

# PROCESSOS AGRÍCOLAS E MECANIZAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR

**Editores:**

Guilherme de Castro Belardo

Marcelo Tufaile Cassia

Rouverson Pereira da Silva

**CASE II**  
AGRICULTURE





## AVALIAÇÃO DA COLHEITA MECANIZADA

### Desempenho de Colhedoras de Cana-de-Açúcar

Guilherme de Castro Belardo

Thomaz Caetano Cannavam Ripoli (*in memoriam*)

#### 1. INTRODUÇÃO

A colheita de cana-de-açúcar é a atividade que se inicia com o corte da cana no campo, seu transporte até a usina e termina quando esta chega à indústria e é submetida à moagem.

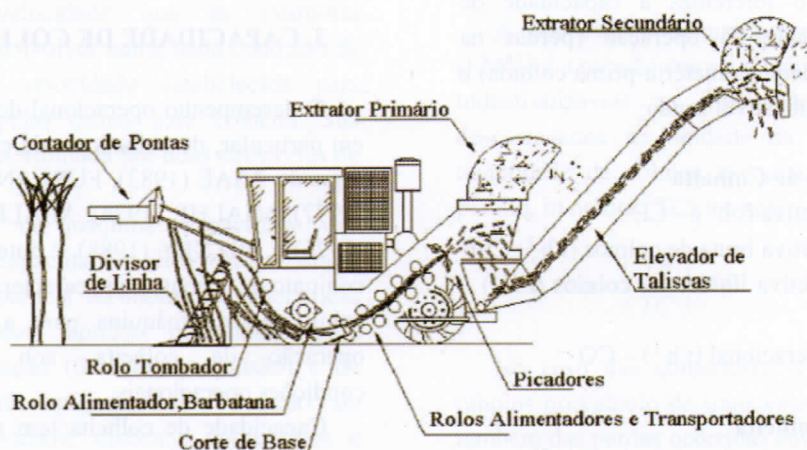
RIPOLI (1996) classifica as operações de colheita de cana-de-açúcar em três subsistemas distintos: manual, semimecanizado e mecanizado. Tal classificação deve-se à existência de um sistema global que envolve o corte, o carregamento, o transporte e a recepção da matéria-prima, denominado coloquialmente como CCT (corte, carregamento e transporte). O subsistema mecanizado diferencia-se por essas três operações de corte ocorrerem exclusivamente por meio de máquinas.

Nesse sistema, as colhedoras recolhem o material cortado pelo cortador de pontas e corte de base para dentro da máquina onde os colmos são picados em rebolos, sendo a matéria estranha vegetal controlada parcialmente por meio de

ventilação ou exaustão, enquanto os colmos picados são conduzidos por meio de elevador de taliscas e descarregados sobre veículos transbordos (Figura 1).

Dentro do ciclo operacional gerado pela cana-de-açúcar, a etapa da colheita pode ser considerada como uma das mais importantes. A qualidade do produto entregue para a indústria nas usinas depende desta etapa (MAGALHÃES et al., 2008).

No processo de produção da cana, a colheita destaca-se pelos altos custos e problemas envolvendo as operações agrícolas, seja esse conduzido de forma manual, semimecanizada ou mecanizada (NUNES JÚNIOR et al., 2005). Para RIPOLI & PARANHOS (1987), do ponto de vista econômico, o corte, o carregamento e o transporte de matéria-prima absorvem em torno de 50% das despesas totais da produção agrícola, refletindo papel bastante destacado no balanço econômico das empresas.



**Figura 1.** Esquema de uma colhedora de cana picada com destaque para os principais órgãos ativos (Fonte: NEVES, 2003).

Conclui-se que a operação de colheita é de extrema importância para o setor, pois envolve custos, perdas e qualidade no processo de produção da cana-de-açúcar. A complexidade e o funcionamento de uma colhedora de cana, mostra a importância de constantemente estarmos avaliando o desempenho operacional e a qualidade da colheita mecanizada.

Para isso, é necessária uma abordagem técnica utilizando metodologias que permitam levantar dados, processá-los com qualidade e fazer uma análise detalhada das diferentes variáveis envolvidas na interação máquina e cultura.

Dessa forma, é possível aperfeiçoar os processos agrícolas do plantio a colheita, as operações mecanizadas e o desenvolvimento das máquinas por parte dos fabricantes, buscando sempre a redução de custos de produção e o aumento de desempenho, melhorando a eficiência e a eficiência do sistema de colheita como um todo.

