



GUSTAVO EDNER PEREIRA DOS SANTOS

**PARÂMETROS OPERACIONAIS DE DOIS MODELOS DE
COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR**

LAVRAS – MG

2019

GUSTAVO EDNER PEREIRA DOS SANTOS

**PARÂMETROS OPERACIONAIS DE DOIS MODELOS DE COLHEDORAS DE
CANA-DE-AÇÚCAR**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Bacharel.

Dr. Diego Weslly Ferreira do Nascimento Santos

Orientador

Dr. Rafael de Oliveira Faria

Coorientador

LAVRAS – MG

2019

GUSTAVO EDNER PEREIRA DOS SANTOS

**PARÂMETROS OPERACIONAIS DE DOIS MODELOS DE COLHEDORAS DE
CANA-DE-AÇÚCAR**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA EM 22 DE DEZEMBRO DE 2019.

Me. Marco Antonio Zanella

Ma. Márcia Eduarda Amâncio

Dr. Diego Weslly Ferreira do Nascimento Santos

Orientador

LAVRAS – MG

2019

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelo dom da vida, força e determinação que me fez concluir mais esta etapa em minha carreira.

Aos meus pais Maria e Dorival e minha irmã Bruna pelo apoio, incentivo e confiança no meu progresso que serviram de alicerce para as minhas realizações.

Sou grato à minha família pelo apoio que sempre me deram durante toda a minha vida.

Gratidão pela participação dos professores Diego e Rafael cuja dedicação e atenção foram essenciais para que este trabalho fosse concluído satisfatoriamente.

Agradeço aos professores participantes da banca examinadora, Marcia e Marco, que dividiram comigo este momento tão importante e esperado.

A universidade UFLA, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior, eivado pela acendrada confiança no mérito e ética aqui presentes.

Também agradeço aos funcionários da Universidade UFLA pelo ambiente criativo e amigável que proporcionam e contribuíram direta e indiretamente para a conclusão deste trabalho.

Aos meus colegas do curso de Engenharia Agrícola pelas trocas de ideias e ajuda mútua. Juntos conseguimos avançar e ultrapassar todos os obstáculos.

Aos amigos da República Mundo Velho, pela agradável convivência durante todos esses anos.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

A demanda crescente pelos produtos oriundos da cana de açúcar alterou o sistema de produção de diversas usinas. A alteração mais notável foi a introdução da colheita mecanizada com a emergência das colhedoras. No país, o sistema de colheita mecanizada tornou-se predominante. Contudo, mesmo com os diversos avanços, é evidente que ainda fazem-se necessárias melhorias neste setor, sobretudo acerca da eficiência das colhedoras. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é estimar a capacidade operacional e o consumo de combustível em duas colhedoras de cana-de-açúcar (marcas A e B). Para a determinação do consumo de combustível das colhedoras foram utilizados dados obtidos por meio de fluxômetro volumétrico, um instalado entre o filtro de combustível e a bomba injetora do motor e o outro entre o resfriador de diesel para o retorno do combustível ao tanque. Foram obtidos os parâmetros (Comprimento da repetição, Tempo da repetição, Velocidade estimada, Peso da carga, Consumo de combustível, Consumo de combustível na matéria prima (L/t) e Tempo da repetição) e calculados a capacidade operacional (t/h), consumo horário (L/h), consumo por área (L/ha) e consumo por tonelada (L/t). Os dados foram analisados por meio do software Statistica®, realizando-se a comparação das médias por meio do teste de Tukey à 5%. Em relação à capacidade operacional, consumo horário e consumo por tonelada, a média das colhedoras não diferiram estatisticamente. Já em relação ao consumo por área, a colhedora B superou a média de consumo da colhedora A. Concluiu-se que não houve diferenças significativas em relação à capacidade operacional e consumo de combustível entre as colhedoras avaliadas, exceto em relação ao consumo por área.

Palavras-chave: Consumo de combustível. Colheita mecanizada. Cana-de-açúcar.

ABSTRACT

Growing demand for sugarcane products has changed the production system of several mills. The most notable change was the introduction of mechanized harvesting with the emergence of harvesters. In the country, the mechanized harvesting system has become predominant. However, even with the various advances, it is evident that improvements are still needed in this sector, especially regarding the efficiency of harvesters. In this sense, the objective of this work is to estimate the operational capacity and fuel consumption in two sugarcane harvesters (brands A and B). To determine the fuel consumption of the harvesters, data obtained by means of a volumetric flow meter were used, one installed between the fuel filter and the engine injection pump and the other between the diesel cooler to return the fuel to the tank. The following parameters were obtained (Repetition Length, Repetition Time, Estimated Speed, Load Weight, Fuel Consumption, Raw Material Fuel Consumption (L / t)) and calculated operational capacity (t / h), hourly consumption (L / h), consumption by area (L / ha) and consumption per ton (L / t). Data were analyzed using Statistica® software, comparing the means by means of the Tukey test at 5%. Regarding operational capacity, hourly consumption and consumption per ton, the average harvester did not differ statistically. Regarding the consumption per area, harvester B exceeded the average consumption of harvester A. It was concluded that there were no significant differences regarding operational capacity and fuel consumption among the evaluated harvesters, except in relation to the consumption by area.

Keywords: Fuel consumption. Mechanized Harvest. Sugarcane.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	7
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	9
2.1	A cana-de-açúcar no Brasil.....	9
2.2	Colheita da cana-de-açúcar.....	10
2.2.1	Colheita manual.....	11
2.2.2	Colheita mecanizada.....	12
2.2.3	Planejamento operacional.....	13
2.3	Colhedoras de cana-de-açúcar.....	14
2.3.1	Funcionamento das colhedoras de cana-de-açúcar.....	15
2.3.2	Sistemas hidráulicos.....	16
2.3.3	Tipos de sistemas hidráulicos.....	17
2.3.4	Bombas e atuadores hidráulicos.....	17
2.4	Modelos de colhedora disponíveis no mercado.....	18
2.5	Consumo de combustível em colhedoras de cana-de-açúcar.....	18
3.1	MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
3.2	Área experimental.....	19
3.3	Colhedoras avaliadas.....	19
3.4	Unidades experimentais.....	20
3.4.1	Instrumentação das máquinas.....	21
3.4.2	Capacidade operacional.....	21
3.4.3	Consumo horário de combustível.....	22
3.4.4	Consumo por área.....	22
3.4.5	Consumo por tonelada colhida.....	22
4	Análise dos dados.....	23
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
	CONCLUSÃO.....	26
	REFERÊNCIAS.....	27

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar trata-se de uma das principais fontes de biocombustíveis no Brasil e tem se destacado ainda devido seus subprodutos, como a cogeração de energia elétrica com a queima do bagaço da cana. Ademais, o enfoque em substituir o petróleo por energias renováveis tem incentivado investimentos neste setor.

