



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

JOÃO PAULO DE LIMA SILVA

**CAPACIDADES OPERACIONAIS DE COLHEDORAS DE
CANA-DE-AÇÚCAR**

Londrina
2018

JOÃO PAULO DE LIMA SILVA

**CAPACIDADES OPERACIONAIS DE COLHEDORAS DE
CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina para obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Ralisch

Co-orientadora: Profa. Dra. Gisele S. de Aquino

Londrina
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Silva, João Paulo de Lima.

Capacidades Operacionais de colhedoras de cana-de-açúcar / João Paulo de Lima Silva. - Londrina, 2018.
55 f.

Orientador: Ricardo Ralisch.

Coorientador: Gisele Silva de Aquino.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2018.

Inclui bibliografia.

1. Colheita mecanizada de cana-de-açúcar - Tese. 2. Tempos e movimentos de colhedoras - Tese. I. Ralisch, Ricardo . II. Aquino, Gisele Silva de. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

JOÃO PAULO DE LIMA SILVA

**CAPACIDADES OPERACIONAIS DE COLHEDORAS DECANA-DE-
AÇÚCAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina.

BANCA EXAMINADORA

Orientador Prof. Dr. Ricardo Ralisch
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Profa. Dra. Gisele Silva de Aquino
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Otavio Jorge Grigoli Abi Saab
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Dr. Hevandro Colonhese Delalibera
Instituto Agronômico do Paraná - IAPAR

Londrina, 29 de Janeiro de 2018.

DEDICO

Aos meus pais que lutaram, incondicionalmente, para me dar formação pessoal e profissional. A minha esposa pelo apoio, estando presente em todos os momentos que precisei, e pela paciência nos momentos em que estive ausente.

In memoriam José Adilson da Silva (Pai e Amigo).

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores Ricardo Ralisch, Otávio Abi Saab e Gisele Aquino pelos ensinamentos e apoio durante o desenvolvimento deste trabalho, me encorajando e motivando a vencer os obstáculos que apareceram durante o mestrado.

Agradeço aos companheiros de turma pela parceria e troca de experiências durante o curso. Especialmente a Deisi Navrosk com que tive a oportunidade de escrever alguns trabalhos em parceria.

Agradeço a Aryl Lyra pelos ensinamentos e apoio durante a minha formação profissional, me dando a oportunidade de iniciar minha carreira como Engenheiro Agrônomo e me apoiando em todos os momentos em que eu precisei. E pela liberação dos resultados para elaboração desta dissertação.

Agradeço a Glencane Bioenergia por permitir a continuidade dos meus estudos, colaborando e incentivando a minha formação profissional.

SILVA, João Paulo de Lima. **Capacidades operacionais de colhedoras de cana-de-açúcar**. 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2018.

RESUMO

As operações mecanizadas são responsáveis pela maior parcela do custo de produção da cana-de-açúcar, que podem ser reduzidos com a melhoria do desempenho das máquinas. Dentre estas, há as colhedoras mecanizadas diretas, com diversos trabalhos já realizados para determinar sua capacidade operacional teórica e efetiva. Entretanto, nas condições de campo há variáveis que interferem no processo de colheita mecanizada, que são difíceis de estimar e de mensurar seu impacto na produtividade destas máquinas. O objetivo deste trabalho foi estudar as variáveis que interferem na capacidade operacional de colhedoras e as eficiências do processo de colheita mecanizada da cana-de-açúcar, visando quantificar seu impacto na capacidade operacional destas máquinas em situação real, para subsidiar decisões estratégicas em usinas produtoras de açúcar e etanol. Foram realizados dois trabalhos, a partir de dados obtidos em uma indústria de produção de etanol de cana-de-açúcar, para compor este estudo, sendo: i) Determinação e quantificação de fatores que influenciam a capacidade operacional de colhedoras de cana-de-açúcar. A partir de análises de correlações entre a capacidade operacional de colhedoras com o tamanho da propriedade, a produtividade do canavial, a eficiência de disponibilidade mecânica das colhedoras, o tempo perdido durante a operação e o tempo produtivo, foram elaborados modelos que estimassem a capacidade operacional destes equipamentos sob diferentes condições de trabalho. ii) Análise dos tempos e movimentos para auxiliar na gestão de sistemas de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. Foram medidos, através de computador de bordo, os tempos inerentes a operação de oito colhedoras do período de abril a agosto de 2015, totalizando 29.346,29 horas, que foram analisadas através do cálculo das eficiências: de disponibilidade mecânica, eficiência operacional e eficiência de aproveitamento. Os resultados foram submetidos a análise de variância e as médias foram comparadas através do teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Conclui-se que nas condições avaliadas, o tamanho da propriedade foi a variável que, isoladamente, melhor representou a capacidade operacional das colhedoras de cana com correlação positiva e forte. Em relação a gestão da colheita mecanizada, os principais motivos de perda de eficiência foram os tempos perdidos com manutenção corretiva, falta de transbordos, deslocamento da máquina entre os talhões e manobras no final da linha de cana.

Palavras-chave: Colheita mecanizada. Eficiência de máquinas. Gestão de frota. Tempos e movimentos.

SILVA, João Paulo de Lima. **Operational capacities of sugarcane harvesters**. 2018. Dissertation (Master in Agronomy) - Londrina State University, Londrina. 2018.

ABSTRACT

The mechanized operations are responsible for the greater part of the cost of production of sugarcane, which can be reduced by improving the performance of the machines. Among these, there are the direct mechanized harvesters, with several works already done to determine their theoretical and effective capacity. However, in the field conditions there are variables that interfere with the mechanized harvesting process, which are difficult to estimate and to measure their impact on the productivity of these machines. The objective of this work was to study the variables that interfere in the operational capacity of harvesters and the efficiencies of the mechanized harvesting process of sugarcane, in order to quantify their impact on the operational capacity of these machines in real situation, to subsidize strategic decisions in producing plants of sugar and ethanol. Two studies were carried out, based on data obtained from a sugarcane ethanol production industry, to compose this study, being: i) Determination and quantification of factors that influence the operational capacity of sugarcane harvesters, sugar. From the analysis of correlations between the operational capacity of harvesters with the size of the property, the productivity of sugarcane, the mechanical availability efficiency of the harvesters, the time lost during the operation and the productive time, were elaborated models that estimate the operational capacity equipment under different working conditions. ii) Analysis of the motion-times to assist in the management of mechanized sugarcane harvesting systems. The motion-times of eight harvesters from the period from April to August of 2015 were measured by computer on board, totaling 29,346.29 hours, which were analyzed through the calculation of efficiencies: mechanical availability, operational efficiency and efficiency of utilization. The results were submitted to analysis of variance and the averages were compared through the Tukey test at 5% probability of error. It was concluded that in the conditions evaluated, the size of the property was the variable that, in isolation, better represented the operational capacity of the cane harvesters with positive and strong correlation. In relation to mechanized harvest management, the main reasons for loss of efficiency were lost times with corrective maintenance, lack of transshipment, displacement of the machine between the plots and maneuvers at the end of the sugarcane line.

Keywords: Mechanized harvesting. Machine efficiency. Fleet management,. Motion-times study.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	A CANA-DE-AÇÚCAR	14
2.2	COLHEITA MECANIZADA DA CANA-DE-AÇÚCAR	15
2.2.1	Capacidade Operacional de Colhedoras de Cana-de-açúcar	19
2.2.2	Gestão de Sistemas de Colheita Mecanizada de Cana-de-açúcar.....	24
3	ARTIGO A: DETERMINAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE FATORES QUE INFLUENCIAM A CAPACIDADE OPERACIONAL DE COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR	31
3.1	RESUMO	31
3.2	INTRODUÇÃO	32
3.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	33
3.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
3.4.1	Análise da correlação.....	34
3.4.2	Análise da regressão.....	36
3.5	CONCLUSÕES	37
4	ARTIGO B: ANÁLISE DOS TEMPOS E MOVIMENTOS PARA AUXILIAR NA GESTÃO DE SISTEMAS DE COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR	38
4.1	RESUMO	38
4.2	INTRODUÇÃO	39
4.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	40
4.3.1	Cálculo das eficiências	40
4.3.1.1	Eficiência global	40
4.3.1.2	Eficiência de disponibilidade mecânica	41
4.3.1.3	Eficiência operacional.....	41
4.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA	42
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.6	CONCLUSÕES	45

5	COMENTÁRIOS GERAIS	46
6	REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é cultivada em mais de 90 países, somando aproximadamente 26 milhões de hectares, com uma colheita mundial de 1,83 bilhões de toneladas. O Brasil é o maior produtor, seguido por Índia, China, Tailândia, Paquistão e México (FAO, 2018). Além de ser o maior produtor de cana, o Brasil é também o primeiro do mundo na produção de açúcar e etanol.

O Estado de São Paulo é o maior produtor de cana-de-açúcar do Brasil, onde foram colhidos 4,77 milhões de hectares com 369,9 milhões de toneladas de cana-de-açúcar na safra 2016/2017 (CONAB, 2018). Na mesma safra 84,8% da cana colhida foi mecanizada, onde este percentual variou de acordo com a região, chegando a 99,3% na regional de Andradina (IEA, 2015).

Segundo a CONAB (2018), a área cultivada com cana-de-açúcar no Brasil aumentou 54% na última década, passando de 5,8 milhões de hectares em 2005 para aproximadamente 9 milhões de hectares em 2015. Apesar da Lei n. 11.241/2002 prever a erradicação da queima da cana-de-açúcar até o ano de 2021 em áreas mecanizáveis e em 2031 para áreas não mecanizáveis, o acordo assinado entre a UNICA (União da Indústria de Cana-de-Açúcar) e o governo do Estado de São Paulo (Protocolo Agroambiental assinado em 2007) antecipou os prazos finais para eliminação da queima de cana de 2021 para 2014 para áreas mecanizáveis e de 2031 para 2017 para áreas não mecanizáveis. O Estado respondeu positivamente e na safra 2015/16, 91,3% da colheita de cana-de-açúcar das usinas e fornecedores de cana signatários foi realizada sem o emprego do fogo, através da colheita mecanizada (SISTEMA AMBIENTAL PAULISTA, 2018). A safra 2016/17 foi a última na qual as usinas poderiam utilizar o fogo para a colheita da cana-de-açúcar. A rápida adesão das usinas ao aumento do índice de mecanização do corte pode ser atribuída também a necessidade de suprir a demanda de mão-de-obra decorrente da expansão acelerada da área cultivada com cana na última década. Além disso, RODRIGUES & SAAB (2007) observaram que o custo do corte mecanizado sem queima prévia é mais barato quando comparado ao corte manual da cana queimada, com uma diferença de custo na ordem de 32,74%.

MIALHE (1996) definiu a capacidade de trabalho de máquinas e implementos como a quantidade de trabalho realizada perante determinada unidade de tempo. Porém ROSA (2013) observou que no caso das colhedoras, a produtividade da cultura afeta a capacidade de trabalho da máquina e, portanto, a quantidade de trabalho realizada por colhedoras deve ser aferida a partir da quantidade de produto colhido. RIPOLI & RIPOLI (2009), defendem que a

capacidade operacional de colhedoras de cana-de-açúcar é caracterizada a partir dos parâmetros de capacidade teórica, efetiva e operacional, onde as duas últimas são analisadas em nível de campo.

Há diversos trabalhos que buscaram mensurar a capacidade operacional de colhedoras de cana-de-açúcar, onde esta pode ser o resultado da interação de variáveis inerentes a fatores internos e externos a operação da máquina. Como fatores internos destacam-se as características do modelo da colhedora, a habilidade e experiência do operador, a velocidade da máquina, a disponibilidade mecânica do equipamento e a vida do equipamento (horas trabalhadas). Com relação aos fatores externos a operação, destacam-se o comprimento da linha de cana, a produtividade agrícola do canavial, a quantidade de linhas colhidas ao mesmo tempo, a topografia e a declividade da área a ser colhida e o tamanho da mesma. Entretanto há poucos estudos sobre a capacidade operacional de colhedoras em função da associação destas variáveis e sobre o impacto do tamanho da propriedade no desempenho destas máquinas.

FUELLING et al., (1978) distingue os aspectos do desempenho de colhedoras como sendo uma função do projeto da máquina, da eficiência do operador, das condições de colheita da cultura e das particularidades de campo.

A maioria dos autores avaliaram a capacidade operacional de colhedoras tendo como base a cana colhida por hora trabalhada ($t \text{ hora}^{-1}$), limitando o conhecimento do desempenho destas máquinas a um intervalo de tempo pequeno. Quando a capacidade operacional é avaliada em um período maior ($t \text{ dia}^{-1}$, $t \text{ mês}^{-1}$ ou $t \text{ safra}^{-1}$), observa-se que existem tempos improdutivos no processo de colheita mecanizada que precisam ser caracterizados e mensurados, pois interferem diretamente no desempenho destas máquinas.

O estudo dos tempos e movimentos de colhedoras em períodos maiores, possibilita identificar as causas de parada de máquina, gerando informações que permitam os agricultores ou gestores de frota tomar decisões que visem minimizar os tempos perdidos para, enfim, aumentar o tempo produtivo do equipamento.