## 2. AVALIAÇÕES DE DESEMPENHO DE COLHEADORAS DE CANA

A principal metodologia utilizada e recomendada para as determinações de campo experimentalmente é a proposta por RIPOLI (1996). As variáveis analisadas nessa metodologia são referentes à capacidade de colheita, qualidade da operação (perdas na colheita, qualidade da matéria-prima colhida) e consumo de combustível sendo:

- Capacidade de Colheita**
- Capacidade efetiva (t h<sup>-1</sup>) - CE
  - Capacidade efetiva bruta de colmos (t h<sup>-1</sup>) - CEB
  - Capacidade efetiva líquida de colmos (t h<sup>-1</sup>) - CEI
  - Capacidade operacional (t h<sup>-1</sup>) - CO

### Perdas na colheita

- Perdas de rebolos inteiros (t ha<sup>-1</sup> e %)
- Perdas de fragões de rebolos (t ha<sup>-1</sup> e %)
- Perdas de flocos na soqueira (t ha<sup>-1</sup> e %)
- Perdas de colmos e/ou suas fragões (t ha<sup>-1</sup> e %)
- Perdas totais (t ha<sup>-1</sup> e %) - PT

### Qualidade da matéria-prima colhida.

- Perdas de raízes (t ha<sup>-1</sup> e %) - PR

- Matéria estranha vegetal (%)

- Matéria estranha mineral (%)

- Matéria estranha total (%)

- Eficácia de manipulação (%)

### Consumo de Combustível

- Consumo de combustível na capacidade efetiva bruta matéria-prima (L h<sup>-1</sup> e L t<sup>-1</sup>) - CCMF

- Consumo de combustível na capacidade efetiva bruta de colmos (L t<sup>-1</sup>) - CCBC

- Consumo de combustível na capacidade efetiva líquida de colmos (L t<sup>-1</sup>) - CCELC

Mais recentemente avaliações sobre a qualidade do corte de base das colhedoras vem sendo realizadas em campo. Essa análise é fundamental, pois o abalo de soqueira causado pela ação dos mecanismos de corte das máquinas interfere na produtividade e longevidade do canavial.

Nesse capítulo discutiremos sobre as capacidades de colheita das colhedoras e a eficácia de manipulação. Sendo que nos capítulos subsequentes serão abordados os temas: qualidade de corte de base, perdas na colheita e qualidade de matéria-prima colhida.

## 3. CAPACIDADE DE COLHEITA

O desempenho operacional de colhedoras e em particular, de colhedoras de cana-de-açúcar, segundo ASAE (1983), FURLANI NETO et al. (1977), MIALHE (1974), MIALHE & RIPOLI (1976) e WITNEY (1988), é entendido como o conjunto de atributos que caracterizam o grau de habilidade da máquina para a execução da operação de colheita, sob determinadas condições operacionais.

Capacidade de colheita tem sido entendida como a quantidade de trabalho que uma máquina ou um conjunto de máquinas (sistema mecanizado) é capaz de executar na unidade de tempo.



Para ensaios padronizados de colhedoras de cana, sugere-se considerar somente as capacidades de campo efetivas, exceto se o trabalho visa analisar outras variáveis que influenciam nas eficiências operacionais, como por exemplo, logística de carregamento e transporte de cana, nesse caso faz-se necessário os levantamentos dos tempos referentes às ineficiências operacionais para o cálculo da capacidade de campo operacional (CO).

### 3.1. Capacidade efetiva – CE

RIPOLI (1996) considera como capacidade efetiva a relação entre uma área ou uma produção e o tempo efetivo decorrido na execução de determinada operação mecanizada. O tempo efetivo não leva em conta os tempos consumidos em: manobras de cabeceiras, interrupções para reabastecimento e manutenção, para regulagens, desembuchamentos e, ainda, descanso e refeições de operadores. Revela a máxima quantidade de trabalho que uma máquina é capaz de desenvolver, sob uma dada condição da cultura, num certo intervalo de tempo contínuo, durante o qual seus órgãos ativos receberam um fluxo relativamente uniforme de produto.

A velocidade efetiva de deslocamento ( $V_e$ ) é a máxima velocidade que as máquinas conseguem desenvolver numa dada condição de campo ou a velocidade estabelecida para ensaios e/ou pelas usinas para colheita. Sua magnitude é determinada por duas categorias de fatores:

1. Fatores da máquina: capacidade dos órgãos ativos; capacidade teórica; características de torque e potência do motor; características das transmissões; aptidão do rodado para desenvolver tração (para autopropulsão) e da suspensão para trafegabilidade; posição do centro de gravidade; distância entre eixos e bitola garantir condição de estabilidade.

2. Fatores de campo: condições de trafegabilidade do terreno, em relação ao microrrelevo superficial e obstáculos, ou seja, quanto melhor a sistematização do talhão,

melhores serão as condições para a máquina desempenhar sua atividade; características de relevo, em relação à declividade das rampas; condições de solo, em termos de resistência do recalque e cisalhamento; condições da cultura, em termos de resistência oferecida ao avanço da máquina.

