

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**DESEMPENHO EFETIVO E INFLUÊNCIA NO SISTEMA DE  
LIMPEZA DA COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR  
UTILIZANDO DIFERENTES VELOCIDADES DE DESLOCAMENTO E  
ROTAÇÕES DO EXTRATOR PRIMÁRIO**

**MURILO BATTISTUZZI MARTINS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU – SP

Fevereiro – 2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**DESEMPENHO EFETIVO E INFLUÊNCIA NO SISTEMA DE  
LIMPEZA DA COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR  
UTILIZANDO DIFERENTES VELOCIDADES DE DESLOCAMENTO E  
ROTAÇÕES DO EXTRATOR PRIMÁRIO**

**MURILO BATTISTUZZI MARTINS**

Orientador: Professor Doutor Kléber Pereira Lanças

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU – SP

Fevereiro – 2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

M386d      Martins, Murilo Battistuzzi, 1988-  
Desempenho efetivo e influência no sistema de limpeza da colheita mecanizada de cana-de-açúcar utilizando diferentes velocidades de deslocamento e rotações do extrator primário / Murilo Battistuzzi Martins. - Botucatu : [s.n.], 2016  
viii, 42 f. : fots. color., grafs. color., ils., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2016  
Orientador: Kléber Pereira Lanças  
Inclui bibliografia

1. Cana-de-açúcar - Colheita. 2. Consumo de combustível. 3. Colheita - Qualidade. 4. Mecanização agrícola. I. Lanças, Kléber Pereira. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: “DESEMPENHO EFETIVO E INFLUÊNCIA NO SISTEMA DE LIMPEZA DA COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR UTILIZANDO DIFERENTES VELOCIDADES DE DESLOCAMENTO E ROTAÇÕES DO ESTRATOR PRIMÁRIO”**

**AUTOR: MURILO BATTISTUZZI MARTINS**

**ORIENTADOR: KLEBER PEREIRA LANÇAS**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. KLEBER PEREIRA LANÇAS  
Dep de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP

Dr. EDMILSON RENATO SILVA RUIZ  
. / Tonon Bioenergia S/A

Prof. Dr. MARCELO DE ALMEIDA SILVA  
Dep de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu

Botucatu, 23 de fevereiro de 2016.

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho...

... Aos meus pais, Sérgio Martins Júnior e Fátima Luzia Battistuzzi Martins que sempre estiveram ao meu lado me apoiando, incentivando, com amor e carinho.

... Ao meu irmão Vinicius Battistuzzi Martins e a minha irmã Flávia Battistuzzi Martins (*in memorian*) pelos incentivos e ajuda nos momentos de dificuldade.

... Ao meu avô José Battistuzzi (*in memorian*) que me ensinou através de seus exemplos a ser uma pessoa justa, solidária e trabalhadora.

## AGRADECIMENTOS

A DEUS pela vida, e por sempre estar ao meu lado me iluminando e protegendo.

À toda minha família pelo apoio durante toda a minha trajetória acadêmica, sempre torcendo por conquistas maiores.

À minha namorada Fernanda Pacheco de Almeida Prado Bortolheiro, pelo companheirismo, ajuda, amor e carinho.

Ao Professor Kléber Pereira Lanças por todos os ensinamentos e pela orientação no mestrado e pela contribuição do meu crescimento na vida profissional.

Aos amigos do NEMPA, Emanuel Rangel Spadim, Jefferson Sandi, Indiamara Marasca, Fellippe Damasceno, João Vitor Paulo Testa, Miguel Pascucci, Barbara Barreto Fernandes, Rômulo Leonardo, Thiago Ramos, Ronilson dos Santos, Carlos Renato Guedes Ramos e Luiz Balestrin.

Aos amigos da república Bico do Corvo pelo convívio em harmonia, amizade e companheirismo durante o período do mestrado.

Aos amigos André de Oliveira Rodrigues e João Vitor Paulo Testa pelo apoio e ajuda na coleta de dados de campo.

A Usina Pederneiras pela disponibilidade das áreas e da colhedora para realização do experimento e ao engenheiro agrônomo Edmar Zambianco por todo apoio oferecido.