O sistema de colheita empregado, por muito tempo, foi o semimecanizado, com a queima anterior do canavial, corte manual e carregamento da cana-de-açúcar inteira, efetuado com o emprego de máquinas carregadoras. Este sistema sofreu intensas alterações nos últimos anos, com a gradual substituição do sistema semimecanizado para o mecanizado.

A demanda crescente pelos produtos oriundos da cana de açúcar alterou o sistema de produção de diversas usinas. A alteração mais notável foi a introdução da colheita mecanizada com a emergência das colhedoras. Com a criação da legislação que proíbe a queima da cana no estado de São Paulo, maior produtor nacional, tornou-se inviável a colheita manual. Além do mais, com a criação do Protocolo Ambiental, objetivou-se a redução dos impactos da cultura no meio ambiente, especialmente pela redução dos gases de efeito estufa emitidos na queima do canavial.

No método mecanizado de corte de cana-de-açúcar, são empregadas máquinas colhedoras de cana, adequadamente projetadas para o corte, esta modalidade de mecanização solicita linearidade do solo. As facas de corte das colhedoras não são capazes de operar em áreas de topografia muito acidentada, sendo necessário o emprego de mão de obra manual. Este equipamento ainda pode ser classificado em colhedora de cana-inteira ou colhedora de cana-picada. A colheita mecanizada diminui o impacto ambiental, devido à ausência de queima do canavial, além disso, o processo possui uma série de vantagens, como o rendimento operacional. Ainda a colheita mecanizada impossibilita o crescimento de diversas espécies de plantas daninhas, colaborando para a menor utilização de herbicidas. Ademais, a colheita mecânica contribui para uma menor perda de água do solo, aumenta a reciclagem de nutrientes e eleva a quantidade de microorganismos existentes no solo.

No país, o sistema de colheita mecanizada tornou-se predominante. Contudo, mesmo com os diversos avanços, é evidente que ainda fazem-se necessárias melhorias neste setor, sobretudo acerca da eficiência das colhedoras. Devido a grande disponibilidade de diferentes modelos de colhedora no mercado, torna-se necessário quantificar a eficiência de diversos parâmetros operacionais de cada um destes, visando a redução do custo de produção. Para a

execução de possíveis melhorias na mecanização da colheita da cana-de-açúcar, tornam-se indispensáveis estudos intensivos sobre os sistemas e funcionamento da colhedora. Deste modo, a avaliação do consumo de combustível é ponto fundamental em relação a redução dos custos operacionais e impactos ambientais, como a poluição atmosférica. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é estimar parâmetros operacionais de distintos modelos de colhedoras de cana-de-açúcar (marcas A e B).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cana-de-açúcar no Brasil

A cana-de-açúcar, *Saccharum officinarum* L., trata-se de uma gramínea (Poaceae) originada do cruzamento de *S. spontaneum* L., *S. arundinaceum* Retzius (Syn: *Erianthus arundinaceus* (Retz.) Jeswiet), *S. robustum* Brandes e Jew e *Miscanthus* sp., que vem sendo plantada desde a pré-história. Possivelmente seu centro de origem é a polinésia, e suas espécies foram propagadas por todo o Sudeste Asiático, onde foi formado em Papua Nova Guiné e Java (Indonésia) um moderno centro de diversidade (FONTANETTI; BRUNO, 2017).

O cultivo comercial de cana-de-açúcar e de suas variedades se dá em mais de 70 países e territórios. Brasil, Índia e China são os maiores produtores. No Brasil, o cultivo está grandemente vinculado ao desenvolvimento econômico, e o país é responsável por 61,8% das exportações mundiais de açúcar (FONTANETTI; BRUNO, 2017).

A produção brasileira de cana-de-açúcar na safra 2015/16, alcançou 665,6 milhões de toneladas em uma área estimada em 8,6 milhões de hectares. Tais valores proporcionaram uma produtividade média de 76.909 kg/ha, valor 9,1% superior quando comparado com os dados de produtividade da safra anterior. Liderada pela Região Centro-Sul (principal região produtora do país), notou-se, nesta safra, uma inclinação à redução de área de produção com maior rendimento médio da cultura, representando, ao final da safra, uma maior produção brasileira (CONAB, 2019). Já para as Regiões Norte e Nordeste, as produtividades médias foram inferiores às alcançadas em 2014/15 e as áreas voltadas para a produção não sofreram oscilações absolutas. No Norte houve incremento de 2,8 mil hectares e no Nordeste redução de 62,1 mil hectares, o que propiciou valores de produção inferiores àqueles da safra precedente (CONAB, 2019).

Na perspectiva ambiental, a cana-de-açúcar é fonte de energia renovável, tratando-se de uma cultura com adaptação em todas as regiões do país. Além do etanol e do açúcar, atualmente as indústrias empregam os subprodutos, como o bagaço e palha, na cogeração de energia elétrica, potencializando a sustentabilidade do sistema.

2.2 Colheita da cana-de-açúcar

O planejamento da colheita da cana-de-açúcar possui como propósito aperfeiçoar todas as ações referentes a esta atividade, tornando possível que o investimento efetuado no decorrer do cultivo seja recuperado. No decorrer da colheita podem ocorrer diversas condições adversas climáticas, sociais e administrativas. Contudo, o planejamento deverá possuir saídas que previnam e transponham a situação sem gerar grandes prejuízos ao produtor (ROSSETO, 2016).

A cana deve ser colhida com o máximo teor de açúcar possível. A colheita deve ser planejada para ser realizada no período máximo de maturação da cultura, que sofre variações segundo o sistema de cultivo empregado, variedade, região de cultivo, entre outros fatores. O sistema de produção empregado pode ser 12, 18 meses ou ambos, em proporções específicas, sendo que este é fator que influencia grandemente o planejamento do corte, estando diretamente relacionado ao planejamento do plantio (ROSSETO, 2016).

O sistema de colheita empregado, por muito tempo, foi o semimecanizado, com a queima anterior do canavial, corte manual e carregamento da cana-de-açúcar inteira, efetuado com o emprego de máquinas carregadoras (CERVI et al., 2015). Este sistema sofreu intensas alterações nos últimos anos, com a gradual substituição do sistema semimecanizado para o mecanizado (CERVI et al., 2015).

