotação do motor, a rotação intermediária é recomendada, pois durante a operação de manobra, a máquina fica tão manobrável quanto ao utilizar a rotação máxima de trabalho, porém consumindo menos combustível. O uso da rotação de trabalho ao realizar manobra, apenas representa maior gasto com combustível, já que a mesma não necessita deste aumento para realizar a operação.

Na situação de mudança de talhão, onde a colhedora se moveu em velocidade constante e assim como nas situações anteriores, observou-se que houve aumento do consumo de combustível com o aumento da rotação do motor, bem como com a utilização das funções de colheita ligadas (Tabela 6).

Tabela 6 - Consumo de combustível ($L h^{-1}$) da colhedora deslocando no carreador diferentes rotações do motor e condições de ativação das suas funções de colheita.

Rotação do Motor	Ativação das Funções de Colheita		Média
	Desligadas	Ligadas	
Mínima - 800 rpm	6,4 Aa	11,2 Ab	8,79 A
Intermediária - 1200 rpm	14,3 Ba	19,2 Bb	16,76 B
Trabalho - 1800 rpm	27,0 Ca	39,9 Cb	33,44 C
Média	15,91 a	23,42 b	

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Nesta condição foi observado que a rotação mínima do motor com suas funções desligadas promoveram o menor consumo de combustível da colhedora ($6,4 L h^{-1}$) e que este foi 84% menor que o maior valor de consumo encontrado nesta operação ($39,9 L h^{-1}$) ao utilizar rotação de trabalho e funções de colheita ligadas.

Assim como na realização das manobras, a mudança de talhão em baixa rotação limita o desempenho da colhedora, tornando-a mais lenta e necessitando de maior tempo para que o trajeto seja concluído. Em contrapartida, ao utilizar a rotação de trabalho para o transporte entre talhões, há maior agilidade e menor tempo devido a maior velocidade alcançada, porém observou-se um aumento significativo de consumo da ordem de 50% em relação à rotação intermediária.

Portanto neste caso, a condição que apresentou melhor benefício entre consumo de combustível e tempo para mudar de talhão foi utilizando a rotação intermediária, pois o aumento da rotação para 1800 rpm apenas representaria maior gasto com combustível, sem grandes benefícios em termos de operação.

Neste trabalho foi observado em todas as situações abordadas que apenas o fato de realizar a operação com as funções de colheita ligadas, o consumo de combustível da colhedora aumentou em média 35% em comparação quando a colhedora realizou estas mesmas operações com suas funções de colheita desligadas.

Segundo Magalhaes & Braunbeck (2014), a configuração das colhedoras poderia ser mais simples, através da adoção do sistema integral de colheita e manuseio de palha onde os extratores poderiam ser eliminados ou ter sua capacidade de limpeza reduzida.

Quando a colhedora não está realizando a função para qual foi desenvolvida (colheita de cana-de-açúcar), deve-se utilizar a rotação do motor que melhor se ajuste a cada situação, utilizando a rotação mínima para ociosidade da máquina sempre que a mesma estiver parada e a rotação intermediária sempre que a operação desejada, seja manobra ou transporte, seja satisfatoriamente realizada.

Além disso, observou-se que a condição de manobra apresentou maiores valores de consumo dentre todas as operações improdutivas da colhedora e por ser a segunda operação que ocorre com maior frequência durante a jornada de trabalho, pois a primeira é a colheita efetiva, as manobras de cabeceira devem receber maior atenção durante a operação.

O consumo médio de combustível de colhedoras de cana-de-açúcar possui diversos fatores que influenciam diretamente em na sua composição, podendo este ser maior ou menor de acordo, principalmente com a eficiência da colheita em função das condições operacionais do canavial. Com o consumo de combustível nas diferentes operações produtivas e improdutivas típicas da jornada de trabalho, é possível obter o consumo médio da colhedora e simular o consumo em qualquer situação de canavial, facilitando o planejamento da logística das usinas.

A Tabela 7 apresenta o resultado de consumo médio de combustível obtido a partir do somatório do produto entre eficiência de colheita e o consumo efetivo em colheita, porcentagem de tempo em manobras e consumo recomendado em manobras ($15 L h^{-1}$) e da porcentagem de tempo de interrupções e consumo recomendado para colhedora parada ($3,9 L h^{-1}$).

Tabela 7 - Indicadores para composição do consumo médio de combustível nos diferentes talhões.

Indicadores	Comprimento do Talhão (m)				
	1900	1400	800	400	100
Colheita Efetiva ou Eficiência (%)	87,8	85,7	81,7	74,6	42,2
Manobras de Cabeceira (%)	6,4	8,6	14,5	25,4	57,8
Interrupções (%)	5,8	5,7	3,8	0	0
Consumo produtivo - Colheita Efetiva ($L h^{-1}$)	51,7	51,5	51,2	52,9	51,6
Consumo improdutivo - Colhedora Manobrando ($L h^{-1}$)	15,0				
Consumo improdutivo - Colhedora Parada ($L h^{-1}$)	3,9				
Consumo Médio de Combustível Calculado ($L h^{-1}$)	46,6 a	45,6 ab	44,1 ab	43,2 b	30,4 c

O consumo de combustível médio de uma máquina ou frente de trabalho pode dar a falsa impressão de vantagem ao ser diminuído ao longo da safra ou quando comparados em diferentes áreas, porém, quando se analisa o consumo por tonelada colhida, tem-se uma realidade contrária. Portanto ao analisar os resultados da

colheita mecanizada de cana-de-açúcar, o consumo por tonelada colhida e a capacidade de colheita devem ser favorecidos, pois contemplam a eficiência do sistema.