O objetivo deste trabalho foi estudar as variáveis que interferem na capacidade operacional de colhedoras e as eficiências do processo de colheita mecanizada, visando quantificar seu impacto na capacidade operacional destas máquinas para subsidiar decisões estratégicas em usinas produtoras de açúcar e etanol.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é pertencente ao gênero *Saccharum*. Quando adulta, a planta tem estatura de 2 a 6 m, e pode ser colhida em vários ciclos sem a necessidade de um novo plantio (HENRY, 2010). As partes principais da planta são: colmo, folhas e raízes. O colmo de uma planta madura contém, em média, 2/3 de água e 1/3 de matéria seca (açúcares, sais e fibras), componentes de produção variável em função da espécie/híbrido e da condição de cultivo (VANDILLEWINJ, 1952; BARNES, 1974).

Segundo MORAIS et al. (1997), mais de 1.000 milhões de toneladas de cana são colhidas a cada ano, este excede o nível de produção das principais culturas alimentares como trigo, arroz e milho, cada um dos quais tem cerca de produção de 600 milhões de toneladas por ano. Como produtos derivados desta matéria prima podem ser citados: açúcar, etanol, eletricidade, melaço, aguardente, bagaço, levedura, torta de filtro, vinhaça, composto fertilizante, gás carbônico, ácido cítrico, lisina, briquetes, aglomerados MDF, etc. (BNDES/CGEE, 2008).

Segundo CONAB (2018), o Brasil tem produtividade média de 72,6 t ha⁻¹, onde apesar dos avanços proporcionados pelo melhoramento genético desta cultura no mundo, as médias de rendimento agrícola comercial ainda são inferiores a quinta parte do potencial máximo teórico da cultura (rendimento potencial), que é de 381 t ha⁻¹ (WACLAWOVSKY et al., 2010).

Há uma grande variedade de espaçamentos adotados para esta cultura, podendo ser classificados por simples, quando as distâncias entre as linhas são equidistantes, ou alternado, onde há dois espaçamentos sendo um para as linhas e outro para a entrelinha da cana (Figura 1). Segundo STOLF et al. (1987), espaçamentos menores resultam em produtividades maiores para a cultura da cana-de-açúcar, sendo necessário ajustar a bitola dos equipamentos para não haja pisoteio nas linhas de cana.

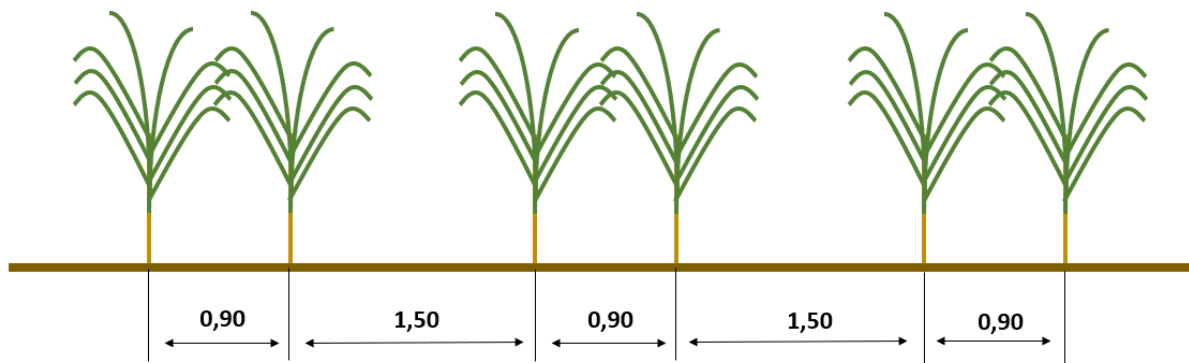


Figura 1. Exemplo de espaçamento alternado de plantio de cana-de-açúcar com 0,90x1,50 m.

Fonte: o Autor (2018).

2.2 Colheita mecanizada de cana-de-açúcar

A colheita da cana-de-açúcar é realizada durante a estação seca, facilitando a entrada de máquinas agrícolas para a colheita. Também se concentra, neste período, o pico de maturação, sendo a fase de maior acúmulo de açúcar (SILVA, 2006).

A primeira cortadora auto-propelida para a colheita de cana-de-açúcar foi desenvolvida e fabricada no Hawaii (EUA), em 1906. Na Austrália, em meados de 1960, foi desenvolvido um novo tipo de colhedora para a cana-de-açúcar, sendo chamada de colhedora combinada (RIPOLI & RIPOLI, 2009).

De acordo com, o primeiro registro de utilização de uma máquina de corte de cana no estado de São Paulo foi em 1956 na cidade de Piracicaba, tendo sido realizada uma tentativa pioneira de desenvolvimento de uma cortadora amontoadora em 1962. O corte mecanizado da cana-de-açúcar em escala comercial no Brasil teve início no Estado de São Paulo em 1973, com a importação de tecnologia australiana, pela empresa Santal Equipamentos S/A, para a fabricação de uma colhedora nacional (RIPOLI & VILLA NOVA, 1992).

O sistema de colheita mecanizada direta da cana-de-açúcar é composto por três operações: corte, carregamento e transporte. A execução destas operações exige sincronismo, porque uma depende da outra, conforme a Figura 2.

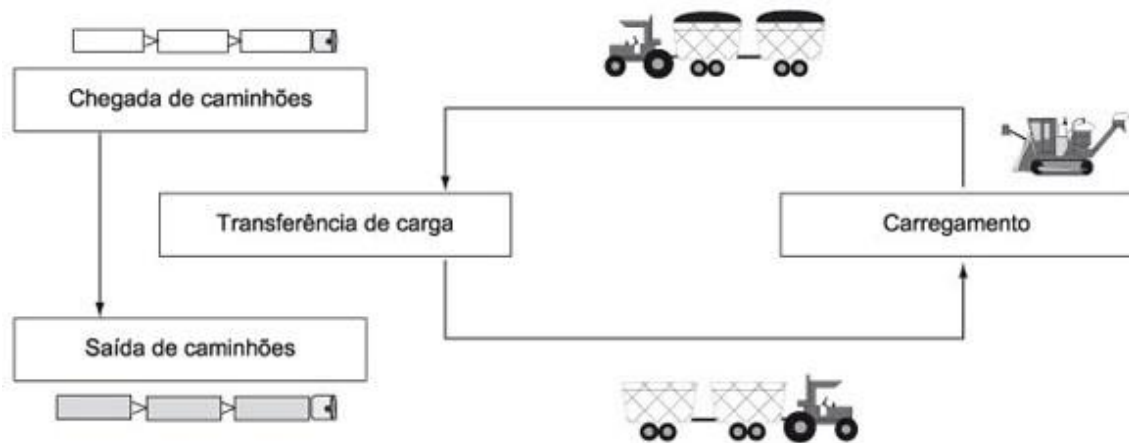


Figura 2. Sequência de operações de um sistema de colheita mecanizada de cana-de-açúcar.

Fonte: (SILVA et al., 2011).

A colheita mecanizada direta da cana-de-açúcar é composta por máquinas colhedoras e transbordos, onde os últimos podem ser tracionados por tratores ou caminhões. As colhedoras recolhem o material cortado pelo despontador e corte de base para dentro da máquina onde os colmos são picados em rebolos, sendo a matéria estranha vegetal controlada parcialmente por meio da ventilação ou exaustão, enquanto os colmos picados são conduzidos, por meio de taliscas e correntes ou reatores-lançadores, sobre veículos de transporte com carrocerias teladas e/ou fechadas conhecidos como transbordos (FURLANI NETO et al., 1996).

Na Figura 3 observa-se uma colhedora de cana picada, destacando os sistemas de processamento da matéria-prima. A primeira etapa de atuação da colhedora é o corte dos ponteiros por meio do despontador (cortador de pontas), sendo que, posteriormente, o sistema de alimentação, constituído pelos divisores de linha, rolos alimentador e tombador, direciona a fileira de cana-de-açúcar para o corte de base, realizado, por sua vez, por discos rotativos com lâminas. Em seguida, rolos alimentadores e transportadores conduzem as canas para dois rolos picadores, que servindo como guilhotina, fracionam a matéria-prima em rebolos. Próximo ao picador se encontra o extrator primário, que retira parte das impurezas agregadas a matéria-prima através da exaustão. Essa cana, previamente “limpa” é conduzida em elevador de taliscas, sendo que na parte superior, antes que seja feito o descarregamento dos rebolos no transbordo, é feita uma segunda limpeza, por meio do extrator secundário (NEVES, 2003).

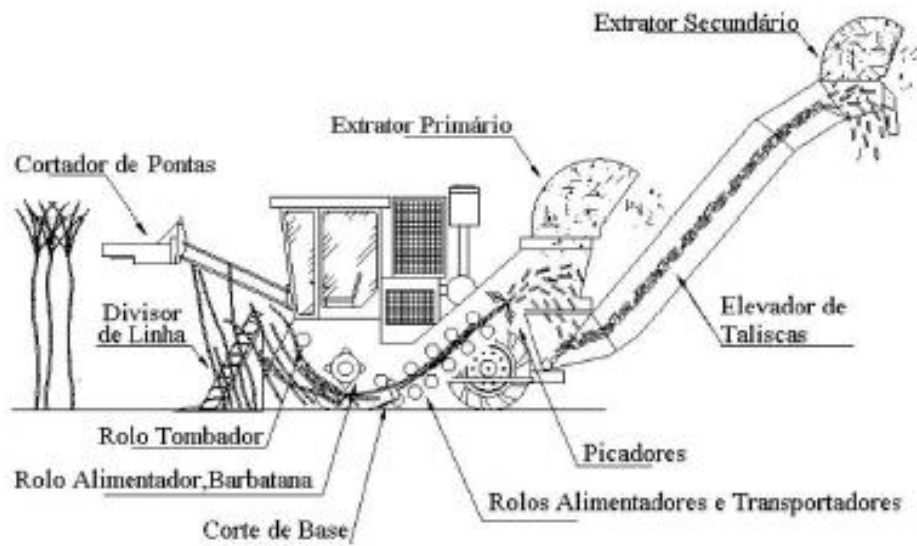


Figura 3. Esquema de uma colhedora de cana picada com destaque para o processamento de matéria-prima e detalhamento dos órgãos ativos.

Fonte: NEVES (2003)

Produtores exigem máquinas que são confiáveis e econômicas na operação, que podem colher culturas sob uma ampla gama de condições de campo, deixando um mínimo de cana no campo sem danos a soqueira da cana ou ao solo. Usinas de açúcar e etanol exigem que a máquina entregue canas intactas, com colmos bem cortados de um tamanho que estabeleça um equilíbrio entre a utilização máxima da capacidade de armazenamento, a deterioração mínima de cana e o mínimo de matérias estranhas (FUELLING et al., 1978).

A cana-de-açúcar pode ser colhida crua ou queimada, sendo a última feita apenas para realizar a despalha, facilitando o corte com consequente aumento no rendimento da colheita, seja ele manual ou mecanizado. Nos primórdios da colheita mecanizada desta cultura, as máquinas eram utilizadas para o corte de cana queimada, onde segundo FUELLING et al. (1978), na década de 1970 estava começando o interesse no corte de cana crua na região norte da Austrália. No Brasil, o Estado de São Paulo, maior produtor de cana deste país, decretou a erradicação da queima da cana-de-açúcar através da Lei 11.241/2002 que determina a extinção desta prática em 2021 em áreas mecanizáveis e 2031 em áreas não mecanizáveis.

A lei que determina erradicação da queima no Estado de São Paulo somada a expansão da cana-de-açúcar em regiões que não tinham tradição de cultivo, impulsionaram a evolução da colheita mecanizada direta no Brasil. Além disso, RODRIGUES & SAAB (2007) observaram que o custo do corte mecanizado sem queima prévia é mais baixo quando comparado ao corte manual da cana queimada, com uma diferença de custo na ordem de

32,74%. TORQUATO et al. (2016) e ROMANACH & CARON (1999), também comparam o custo do corte mecanizado com o custo do corte manual, chegando a relação de redução de custo da ordem de 30% e 55,44%, respectivamente. O que torna a mecanização do corte um processo irreversível.

Além do menor custo, em comparação com o sistema semi-mecanizado, onde o corte é manual, após a colheita mecanizada direta de cana crua o solo fica coberto por palha o que reduz o risco de erosão do solo. Segundo OLIVEIRA et al. (2003), a quantidade de palha depositada anualmente no solo no sistema de colheita mecanizada direta varia de 10 a 30 t ha⁻¹ e para URQUIAGA et al. (1991) a queima de 10 a 20 t ha⁻¹ deste material representa uma perda de vários nutrientes, principalmente de nitrogênio (33 a 60 kg ha⁻¹) e enxofre (15 a 25 kg ha⁻¹).

Ainda não está clara qual a tendência predominante quanto ao uso da biomassa adicional proveniente da colheita mecanizada direta, mas esta pode ser utilizada na cogeração de energia, como combustível suplementar para caldeiras convencionais de alta pressão, possibilitando um aumento de geração de energia elétrica, na proteção do solo contra a erosão, e também na conversão em etanol celulósico ou de segunda geração (VILLELA et al., 2015).