A alteração nos processos de colheita de cana-de-açúcar tem se dado por inúmeras razões, destacando-se entre estas: a diminuição de custos, diminuição da oferta de mão-de-obra e pelo protocolo agroambiental sugerido pela União da Indústria de Cana-de-Açúcar – UNICA, em parceria com o Governo do estado de São Paulo. O acordo possuiu por propósito antecipar, nos terrenos com declividade até 12%, o período final para o encerramento da queima da cana-de-açúcar de 2021 para 2014. Já para terrenos com declividade superior a 12%, o prazo final altera-se de 2031 para 2017. Como consequência, a adesão ao protocolo de cooperação disponibiliza aos produtores um Certificado de Conformidade Agroambiental, que garante relevantes nos procedimentos de certificação de seus produtos para exportação (CERVI et al., 2015).

A colheita mecanizada diminui o impacto ambiental, devido à ausência de queima do canavial, além disso, o processo possui uma série de vantagens, como o rendimento operacional. Ainda a colheita mecanizada impossibilita o crescimento de diversas espécies de plantas daninhas, colaborando para a menor utilização de herbicidas. Ademais, a colheita

mecânica contribui para uma menor perda de água do solo, aumenta a reciclagem de nutrientes e eleva a quantidade de microorganismos existentes no solo (CHIFOLETTI, 2002).

2.2.1 Colheita manual

O sistema manual de colheita é caracterizado quando o corte o carregamento são efetuados manualmente. Em grande parte dos casos essa modalidade de colheita precede-se pela queima da lavoura, que possui o propósito de eliminar folhas e bainhas foliares, aumentar a concentração de sacarose, tornar mais fácil o acesso à área, afugentar animais peçonhentos e ampliar a produtividade com o corte realizado por trabalhadores. Entre os diversos problemas causados pela queima é possível ressaltar a alta emissão de gás carbônico na atmosfera, que é um gás de efeito estufa, a degradação dos solos, e a rápida redução da sacarose (CUNHA et al., 2015).

Sobre os cortadores de cana-de-açúcar na safra 2016/2017, o número de trabalhadores foi de 38.768, levando em conta uma produtividade média de 8,7 t/dia e duração de colheita de 132 dias. Nove dos Escritórios de Desenvolvimento Rural – EDRs, contratam 53% do total desta mão de obra, destacando-se as cidades de Ribeirão Preto, Jaú, Orlândia e Barretos. Juntamente, estes EDRs somam 27% do total ou 10.642 trabalhadores. Na safra de “ano” foram colhidos manualmente cerca de 43,6 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, o que representou 10% do total produzido. De acordo com Fredo e Caser (2017) o aumento de 1% nas áreas com colheita mecanizada, promove a demissão de 909 trabalhadores.

O corte manual da cana-de-açúcar é uma atividade que impõe ao trabalhador intensa carga física, visto que exige a realização de movimentos vigorosos, rápidos e repetitivos com fardo. Ademais, há o carregamento de feixes de colmos. A remuneração por produção soma-se aos fatores de risco, visto que incentiva um maior ritmo de trabalho para obter um salário um pouco melhor e maiores chances de contratação na safra seguinte (LEITE et al., 2018).

Ainda, esses trabalhadores são expostos de modo direto aos poluentes originados na queima da cana-de-açúcar e são frequentemente submetidos às condições climáticas adversas, por se tratar de atividade a céu aberto. O trabalho que solicita esforço físico e ambiente com altas temperaturas impõe riscos de sobrecarga e estresse térmico. Isso é piorado pelo uso de vestimentas sobrepostas para diminuir a exposição do sol, o que impede a dispersão do calor. A disponibilização inadequada de equipamentos pessoais como luvas e óculos, alimentação e

hidratação inadequadas e precárias condições sanitárias somam-se ao ambiente e o processo de trabalho aos quais esses trabalhadores são submetidos (LEITE et al., 2018).

2.2.2 Colheita mecanizada

No método mecanizado de corte de cana-de-açúcar, são empregadas máquinas colhedoras de cana, adequadamente projetadas para o corte. Comumente se dá de modo rasteiro ao solo, em velocidade de deslocamento de 6 km h^{-1} , abrangendo assim grande área em curto espaço de tempo, em que seriam necessários vários trabalhadores para realizar o mesmo trabalho por área (SILVA; SILVA, 2016).

Mesmo que nenhum processo seja completamente mecanizado, esta modalidade de mecanização solicita linearidade do solo. As facas de corte das colhedoras não são capazes de operar em áreas de topografia muito acidentada, sendo necessário o emprego de mão de obra manual. Este equipamento ainda pode ser classificado em colhedora de cana-inteira ou colhedora de cana-picada (SILVA; SILVA, 2016).

Segundo o levantamento "Previsões e Estimativas das Safras Agrícolas do Estado de São Paulo, Ano Agrícola 2016/17, Novembro de 2016", o nível de mecanização alcançou 90%, em uma área de corte de 5,6 milhões de hectares (FREDO; CASER, 2017).

A mecanização da colheita de cana-de-açúcar, está disseminada pelo Estado de São Paulo. Mais da metade dos municípios produtores registrou porcentagem maior que 90% de cana colhida por máquinas. Cerca de 100 municípios registram percentual oscilando desde 0% até 80%, dando sinais de que existem dificuldades para a mecanização da colheita, como a declividade do solo acima de 12% e/ou áreas cultivadas menores do 150 ha, que tornam complexa a operação das máquinas. Considera-se ainda que municípios com porcentagem nula destinam sua produção para cana-de-açúcar, ou seja, é colhida de forma manual e sem queima, visto que tem influência sobre a qualidade da cachaça (FREDO; CASER, 2017).

O emprego de colhedoras autopropelida tem maior frequência nos distintos sistemas de produção agroindustriais. Na cultura de cana-de-açúcar por volta de 30% dos plantios são colhidos por máquinas. Existem duas classificações de máquinas, as colhedoras de cana inteira e as colhedoras de cana picada, sendo que grande parte dos produtores decide pelo segundo tipo por sua maior eficiência no sistema de corte, carregamento e transporte. Tem sido ampliado o interesse pela colheita de cana-de-açúcar com colhedoras de cana picada, essencialmente em regiões em que a topografia é adequada ao sistema de colheita e a mão de

obra é escassa. Essas máquinas cortam, picam, limpam e carregam a cana-de-açúcar em operações integradas (TOIGO; CASAGRANDE, 2009).

Indispensável levar em consideração que o emprego de colhedoras pelos empresários da agroindústria deve ser entendida como uma tendência essencial para a modernização da agricultura (TOIGO; CASAGRANDE, 2009).