Enfim, a todos que contribuíram de forma direta e indireta para este trabalho, muito obrigado.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	VII
LISTA DE TABELAS .....	VIII
1 INTRODUÇÃO.....	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	6
2.1 Cultura da Cana-de-açúcar.....	6
2.2 Colheita mecanizada da cana-de-açúcar .....	8
2.3 Perdas qualitativas e quantitativas de matéria-prima colhida .....	13
MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1 Área experimental.....	18
3.2 Colhedora de cana-de-açúcar utilizada .....	18
3.3 Tratamentos e critérios de amostragem .....	20
3.4 Determinação do porte do canavial .....	20
3.5 Determinação da velocidade de deslocamento .....	21
3.6 Capacidade de campo efetiva.....	22
3.7 Determinação do consumo de combustível .....	22
3.8 Consumo horário de combustível ( $L h^{-1}$ ).....	23
3.9 Consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida ( $L t^{-1}$ ).....	24
3.10 Determinação das perdas visíveis de matéria prima .....	24
3.11 Qualidade da matéria prima colhida .....	26
3.12 Frequência de comprimento e índice de fissura dos rebolos .....	27
3.13 Determinação da altura de toco e abalo de soqueiras .....	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	30
4.1 Determinação do porte do canavial .....	30
4.2 Velocidade de deslocamento.....	30
4.3 Capacidade de campo efetiva.....	31
4.4 Consumo horário efetivo de combustível .....	31
4.5 Consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida .....	32

4.6 Impurezas vegetais na matéria-prima .....	33
4.7 Perdas vegetais de matéria-prima .....	34
4.8 Altura de toco e abalo de soqueira .....	35
4.9 Frequência de comprimento de rebolos e índice de fissura dos rebolos.....	36
5. CONCLUSÕES .....	38
6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	39

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Produção de cana-de-açúcar por região. (Fonte: CONAB, 2015) .....	8
Figura 2. Esquema de uma colhedora de cana-de-açúcar automotriz com destaque para os principais órgãos ativos (NEVES, 2003).....	11
Figura 3. Localização da área experimental – Usina Pederneiras, Tietê (SP).....	19
Figura 4. Modelo de colhedora utilizado no experimento.....	19
Figura 5. Canavial utilizado para realização do experimento .....	21
Figura 6. Receptor GPS .....	21
Figura 7. Fluxômetros instalados na entrada e no retorno do tanque da colhedora para determinação do consumo de combustível.....	23
Figura 8. Controlador Lógico Programável (CLP) utilizado para coleta de dados .....	23
Figura 9. Área demarcada para quantificação das perdas visíveis de matéria-prima.....	25
Figura 10. Separação das amostras para avaliação das impurezas vegetais.....	26
Figura 11. Avaliação da frequência de comprimento e índice de fissura.....	27
Figura 12. Avaliação da altura de toco.....	28
Figura 13. Tabela para a classificação dos danos às soqueiras. Adaptado de Kroes (1997), citado por Mello e Harris (2003).....	29

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Descrições das perdas visíveis de matéria prima em colheita mecanizada. ....	15
Tabela 2. Características da colhedora utilizada .....	19
Tabela 3. Classificação das perdas de matéria – prima (%) .....	26
Tabela 4. Classificação de impurezas vegetais.....	27
Tabela 5. Médias das velocidades de deslocamento nos tratamentos (km h <sup>-1</sup> ) .....	30
Tabela 6. Médias dos valores de capacidade de campo efetiva (ha h <sup>-1</sup> ).....	31
Tabela 7. Médias dos valores de consumo efetivo de combustível horário (L h <sup>-1</sup> ).....	32
Tabela 8. Médias dos valores de consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida (L t <sup>-1</sup> ).....	33
Tabela 9. Média dos valores de impurezas vegetais na matéria-prima (%) .....	34
Tabela 10. Médias dos valores de perdas vegetais da matéria-prima (%).....	35
Tabela 11. Porcentagem da altura de toco (cm) e classificação de danos às soqueiras (%).....	36
Tabela 12. Porcentagem do intervalo de comprimento (cm) e índice de fissura dos rebolos (%) .....	37