Com o advento de tecnologias que permitem a produção de energia através da fibra da biomassa, a limpeza da cana durante o processo de colheita passa a ser desnecessária, sendo denominada de colheita de cana integral. Neste novo conceito de colheita mecanizada, utilizando colhedoras convencionais, os extratores primários e secundários são desligados e todo material colhido pela máquina é carregado no transbordo, tendo como principal consequência a redução da densidade da carga dos sistemas de transportes envolvidos no processo de colheita e transporte da cana até a indústria. Outra opção de colheita mecanizada de cana integral é o conceito de máquina forrageira (Figura 4), tradicionalmente utilizada para corte de matéria-prima para alimentação animal. Neste caso o sistema de alimentação é semelhante ao das colhedoras tradicionais, sendo composto por: divisores de linha, pirulitos externos e internos, rolo tombador e caixa do corte de base.

Na operação de colheita realizada pela forrageira, não é feito o desponte da cana, apenas esta é cortada rente ao solo através do corte de base, com todo o material (cana + palha + ponteiro), e em seguida é recolhido para dentro da máquina através de rolos, onde passa a ser picado em pedaços e lançados dentro de veículos transbordos.



Figura 4. Máquina forrageira da New Holland (modelo FR 9060) adaptada para colheita de cana integral.

Fonte: Usina Caeté – Unidade Paulicéia

Segundo SCHEMBRI et al. (2002), poder-se-á duplicar a quantidade de matéria-prima para geração de energia, colhendo-se a cana inteira e crua, com separação posterior do palhiço na usina; os autores desenvolveram um protótipo de equipamento para separação do palhiço da cana com capacidade 150 t h^{-1} , recuperando-se de 91 a 95% do palhiço e com menos de 1% de perdas de cana. Entretanto o transporte integral da cana, juntamente com o palhiço, resulta em menor densidade de carga o que obrigaria a se usar carrocerias com dimensões maiores. O volume e o peso dos veículos de transporte estão limitados pela Resolução no 12/98 do CONTRAN de 1998. O peso bruto total pode atingir no máximo 45 toneladas por veículo, com dimensões limitadas na largura, o comprimento e a altura do veículo.

MICHELAZZO e BRAUNBECK (2008) analisaram seis sistemas de recolhimento de palhiço da cana-de-açúcar até sua entrega na indústria, onde obtiveram o menor custo através do sistema de colheita integral, pois os custos fixos e variáveis foram rateados entre a cana e o palhiço, com aproveitamento da frota já utilizada para a cana.

2.2.1 Capacidade operacional de máquinas colhedoras de cana-de-açúcar

MIALHE (1996) definiu a capacidade de trabalho de máquinas e implementos como a quantidade de trabalho realizada por unidade de tempo. RIPOLI & RIPOLI (2009), defendem que a capacidade de colhedoras de cana-de-açúcar é caracterizada a partir dos parâmetros de capacidade teórica, efetiva e operacional, onde as duas últimas são analisadas em nível de

campo. ROSA (2013) observou que no caso das colhedoras, a produtividade da cultura afeta a capacidade de trabalho da máquina e, portanto, a quantidade de trabalho realizada por colhedoras deve ser aferida a partir da quantidade de produto colhido.

A capacidade operacional de colhedoras é um indicador preponderante no dimensionamento da estrutura, etapa na qual é determinada a quantidade ideal de máquinas para realização da colheita. O seu estudo permite identificar pontos de melhoria no projeto da colhedora, na operação do equipamento, na logística do sistema de colheita mecanizada, na gestão do processo de produção e/ou adequação das condições as quais estas máquinas são submetidas em campo.

Segundo FOLLE & FRANZ (1990), O estudo das operações agrícolas, levando-se em conta a capacidade de trabalho e a eficiência de campo, visa racionalizar o emprego das máquinas, implementos e ferramentas na execução dos trabalhos. O nome de desempenho operacional é atribuído a um complexo conjunto de informações que definem, em termos quali e quantitativos, os atributos de máquinas agrícolas quando executam operações sob determinadas condições.

Há diversos trabalhos que buscaram mensurar a capacidade operacional de colhedoras de cana-de-açúcar (FUELLING et al., 1978; FURLANI NETO, 1995; CARDOSO, 2011; CARVALHO, 2009; RIPOLI, 2004; MEYER, 2001; NERY, 2000; DE LEON, 2000; MOLINA JUNIOR, 2000; BELARDO, 2010; CARVALHO FILHO, 2000; MAZZONETTO, 2004; YADAV et al., 2002; CERVI et al., 2015). Onde esta pode ser resultado da interação de variáveis inerentes a fatores internos e externos a máquina, conforme a Figura 5.

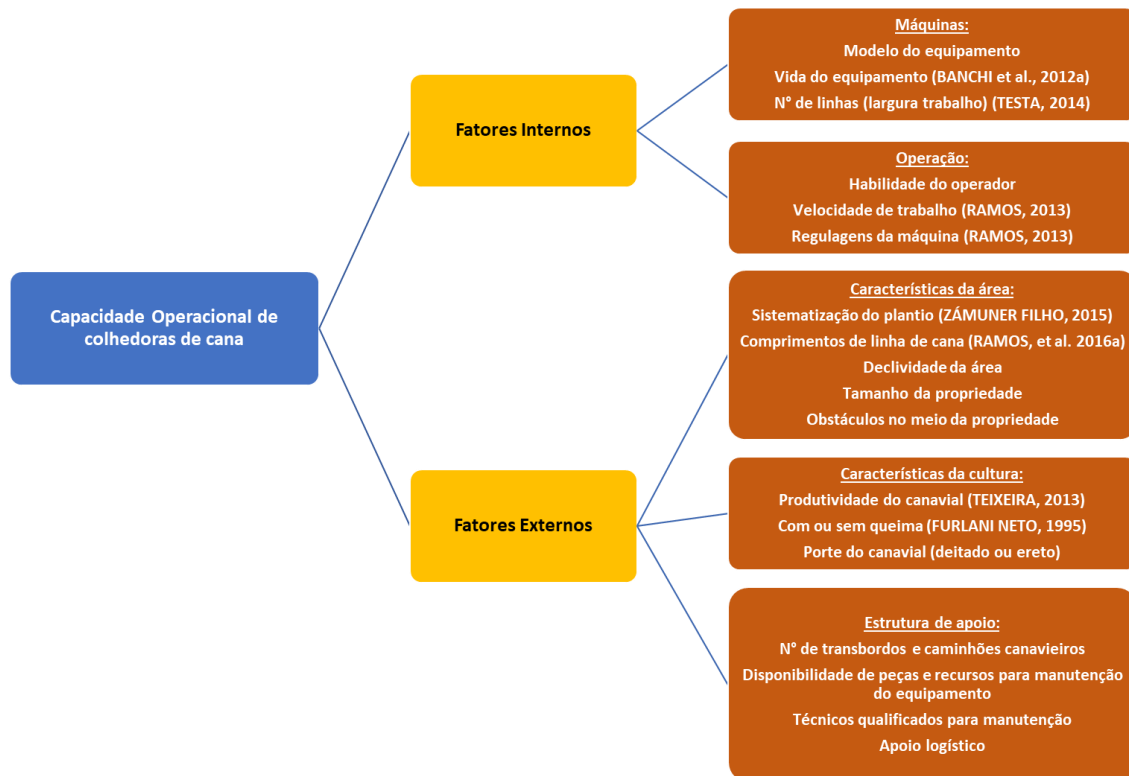


Figura 5. Análise da capacidade operacional de colhedoras de cana-de-açúcar sob diferentes aspectos.

Fonte: o Autor (2018).

Na figura 5, observa-se que há inúmeras variáveis que influenciam no desempenho operacional de colhedoras, onde na maioria dos casos compete ao gestor do processo alterar as condições de colheita, sob o ponto de vista que os operadores não conseguem interferir em aspectos, como características da área, nas condições da cultura e na estrutura de apoio.

FUELLING et al. (1978) analisou a performance de colhedoras em diferentes condições de campo na Austrália e observou que o desempenho destas é uma função do projeto da máquina, da eficiência do operador, das condições de colheita da cultura e das particularidades de campo. No entanto é preciso mensurar o peso de cada variável no resultado final desta performance, focando a gestão do processo nos pontos de maior impacto no desempenho destes equipamentos.

O cálculo da capacidade operacional de colhedoras em $t \text{ dia}^{-1}$ é obtido através do produto da capacidade de campo efetiva ($t \text{ h}^{-1}$), da produtividade agrícola da cana ($t \text{ ha}^{-1}$) e da eficiência de aproveitamento do tempo (h dia^{-1}).

A operação e manutenção de máquinas são fatores primordiais para obter o máximo potencial do equipamento, sendo necessário investimento para qualificação dos colaboradores envolvidos no processo mecanizado. Segundo FUELLING et al. (1978), a atitude do operador desempenha um papel significativo na capacidade da máquina. A troca de faquinhas feita regularmente e a manutenção preventiva asseguraram que a máquina opere no seu melhor durante o tempo todo. Entretanto deve haver estrutura disponível de peças e técnicos capacitados para o conserto da máquina quando necessário, evitando que a mesma fique indisponível para operação.

Quanto maior a velocidade de deslocamento da colhedora, maior é a capacidade operacional da mesma. Entretanto velocidades maiores podem interferir no aumento das perdas de cana e de impurezas vegetais, de acordo com a condição da cultura, tendo como variáveis a produtividade, porte ereto ou acamado e o sentido em que a cana está acamada. RAMOS (2013), estudando o desempenho de colhedoras de cana em diferentes velocidades de deslocamento, encontrou rendimentos entre 52 e 95,5 t h⁻¹, corroborando com resultados obtidos por FURLANI NETO (1995); MAZZONETTO (2004); DE LEON (2000); NERY (2000); CENICAÑA (1997) e ROMERO et al. (1993).

Segundo BANCHI et al. (2012 a), há queda na capacidade de colheita conforme a vida da máquina aumenta. Esta redução na capacidade em função da vida do equipamento pode estar associada a menor disponibilidade mecânica deste, visto que a disponibilidade mecânica é representada por uma função matemática decrescente que varia de acordo com o tempo de uso dos equipamentos (BANCHI et al., 2009).

Segundo ZAMUNÉR FILHO (2015), há aumento na capacidade efetiva de colhedoras de cana em função do comprimento médio da linha de colheita, entretanto este aumento não é linear, sendo melhor definido como uma função logarítmica (Figura 6). Na mesma área é possível haver diferentes comprimentos de linhas de cana, considerando que é preciso fazer o plantio em nível para evitar erosão do solo, entretanto o planejamento do plantio deve contemplar a observação do sentido destas linhas para obter maiores comprimentos.

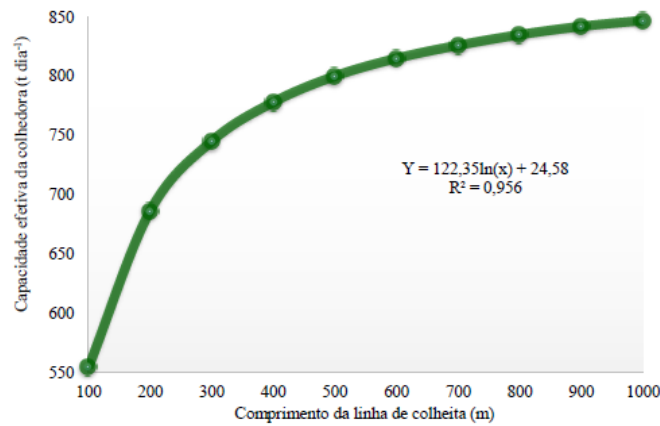


Figura 6 – Capacidade efetiva da colhedora de cana-de-açúcar em função do comprimento da linha de colheita.

Fonte: ZAMUNÉR FILHO (2015).

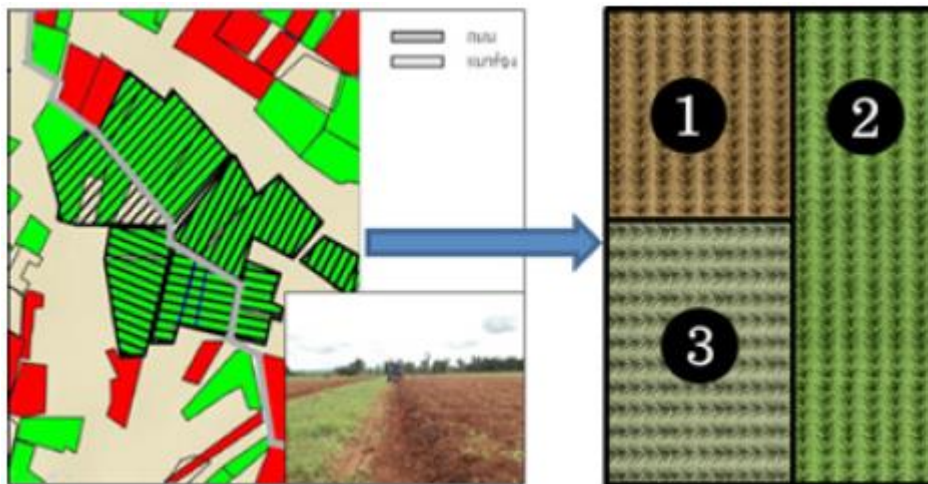


Figura 7 – Direção das linhas de cana-de-açúcar plantadas na mesma propriedade.