Partindo desta intensa modernização do setor, com novidades tecnológicas para o corte da cana-de-açúcar, nota-se que o trabalhador perde espaço e emerge o operador da colhedora, que necessita ser capacitado e bem treinado para este mercado tecnificado e exigente (TOIGO; CASAGRANDE, 2009).

2.2.3 Planejamento operacional

A época em que a cana-de-açúcar pode ser colhida é dependente das condições tecnológicas adequadas de cada variedade e da época de plantio ou da última colheita. Este é denominado período útil de industrialização (PUI). Frequentemente, no Brasil, o PUI tem início dois meses antes do ponto de máxima maturação da cana e finda dois meses depois. A colheita deve ser efetuada o mais próximo possível do ponto de máxima maturação, considerando-se as limitações técnicas e exigências da usina em todos os períodos de demanda (FLORENTINO et al., 2016).

Contudo, as dimensões e complexidade atuais desse setor, levam com que o planejamento da colheita seja uma ação complexa, devido o número limitado de máquinas para colheita, processamento e transporte da cana do campo para a usina, as diferentes fases de maturação da cana e, de certo modo, devido ao tamanho das áreas de plantio. Em suma, a cana-de-açúcar deve ser colhida quando alcançar o máximo teor de sacarose (pol% cana), que se dá no pico de maturação da cultura (FLORENTINO et al., 2016).

Este período depende do sistema de cultivo empregado, da variedade de cana-de-açúcar plantada, da região, e demais fatores diretamente relacionados a qualidade de matéria prima a ser produzida. No Centro-Sul do país, o período indicado para a colheita da cana é de abril a dezembro, e o gestor deve levar em consideração esses períodos e todos os fatores que possibilitem a maximização da sacarose adquirida durante o seu planejamento (FLORENTINO et al., 2016).

Deliberar quais são as variedades e épocas de plantio e colheita é uma atividade complexa, devido este fato os gestores têm procurado ferramentas que colaborem no

planejamento do plantio e da colheita de cana e uma das alternativas para esta questão é a modelagem matemática (ISLER et al., 2014) .

2.3 Colhedoras de cana-de-açúcar

As colhedoras à venda no Brasil possuem, em sua grande maioria, as mesmas especificações, porém com mínimas distinções, a depender do fabricante, em relação ao sistema de alimentação ou transporte do material dentro da colhedora. Estão listadas, abaixo, as principais características destas colhedoras, como explica Magalhães (2014):

- São autopropelidas, com sistemas hidrostáticos e mecânicos para seu deslocamento;
- Possuem mecanismo para separar as linhas e para levantar a cana deitada transversalmente. Com o deslocamento da colhedora, este mecanismo deita os colmos no sentido do eixo longitudinal da máquina para possibilitar o processo de alimentação, depois do corte da base;
- Eliminador de ponteiros, presente na parte frontal superior da máquina;
- Mecanismo de corte de base: dois discos de aproximadamente 700 milímetros de diâmetro, com altura de corte controlada pelo operador, que possui a função de cortar os colmos em sua base, cerca de dez a 20 milímetros acima do nível do solo;
- Transportador de rolos com duas funções: transportar os colmos até o sistema de picagem e eliminar o grande volume de solo alimentado pelo cortador de base;
- Picador de colmo com capacidade de cortar 95% dos colmos entre 230 e 350 milímetros;
- Sistemas de limpeza composto pelo extrator principal, alocado logo após a picagem dos colmos, realizando 90% do processo de limpeza (separação dos colmos das impurezas vegetais) e pelo extrator secundário presente no extremo superior da esteira transportadora, antes do produto colhido ser transferido veículo de transbordo;
- Esteiras transportadoras, capazes de girar em ângulo de 180°, permitindo que a colhedora possa cortar sempre o mesmo lado do talhão.

2.3.1 Funcionamento das colhedoras de cana-de-açúcar

As colhedoras de cana atualmente utilizadas no Brasil possuem características similares em termos de construção e funcionamento. Porém, ao analisar cada sistema, é possível detectar que pequenos detalhes podem tornar o projeto da máquina mais ou menos eficiente.

A potência necessária para funcionar todo o sistema rotativo provém de um motor de combustão interna, ciclo Diesel, que aciona o sistema hidráulico. Esse sistema é constituído por bombas hidráulicas, válvulas que orientam e controlam o sistema, além de filtros e mangueiras. Os subsistemas, as partes visíveis de funcionamento como, por exemplo, o cortador de base e os extratores, são acionados por motores hidráulicos sob condições definidas de pressões e vazões.

Ao iniciar o processo de colheita, é necessário que a colhedora passe por um processo de regulagem, podendo ser automático ou manual. Ao posicionar a máquina em uma fileira de cana, os divisores de linha (sistema de alimentação), possuem a função de direcionar a cana até os rolos tombadores. Nesse mesmo instante, os cortadores de ponta, localizados na parte frontal e superior da máquina, cortam a ponteira da cana enquanto os cortadores laterais trabalham de forma a separar a linha colhida da linha vizinha. Em seguida, os rolos tombadores garantem a posição ideal do corte basal em uma angulação de 45°. O corte basal é um dos itens mais importantes em uma colhedora de cana, pois está diretamente ligado à qualidade da matéria prima e aos níveis de perda de cana na colheita (NEVES, 2003). Essa operação é realizada por dois discos rotativos com lâminas. Após o corte de base, a cana é encaminhada aos rolos alimentadores, que são ligados no mesmo circuito hidráulico de forma sincronizada. Eles possuem a função de transportar e alimentar os rolos picadores, cuja função é cortar a cana em toletes homogêneos em uma faixa de 20 a 25 cm dependendo da regulagem. Esse sistema de corte consiste em dois rolos com rotação invertida, montados com facas de corte adequadas. Os rolos são acionados hidraulicamente por dois motores orbitais individuais. Esse sistema gera muita perda de caldo de cana, depreciando a qualidade da matéria-prima. Alguns estudos mencionam que as perdas de caldo de cana-de-açúcar no sistema de picagem por rolos síncronos podem chegar a 3,4%. Após a cana passar pelos rolos picadores e sair em forma de taliscas, ela é encaminhada ao extrator primário, que tem a função de retirar parte da palha da cana através de sucção. Esse sistema é responsável pela maior demanda de potência disponível no motor e, além disso, é um dos pontos de maior perda de matéria-prima. Após o processo de limpeza pelo extrator primário, as taliscas caem

no elevador, que as conduzem rumo ao extrator secundário, que retira as palhas que não saíram no primeiro processo de limpeza. Dessa forma, a cana picada (taliscas) é transferida para o transbordo.