## RESUMO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) se destaca como uma das principais culturas do agronegócio brasileiro. A colheita mecanizada dessa cultura se faz necessária, atualmente, em função de leis ambientais. Com a mecanização da colheita de cana-de-açúcar, sem a necessária adaptação do canavial surgiram fatores adversos à utilização desta técnica, pelo elevado custo e baixa qualidade da colheita; porém, essas questões estão sendo estudadas e resolvidas melhorando, gradativamente, sua eficiência operacional. Este trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho operacional e energético de uma colhedora de cana-de-açúcar variando a velocidade de deslocamento e a rotação do extrator primário e a influência dessas variáveis na qualidade da colheita, obtidas através das avaliações de perdas e impurezas vegetais após a colheita. O experimento foi conduzido em um canavial colhido sem queima prévia, sendo a cana-de-açúcar da variedade CTC 15, em seu primeiro estágio de corte e com porte classificado como ereto. O espaçamento entre fileiras foi de 1,5m e a produtividade agrícola média da cultura de 92,5 t ha<sup>-1</sup>. A colhedora de cana-de-açúcar utilizada foi a de uma linha, operando em três velocidades de deslocamento, sendo V1 (3,0 km h<sup>-1</sup>), a velocidade V2 (5,0 km h<sup>-1</sup>) e V3 (7,0 km h<sup>-1</sup>). Foram utilizadas duas rotações do extrator primário, sendo a R1 de 700rpm e R2 de 1000rpm. Quanto maior a velocidade de deslocamento da colhedora de cana-de-açúcar e a rotação do extrator primário maiores são a capacidade de campo efetiva e o consumo horário efetivo de combustível. A maior rotação do extrator primário (1000 rpm), apresenta níveis médios (4 a 6%) de impurezas vegetais, enquanto a menor rotação do extrator primário (700 rpm) levou a níveis altos (>7%). A altura

de corte e os danos as soqueiras e o índice de fissura dos rebolos foram maiores em função das maiores velocidades de deslocamento da colhedora de cana-de-açúcar.

PERFORMANCE EFFECTIVE AND INFLUENCE IN USING HARVEST SUGAR CANE  
MECHANIZED CLEANING SYSTEM DIFFERENT SPEEDS SHIFTING AND SPINS  
EXTRACTOR PRIMARY

Botucatu, 2015.

Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências  
Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: MURILO BATTISTUZZI MARTINS

Adviser: KLÉBER PEREIRA LANÇAS

The sugarcane (*Saccharum* spp.) stands out as one of the main crops of Brazilian agribusiness. The mechanized harvest of sugarcane culture is necessary, now, in accordance with environmental laws. With the mechanization of sugarcane harvesting emerged adverse factors using this technique, the high cost and low quality of the harvest; however, these issues are being studied and resolved improving gradually operational efficiency. This study aimed to evaluate the operational performance and energy of a harvester sugarcane varying the travel speed and the rotation of the primary extractor, and the influence of these variables on the quality of the harvest, obtained through the evaluations of losses and impurities vegetables after harvesting. The experiment was conducted in a sugarcane harvested area without burning, and the sugarcane variety CTC 15, in its first cutting stage and postage classified as erect. The spacing between rows was 1.5 m and the average agricultural crop yield was 92,5 t ha<sup>-1</sup>. The harvester sugarcane used was one line, operating in three shift speeds, in the speed V1 (3,0 km h<sup>-1</sup>), V2 (5,0 km h<sup>-1</sup>) and V3 (7,0 km h<sup>-1</sup>). Two rotations of the primary extractor was used, R1 (700 rpm) and R2 (1000 rpm). The higher the speed of displacement of sugarcane and the rotation of the larger primary puller harvester are the effective field capacity and the actual fuel consumption per hour. The greater rotation of the primary extractor (1000 rpm), with average levels (4 to 6%) of vegetal impurities, while the smaller rotation of the primary extractor (700 rpm) led to high levels (> 7%). The cutting height of the stumps and damage and the crack of the grinding wheel index were higher due to higher travel speed of the harvester sugarcane.

Key words: fuel consumption, harvester, crop quality, *Saccharum* spp.

## 1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) se destaca como uma das principais culturas do agronegócio brasileiro, sendo o Brasil o maior produtor mundial. Dessa cultura são produzidos diversos produtos de grande importância econômica, tais como o açúcar, o etanol, produtos residuais (palha e bagaço) para geração de energia e, mais recentemente, o etanol de segunda geração, além do aproveitamento da levedura nas indústrias farmacêutica e alimentícia.