Embora os resultados deste trabalho tenham apresentado alta eficiência de colheita, sabe-se que na realidade das usinas, a colheita mecanizada da cana-de-açúcar sofre

influências de diversos fatores ambientais, operacionais e de logística (gerenciais) que reduzem esta eficiência, podendo chegar a 50% de colheita efetiva, enquanto o restante do tempo é perdido em interrupções como trocas de turno, paradas para manutenções, falta de caminhões para transporte, mudança de talhão, dentre outros diversos que podem ter maior ou menor impacto nos resultados finais de um turno, e mascarar, por exemplo, o consumo médio de combustível, que nestas situações serão menores do que em ocasiões nas quais haja, por exemplo, 70% de colheita efetiva, 20% de manobras e 10% de interrupções.

Observou-se que a maneira em que a máquina foi operada no que diz respeito às configurações utilizadas nas diversas operações durante a jornada de trabalho, podem influenciar no consumo médio das colhedoras. Portanto, é de extrema importância que haja a capacitação e conscientização dos operadores quanto à forma de operar que promova maior rendimento da colhedora, com o menor gasto de combustível.

4 CONCLUSÕES

O dimensionamento dos talhões tem influência na eficiência e no consumo de combustível, pois quanto maior comprimento do talhão, maior a capacidade de colheita e menor o consumo por área ou tonelada.

Talhões muito curtos representam perda de eficiência e aumento significativo da quantidade de manobras e do consumo de combustível por área.

Quanto maior o comprimento dos talhões, melhor a eficiência e o consumo de combustível contanto que haja planejamento para logística de transporte.

As funções de colheita quando desligadas em todas as operações improdutivas, representa economia de combustível de até 30%;

Em todas as operações improdutivas, o aumento da rotação do motor resultou em aumento médio de 45% de consumo de combustível.

5 REFERÊNCIAS

BAIO, F. H. R. Evaluation of an auto-guidance system operating on a sugar cane harvester. **Precision Agriculture**, 13(1), 141 – 147, 2012.

BANCHI, A.D.; LOPES, J.R.; MARTINS, J.M.S.; DIMASE, M. Capacidade operacional de colhedoras de cana-de-açúcar – Modelagem matemática em função da produtividade agrícola e da vida da máquina. **Agrimotor**, São Paulo, n. 77, p. 42-45, 2012a.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; OLIVARES E. G. **Biomassa para energia**. Campinas: Editora Unicamp, 2008, 732 p.

ESPERANCINI, M. S. T; MIGUEL, F. B; FURLANETO, F. P. B. Custos da colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Agriworld**, Ano 3, n. 7, p. 52-57, 2012.

FERREIRA, D. F. SISVAR - Sistema de análise de variância. Versão 5.3. Lavras: UFLA, 2010.

GIACHINI, C. F.; MASIERO, F. C.; LYRA, G. A.; RAMOS, C. R. G.; Lanças, K. P. 24 horas. **Cultivar Máquinas**, Ano 11, n. 122, p.08-09, 2012.

LANÇAS, K. P. Consumo de combustível: Não se engane. In: FIORESE, D. A.; LANÇAS, K. P.; GUERRA, S. P. S.; MARASCA, I.; ALEIXO, E. V.; MACIEL, A. J. da S. Características energéticas dos tratores agrícolas. **Agriworld**, Ano 3, n. 10, p. 38-46, 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.

MAGALHÃES, P. S. G.; BRAUNBECK, O. A. Sugarcane and straw harvesting for ethanol production. In: Luis Augusto Barbosa Cortez (Coord.). **Sugarcane bioethanol — R&D for Productivity and Sustainability**, São Paulo: Edgard Blücher, p.465-476. 2014.

MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaios & certificação**. Piracicaba: FEALQ, 1996. 722p.

MIALHE, L.G. **Manual de Mecanização Agrícola**. São Paulo. Agronômica Ceres, 1974. 301 p.

MICHELAZZO, M. B.; BRAUNBECK, O. A. Análise de seis sistemas de recolhimento do palhico na colheita mecânica da cana-de-açúcar. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 5, p. 546-552, 2008.

RIPOLI, M. L. C, GAMERO, C. A. Palhico de cana-de-açúcar: Ensaio padronizado de recolhimento por enfardamento cilíndrico. Botucatu, **Energia na Agricultura**. 22(1): 75-93. 2007.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Edição dos autores. Piracicaba, 2009. 333p.

SANTOS, N. B.; CAVALCANTE, D. S.; FERNANDES, H. C.; GALDANHA JUNIOR, C. D. Simulação da eficiência de campo da colheita mecanizada de cana-de-açúcar (saccharum spp.). **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 29, n.1, p.09-13, 2014.

SANTOS, N. B.; FERNANDES, H. C.; GALDANHA JUNIOR, C. D. Economic impact of sugarcane (Saccharum spp.) loss in mechanical harvesting. **Científica**, Jaboticabal, v.43, n.1, p.16–21, 2015.

SPEKKEN, M.; MOLIN, J. P.; ROMANELLI, T. L. Cost of boundary manoeuvres in sugarcane Production. **Biosystems engineering**. v. 129, p. 112 – 126, 2015.