2.3.2 Sistemas hidráulicos

Sistema hidráulico é definido como uma forma de transmissão de potência cujo princípio de funcionamento se baseia na transmissão de força e movimento através de um fluido praticamente incompressível. Esse sistema é constituído basicamente por bombas hidráulicas, válvulas controladoras de pressão e vazão, filtros, tubos condutores de fluido hidráulico, atuadores e cilindros.

Segundo os estudos de Ahn e Dinh (2009, citado por MATOS, 2012, p. 9), os sistemas hidráulicos são as melhores alternativas para as máquinas. Porém, há grande perda de energia em forma de calor e vazamentos existentes nos atuadores hidráulicos. A geração de calor em um sistema hidráulico é causada pelo movimento de um líquido, devido a mudanças de direção, viscosidade e atrito. Além disso, quanto maior for a velocidade do fluido, maior será o calor gerado. Uma forma de diminuir essas perdas é o uso de atuadores eletro- hidráulicos. Esse sistema conta com circuitos hidráulicos acionados por motores elétricos. Nesse caso, o motor é que recebe o sinal do comando da máquina. Conforme a necessidade, ele aumenta ou diminui sua velocidade, adequando a velocidade da bomba responsável pela vazão do óleo. Alguns fabricantes chamam essa alternativa de circuitos controlados por servomotores ou servobombas.

Apesar dos sistemas hidráulicos possuírem alguns pontos negativos, eles fornecem uma série de vantagens. A utilização de dispositivos como válvulas de segurança, válvulas direcionais e válvulas reguladoras de fluxo, dá ao sistema de uma máquina características necessárias para realização de determinado trabalho. Dentre as vantagens do uso dos sistemas hidráulicos em relação aos sistemas elétricos e mecânicos, pode-se destacar: a facilidade de variar a velocidade através de uma válvula reguladora de fluxo, a reversibilidade através de válvulas direcionais, parada instantânea de um sistema, proteção de sobrecarga através de uma válvula reguladora de pressão, dimensão reduzida e fácil instalação, autolubrificação, relação peso, tamanho e potência muito menor, e aplicação de grandes esforços em uma área de trabalho relativamente pequena. Segundo Merrit (1967, citado por MATOS, 2012, p. 65- 72), a transmissão hidráulica é o sistema preferido em aplicações que necessitam de grande potência, isto devido a elevada eficiência operacional

máxima, que pode chegar a 80%.

Em relação às desvantagens, os sistemas hidráulicos têm um elevado custo inicial comparado aos sistemas elétricos e mecânicos, perdas elevadas devido ao processo de transformação de energia, e perdas por vazamentos e atritos.

2.3.3 Tipos de sistemas hidráulicos

Os sistemas hidráulicos podem ser divididos em dois tipos fundamentais, hidrostáticos e hidrodinâmicos. No sistema hidrostático de transmissão de potência, a energia é transmitida entre uma bomba hidráulica e atuadores em um circuito fechado, com presença de altas pressões e velocidades relativamente baixas. Já o sistema hidrodinâmico é caracterizado por operar com altas velocidades do fluido, e a transmissão de energia ocorre principalmente por variação da energia cinética (MIALHE, 1980).

2.3.4 Bombas e atuadores hidráulicos

A bomba representa o coração do sistema hidráulico. Ela converte a energia mecânica recebida de um motor em energia hidráulica no fluxo de óleo circulante. As partes principais de uma bomba são: o orifício de admissão de baixa pressão, através do qual o óleo alimenta a bomba; o orifício de saída de alta pressão, através do qual o óleo é conduzido para a linha de pressão; a câmara ou câmaras bombeadoras que transferem o óleo da zona de baixa pressão para a de alta pressão; e também o elemento mecânico responsável pelo deslocamento do óleo contido na câmara de bombeamento (BRITTO, 2015). Além disso, as bombas hidráulicas são agrupadas em dois grupos: bombas de deslocamento negativo, quando há a recirculação do fluido no interior da bomba sob condições de alta pressão, e bombas de deslocamento positivo, quando existe uma vedação entre a entrada e a saída não permitindo a recirculação no interior da bomba (MIALHE, 1980).

Os atuadores hidráulicos são responsáveis pela conversão da energia do fluxo do óleo proveniente da bomba hidráulica em trabalho mecânico útil. Eles podem ser agrupados em atuadores lineares ou rotativos.

2.4 Modelos de colhedora disponíveis no mercado

Na atualidade, o mercado de colhedoras de cana-de-açúcar no Brasil é constituído em sua maioria por três marcas: John Deere, Case e IH e AGCO (Valtra). Em 2013, a John Deere dominava o mercado, com 60% das vendas, alcançando 66,8% em 2014, e a Case IH representava o restante da participação (ANFAVEA, 2017).

Em 2015, a Valtra lançou seu novo modelo, a BE 1035, e a Case IH recuperou-se, alcançando a participação de 37% do mercado, fazendo com que a John Deere retornasse ao domínio que contava em 2013. Em 2017, a John Deere novamente retomou sua participação, ao passo que as vendas da Valtra cresceram de 3,6% para 5,7% (ANFAVEA, 2017).

No Brasil, são empregadas frequentemente as colhedoras combinadas automotrizes de cana picada. Nessas máquinas, a cana passa por diversas etapas, desde o corte basal até o carregamento do veículo de transporte.

2.5 Consumo de combustível em colhedoras de cana-de-açúcar

Quando se trata de custo de operação no processo de colheita de cana-de-açúcar, lembra-se sempre do consumo de combustível. Com o processo de mecanização da colheita da cana em quase todas as regiões do Brasil, o consumo de óleo diesel, um dos principais combustíveis utilizados no setor sucroalcooleiro, aumentou consideravelmente.

A introdução das colhedoras mecanizadas resultou em maior desempenho de colheita e por consequência, expansão do setor sucroalcooleiro. Entretanto o aumento no consumo de combustível ainda é visto como um aspecto negativo do ponto de vista econômico; logo, estratégias e, ou, mecanismos que visam o aumento da eficiência no uso de combustíveis têm sido cada vez mais priorizados.

São inúmeros os fatores que modulam o consumo de combustível das colhedoras de cana-de-açúcar. Dentre eles, podemos destacar as características da cultivar a ser colhida, relevo onde a cultura está implantada, questões operacionais, aspectos construtivos da máquina, e idade ou horas trabalhadas.

Em relação à lavoura, a densidade de cana por área (t/ha) interfere diretamente no consumo de combustível. Em áreas de grande produtividade, o consumo horário geralmente é maior em comparação com áreas de menor produtividade. O consumo horário (L/h) gera uma falsa impressão, pois ao analisar o consumo por tonelada colhida (L/t), o cenário é outro.