Fonte: NEUNGMATCHA & SETHAMAN (2015).

SANTORO et al. (2015) desenvolveram um modelo matemático de otimização para o planejamento do percurso a ser realizado pela colhedora em um processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar com o objetivo de reduzir o tempo gasto com manobras pelas máquinas. NEUNGMATCHA & SETHAMAN (2015) desenvolveram um programa matemático para determinação do sentido das linhas de cana visando a redução de tempos perdidos e aumento da eficiência de máquinas colhedoras (Figura 7).

O custo da colheita mecanizada é determinado pela produtividade da máquina, onde quanto maior a produção, menor será o custo da tonelada de cana colhida. TEIXEIRA (2013) comparou o custo da colheita mecanizada em três diferentes faixas de produtividade da cana-

de-açúcar, onde observou que os valores da capacidade de colheita tendem a serem maiores quando a máquina está operando em condições de maior produtividade, refletindo, conseqüentemente, na redução de custos por tonelada colhida.

BANCHI et al. (2012 a), a partir de dados coletados de 72 colhedoras no período de 2007 a 2011, em três diferentes indústrias de açúcar e etanol, totalizando cerca de 315 mil horas trabalhadas, verificou que a capacidade operacional de colhedoras é crescente de acordo com a produtividade agrícola, entretanto os autores destacaram que há variação de 80% nos resultados analisados.

As colhedoras de cana-de-açúcar possuem largura de trabalho inferior as colheitadeiras de grãos, sendo limitadas a colheita de uma ou duas linhas de cana ao mesmo tempo, onde a colheita de duas linhas de cana proporciona maior capacidade operacional, em função do aumento da quantidade de cana por metro linear. Segundo TESTA (2014), a colhedora de duas linhas de cana apresenta maior eficiência e maior produtividade quando comparada com a colhedora de uma linha.

A capacidade operacional de colhedoras de cana-de-açúcar deve atender em primeiro lugar as necessidades fisiológicas da cultura, onde os procedimentos das operações inerentes a colheita, devem ser subsidiados por técnicas de produção desta cultura. Neste sentido deve-se atentar ao limite de capacidade de carga dos equipamentos e a escolha do material rodante do mesmo, visando a redução da compactação do solo. As conseqüências mais imediatas do aparecimento de camadas compactadas são a redução da capacidade de infiltração da água das chuvas, maior resistência à penetração das raízes das plantas, excesso de umidade acima da camada nos períodos chuvosos e deficiência de água nos períodos secos (NAGAOKA et al., 2003). O aumento da resistência à penetração das raízes das plantas pode resultar em menor produtividade do canavial. O desenvolvimento radicular em profundidade é fundamental para o acréscimo de produtividade em solos de baixa fertilidade e baixa retenção de umidade (DEMATTE, 2005). Portanto, quanto menor a quantidade e profundidade de raízes da planta, menor o volume de solo explorado pelas mesmas, podendo reduzir a absorção de nutrientes e de água, limitando a produtividade dos canaviais e reduzindo a longevidade da socaria da cana.

2.2.2 Gestão de sistemas de colheita mecanizada de cana-de-açúcar

Segundo MILAN (2004), na agricultura brasileira, a mecanização agrícola representa um fator de grande importância para a competitividade em termos de custo, 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. Para se reduzirem os custos são necessárias a ampliação e a modernização da gestão dos sistemas mecanizados. A adoção de técnicas administrativas clássicas não atende mais às condições de sustentabilidade impostas pelo mercado. Essas técnicas têm como fundamento o dimensionamento do sistema mecanizado, os estudos dos tempos e movimentos e o planejamento e controle de custos e produtividade. Elas são eficazes em momentos de menor concorrência, mas desprovidas de visão sistêmica. A adequação do gerenciamento de sistemas mecanizados deve buscar, além de produtividade e custos, qualidade de operações agrícolas, motivação, segurança e saúde dos funcionários, preservação do ambiente e alinhamento estratégico.

O sistema de colheita mecanizada da cana-de-açúcar, desde o corte até o transporte da matéria-prima, absorve em torno de 50% do total do custo da produção, sendo um parâmetro de destaque no balanço econômico das empresas (PRADO, 2002). O corte mecanizado representa a maior parcela dos custos de CCT (Corte, Carregamento e Transporte), onde segundo MAEKAWA & MILAN (2015), a capacidade operacional, a vida da máquina (em horas) e o número de operadores por máquina são os principais fatores que influenciam no seu custo.

Para obter menores custos de produção e ter competitividade no mercado, os agricultores precisam aderir a técnicas modernas de gerenciamento da frota para controlar as variáveis que influenciam no processo de produção. Segundo GREEN et al. (1985), embora os agricultores não possam controlar todas as variáveis que influenciam nos custos de produção, existem algumas que podem ser controladas e aperfeiçoadas. Através deste ponto de vista, podem-se citar três fases onde se pode atuar para reduzir seus custos de produção, sendo: i) planejamento das operações mecanizadas; ii) seleção dos equipamentos necessários para conduzir determinada cultura e iii) gerenciamento destas operações no campo (Figura 8).

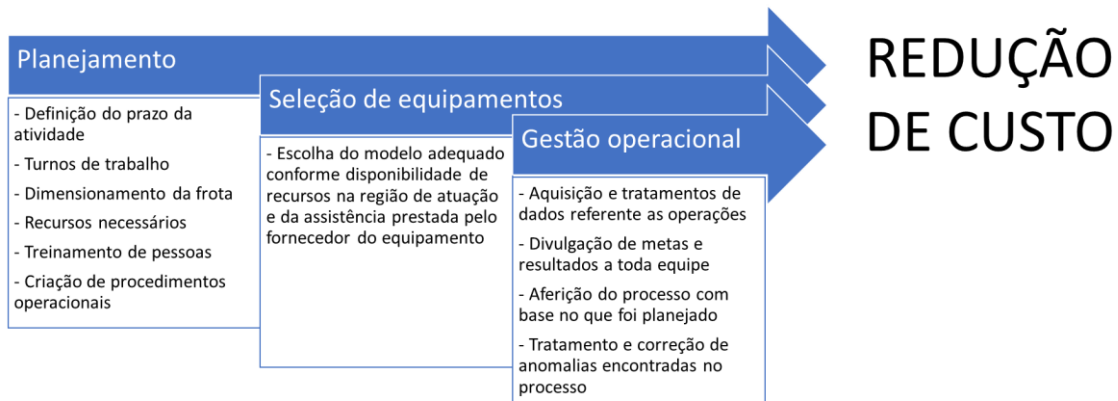


Figura 8 – Fases de atuação para redução de custo na mecanização de operações agrícolas.

Fonte: o Autor (2018).

No planejamento de operações mecanizadas é necessária a caracterização da área a ser trabalhada e o período de realização destas operações, para em seguida mensurar a quantidade de trabalho e a necessidade de equipamentos para cumprir o cronograma preestabelecido. Nesta fase, o dimensionamento da quantidade de recursos é baseado em análise operacional e econômica dos resultados obtidos da propriedade ou empresa específica, levando em consideração as particularidades de cada unidade produtora.

Segundo TOLEDO et al. (2010) as operações agrícolas devem ser planejadas de forma racional a fim de se obter uma maior rentabilidade no campo. O conhecimento dos parâmetros de desempenho é uma importante ferramenta para a tomada de decisões e permite o melhor gerenciamento das operações mecanizadas. Dessa forma, o desempenho operacional de uma máquina refere-se a um complexo conjunto de informações que definem seus atributos, quando são executadas operações sob determinadas condições (CUNHA et al., 2016).

A aquisição de dados referente as operações de máquinas a nível de campo, pode ser obtida através do registro de boletim diário de operação (BDO), onde este é preenchido manualmente pelo operador, ou automaticamente via o uso de sensores eletrônicos que realizam a leitura e armazenam estas informações em cartões de memória, podendo enviar via rádio ou GPRS para uma central de dados.

CASTELLI e MAZZETTO (1996) desenvolveram um sistema que realiza o registro automático dos dados de campo, permitindo dispor de informações apropriadas para o planejamento e gerenciamento estratégico, de todas as atividades e recursos da propriedade.

MAZZETTO e LANDONIO (1999) desenvolveram um sistema que caracteriza a posição do trator no campo usando GPS, determinando, também, velocidade de deslocamento, consumo de combustível, rotação do motor e a identificação do operador. Os dados processados são armazenados no trator e transferidos a um computador central através de cartão para o armazenamento de dados. SILVEIRA et al. (2005) desenvolveu um sistema de aquisição automática de dados projetados para o levantamento de informações de campo para determinação da posição do veículo através de sistema de posicionamento global (GPS), juntamente com o consumo de combustível, a rotação do motor e a velocidade de deslocamento (Figura 9).

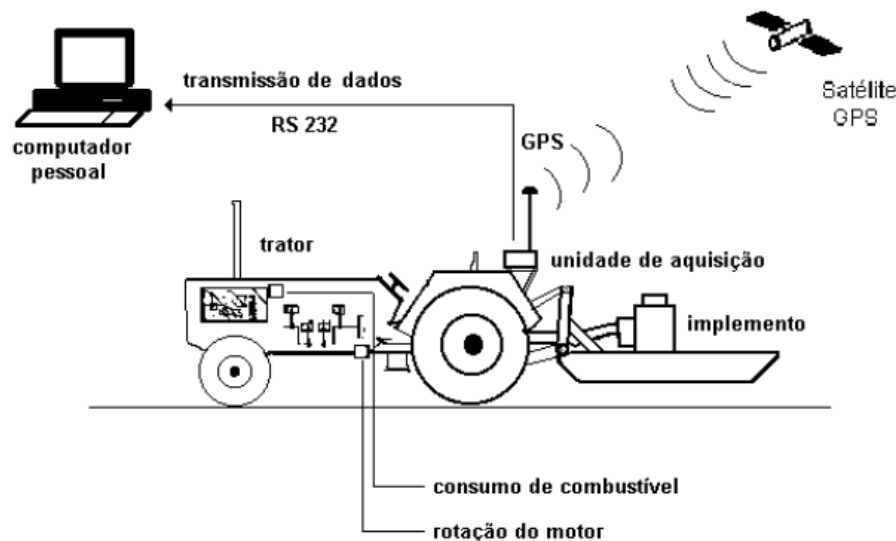


Figura 9 – Diagrama geral do sistema automático de aquisição de dados.

Fonte: SILVEIRA et al. (2005).

SILVEIRA et al. (2001) realizaram experimentos estáticos, estudando os parâmetros de identificação do trator no campo, a fim de determinar velocidade de deslocamento, consumo de combustível e rotação do motor.

A colheita mecanizada da cana-de-açúcar envolve uma grande quantidade de recursos mecanizados e pessoas, sendo necessária a criação de indicadores com as respectivas metas, para aferição do processo. Os resultados obtidos abaixo das metas preestabelecidas devem ser tratados de forma imediata, dado o impacto da baixa eficiência na redução da capacidade operacional da máquina com conseqüente aumento dos custos de produção. Neste contexto, a aquisição de dados automática com transmissão da informação em tempo real, permite que a

tomada de decisão seja feita de forma mais rápida, munindo o agricultor de informações para o gerenciamento das operações de campo.

Para aferir a eficiência de frota na colheita mecanizada há três indicadores principais, que são: i) eficiência global de colhedoras, que analisa o percentual de tempo trabalhado em relação ao tempo total; ii) eficiência de disponibilidade mecânica de colhedoras, que mede o percentual de tempo em que a máquina está disponível para operação sem que haja problemas mecânicos, hidráulicos ou elétricos que impeçam o seu funcionamento; e iii) eficiência operacional de colhedoras, que corresponde ao percentual de tempo trabalhado em relação ao tempo disponível da máquina, descontando os tempos de parada por manutenção e climática.

A eficiência global permite analisar o processo como um todo, enquanto as eficiências de disponibilidade e operacional visam mensurar o desempenho de cada área específica: manutenção e operação, respectivamente. Segundo BANCHI et al. (2012 b), os principais motivos de parada de colhedoras, que interferem na eficiência global, são os tempos parados por manutenção, administração e condições climáticas. No caso da manutenção, os itens manutenção e aguardando manutenção, respondem por 80% do tempo total de parada da máquina por problemas mecânicos.

Segundo BANCHI et al. (2009), a eficiência de disponibilidade mecânica é um indicador do desempenho da área de manutenção, porque fornece o percentual de tempo, em um determinado período, em que um equipamento está disponível para a área operacional. Este indicador pode ser representado como uma função decrescente, que varia de acordo com o tempo de uso do equipamento. BANCHI et al. (2009) ainda destacam que os fatores que influenciam na eficiência de disponibilidade mecânica são:

- Idade da frota (período de uso)
- Eficiência de atendimento mecânico, isto é, capacidade de a empresa efetuar o serviço com menos tempo de espera na manutenção, os principais tempos de parada são: falta de peças ou mecânicos, período alongado para retirar as peças do almoxarifado ou tempo para início dos serviços (transporte dos mecânicos para o atendimento em campo, retirada dos equipamentos na oficina, ou ainda para iniciar-se a manutenção na própria oficina)
- Otimização nos pontos de manutenção: ferramental adequado, recepção e análises rápidas, dimensionamento adequado de mecânicos
- Criação ou otimização correta de pit stop (oficina de serviços rápidos)

Através do acompanhamento da eficiência operacional, identifica-se oportunidades de melhoria no aproveitamento do tempo disponível para operação, onde são retirados da análise

os tempos de manutenção e condições climáticas, os quais não podem ser interferidos pela equipe de operação.