### 3.2. Capacidade efetiva líquida - $CE_l$

A capacidade efetiva líquida pode ser obtida por cálculos tendo como base o parâmetro qualitativo denominado eficácia de manipulação. É calculada pela seguinte equação:

$$CE_l (kg.s^{-1}) = \frac{D_f (kg.m^{-1}) \cdot N_e \cdot V_{ens} (m.s^{-1}) \cdot EM (\%)}{100}$$

$$CE_l (t.h^{-1}) = CE_l (kg.s^{-1}) \cdot 3,6 \quad (1)$$

em que,

$D_f$  - massa média de colmos na fileira por metro;

$N_e$  - número de fileiras por eito colhido pela máquina;

$V_{ens}$  - velocidade da máquina, na parcela padrão, durante o ensaio;

EM - eficácia de manipulação (%).

A eficácia de manipulação de colhedoras (EM%) é a relação entre a quantidade de colmos industrializáveis na forma de rebolos ( $T_c$ ) descarregados na unidade de transporte e a quantidade de colmos existentes na fileira de plantio, in natura (TC), ou seja:

$$EM_l (\%) = \left( \frac{T_c}{TC} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

No caso das colhedoras, a quantidade de rebolos no veículo de transporte ( $T_c$ ) é função, também das perdas ocorridas em campo ( $P_c$ ), de maneira que:

$$T_c = TC - P_c \quad (3)$$

colheita com todos os tempos de interrupção que ocorreram durante a operação durante uma jornada ou área trabalhada.

Em outras palavras, a CO revela a quantidade de trabalho que uma máquina é capaz de realizar funcionando sob determinadas condições de manejo de campo durante um intervalo de tempo denominado tempo máquina (TM).

As capacidades operacionais de uma colhedora de cana podem ser expressas pelas seguintes equações:

$$CO = \text{área} / TM \quad (8)$$

$$CO = q / TM \quad \text{ou} \quad (9)$$

q = massa de matéria-prima manipulada (cortada ou carregada)  
TM = tempo máquina

O tempo máquina (TM), segundo Malhe (1974) é expresso pela seguinte equação:

$$Tm = Tpe + TI + Tpr \quad (10)$$

Sendo:

a. Parcela Tpe – Classificadas como:

Regulagens manutenção diária, substituição de lâminas de corte, limpeza da máquina, reposição de óleo hidráulico e verificação do nível de lubrificantes, reabastecimento do tanque de combustível, entre outras.

b. Parcela TI – Subdivididas em:

Tempo de interrupções periódicas – TIp (manobras de cabeceira)  
Tempo de interrupções eventuais – TIE (desembuchamentos)

Tempo de interrupções operacionais – TIO (ineficiências logísticas quando a colhedora esta

aguardando a chegada de veículos de transporte, por fatores climáticos, devido a tempo do operador (almôço, café), todavia, estes tempos não são considerados por não se relacionarem diretamente com o comportamento da máquina).

c. Parcela TPr – Considerado: Tempo de trabalho diretamente produtivo durante o qual os órgãos ativos atuam sobre os

matéria-prima industrializável e que pode ser Além disso, é uma medida da perda total de matéria-prima industrializável e que pode ser expressa em termos percentuais (P%) como:

$$EM(\%) = \left(1 - \frac{TC}{P}\right) \cdot 100 \quad (4)$$

Substituindo-se (3) em (2) e efetuando-se as simplificações, obtêm-se a equação:

$$P_c(\%) = 100 - EM(\%) \quad (5)$$

A eficiência de manipulação (EM) é o parâmetro que qualifica a operação de retirada da matéria-prima do campo. Quanto maior for a EM, melhor será o comportamento da operação. Este parâmetro reflete, em termos práticos, a quantidade de perdas de matéria-prima industrializável que permaneceu sobre as fileiras e entre fileiras após a colheita.

### 3.3. Capacidade efetiva bruta - CE<sub>b</sub>

A capacidade efetiva bruta (CE<sub>b</sub>) leva em consideração a quantidade de material colhido e liberado no veículo transbordo, sem levar em conta as perdas no campo e a matéria estranha contida na carga colhida, sendo calculada através da equação:

$$CE_b(kg.s^{-1}) = \frac{W_c}{T_c}(s) \quad (6)$$

$$CE_b(h^{-1}) = CE_b(kg.s^{-1}) \cdot 3,6 \quad (7)$$

em que,  
W<sub>c</sub> - massa de produto colhida, lançada no veículo de transporte, durante o ensaio;  
T<sub>c</sub> - tempo cronometrado de ensaio, durante o qual se recolheu a massa W<sub>c</sub>.