Em outras palavras, para uma colhedora atingir uma tonelada de cana colhida em uma área onde a densidade de cana é menor, geralmente o seu tempo de funcionamento será maior. Além de aumentar o consumo de combustível, outras partes da máquina também poderão sofrer maior desgaste devido a maior velocidade operacional, acarretando em danos na estrutura da máquina, e também perdas de matéria-prima. O aumento da velocidade operacional é uma forma de melhorar o rendimento (t/h) e está diretamente ligado ao consumo de combustível (LYRA, 2012).

Outro fator que deve ser considerado ao se avaliar o consumo de combustível é a idade da colhedora. Com o decorrer dos anos e o desgaste natural do motor e dos sistemas hidráulicos, é normal que haja um consumo maior em comparação a uma máquina nova. Banchi *et al.* (2008), em um estudo de renovação da frota de colhedoras de cana-de-açúcar em função do tempo de uso e processo de depreciação, constataram que o ponto ótimo de renovação de uma colhedora gira em torno de 3000 horas de uso anual, em média de 4 anos, totalizando uma vida útil de 12.115 horas. Outros autores afirmam que o tempo de uso anual das colhedoras depende do trabalho exigido pelas usinas, em que a média varia entre 2000 a 4000 horas de uso por ano.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área experimental

O experimento foi realizado na cidade de Potirendaba-SP, latitude 21°02'34" sul e a uma longitude 49°22'38" oeste, estando a uma altitude de 469 metros, com clima tropical com estação seca de Inverno (Aw), na usina Noble.

3.2. Colhedoras avaliadas

Neste experimento foram utilizadas duas colhedoras de cana-de-açúcar, marca A e marca B. Mesmo sendo de marcas diferentes, essas colhedoras possuem características semelhantes. Acerca da estrutura, as duas possuem a capacidade de colher duas fileiras de cana por vez. A tabela a seguir destaca as principais características dessas colhedoras.

Tabela 1 – Especificações das colhedoras avaliadas

Especificações	A	B
Potência	333 cv (244 kW)	354 cv (263 kW)
Cilindrada do motor	9 litros	9 litros
Ano de fabricação	2012	2011
Horímetro	Não visualizado	4439 h
Cortador de pontas	Tambor separador bidimensional	Tambor separador bidimensional
Rodado	Esteira	Esteira
Massa	19780 kg	18300 kg

Fonte: Do autor (2019)

3.3. Unidades experimentais

Para cada colhedora, foram amostradas cinco parcelas, com as seguintes características:

Tabela 2 – Características do experimento

Espaçamento (m)	2,40
Fileiras colhidas por passada (n)	2
Espaçamento por fileira (m)	1,20
Metros lineares por hectare (m)	8.333,33
Número de subamostras (n)	3
Comprimento das subamostras (m)	6,00
Área (ha)	1

Fonte: Do autor (2019)

Para diminuir possíveis interferências de outras variáveis relacionada colheita, o experimento foi conduzido seguindo alguns parâmetros de colheita: velocidade de colheita: 5km/h, pressão do corte de base: 652,5PSI (45BAR), altura do corte de base 65. Em cada parcela foi mensurado: o comprimento, tempo, velocidade estimada, peso da carga e consumo de combustível. A partir de tais informações calculou-se a capacidade operacional (t/ha), consumo horário de combustível (L/h), consumo por área (L/ha) e consumo por tonelada (L/t).

3.4 Instrumentação das máquinas

Para a determinação do consumo de combustível das colhedoras foram utilizados dados obtidos por meio do fluxômetro volumétrico M-III, da FLOWMATE feito pela OVAL Corporation* do Japão, modelo LSN41L8-M2, vazão de 10 mL/pulso, um instalado entre o filtro de combustível e a bomba injetora do motor e o outro entre o resfriador de diesel para o retorno do combustível ao tanque. O controlador PHI-MD fabricado pela Techmeter calcula pela diferença entre os valores dos pulsos gerados pelos fluxômetros de entrada e saída do motor, convertendo o resultado em litros e também litros por hora. Conforme o aferimento do fabricante, o equipamento apresenta precisão de 99%. Utilizou-se na porta USB do monitor um Pendrive de 4gb da marca Envoy Data Corporation, e seguido o “guia rápido para utilização do computador de bordo e coletor de dados” presente no Manual do Operador da colhedora de cana, realizando a configuração do coletor de dados e posteriormente analisado pelo programa AFS Desktop*, fornecido versão teste gratuito pelo site da própria marca. O monitor utiliza uma antena GPS acoplado a máquina para calcular alguns dados de posicionamento geográfico, como: velocidade, distância percorrida, área e o rumo do equipamento durante a colheita. O espaçamento entre linhas é uma das informações que o sistema utiliza para calcular o total de área colhida pela máquina durante uma tarefa. Foi gerada uma planilha de anotações do experimento com informações inicial e final de cada tarefa, como: hora motor, hora elevador, quantidade de transbordos colhidos, consumo acumulado no monitor e consumo apontado pelo fluxômetro. Estes dados eram coletados pela companhia do operador.

3.4.1 Capacidade operacional

A capacidade operacional da colhedora foi calculada pela seguinte equação:

$$CO = \frac{PC}{T} \quad [1]$$

CO= Capacidade operacional (t/ha);

PC = Peso da carga (t);

T = Tempo da repetição (h);

3.4.2 Consumo horário de combustível

O consumo horário de combustível da colhedora foi calculado pela seguinte equação:

$$CH = \frac{CC}{T} \quad [2]$$

CH = Consumo horário de combustível (L/h);

CC = Consumo de combustível (L);

T = Tempo da repetição (h);

3.4.3 Consumo por área

O consumo por área foi estimado realizando medições do nível de combustível, através do fluxômetro, após a colheita de 1 ha, foi calculado pela seguinte equação:

$$CA = \frac{CC}{AC} \quad [3]$$

CA = Consumo por área colhida (L/ha);

CC = Consumo de combustível (L);

AC = Área colhida (ha);

3.4.4 Consumo por tonelada colhida

O consumo de combustível por tonelada de cana colhida foi calculado pela seguinte equação:

$$CT = \frac{CC}{PC} \quad [4]$$

CT = Consumo por tonelada colhida (L/t);

CC = Consumo de combustível (L);

PC = Peso da carga (t);

3.4.5 Análise dos dados

O experimento foi realizado em um delineamento inteiramente casualizado (DIC), com dois tratamentos e seis repetições por tratamento.