Introduzida no período colonial, a cultura sempre teve seu sistema de produção manual e, num período mais recente, passou para semi-mecanizada e, atualmente, vem ocorrendo uma mudança acelerada para a mecanização total, isso devido a diversos fatores como as leis ambientais e trabalhistas, escassez de mão-de-obra, baixa eficiência em processos não mecanizados, entre outros fatores.

Essa mudança no processo de produção da cultura implicou em diversos fatores, alguns positivos e outros negativos. Entre os positivos estão a melhor conservação do solo devido a não queima do canavial, a diminuição da utilização de agroquímicos e a melhoria das condições de trabalho enquanto os negativos são aumento acentuado da compactação do solo pelo tráfego das colhedoras e transbordos, aumento do custo do processo devido ao valor elevado das máquinas e redução da longevidade do canavial.

A colheita mecanizada, quando introduzida de forma inadequada pode ocasionar transtornos aos produtores, devido à mudança brusca na realização da operação, pelos elevados custos no processo, entre eles o alto consumo de combustível pelas colhedoras, grande quantidade de matéria-prima deixada no campo após a colheita, danificação nas soqueiras e, conseqüentemente, aumento no ataque por pragas e doenças, maior índice de impurezas vegetais e minerais no material colhido e aumento de falhas no canavial. Porém, esses problemas podem, muitas vezes, serem minimizados apenas com a melhora do desempenho operacional da colhedora através de regulagens de velocidade de deslocamento, rotação do motor, rotação dos sistemas de limpeza, manutenção de lâminas de corte e facões picadores.

A velocidade de deslocamento da colhedora, assim como os sistemas de limpeza, apresenta grande influência no consumo de combustível. Além do consumo, esses fatores influem na qualidade da colheita como nas impurezas e perdas vegetais, demonstrando assim, a importância de uma configuração ideal para a colheita mecanizada, levando em consideração a condição da cultura no momento da colheita.

Sabendo-se que é inevitável a mudança da maneira de colheita de cana-de-açúcar, o uso adequado de técnicas adequadas se torna indispensável para que se obtenham ganhos com esse novo processo. As melhorias devem ser constantes e todos devem estar envolvidos, desde as empresas produtoras das máquinas, os pesquisadores e os usuários, buscando atingir melhorias na qualidade das colhedoras e produzindo mão de obra qualificada.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho operacional e energético de uma colhedora de cana-de-açúcar através das variações da sua velocidade de deslocamento e da rotação do extrator primário, quantificando a sua influência na qualidade da colheita através das perdas e impurezas vegetais.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Cultura da Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é da família *Poaceae*, gênero *Saccharum*, que produz colmos com fibras e com alta concentração de açúcares. A parte aérea da planta é constituída por caules, folhas e, dependendo da condição ambiental, flores. Os caules são colmos, subdivididos em nós e entrenós, e a parte subterrânea é formada pelo sistema radicular fasciculado, com intensa ramificação (CÂMARA, 1998).

A importância da cana-de-açúcar é decorrente de sua vasta utilidade, podendo ser utilizada “in natura”, como forragem para alimentação animal, ou como matéria-prima para a fabricação de melado, aguardente, rapadura e, principalmente, açúcar e etanol. Seus resíduos também possuem grande importância econômica, sendo que o bagaço pode ser queimado nas caldeiras e servir como combustível e a vinhaça ser transformada em fertilizante (CAPUTO et al., 2008).

O cultivo da cana-de-açúcar abrange pequenas, médias e grandes propriedades rurais, empregando, portanto, grande número de pessoas de diferentes classes sociais (OLIVEIRA et al., 2010).

Segundo Arruda (1996), nos séculos XVI e XVII iniciou-se o cultivo de cana-de-açúcar com uma grande participação do açúcar na economia do Brasil colonial, por ser produzido para exportação. O clima e solos favoráveis à cultura, proporcionaram, em grande parte, a ocupação territorial brasileira no litoral norte e nordeste.

Segundo Burnquist (2011), até os anos de 1970, a cana-de-açúcar foi processada no Brasil com o único objetivo de produzir açúcar; porém, após esse período, o setor sucroalcooleiro passou por um processo de diversificação da industrialização, tornando-se possível também utilizar a matéria-prima para a produção de outros produtos, principalmente o etanol. Assim, na indústria de açúcar e etanol, a incorporação de inovações tecnológicas e de sistemas de gestão mais eficientes exigiu melhorias contínuas em todo o processo produtivo.