Na gestão da colheita mecanizada, o principal fator que pode ser modificado em tempo real é o aproveitamento do tempo. Ou seja, em áreas de baixa produtividade agrícola ou qualquer outra condição adversa para o desempenho de máquinas, o aproveitamento do tempo é o fator principal a ser trabalhado.

BANCHI et al. (2012 b) observou que os principais motivos de parada de colhedoras de cana de oito usinas foram: manutenção (35,84%), condições climáticas (20,44%) e aguardando transbordo (15,68%), conforme a Figura 10. Em relação a perda de tempo para manutenção, eles observaram que é preciso fazer ajustes nas máquinas no início da operação, deve-se ter componentes de reserva para substituição de imediato visando evitar a perda de tempo para comprar e/ou buscar determinado item, há algumas usinas que aumentam o tanque de combustível para reduzir o tempo de parada por abastecimento e os técnicos de manutenção devem ser treinados/qualificados. Quanto a falta de transbordo, eles consideram que o dimensionamento adequado do número de transbordos por máquina, bem como a melhoria na comunicação, pode contribuir para a redução dos tempos parados.

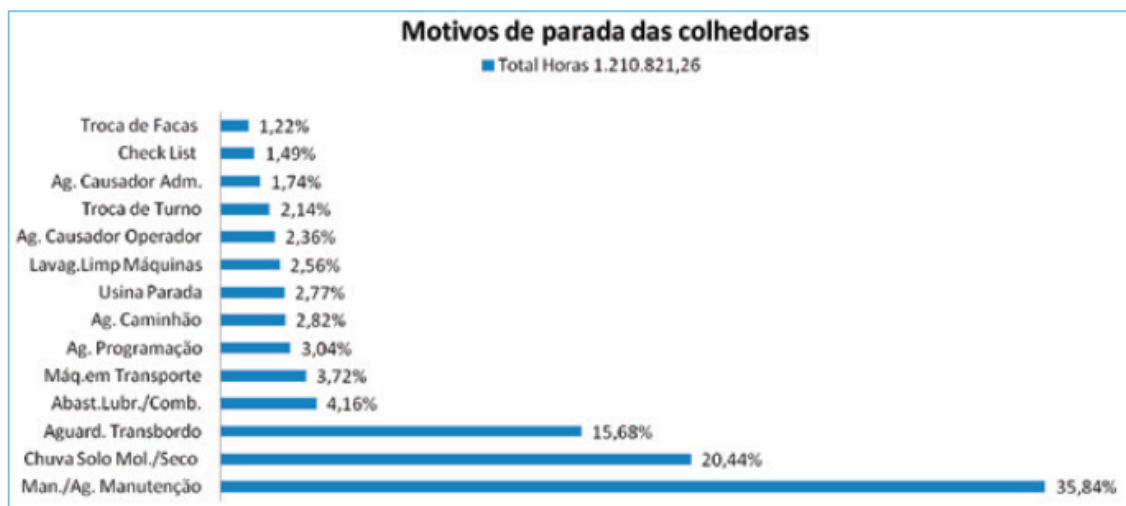


Figura 10 – Motivos de parada das colhedoras de cana-de-açúcar de oito indústrias de produção de açúcar e etanol do Sudeste brasileiro.

Fonte: BANCHI et al. (2012 b).

Segundo RAMOS et al. (2016 a), a colheita mecanizada em usinas é influenciada por diversos fatores que reduzem a sua eficiência, podendo perder até 50% do tempo em

interrupções como trocas de turno, paradas para manutenções, falta de caminhões para transporte, mudança de talhão, etc.

FARÍAS et al. (2016), analisaram os tempos e movimentos de colhedoras de cana-de-açúcar no México e destacaram que a má organização das atividades impactou no aproveitamento do tempo das colhedoras, chegando a 18% de tempo parado por falta de caminhões para transporte.

3 ARTIGO A: DETERMINAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE FATORES QUE INFLUENCIAM A CAPACIDADE OPERACIONAL DE COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

Resumo: Diversos trabalhos já foram realizados para determinação da capacidade teórica e efetiva de colhedoras de cana-de-açúcar. Entretanto em condições de campo, há variáveis que interferem no processo de produção que, em geral, não são considerados, mas que afetam a produtividade das máquinas. O objetivo deste trabalho foi analisar as correlações entre a capacidade operacional de colhedoras de cana-de-açúcar com o tamanho da propriedade, a produtividade do canavial, a eficiência de disponibilidade mecânica das colhedoras, o tempo perdido durante a operação e o tempo produtivo, para elaboração de modelos que estimem a capacidade operacional destas máquinas sob diferentes condições de trabalho. Foram coletados dados de colheita de 41 propriedades agrícolas com diferentes tamanhos e produtividades de canavial, perfazendo um total de 412.207 toneladas de cana-de-açúcar colhidas por oito colhedoras. Constatou-se que o tamanho da propriedade foi a variável que, isoladamente, melhor influencia a capacidade operacional destas máquinas com correlação positiva e forte.

Palavras-chave: colheita mecanizada, eficiência, mecanização agrícola.

3.2 INTRODUÇÃO

O Estado de São Paulo é o maior produtor de cana-de-açúcar do Brasil, onde foram colhidos 4,77 milhões de hectares com 369,3 milhões de toneladas de cana-de-açúcar na safra 2016/2017 (CONAB, 2018). Na safra 2013/14 84,8% da cana colhida foi mecanizada, onde este percentual variou de acordo com a região, chegando a 99,3% na regional de Andradina (IEA, 2016).

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 por estas variações, destaca-se a capacidade de colheita ou a capacidade de campo (RAMOS et al., 2016 a). Além das características da cultura e da área, BANCHI et al. (2012 a) observou que há queda na capacidade operacional de colhedoras de cana-de-açúcar conforme o tempo de utilização (vida) da máquina aumenta. Esta redução na capacidade de colheita em função da vida do equipamento pode estar associada a menor eficiência de disponibilidade mecânica deste, visto que a disponibilidade mecânica é representada por uma função matemática decrescente que varia de acordo com o tempo de uso dos equipamentos (BANCHI et al., 2009).

O planejamento do plantio também pode interferir na capacidade de trabalho da máquina, pois segundo RAMOS et al. (2016 a), o dimensionamento dos talhões tem influência na eficiência, onde quanto maior o comprimento do talhão, maior a capacidade de colheita da máquina. Ou seja, na implantação da cultura deve ser considerado fazer um layout de plantio onde seja obtido o maior comprimento de linhas possíveis, resguardando os carregadores para escoamento da produção. Neste sentido, NEUNGMATCHA & SETHAMAN (2015) desenvolveram um programa matemático para determinação do sentido das linhas de cana visando a redução de tempos perdidos e aumento da eficiência de colhedoras de cana.

Segundo SANTOS et al. (2014), no processo da colheita mecanizada da cana-de-açúcar, a colhedora é responsável pela maior parcela deste custo. Neste contexto, estudos sobre máquinas agrícolas e a mecanização da cultura da cana-de-açúcar são primordiais para melhorar o rendimento das culturas, as operações agrícolas, além de reduzir os custos (PELOIA et al, 2010).

O objetivo deste trabalho foi analisar as correlações entre a capacidade operacional de colhedoras de cana-de-açúcar com o tamanho da propriedade, a produtividade do canavial, a eficiência de disponibilidade mecânica das colhedoras, o tempo perdido durante a operação e

o tempo produtivo, para elaboração de modelos que estimem a capacidade operacional destas máquinas sob diferentes condições de trabalho.

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados foram coletados na Usina Caeté – Unidade Paulicéia, do Grupo Carlos Lyra, localizada no município de Paulicéia-SP, durante o período de abril a agosto de 2015, onde foram colhidas 41 propriedades agrícolas com diferentes tamanhos e produtividades do canavial, perfazendo um total de 412.207 toneladas de cana-de-açúcar colhidas por oito colhedoras. O espaçamento do canavial foi de 0,9 x 1,5 m, denominado de duplo alternado, onde a colhedora colhe duas linhas de cana ao mesmo tempo.

Após a coleta, os dados foram organizados em planilha Excel e as variáveis foram calculadas, conforme a Tabela 1. BRAMUCCI & SEIXAS (2002) destacam que o uso desse tipo de informação pode ter ausência de fatores que podem interferir na operação das máquinas e que não estão relacionados nos bancos de dados. Entre estes podem ser citados: o turno de trabalho, pequenos problemas mecânicos que reduzem a capacidade de produção da máquina, mas não a impede de operar, entre outros.

Tabela 1. Identificação das variáveis.

Variáveis	Sigla	Unid.	Descrição
Capacidade Operacional	COd	t.dia ⁻¹	Quantidade de cana colhida por máquina por dia.
Área da propriedade	ÁREA	hectare	Área física disponível para colheita.
Produtividade agrícola	TCH	t.ha ⁻¹	Toneladas de cana por hectare.
Disponibilidade mecânica	DM	%	Percentual de tempo no qual a máquina está disponível para operação.
Tempo perdido durante a operação	HPR	%	Percentual de tempo perdido durante a operação, incluindo manutenção, manobra, falta de transbordo ou caminhão.
Tempo produtivo	HPT	%	Percentual de tempo em que a máquina está efetivamente colhendo cana.

Em seguida foi realizado um estudo quantitativo para identificar e mensurar as correlações, apresentado em forma de matriz de correlação. Foram escolhidas as variáveis independentes com maior coeficiente de correlação, visando a elaboração de modelos de regressão que previssem a capacidade operacional de colhedoras de cana-de-açúcar em função dos fatores selecionados. Para fazer esta análise foi utilizado o coeficiente de correlação de produtos de momentos de Pearson, chamado de *r* (ZIMMERMANN, 2014).

As variáveis que apresentaram maiores coeficientes de correlação foram confrontadas com a capacidade operacional por dia e por hora. Foram realizados estudos de suposições e análises de variância através do software R, onde foram adotados os modelos de regressão linear com maior significância. Os gráficos foram elaborados no software Microsoft Excel 2010.

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.4.1 Análise de correlação

A Tabela 2 apresenta a estatística descritiva dos dados em estudo. Nesta, observa-se que o fator com menor coeficiente de variação foi de 8,51% para a eficiência de disponibilidade mecânica das colhedoras, enquanto o maior foi para o tamanho da propriedade agrícola com 108,24%. A produtividade do canavial variou de 25,73 a 133,83 Mg ha⁻¹, com média aritmética de 84,14 Mg ha⁻¹, sendo superior à média do Estado de São Paulo e do Brasil na safra 2016/17, que foram de 77,50 e 72,62 Mg ha⁻¹, respectivamente (CONAB, 2017). O percentual de tempo perdido variou de 46 a 84% com coeficiente de variação de 11,11%. Esta ineficiência está associada a fatores climáticos que impeçam a execução da operação de colheita, a características da área, como por exemplo o comprimento das linhas de cana conforme observado por ZAMUNÉR FILHO (2015) e a falta de recursos como por exemplo transbordos e/ou caminhões canavieiros FARIAS (2015). O percentual de tempo produtivo variou de 16 a 39% com coeficiente de variação de 19,53%.

Tabela 2. Análise da estatística descritiva do banco de dados referente a colheita mecanizada de 412.207 toneladas de cana-de-açúcar.

Indicador	Cod ¹	TCH ²	AREA ³	DM ⁴	HPR ⁵	HPT ⁶
Média	281,48	84,14	115,13	74,70	64,89	30,35
Erro padrão	18,80	3,89	19,46	0,99	1,13	0,93
Mediana	289,15	83,56	76,09	75,00	63,00	31,00
Modo	#N/D	#N/D	#N/D	77,00	63,00	37,00
Desvio padrão	120,36	24,88	124,61	6,36	7,21	5,93
Variância da amostra	14.485,97	619,04	15.527,68	40,42	51,98	35,14
Curtose	-0,68	0,31	2,49	0,51	1,11	-0,38
Assimetria	-0,35	-0,07	1,58	-0,31	0,05	-0,54
Intervalo	460,63	108,10	533,81	30,50	38,00	23,00
Mínimo	29,17	25,73	1,66	58,50	46,00	16,00
Máximo	489,80	133,83	535,47	89,00	84,00	39,00
Coeficiente de variação	42,76	29,57	108,24	8,51	11,11	19,53

Legenda: ¹ - Capacidade Operacional (Mg dia⁻¹); ² Produtividade agrícola do canavial (Mg ha⁻¹); ³ Tamanho da propriedade agrícola (ha); ⁴ Disponibilidade mecânica (%); ⁵ Tempo perdido durante a operação (%); ⁶ Tempo produtivo (%).