Os resultados foram analisados por meio de Análise de Variância e quando significativos comparados pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Todos os procedimentos estatísticos foram executados pelo programa computacional STATISTICA® 12.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de capacidade operacional foram superiores na colhedora A. Já o consumo horário de combustível não diferiu estatisticamente entre as duas colhedoras. Já em relação ao consumo por área e consumo por tonelada a colhedora B alcançou valores superiores. Este fato pode ser explicado pela diferença de potência entre as colhedoras, superior na colhedora B. Uma maior potência implica em uma maior velocidade de deslocamento, o que implica em um maior consumo por área e menor consumo por tonelada. A velocidade de deslocamento trata-se de um critério representativo para o desempenho operacional das colhedoras de cana-de-açúcar e para o consumo de combustível. Quanto maior a velocidade maior será a capacidade operacional, com uma velocidade de deslocamento de 7 km/h a eficiência de campo alcança 75%. O consumo horário de combustível ainda sobre influência da velocidade de deslocamento da colhedora, sendo que quanto maior a velocidade maior o consumo horário e menor o consumo por tonelada de cana colhida (LYRA, 2012).

Tabela 3 – Médias dos parâmetros avaliados durante o experimento

Parâmetro	Colhedora A	Colhedora B
Capacidade operacional (t/h)	73,07a	65,94 b
Consumo horário de combustível (L/h)	59,33a	61,47 a
Consumo por área (L/ha)	72,32 b	83,72 a
Consumo por tonelada (L/t)	0,8139 b	0,9328 a

As médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si no teste Tukey a 5%.

Fonte: Do autor (2019).

Ramos e colaboradores (2016) encontraram uma média de capacidade operacional de 37,28 t/ha. Já Rodrigues e Saab (2007), avaliando técnica e economicamente a colheita manual e mecanizada da cana-de-açúcar na região de Bandeirantes – Pr, encontraram valores para capacidade operacional de 45,97 t/ha, valor inferior ao encontrado neste trabalho, o que pode ser explicado pelas distintas características do experimento, como velocidade de colheita, tamanho de parcela, espaçamento, entre outros.

Já Ripoli et al. (2001) encontraram valores de 61,25 t/h, o que sugere uma produtividade de 135, 273 t/ha, na área representada, valores próximos aos encontrados neste trabalho.

Giachini e colaboradores (2016), avaliando o consumo de combustível e perdas de cana-de-açúcar durante a colheita diurna e noturna, encontraram média de consumo horário de 66,3 L/h e 63,1 L/h em diferentes turnos de colheita. Já Belardo (2016), encontrou valores de consumo horário de combustível por volta de 60 L/h, valores próximos aos encontrados neste trabalho.

Martins e colaboradores (2017) encontraram um consumo médio por tonelada de 1,3 L/t para a produtividade de 65 t/ha e de 1,0 L/t para a produtividade de 80 t/ha. As diferenças entre os valores encontrados e este trabalho podem ser explicadas pelas diferentes velocidades de deslocamento utilizadas. Belardo (2016) encontrou valores de consumo médio por tonelada entre 0,72 e 0,83 L/t, valores próximos aos encontrados neste trabalho. Batista (2013), avaliando sistema de monitoramento eletrônico utilizado em colhedora de cana-de-açúcar, encontrou valores de 1,27 e 1,38 L/t, valores divergentes deste trabalho, o que pode ser explicado pelos diferentes modelos de colhedora utilizados.

Uma das possíveis causas do maior consumo de combustível da colhedora B em relação à colhedora A é a diferença entre os sistemas hidráulicos que compõe essas máquinas. A colhedora A possui um sistema hidráulico fechado (loop fechado) para o extrator primário, sendo constituído basicamente de uma bomba hidrostática de serviço pesado com deslocamento variável (bomba de pistão axial) e controlador eletrônico direcional (EDC), um motor de pistão axial de deslocamento fixo com sensor de velocidade, sistema de filtragem e tanque. O controle da velocidade do extrator é realizado pela bomba de pistão axial por meio de válvulas multifuncionais que se comunicam com o sensor localizado no eixo do motor do extrator. Essas válvulas controlam o fluxo de óleo necessário para entrar no motor de pistão axial. Dessa forma, ainda que a bomba permaneça a uma velocidade constante e que ocorram perdas em todo sistema, o que determina o menor gasto de energia é o fato de se trabalhar

com a vazão necessária para acionar o motor. Isto reduz as perdas de cargas nas tubulações de retorno, válvulas, filtros, e tanque de óleo, influenciando diretamente no consumo de combustível. Por outro lado, a colhedora B é composta por um sistema hidráulico aberto (loop aberto), constituído basicamente por uma bomba de engrenagens, um motor de engrenagens com sensor de velocidade, sistema de refrigeração via radiador, e tanque. A bomba de engrenagens trabalha com uma vazão constante, diferente da bomba axial da colhedora A, que varia de acordo com a velocidade necessária para os sistemas hidráulicos. Dessa forma, além dos diferentes tipos de sistemas hidráulicos, ainda existe a preocupação com o dimensionamento adequado de cada um dos sistemas em busca de uma maior eficiência energética.

5 CONCLUSÃO

Concluiu-se que os valores de capacidade operacional foram superiores na colhedora A. Já o consumo horário de combustível não diferiu estatisticamente entre as duas colhedoras. Já em relação ao consumo por área e consumo por tonelada a colhedora B alcançou valores superiores. Os diferentes tipos de sistemas hidráulicos existentes nessas máquinas podem explicar a diferença de consumo de combustível por parte de alguns sistemas auxiliares. O sistema de loop fechado, nesse caso, foi mais eficiente que o sistema de loop aberto, garantindo à máquina A maior eficiência em relação ao da máquina B.