Atualmente o Brasil se destaca como o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, seguido por Índia, China, Tailândia, México e Paquistão, sendo que a produção brasileira é aproximadamente semelhante à soma da produção de todos esses países juntos, influenciando, diretamente, a economia do país. No mercado nacional, a cana-de-açúcar tem ganhado espaço, pois se constatou recentemente aumento de 9,7% na mistura de álcool à gasolina, destacando-se, ainda, que o Brasil conta com 17,5% de participação na matriz energética, considerando-se o álcool combustível e a cogeração de eletricidade, a partir do bagaço (EPE, 2013).

A produtividade da safra 2014/15 apresentou queda expressiva, com redução de 5,7% na média geral, passando de 74 t ha<sup>-1</sup> para 70 t ha<sup>-1</sup>. Essa redução ocorreu na região Centro-Sul. As condições climáticas desfavoráveis, o menor investimento em manutenção dos canaviais refletiu nesse decréscimo de produtividade de cana-de-açúcar. A redução de produtividade na região Centro-Sul foi de 7,3%, sendo que em São Paulo a redução chegou a 11% (CONAB, 2015).

A produção total de cana-de-açúcar moída na safra 2014/15 foi de 634,8 milhões de toneladas, com redução de 3,7% em relação à safra 2013/14, que foi de 658,8 milhões de toneladas, significando diminuição de 24 milhões de toneladas. A produção de cana-de-açúcar da região Centro-Sul foi de 575,4 milhões de toneladas, 4,4% menor que a produção da safra anterior. A região Norte/Nordeste teve aumento de 4,7%, passando de 56,7 milhões de toneladas na safra 2013/14, para 59,4 milhões na safra 2014/15 (CONAB, 2015).

A área cultivada com cana-de-açúcar que deverá ser colhida e destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2015/16 é de 9.070,4 mil hectares, distribuídas em todos estados produtores. São Paulo permanece como o maior produtor com 51,7%

(4.687,6 mil hectares) da área plantada, seguido por Goiás com 9,8% (891,6 mil hectares), Minas Gerais com 8,9% (808 mil hectares), Mato Grosso do Sul com 7,5% (682,3 mil hectares), Paraná com 6,8% (620,1 mil hectares), Alagoas com 4,3% (386 mil hectares) e Pernambuco com 3% (276,3 mil hectares). Estes sete estados são responsáveis por 92,1% da produção nacional. Os outros dezesseis estados produtores possuem áreas menores, com representações abaixo de 2,5%, totalizando 8% da área total do país (CONAB, 2015)

A produtividade estimada para a safra 2015/16 deve apresentar aumento de 2,4%, passando de 70 t ha<sup>-1</sup> para 72 t ha<sup>-1</sup>. A produção total de cana-de-açúcar destinada à indústria, estimada para a safra 2015/16 é de 654,6 milhões de toneladas, aumento de 3,1% (19,8 milhões de toneladas) em relação à safra 2014/15, que foi de 634,8 milhões de toneladas. A produção de cana-de-açúcar da região Centro-Sul está estimada em 592,7 milhões de toneladas, 3% maior que a produção da safra anterior. A região Norte/Nordeste deverá ter um aumento de 4,3%, passando de 59,4 milhões de toneladas na safra 2014/15, para 61,9 milhões na safra 2015/16 (Figura 1) (CONAB, 2015).