Na Tabela 3 os resultados da matriz de correlação sugerem que a capacidade operacional em Mg dia^{-1} possui correlação forte e positiva com o tamanho da propriedade agrícola com $r = 0,72$. Enquanto a produtividade do canavial e a disponibilidade mecânica das colhedoras obtiveram coeficientes positivos e com pouca representatividade, com valores de 0,23 e 0,18, respectivamente. A partir desta matriz observa-se que uma máquina com o máximo de disponibilidade mecânica em uma área de alta produtividade agrícola, só expressará o máximo da sua capacidade operacional em Mg dia^{-1} , se esta área tiver tamanho suficiente para uma boa sistematização, onde obtenha-se comprimentos de linha que proporcionem um bom desempenho da máquina com poucas interrupções na operação para manobras ou mudança de área, conforme estudado por RAMOS et al. (2016 a).

Neste estudo, os percentuais de tempo produtivo e perdido apresentaram correlação negativa fraca e foram desconsiderados pela baixa representatividade dos seus coeficientes (Tabela 3). Todavia FARIAS et al. (2016) enfatizou que os tempos perdidos afetam consideravelmente a capacidade produtiva da máquina. Embora estes tempos não tenham mostrado influência estatística nesta análise de correlação, esta avaliação não sugere que os mesmos não sejam importantes, apenas mensura-se que há outros fatores que foram mais influentes no desempenho das colhedoras nas condições a qual foram avaliadas.

Tabela 3. Matriz de correlação entre a capacidade operacional de colhedoras de cana-de-açúcar com variáveis do processo.

	COd¹	ÁREA²	TCH³	DMP⁴	HPR⁵	HPT⁶
COd¹	1					
ÁREA²	0,72	1				
TCH³	0,23	0,12	1			
DISP⁴	0,18	-0,13	-0,04	1		
PERD⁵	-0,17	-0,15	0,16	-0,37	1	
PROD⁶	-0,06	-0,19	-0,23	0,16	-0,16	1

Legenda: ¹ - Capacidade Operacional (Mg dia^{-1}); ² Produtividade agrícola do canavial (Mg ha^{-1}); ³ Tamanho da propriedade agrícola (ha); ⁴ Disponibilidade mecânica (%); ⁵ Tempo perdido durante a operação (%); ⁶ Tempo produtivo (%).

3.4.2 Análise de regressão

A capacidade operacional aumenta de acordo com o tamanho da propriedade agrícola, onde os resultados obtidos são representados por uma função logarítmica com $R^2 = 0,81$, indicando correlação positiva forte (Figura 12). O ajuste da função logarítmica mostra que para um aumento de 100 para 200 ha, ocorre um incremento de 91% na capacidade operacional da colhedora, enquanto que um aumento de 400 para 500 ha, o aumento é de 5%. Esta relação do desempenho da colhedora com o tamanho da área pode estar associada a dois fatores: i) a perda de tempo para mudar uma estrutura de colheita de uma fazenda para outra, que pode ser agravado pela distância entre as propriedades; ii) ao comprimento das linhas de colheita conforme ZAMUNÉR FILHO (2015) e RAMOS et al. (2016 a), haja visto que propriedades maiores proporcionem condições para o plantio de linhas de cana com maiores comprimentos.

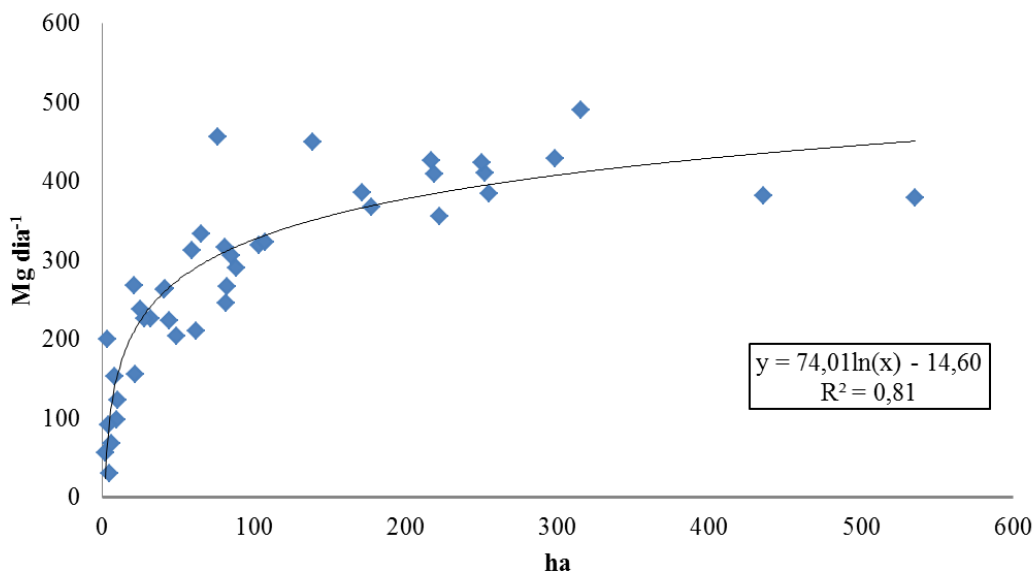


Figura 12. Capacidade Operacional de oito colhedoras de cana-de-açúcar (Mg dia^{-1}) em função do tamanho da propriedade agrícola na Safra 2015, na Usina Caeté – Unidade Paulicéia.

Considerando o impacto do tamanho da propriedade na capacidade operacional de colhedoras de cana, a seleção de maiores áreas para o cultivo da cultura da cana-de-açúcar é imprescindível para otimização dos recursos mecanizados, pois impactam no dimensionamento da quantidade de máquinas necessárias para realização da colheita, com

reflexo no custo de produção. Segundo SANTOS (2014), há redução do custo da colheita mecanizada a medida que há aumento na área de cultivo.

Para fins de planejamento, a criação de blocos de colheita onde são selecionados talhões próximos, otimiza o desempenho das máquinas reduzindo os tempos perdidos com mudança de uma área para outra.

O tamanho da propriedade reflete nas dimensões da área e nos comprimentos das linhas de cana, conseqüentemente. Portanto, a orientação destas linhas passa a definir o rendimento e o custo operacional das colhedoras de cana e do custo de produção do canavial. Pelos aspectos discutidos anteriormente, este fator tende a exercer uma influência importante no gestor da lavoura, levando-o a tomar decisões fundamentais que afetam o custo final de produção, mas que também podem vulnerabilizar o sistema de produção adotado, caso não se observe outros fatores envolvidos, como topografia e risco de erosão, por exemplo.

3.5 CONCLUSÕES

O tamanho da propriedade é a variável que mais afeta a capacidade operacional das colhedoras de cana.

A relação entre o desempenho da colhedora com o tamanho da área pode estar associada a dois fatores: i) a perda de tempo para mudar uma estrutura de colheita de uma fazenda para outra, que pode ser agravado pela distância entre as propriedades; ii) ao comprimento das linhas de colheita.

O planejamento do sentido e do comprimento das linhas de plantio são fundamentais para obtenção de maiores desempenhos das colhedoras de cana-de-açúcar.

4 ARTIGO B: ANÁLISE DOS TEMPOS E MOVIMENTOS PARA AUXILIAR NA GESTÃO DE SISTEMAS DE COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR

Resumo: A colhedora representa a maior parcela do custo da colheita mecanizada direta de cana-de-açúcar. O aumento da eficiência operacional pode contribuir significativamente para a redução dos seus custos, decorrente da diluição dos seus gastos pela maior quantidade de produto colhido. O objetivo deste trabalho foi analisar as eficiências: global, disponibilidade mecânica e operacional de colhedoras de cana-de-açúcar visando identificar pontos de melhoria na gestão da colheita mecanizada. Foram medidos, através de computador de bordo, os tempos e movimentos de oito colhedoras do período de abril a agosto de 2015, totalizando 29.346,3 horas. Em seguida estes dados foram utilizados para o cálculo das eficiências. De acordo com os resultados, as colhedoras apresentaram baixa eficiência operacional e global com 44,4% e 27,9% respectivamente. A medição dos tempos e movimentos em sistemas de colheita mecanizada podem auxiliar na identificação dos principais fatores de ineficiências, gerando informação suficiente para tomada de decisão usinas produtoras de açúcar e etanol.

Palavras-chave: mecanização agrícola, colhedora de cana-de-açúcar, manutenção.

4.2 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é plantada em mais de 90 países, somando um total de 26 milhões de hectares cultivados. O Brasil é o maior produtor do mundo com 9 milhões de hectares cultivados. O Estado de São Paulo, maior produtor de cana do Brasil, tem 85% do seu corte sendo realizado por máquinas colhedoras.

Segundo BANCHI et al. (2012 b), a utilização de máquinas agrícolas é essencial para realização de operações envolvidas no processo de colheita da cana-de-açúcar, visto que esses equipamentos não só agilizam a execução dos serviços como reduzem despesas. Contudo, seu custo é expressivo, constituindo-se de uma parcela significativa, que, por si só, induz à necessidade de gestão técnica e econômica.

Estima-se que as usinas do Brasil terão uma frota de aproximadamente 10,2 mil máquinas para o corte de cana-de-açúcar até 2020 (ELIAS & PINTO, 2008). Para a administração de frota se faz necessário o uso de sistemas informatizados para captação e processamento de dados, gerando indicadores para mensurar o desempenho de equipamentos de forma individual e conjunta.

Os indicadores de custo e desempenho, durante o planejamento possibilitam a fixação de metas físicas e monetárias, globais e setoriais, que permeiam toda a organização da empresa. No caso do acompanhamento, os indicadores fornecem elementos fundamentais para análise crítica e retroanálise do desempenho e com relação ao controle, os indicadores constituem valiosas ferramentas para o planejamento de atividades e reprogramação de metas (CASTELLO BRANCO, 1998).

Segundo SINK & TUTTLE (1993), é difícil gerenciar eficazmente algo que não é medido corretamente, enquanto RUMMLER & BRANCHE (1994) afirmam que a medição é o instrumento central do gerenciamento e aperfeiçoamento do desempenho. FARÍAS et al. (2016) mediu o aproveitamento dos tempos de colhedoras de cana e observou que estas máquinas podem apresentar baixo aproveitamento dos tempos em função de causas externas a elas, como por exemplo a falta de transbordos.

O objetivo deste trabalho foi analisar as eficiências: global, de disponibilidade mecânica e operacional de colhedoras de cana-de-açúcar visando identificar pontos de melhoria na gestão da colheita mecanizada.

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram medidos, através de computador de bordo, os tempos realizados por oito colhedoras da Usina Caeté – Unidade Paulicéia, do Grupo Carlos Lyra, localizada no município de Paulicéia-SP, durante o período de abril a agosto de 2015, totalizando 29.346,3 horas. A Tabela 4 apresenta a descrição das máquinas avaliadas.

Tabela 4. Descrição das colhedoras avaliadas.

Máquina	Marca	Modelo	Potência (cv)	Ano Fabricação	Rodado
1	John Deere	JD 3520*	342	2010	Esteira
2	John Deere	JD 3520*	342	2010	Esteira
3	John Deere	JD 3520*	342	2010	Esteira
4	John Deere	JD 3520*	342	2012	Esteira
5	John Deere	JD 3520*	342	2012	Esteira
6	John Deere	JD 3522	380	2014	Esteira
7	John Deere	JD 3522	380	2014	Esteira
8	John Deere	JD 3522	380	2014	Esteira

* Máquinas adaptadas para colheita de espaçamento duplo alternado de 0,9 x 1,5 m.

Após a coleta, os dados foram organizados em planilha eletrônica onde foram classificados em: horas planejadas (HPL), total de horas planejadas do equipamento para realização de determinada atividade; horas paradas por condições climáticas (HC), quando a máquina está parada por chuva ou solo úmido; horas paradas por manutenção (HM), quando o equipamento está parado para reparos mecânicos, hidráulicos, elétricos ou aguardando manutenção; horas perdidas durante a operação (HPR), seja por manobra, mudança de área, motor ocioso, refeição do operador, troca de turno, etc; horas produtivas (HPT), tempo em que a máquina está efetivamente colhendo cana; tempo total disponível (TD), subtraindo as horas de manutenção e clima.

4.3.1 Cálculo das eficiências

4.3.1.1 Eficiência global

Eficiência global ou tempo produtivo é representado pelo percentual de tempo em que a máquina está efetivamente colhendo cana em relação ao tempo total, conforme a equação 1.

$$EG = \frac{HPT}{HPL} \times 100 \quad (1)$$

EG = Eficiência global (%)

HPT = horas produtivas (h)

HPL = horas planejadas (h)

4.3.1.2 Eficiência de disponibilidade mecânica

É o percentual do tempo em que a máquina está disponível para a operação, sem apresentar problemas mecânicos, elétricos ou hidráulicos.

$$DM = 1 - \frac{HM}{HPL} \times 100 \quad (2)$$

DM = Eficiência de disponibilidade mecânica (%)

HM = horas da máquina parada por manutenção (h)

HPL = horas planejadas (h)

4.3.1.3 Eficiência operacional

Representa a capacidade da conversão das horas disponíveis para a operação em horas produtivas, para avaliação da operação são desconsideradas as horas de manutenção e climáticas.

$$EO = \frac{HPT}{TD} \times 100 \quad (2)$$

EO = Eficiência operacional (%)

HPT = horas produtivas (h)

TD = horas disponíveis para operação (h)

4.4 Análise estatística

Os resultados das eficiências global, disponibilidade mecânica e operacional foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade através do software R.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias das horas e das eficiências por máquina estão ilustradas na Tabela 5. Não houve diferença estatística da eficiência global entre as colhedoras avaliadas, com média de 27,9% de aproveitamento do tempo total disponível, valor maior que 25,1% encontrado por BANCHI et al. (2012 b) para 498 colhedoras de oito usinas. FARÍAS et al. (2016) encontraram 46,3% de eficiência global e destacou que o valor é baixo, sendo resultado de causas externas as colhedoras, como por exemplo falta de transbordo e/ou caminhão para transporte da cana. Quanto a disponibilidade mecânica a média foi de 74,6%, ficando próximo aos 75,9% aferido por BANCHI et al. (2012 b). As máquinas 1, 4, 5, 6, 7 e 8 apresentaram maior disponibilidade mecânica, que pode variar de acordo com o atendimento da equipe de manutenção ou disponibilidade de recursos. A eficiência operacional média foi de 44,4%, sendo menor para a máquina 2 apresentou com 27,8%. Houve diferença estatística entre as máquinas, indicando a variabilidade na qualidade operacional entre os operadores.