REFERÊNCIAS

- ANFAVEA. **Participação dos fabricantes nas vendas de colhedoras de cana no Brasil**. Disponível em: www.anfavea.com.br/estatisticas-2017.html. Acesso em: 30 out. 2019.
- BATISTA, Daniel Ramos. **Sistema de monitoramento eletrônico em colhedora de cana-de-açúcar**. 2013. Monografia (Especialista em Agronegócio) - Curso de MBA de Gestão do Agronegócio do Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná., Curitiba, PR, 2013. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/50719/R%20-%20E%20-%20DANIEL%20RAMOS%20BATISTA.pdf?sequence=1>. Acesso em: 13 out. 2019.
- BELARDO, Guilherme de Castro. **Avaliação do desempenho de colhedoras multilinhas de cana-de-açúcar em três espaçamentos**. 2016. Tese (Doutor em Agronomia (Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, Jaboticabal, SP, 2016. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/147132/belardo_gc_dr_jabo.pdf?sequence=4&isAllowed=y. Acesso em: 8 nov. 2019.
- BELARDO, Guilherme de Castro. **Avaliação de desempenho efetivo de três colhedoras de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) sem queima: Máquinas e implementos**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências. Área de concentração: Máquinas agrícolas) - ESALQ, USP, Piracicaba, SP, 2010. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11148/tde-26112010-144709/publico/Guilherme_Belardo.pdf. Acesso em: 11 out. 2019.
- CERVI, Ricardo Ghantous *et al.* Avaliação do transbordo operacional na colheita e transbordo de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, SP, v. 30, ed. 3, p. 232-241, 2015.
- CHRISTOFFOLETI, Pedro Jacob. **Pesquisa mostra as vantagens da colheita da cana-de-açúcar mecanizada**. Piracicaba, SP, 2002. Disponível em: <http://www.usp.br/agen/bols/2002/rede932.htm>. Acesso em: 23 out. 2019.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Perfil do setor do açúcar e do etanol no Brasil / Companhia Nacional de Abastecimento**. – v. 1(2019) – Brasília : Conab, 2019.
- CUNHA, André *et al.* Seleção de método de colheita de cana-de-açúcar na região norte-fluminense por meio do auxílio multicritério a decisão. **Journal of Engineering and Technology Innovation**, São Paulo, SP, v. 3, ed. 1, p. 21-31, jan/abr 2015.
- FLORENTINO, Helenice de Oliveira *et al.* Otimização da colheita de cana-de-açúcar. *In: XLVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL*, 2016, Vitória, ES. **Anais do evento [...]**. [S. l.: s. n.], 2016. Disponível em: <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2016/pdf/156012.pdf>. Acesso em: 23 out. 2019.
- FONTANETTI, Carmem Silvia; BRUNO, Odair Correa (org.). **Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica**. 1. ed. Bauru, SP: Canal 6, 2017. 275 p. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Vivian_Zambon/publication/320287218_Cultura_de_cana-de-acucar_no_Brasil_manejo_impactos_economicos_sociais_e_ambientais/links/59db81000f7e9

b755ef7e79a/Cultura-de-cana-de-acucar-no-Brasil-manejo-impactos-economicos-sociais-e-ambientais.pdf#page=13. Acesso em: 7 out. 2019.

FREDO, Carlos Eduardo; CASER, Denise Viana. Mecanização da Colheita da Cana-de-açúcar Atinge 90% na Safra 2016/17. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, SP, v. 3, ed. 1, jun 2017.

GIACHINI, Camillo Ferrarezi. Consumo de combustível e perdas de cana-de-açúcar durante a colheita diurna e noturna. **Energia na Agricultura**, Botucatu, SP, v. 31, ed. 1, p. 10-16, jan/mar 2016.

ISLER, Paulo R. *et al.* Otimização aplicada ao planejamento de plantio e colheita de cana-de-açúcar utilizando graus-dias. *In*: XLVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2014, Salvador, BA. **Anais do evento** [...]. [S. l.: s. n.], 2014. Disponível em: <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2014/pdf/arq0218.pdf>. Acesso em: 23 out. 2019.

LEITE, Marcell Rocha *et al.* O trabalho no corte de cana-de-açúcar, riscos e efeitos na saúde: revisão da literatura. **Revista de Saúde Pública**, [s. l.], p. 1-16, 2018. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rsp/article/view/149630>. Acesso em: 23 out. 2019.

LYRA, Gabriel Albuquerque de. **Consumo de combustível de duas colhedoras de cana-de-açúcar em função da velocidade e rotação do motor**. 2012. Dissertação (Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp - Campus de Botucatu, Botucatu, SP, 2012. Disponível em: <http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq0817.pdf>. Acesso em: 12 out. 2019.

MAGALHÃES, Paulo Sérgio Graciano. **Árvore do Conhecimento: Máquinas e implementos**. Brasília, DF, 2014. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_73_22122006154841.html. Acesso em: 10 out. 2019.

MARTINS, M. B.; RAMOS, C. R. G.; SOUZA, F. L.; SARTORI, M. M. P.; LANÇAS, K. P. Relação entre velocidade de deslocamento, rendimento da cana-de-açúcar e o consumo de combustível da colhedora. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 4, n. 1, p. 88–91, jan./mar. 2017.

MORENO, Luis Marcelo. **Transição da colheita de cana-de-açúcar manual para mecanizada no estado de São Paulo: cenários e perspectivas**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências) - ESALQ, USP, Piracicaba, SP, 2011. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-29082011-100955/publico/LuisMarcelo.pdf>. Acesso em: 11 out. 2019.

RAMOS, Carlos Renato Guedes et al. Eficiência e demanda energética de uma colhedora de cana-de-açúcar em talhões de diferentes comprimentos. **Energ. Agric.**, Botucatu, vol. 31, n.2, p.121-128, abril-junho, 2016.

RIPOLI, T. C. C.; CARVALHO FILHO, S. M.; MOLINA JÚNIOR, W. F.; RIPOLI, M. L. C. Desempenho econômico de colhedora em cana crua. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 12, p. 1-5, 2001.

RODRIGUES, Eurípedes Bonfim; SAAB, Otávio Jorge Grigoli Abi. Avaliação técnico-econômica da colheita manual e mecanizada da cana-de-açúcar (*saccharum spp*) na região de Bandeirantes – Pr. **Semina - Ciências Agrárias**, Londrina, PR, v. 28, ed. 4, p. 581-588,

out/dez 2007. Disponível em:
https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/semina_28_4_19_5_000fxg656e502wyiv80soht9htq29avi.pdf. Acesso em: 8 nov. 2019.

ROSSETTO, Raffaella. **Planejamento da colheita**. [S. l.], 2016. Disponível em:
http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_97_22122006154841.html. Acesso em: 23 out. 2019.

SANTOS, E. C. **Colheita mecanizada de cana-de-açúcar (Saccharum spp.) sem queima prévia: análise de parâmetros de desempenho efetivo**. 2012. 142 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

SEKI, André S. *et al.* Demanda energética nas operações mecanizadas na silagem de milho no sistema de "silo bag". **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 29, ed. 3, p. 424-430, jul/set 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v29n3/a09v29n3>. Acesso em: 8 nov. 2019.

SILVA, Diego Romão da; SILVA, Adrielle Marques Mendes da. Perdas no processol de colheita de cana-de-açúcar. **Revista Universidade do Rio Verde**, Rio Verde, GO, 2016.

TOIGO, Roberto José; CASAGRANDE, Marcos Virgílio. Colheita mecânica da cana-de-açúcar: alguns parâmetros. **Nucleus**, [s. l.], v. 6, ed. 1, abr 2009.