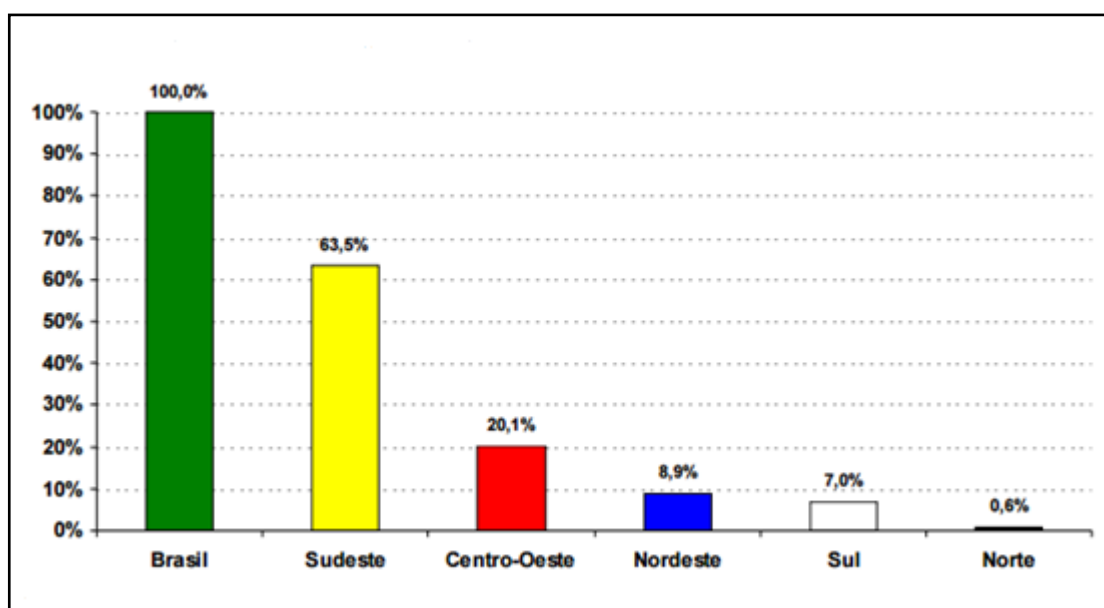


Figura 1. Produção de cana-de-açúcar por região. (Fonte: CONAB, 2015)

## 2.2 Colheita mecanizada da cana-de-açúcar

Até há pouco tempo, o setor canavieiro utilizava, exclusivamente, de mão-de-obra para realizar o corte manual da cana-de-açúcar. Inúmeros trabalhadores rurais passavam horas todos os dias, enfrentando muitas vezes condições adversas para realização da colheita de cana-de-açúcar. Atualmente, o processo de colheita da cana-de-açúcar é,

predominantemente, realizado de forma mecanizada. Essa mudança de perfil, de corte manual para o corte mecanizado, deveria tornar a colheita nas lavouras de cana-de-açúcar mais eficiente (CANA, 2005). Por enquanto esta não tem sido a realidade do campo. Muitas dificuldades da colheita mecanizada precisam ainda ser enfrentadas e minimizadas.

A colheita mecanizada da cana-de-açúcar se faz necessária pela falta de mão-de-obra no campo, pressões ambientais internacionais, melhores rendimentos e menor custo de produção (REIS, 2009).

Segundo o Instituto de Economia Agrícola (2008), a preocupação ambiental levou o governo federal e paulista a imporem um prazo para erradicação da queima da cana-de-açúcar, o que acelerou a substituição do trabalho manual pelo mecânico. Essa imposição se deu através do Decreto Federal de 1998, a lei 11.241 de 2002 de São Paulo e pelo Protocolo Agro Ambiental (2007), esse último prevê a antecipação voluntária da queima da cana-de-açúcar, de 2021 para 2014 em áreas mecanizáveis e, de 2031 para 2017 em área não mecanizáveis. As usinas que cumprirem os prazos do protocolo terão um selo de certificação Agro Ambiental que irá facilitar a comercialização do etanol.

A mecanização agrícola, atualmente, é a opção de maior destaque para a colheita da cana-de-açúcar, tanto do ponto de vista ergonômico quanto econômico e, principalmente, do ponto de vista legal e ambiental, já que apenas o corte mecânico viabiliza a colheita sem queima prévia do canavial o que, por sua vez, permite o aproveitamento do palhço da cana-de-açúcar, uma fonte de energia muito importante. Entretanto era lenta a evolução da colheita mecânica, mesmo sem abordar detalhes técnicos, as soluções tecnológicas disponíveis não eram suficientemente competitivas para atrair os usuários, ou seja, existiam limitadores que restringiam sua implementação (MAGALHÃES; BRAUNBECK, 1998). Porém, segundo Ramos (2013), no mercado atual, as colhedoras de cana-de-açúcar estão se desenvolvendo cada vez mais para a otimização do processo de colheita, adquirindo tecnologia de ponta, dessa forma simplificando a operação de colheita.