Tabela 5. Valores totais de horas e eficiências por colhedora de abril a agosto de 2015.

Colhedora	HPL	HC	HM	HPR	HPT	TD	EG	DM	EO
1	3.671,0	368,0	1.029,0	1.334,3	939,7	2.274,0	25,6 a	72,0 ab	41,3 bcd
2	3.671,5	319,4	1.166,2	1.578,4	607,5	2.185,9	16,5 a	68,2 b	27,8 d
3	3.671,4	466,9	1.052,1	1.297,8	854,6	2.152,4	23,3 a	71,3 b	39,7 bcd
4	3.671,5	428,5	901,7	1.393,9	947,4	2.341,3	25,8 a	75,4 ab	40,5 cd
5	3.671,5	486,4	1.217,6	1.030,5	937,0	1.967,5	25,5 a	66,8 ab	47,6 abc
6	3.670,5	448,3	801,6	1.149,2	1.271,4	2.420,6	34,6 a	78,2 a	52,5 ab
7	3.647,5	498,5	698,4	1.124,5	1.326,1	2.450,6	36,4 a	80,9 a	54,1 a
8	3.671,3	435,7	582,8	1.348,3	1.304,6	2.652,9	35,5 a	84,1 a	49,2 abc
Total	29.346,3	3.451,7	7.449,4	10.257,0	8.188,2	18.445,2	27,9	74,6	44,4

Colunas com médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

* Legenda: HPL = horas planejadas, HC = horas paradas por chuva ou solo úmido, HM = horas paradas por manutenção, HPR = horas perdidas, HPT = horas produtivas, TD = tempo disponível para operação, desconsiderando paradas por manutenção e clima, EG = eficiência global (%), DM = eficiência de disponibilidade mecânica (%) e EO = eficiência operacional (%).

A eficiência das máquinas pode ser aumentada através da redução dos tempos de parada, o que resultará no aumento do tempo disponível. Para isto, se faz necessário aferir os tempos e movimentos, identificando quais são os principais motivos da perda de tempo, para enfim definir o plano de ação a ser adotado para resolução do problema.

Conforme a Tabela 6, a principal causa de parada das colhedoras é a manutenção corretiva que representou 31,25% do tempo total do equipamento, resultado menor que os 35,80% encontrado por BANCHI et al. (2012 b). Segundo CECHIN (2000), para aumentar a eficiência das máquinas e equipamentos é necessário realizar periodicamente manutenções preventivas. O acompanhamento das máquinas no campo permite identificar quebras futuras, materiais de desgaste que precisam ser substituídos, otimizando os serviços de manutenção para redução do tempo de parada das máquinas. FARIAS et al. (2016), destacou que o maior tempo de manutenção de colhedoras de cana pode ocorrer pela disponibilidade limitada de técnicos para execução de serviços mecânicos.

A falta de transbordo representou 25,60% dos tempos perdidos (Tabela 6), valor superior aos 9,21% e 15,68% encontrado por CERVI et al. (2015) e BANCHI et al. (2012 b). Esta ineficiência pode ser atribuída a quantidade insuficiente de transbordos ou caminhões canavieiros, tendo em vista que na falta de caminhão canavieiro, o transbordo fica parado no pátio de transferência aguardando para descarregar. Além disso, a capacidade de carga do transbordo e a distância do pátio de transferência de carga, são dois fatores que podem limitar a produção dos transbordos, pois segundo CERVI et al. (2015), a capacidade operacional de produção do transbordo é uma função da capacidade de carga total do transbordo, do tempo total do ciclo do transbordo e da eficiência de campo.

O deslocamento interno da colhedora e as manobras no final da linha de cana, corresponderam a 8,54% e 7,87% do tempo total, respectivamente. Estes valores podem variar de acordo com a sistematização do plantio, considerando que, segundo RAMOS (2016 a), a diminuição do comprimento dos talhões provoca redução da eficiência (tempo em colheita efetiva), enquanto a porcentagem do tempo com manobras aumenta, isto ocorre basicamente pelo aumento da quantidade de manobras necessárias para realizar a operação.

Tabela 6. Principais tempos perdidos por oito colhedoras de cana-de-açúcar durante o período de abril a agosto de 2015.

Item	Horas	Participação (%)
Manutenção corretiva	5.532,58	31,25%
Aguardando transbordo	4.532,85	25,60%
Deslocamento interno	1.512,47	8,54%
Manobra	1.392,83	7,87%
Aguardando manutenção	932,80	5,27%
Sem apontamento	657,77	3,71%
Usina Parada	601,12	3,39%
Manutenção preventiva	527,49	2,98%
Abastecimento/lubrificação	456,50	2,58%
CB Desligado	290,84	1,64%
Troca de turno	287,76	1,63%
Mudança de frente	263,63	1,49%
Parada Programada	242,47	1,37%
Troca De Facas	149,62	0,85%
Refeicao	103,26	0,58%
Falta de Operador	94,13	0,53%
Tirando bucha	62,20	0,35%
Falta de Caminhao Pipa incendio	37,91	0,21%
Aguardando Servico	14,54	0,08%
Atolado	7,31	0,04%
QTO Banheiro	6,15	0,03%
Acidente	0,15	0,00%
Total Geral	17.706,36	100,00%

A Tabela 7 apresenta os valores médios das eficiências por ano de fabricação. Houve diferença estatística nos três indicadores avaliados, onde as máquinas 2014 (mais novas) apresentaram maior eficiência global, maior disponibilidade mecânica e maior eficiência operacional comparada aos equipamentos 2010 e 2012, isto pode ser atribuído a diferença de modelo das máquinas, haja visto que as máquinas 2014 possuem maior potência em relação as máquinas 2010 e 2012. Além disto BANCHI et al. (2009) observaram que há tendência de redução da eficiência de disponibilidade mecânica conforme aumenta o período de utilização da máquina. Maiores disponibilidades mecânicas proporcionam menores custos de operação, levando em consideração que tem mais tempo disponível e, portanto, tem maior capacidade de produção comparada a máquinas com menor eficiência de disponibilidade mecânica.

Tabela 7. Valores médios das eficiências global (EG), disponibilidade mecânica (DM) e eficiência operacional (EO) por ano de fabricação.

Ano	EG	DM	EO
Ano_2010	21,7 b	70,4 b	37,4 b
Ano_2012	25,6 b	71,3 ab	43,4 b
Ano_2014	35,5 a	81,2 a	52,3 a

Colunas com médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

4.6 CONCLUSÕES

As colhedoras apresentaram baixa eficiência operacional e global com 44,4% e 27,9% respectivamente. Onde os principais motivos de perda de eficiência foram os tempos perdidos com manutenção corretiva, falta de transbordos, deslocamento da máquina entre talhões e manobras no final da linha de cana.

A medição dos tempos e movimentos em sistemas de colheita mecanizada podem auxiliar na identificação dos principais fatores de ineficiências, gerando informação suficiente para tomada de decisão em usinas produtoras de açúcar e etanol.

5. COMENTÁRIOS FINAIS

Nas condições avaliadas, o tamanho da propriedade foi a variável que, isoladamente, melhor representou a capacidade operacional das colhedoras de cana, tanto em Mg dia^{-1} como Mg h^{-1} , com correlação positiva e forte, onde mais de 70% desta capacidade é explicada pelo tamanho da propriedade.

Embora o operador tenha grande influência sob o desempenho das máquinas, as condições sob as quais as mesmas são utilizadas determinam a sua capacidade operacional efetiva e, conseqüentemente, o seu custo de operação. Neste contexto, a gestão operacional das máquinas assume papel fundamental e deve proporcionar as melhores condições para otimização da frota, propiciando ou solicitando que se propicie:

- i) Rígido controle sobre a realização das manutenções preventivas recomendadas, visando minimizar as manutenções corretivas;
- ii) Capacitação continuada dos operadores e demais pessoas envolvidas na manutenção das máquinas, evitando desta forma a ocorrência de fatos que levem a manutenção corretiva;
- iii) Renovação das máquinas nos momentos adequados, reduzindo o emprego de equipamentos que apresentem menores disponibilidades mecânicas, menores produtividades e maiores custos de operação;
- iv) Sistematização da lavoura, definindo antecipadamente os talhões, os sentidos de sulcação visando criar um layout de plantio que tenha maiores comprimentos de linha de cana-de açúcar, definição dos carregadores que permitam melhor tráfego dos caminhões e transbordos. Além dos aspectos de rendimentos das colhedoras diretas, esta sistematização da lavoura deve, obrigatoriamente, atender aos princípios de conservação do solo e para isto é fundamental que os gestores das máquinas tenham grande interação com os demais setores técnicos do empreendimento, para definirem a hierarquia destes fatores, considerando as realidades locais.
- v) Planejamento do plantio e da colheita, para criar blocos de corte que são compostos por áreas próximas, visando a redução da perda de tempo com deslocamentos e transporte. Isto deve ser definido no planejamento da lavoura, para que dentro do bloco haja cana precoce, média e tardia, sempre que possível;

- vi) Dimensionamento adequado da quantidade de transbordos e caminhões canavieiros: para aproveitar o máximo do tempo disponível da máquina para a operação;
- vii) Dimensionamento adequado da estrutura de manutenção: através da definição das peças de reserva, a quantidade de caminhões oficinas, automóveis para apoio no campo e mão-de-obra especializada para a realização de manutenções preventivas, seja no campo ou na oficina.

A medição dos tempos e movimentos é fundamental para avaliação do desempenho da operação de colheita mecanizada direta. É através dela que serão identificados os principais motivos de parada de colhedoras de cana-de-açúcar, confrontando-se os resultados alcançados com o que foi planejado. A disponibilidade destes dados, com precisão e em tempo real, permite que os gestores tomem decisões no decorrer da operação, ajustando o planejamento, se necessário.

A integração de sistemas que monitoram os tempos e movimentos das máquinas e equipamentos e as condições de campo, como por exemplo: dados meteorológicos, linhas de tráfego, produtividade agrícola, imagens de satélites, entre outros, podem fornecer um volume de informações que subsidiem o gerenciamento da lavoura e da frota de máquinas. Estes dados podem ser utilizados em plataformas de inteligência artificial, que permitam tomadas de decisões que melhoram o desempenho das máquinas e diagnostiquem as variações de rendimentos obtidos na atividade. Porém, os diversos recursos colocados à disposição dos usuários e gestores de máquinas agrícolas, como a eletrônica embarcada e a telemetria são a parte menos onerosa do processo. O mais complexo e fundamental é o uso adequado destas informações, o que exige pessoal qualificado e valorizado para tal.

6 REFERÊNCIAS

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. **Revista Agrimotor**, São Paulo, n. 77, p. 42-45, 2012 a.

BANCHI, A. D.; LOPES, J. R.; DIMASE, M.; MARTINS, J. M. S. Eficiência global da operação de colheita – cultura da cana-de-açúcar. **Revista Agrimotor**, São Paulo, n. 76, p. 22-27, 2012 b.

BANCHI, A. D.; LOPES, J. R.; ROCCO, G. C. Estudo da eficiência de disponibilidade mecânica em frotas agrícolas. **Revista Agrimotor**, São Paulo, n. 47, p. 10-12, 2009.

BARNES, A. C. **The sugar cane**. 2. ed. London: Leonard Hill Books, 1974. 572 p.

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 em Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

BNDES/CGEE. Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: **BNDES**, 2008. 316 p.

BRAMUCCI, M.; SEIXAS, F. Quantification and determination of influency factors over harvesters productivity. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 62, p. 62-74, 2002.

CARDOSO, G. B. C. **Aplicação de dessecante na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) para colheita mecanizada**. 2011. 71 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior em Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

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

CARVALHO, L. de S. **Desempenho operacional de uma colhedora em cana crua na Região da Grande Dourados-MS**. 2009. 36 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Grande Dourados, Mato Grosso do Sul, 2009.

CASTELLI, G.; MAZZETTO, F. Automatic system for monitoring and recording farm field activities. In: International Conference on Computers in Agriculture. Michigan: **ASAE American Society of Agricultural Engineering**, Michigan, p. 548-556, 1996.

CASTELLO BRANCO, J. E. S. Indicadores da qualidade e Desempenho de Ferrovias (Carga e Passageiro). Rio de Janeiro: **Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários – ANTF**, 128p, 1998.