### 3.4. Capacidade Operacional - CO

É a razão entre a quantidade de matéria-prima colhida e o tempo disponível de operação da máquina no campo. Nessa caso é considerada a somatória do tempo efetivo de



colmos de cana na fileira, ou seja, o tempo em que todos os órgãos ativos das máquinas estão atuando.

Para efeito de ensaios padronizados de máquinas agrícolas a capacidade operacional só leva em consideração o tempo efetivo e tempo de manobras de cabeceira (Tlp).

A definição do tempo máquina (TM) por meio da equação 10, leva a uma outra equação para definir a capacidade efetiva:

$$CE = \frac{q}{TP_r} \quad (11)$$

Verifica-se, portanto, que a capacidade operacional (CO) das colhedoras de cana-de-açúcar, assim como seu tempo disponível para trabalho (TM) é o produto de duas variáveis independentes, sendo elas:

- Variáveis relativas à máquina capacidade efetiva (CE) e tempo tempo de trabalho produtivo (TPr).
- Variável relativa à administração do trabalho da máquina ou eficiências de campo (EfC).

Os valores assumidos para EfC dependem de uma série de fatores que, ao serem analisados em maior profundidade, evidenciam estar intimamente associados aos critérios de gestão operacional do trabalho da máquina.

Devido a essas diferenças é importante distinguir a capacidade operacional sob condição de ensaio e capacidade operacional sob condição de uso extensivo.

Desde que a capacidade efetiva (CE) é a variável independente comum às duas situações, evidencia-se a importância da análise da dessa variável durante os ensaios de colhedora de cana.

### 3.5. Eficiência ou Rendimento de campo (EfC)

Vem a ser a relação entre a capacidade operacional (CO) e a capacidade efetiva (CE), sendo expresso pela equação (12):

$$EfC = \frac{CO}{CE} \cdot 100 \quad (12)$$

Substituindo-se (9) e (11) em (12), e simplificando, obtêm-se:

$$EfC = \frac{TPr}{TM} \cdot 100 \quad (13)$$

Assim, a eficiência de campo também pode ser designada como eficiência de tempo. As equações (12) e (13) permitem expressar CO e TM, das seguintes maneiras:

$$CO = CE \cdot EfC \quad (14)$$

$$TM = TPr \cdot EfC \quad (15)$$

Para ensaios das colhedoras de cana, o valor de EfC resulta dos valores assumidos por CE e CO considerando-se determinadas condições de colheita.

Em relação aos parâmetros de desempenho, estes podem ser aplicados, de maneira genérica a qualquer tipo de equipamento agrícola e são fundamentais ferramentas no gerenciamento de sistemas mecanizados. Resumidamente, de posse dos valores obtidos, pode-se interpretá-los da seguinte maneira:

Quanto mais próximo a capacidade operacional (CO) estiver da capacidade efetiva (CE), indica que melhor gerenciamento está ocorrendo na operação de colheita, desde o planejamento da formatação de talhões, sistema viário, sistema de abastecimento e manutenção até a logística de colheita, levando-se a menores perdas de tempos de interrupções diversas.

Quanto maior for a eficiência (EfC) na operação, melhor gerenciamento da operação ou do sistema mecanizado, como um todo está sendo realizado pela gestão agrícola.

## 4. REFERÊNCIAS

- BELARDO, G. de C. **Avaliação de desempenho efetivo de três colhedoras em cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) sem queima**. 2010. 137 f. Dissertação (Mestrado em Máquinas agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

- MIALHE, L.G. Máquinas agrícolas: ensaios & certificação. Piracicaba: FEALQ, 1996. 722 p.
- RIPOLI, T.C.C. Ensaio & certificação de máquinas para colheita de cana-de-açúcar. In: MIALHE, L. G. Máquinas agrícolas: ensaios & certificação, 1996. p. 635-674.
- MAGALHÃES, P.S.G.; BRAUNBECK, O.A. Colheita de cana-de-açúcar: atualidades e perspectivas In: BALBUENA, R.H.; BENEZ, S.H.; JORAJÚRIA, D. *Ingeniería rural y mecanización agraria em el ámbito latinoamericano*. La Plata: Editora de la Universidad Nacional de La Plata, 1998. v. 1, p. 262-273.
- NEVES, J.L.M. Avaliação de perdas invisíveis em colhedoras de cana-de-açúcar picada e alternativas para sua redução. 2003. 223 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- NUNES JÚNIOR, D.; PINTO, R.S.A.; KIL, R.A. *Indicadores de desempenho da agroindústria canavieira*: safra 2003-2004. Ribeirão Preto: IDEA, 2005. 195 p.