CENICAÑA. **Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colômbia**, Cali, v. 19, n. 1, p. 7-10. jan./abr. 1997.

CERVI, R. G.; ESPERANCINI, M. S. T.; SILVA, H. O. F.; ISLER, P. R.; OLIVEIRA, P. A. Avaliação do desempenho operacional da colheita e transbordo de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 30, n. 3, p. 232-241, 2015.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries históricas**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos>. Acesso em: 14 Jan. 2018.

CUNHA, J. P. B.; SILVA, F. M. S.; DIAS, R. E. B. A. Eficiência de campo em diferentes operações mecanizadas na cafeicultura. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 76 - 86, jan./mar. 2016.

DE LEON, M. J. **Avaliação de desempenho operacional de duas colhedoras em cana (*Saccharum spp.*) crua**. 2000. 112p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior em Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

DEMATTE, J. L. I. Cultura da cana-de-açúcar – Recuperação e manutenção da fertilidade dos solos. Informações agronômicas, **POTAFOS**, v.111, 2005.

ELIAS, A. I.; PINTO, R. S. de A. Potencial e desafios para a colheita mecanizada de cana no Brasil. In: **SEMINÁRIO DE MECANIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR**, Ribeirão Preto, Out. 2008.

FAO - Food and Agriculture Organization. **Statistics**. FAOSAT. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Acesso em: 14 Jan. 2018.

FARIAS, M. R. et al. Analysis Of The Mechanized Cutting Process Of Sugarcane: A case study. **Imperial Journal of Interdisciplinary Research**, Nova Deli, v. 2, n. 10, 2016.

FOLLE, S.; FRANZ, C. A. B. Trator agrícola: características e fundamentos para sua eleição. Planaltina: **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA**. 1990. 24p.

FUELLING, T. G.; HENKEL, C. R.; LEVERINGTON, K. C.; WEGENER, M. K. Sugar cane harvester performance. In: **Proceedings of the Queensland Society of Sugar Cane Technologists**, n. 45, p. 209-216, 1978.

FURLANI NETO, V. L. **Colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum ssp.*) avaliação em canaviais com e sem queima prévia**. 1995. 110 p. Tese (Doutorado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior em Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

FURLANI NETO, V. L.; RIPOLI, T. C. C.; VILLA NOVA, N. A. Avaliação do desempenho operacional de colhedora em canaviais com e sem queima prévia. **STAB**. Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba, v. 15, n. 2, p. 18-23, Nov./Dez. 1996.

GREEN, M.K.; STOUT, B.A.; SEARCY, S.W. Instrumentation package for monitoring tractor performance. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.28, n.2, p.346, 1985.

HENRY, R. J. Basic Information on the Sugarcane Plant. In: HENRY, R. J.; KOLE, C. Genetics, Genomics and Breeding of Crop Plants. **New Hampshire: Science Publishers**, 2010. p. 1-7.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA – IEA. **Mecanização na Colheita da Cana-de-açúcar Atinge 84,8% na Safra Agrícola 2013/14**. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=13601>>. Acesso em: Mai. 2016.

MAEKAWA, E. S.; MILAN, M. Métodos estatísticos de regressão para estimar o custo da colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA**, 2015, São Pedro-SP. Anais... Disponível em: <http://publicacoes.conbea.org.br/anais/busca/?pagina=1&ano=&categoria=&opcoes=M%C3%89TODOS+ESTAT%C3%8DSTICOS+DE+REGRESS%C3%83O+PARA+ESTIMAR+O+CUSTO+DA+COLHEITA+MECANIZADA+DE+CANA-DE-A%C3%87%C3%9ACAR>. Acesso em: 04 Jul. 2016.

MAZZETTO, F.; LANDONIO, S. Hardware and software developments applied to a system for the automatic organisation of computerised notebooks. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 2., 1999, Odense. Anais... Odense: **SCI Agriculture and Environment Group**, 1999. v.1, p.53-54.

MAZZONETTO, A. L. **Colheita Integral de cana (*Saccharum spp.*) crua, análise de desempenho operacional**. 2004. 88p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior em Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

MEYER, E. The performance of machinery for mechanical harvesting and loading of sugarcane. In: South Africa: **South African Sugar Association Experiment Station**, 2001. p. 43-45.

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

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-PB, v. 12, n. 5, p. 546-552, 2008.

MILAN, M. **Gestão sistêmica e planejamento de máquinas agrícolas**. 2004. 100 f. Tese (Livre-Docência em Mecânica e Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

MOLINA JUNIOR, W. F. **Proposta de metodologia descritiva para ensaio padronizado de colhedoras de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 2000. 140p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

MORAIS, L. K.; AGUIAR, M. S.; SILVA, P. A.; CÂMARA, T. M. M.; CURSI, D. E.; FERNANDES JUNIOR, A. R.; CHAPOLA, R. G.; CARNEIRO, M. S.; BESPALHOK FILHO, J. C. Breeding of Sugarcane, In: CRUZ, V. M. V.; DIERIG, D. A. (Ed.). Industrial Crops: breeding for bioenergy and bioproducts. New York, USA: **Springer**, 2015. 444 p. n. 1, p. 7-10. jan./abr. 1997.

NAGAOKA, A. K; LANÇAS, K. P; NETO, P. C.; LOPES, A; GUERRA, S. P. S. Resistência do solo à penetração, após o tráfego com dois tipos de pneus utilizando-se um equipamento para ensaio dinâmico. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.387-393, 2003.

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

NEUNGMATCHA, W.; SETHANAN, K. Optimal mechanical harvester route planning for sugarcane field operations using particle swarm optimization. **KKU ENGINEERING JOURNAL**, v.42, n.2, p.125-133, abr/jun. 2015.

NEVES, J. L. M. **Avaliação de perdas invisíveis em colhedoras de cana-de-açúcar picada e alternativas para redução**. 2003. 223p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

OLIVEIRA, M. W. D.; BARBOSA, M. H. P.; DAMASCENO, L. C.; MENDES, C. M. **Matéria seca e nutrientes na palhada de dez variedades de cana-de-açúcar**. STAB, v. 21, n. 2002, p. 30-31, 2003.

PELOIA, P. R.; MILAN, M.; ROMANELLI, T. L. Capacity of the mechanical harvesting process of sugar cane billets. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 6, p. 619-623, 2010.

PRADO, A. de A. **Produção e custos de transporte: um estudo de caso da Usina da Barra, Barra Bonita-SP**. 2002. 66p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2002.

RAMOS, C. R. G. **Desempenho operacional da colheita mecanizada de cana-de-açúcar (Saccharum spp.) em função da velocidade de deslocamento e rotação do motor da colhedora**. 2013. 72p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2013.

RAMOS, C. R. G.; LANÇAS, K. P.; SANTOS, R. S.; MARTINS, M. B. ; SANDI, J. Eficiência e demanda energética de uma colhedora de cana-de-açúcar em talhões de diferentes comprimentos. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 31, n. 2, p. 121-128, 2016 a.

RAMOS, C. R. G.; LANÇAS, K. P.; LYRA, G. A. Fuel consumption of a sugarcane harvester in different operational settings. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 6, p. 588-592, 2016 b.

RIPOLI, M. L. C. **Ensaio de dois sistemas de obtenção de biomassa de cana-de-açúcar (Saccharum spp.) para fins energéticos**. 2004. 213p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2004.

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

RIPOLI, T. C. C.; VILLA NOVA, N. A. Colheita mecanizada de cana-de-açúcar: novos desafios. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 11, n. 12, p. 28-31, Set./Out. 1992.

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, 2007.

ROMANACH, L. M.; CARON, D. Emprego, trabalho, custo e mecanização da colheita da cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 17, n. 5, p. 25, Mai./Jun. 1999.

ROMERO, M.L.C.; ZAMORA, F.P.; OLEA, I.; SCANDALIARIS, J.; MARTÍN, L. Evaluación de nuevas cosechadoras integrales. **Avance Agroindustrial**, Tucumán, v. 13, n. 52, p. 24-28, mar.1993.

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) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2013.

RUMMLER, G. A.; BRANCHE, A. P. Melhores desempenhos das empresas. 2. ed., São Paulo: **Makron Books**, 1994. 313p.

SANTORO, E.; SOLER, E. M.; CHERRI, A. C. Otimização do processo de colheita mecanizada de uma indústria de açúcar e álcool. **Simpósio brasileiro de pesquisa operacional**, 2015, Porto de Galinhas-PE. Anais... Porto de Galinhas-PE, p. 646-653.

SANTOS, N. B. D; SILVA, R. P. D; JUNIOR, G; CASIMIRO, D. Economic analysis for sizing of sugarcane (*Saccharum spp.*) mechanized harvesting. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 5, p. 945-954, 2014.

SCHEMBRI, M. G.; HOBSON, P. A.; PADDOCHK, R. The development of a prototype factory-based trash separation plant. **Proceedings-Australian Society of Sugar Cane Technologists**, Queensland, v.24, p.12-18, 2002.

CECHIN, F. N. **Análise da eficiência e do desempenho operacional das máquinas e dos equipamentos utilizados no corte raso de povoamentos florestais na região do planalto norte de Santa Catarina**. 2000. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

SILVA, J. E. A. R.; ALVES, M. R. P. A.; COSTA, M. A. B. Planejamento de turnos de trabalho: uma abordagem no setor sucroalcooleiro com uso de simulação discreta. **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 18, n. 1, p. 73-90, 2011.

SILVA, J. P. L. **Análise técnica e econômica de sistemas de transporte na Usina Caeté – Matriz S/A**. 2006. 31p. TCC (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

SILVEIRA, G. M.; MAZZETTO, F.; LANDONIO, S. Sistema informativo de operação em campo, baseado na aquisição automática de dados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.2, p.365-368, 2001.

SILVEIRA, G. M.; SOTORINO, M., PECHE FILHO, A.; AI, K.; BERNARDI, J. A. Sistema de aquisição automática de dados para o gerenciamento de operações mecanizadas. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.2, p.305-310, 2005.

SINK, D. S.; TUTTLE, T. C. Planejamento e medição para a performance. Rio de Janeiro, **Qualimark**, 1993. 212p.

SISTEMA AMBIENTAL PAULISTA. Relatório da Safra 2015/2016 do Protocolo Agroambiental do Setor Sucroenergético. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/protocolo-agroambiental-do-setor-sucroenergetico-263-da-area-agricultavel-de-sao-paulo-esta-comprometida-com-boas-praticas/>. Acesso em: 15 Jan. 2018.

STOLF, R., FURLANI NETO, V.L, CERQUEIRA LUZ, P.H. Nova metodologia de mecanização a espaçamentos estreitos em cana-de-açúcar. São Paulo-SP, **Álcool & Açúcar**, v.7, n.32, p.14-33, jan./fev.1987.

TEIXEIRA, F. L. S. **Custo da colheita mecanizada de cana de açúcar em três faixas de produtividade**. 2013. 40p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2013.

TESTA, J. V. P. **Desempenho operacional e energético de colhedoras de cana-de-açúcar (Saccharum spp.) para uma e duas linhas da cultura**. 2014. 43p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2014.

TOLEDO, A. D.; FURLANI, C. E.; SILVA, R. P. D.; LOPES, A.; DABDOUB, M. J. Comportamento espacial da demanda energética em semeadura de amendoim em latossolo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 12, n. 30, p. 459-467, 2010.

TORQUATO, S. A.; FRONZAGILA, T.; MARTINS, R. **Colheita mecanizada e adequação da tecnologia nas regiões produtoras de cana-de-açúcar**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/855892/colheita-mecanizada-e-adequacao-da-tecnologia-nas-regioes-produtoras-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 04 Jul. 2016.

URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; OLIVEIRA, O. D.; LIMA, E.; GUIMARÃES, D. H. A. Importância de não queimar a palha na cultura de cana-de-açúcar. **Embrapa Agrobiologia-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 1991.

VAN DILLEWINJ, C. Botany of sugarcane. Waltham: **Chronica Botanica**, v.1, 1952. 196 p.

VILLELA, A. A.; MOREIRA, J. R.; FREITAS, M. A. Panorama do uso de energia no Brasil. In: VILELA, A. A.; ROSA, L. P.; FREITAS, M. A. V. (Org.). O uso de energia de biomassa no Brasil. Rio de Janeiro: **Interciência**, 2015. 196 p.

WACLAWOVSKY, A. J.; SATO, P. M.; LEMBKE, C. G.; MOORE, P. H.; SOUZA, G. M. Sugarcane for bioenergy production: an assessment of yield and regulation of sucrose content. **Plant Biotechnology Journal**, v.8, p. 263-276, 2010.

YANDAV, R. N. S.; SHARMA, M. P.; KAMTHE, S. D.; TAJUDDIN, A.; YANDAV, S.; TEJRA, R. K. Performance evaluation of sugarcane chopper harvester. **Sugar Tech**, Índia, v. 4. n. 3/4, p. 117-122, 2002.

ZAMUNÉR FILHO, A. N. **Planejamento e projeto de áreas de cana de açúcar: conservação do solo e logística da colheita**. 2015. 214p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

ZIMMERMANN, F. J. P. Estatística aplicada à pesquisa agrícola. 2. Ed. Brasília-DF. **Embrapa**, 2014. 582p.