Segundo Paranhos (1974), em nível internacional, o desenvolvimento de projetos e os estudos em máquinas para colheita de cana-de-açúcar tiveram início a partir da crescente dificuldade e encarecimento da mão-de-obra para o corte manual e do interesse na obtenção de aumento no desempenho das operações de colheita, com sua esperada redução de custos.

Costa Neto (2006) confirma que a mecanização da colheita de cana-de-açúcar é inevitável, pois uma colhedora equivale a 100 cortadores, sendo que na época avaliada tinha-se um rendimento de 15 a 20 t h<sup>-1</sup> e atualmente um rendimento de 40 t h<sup>-1</sup>,

comparada ao manual de rendimento de 5 ou 6 t dia<sup>-1</sup> por pessoa. O autor afirma que programas educacionais e de qualificação profissional são importantes, assim como políticas públicas objetivas para minimizar reflexos do êxodo rural que provavelmente ocorreu.

O sistema de colheita mecanizada de cana-de-açúcar é importante, não apenas por aumentar o rendimento operacional de corte ou por reduzir o impacto ambiental causado pela queima do palhiço ou de resíduos, mas pela possibilidade de gerar custo reduzido no processo de produção e representar a modernização para o setor (RIPOLI; RIPOLI, 2009).

Segundo Ripoli (1996), existem três sistemas de colheita da cana-de-açúcar, o manual, em que tanto o corte de base quanto o carregamento é realizado por trabalhadores braçais; o semi-mecanizado, que foi mais utilizado por produtores autônomos, que consiste no corte manual da cana-de-açúcar (geralmente queimada) e carregamento mecanizado com uso de carregadoras, e o mecanizado, que é realizado por colhedoras que cortam, picam, limpam e carregam a cana-de-açúcar em outro veículo de transporte.

De acordo com Furlani Neto (1984) a primeira máquina cortadora de cana-de-açúcar foi patenteada em 1854 no Havaí, era tracionada por uma parelha de muares e além de cortar a cana, removia folhas e palhas dos colmos com escova de arame.

Na Austrália e no Brasil, a introdução em escala comercial das primeiras colhedoras combinadas automotrizes aconteceu na primeira metade da década de 70 com a marca australiana Toft. No ano de 1995, já com o nome de Austoft no Brasil, foi lançada a primeira colhedora combinada automotriz para colheita de cana-de-açúcar sem queima prévia do canavial (NEVES, 2003).

No Brasil são utilizadas, com maior frequência, as colhedoras combinadas automotrizes de cana-de-açúcar picada. Nesse tipo de máquina, ela passa por várias etapas dentro da colhedora, desde o momento do corte basal até o carregamento no veículo de transporte. Durante a colheita, a máquina (Figura 2), é posicionada em uma fileira de cana e quando se inicia o deslocamento da colhedora, o cortador de pontas realiza a separação dos ponteiros da planta. O sistema de alimentação é constituído pelos divisores de linhas, rolo alimentador e tombador, que direcionam a fileira de cana-de-açúcar para o corte. O corte de base é realizado por dois discos rotativos com lâminas e o recolhimento e transporte interno das plantas inteiras é realizado por rolos alimentadores e transportadores. O seu corte em rebolos é feito pelos picadores e a retirada das impurezas (limpeza) pelo extrator primário. Em seguida, os rebolos são transportados pelo elevador de taliscas e na parte superior, antes do descarregamento dos rebolos, ocorre uma segunda limpeza pelo extrator

secundário (NEVES, 2003).

O uso de colhedoras automotrizes representa um avanço da mecanização na colheita da cana-de-açúcar, sendo utilizada principalmente em áreas com topografia adequada, ou seja, com declividades abaixo de 12%. Entretanto, ainda são necessárias diversas alterações técnicas, como: sistematização dos terrenos e dimensionamento de talhões para reduzir o número de manobras; determinação do espaçamento mais adequado juntamente a um paralelismo na sulcação, para que evite o pisoteio da soqueira da cana-de-açúcar, além da utilização de variedades adequadas para o processo da colheita mecanizada, havendo, ainda, aquelas mudanças relacionadas à capacidade operacional das máquinas, melhorias na qualidade de matéria-prima colhida e na redução das perdas, o que proporcionaria ganhos na capacidade de colheita e na produtividade agrícola da cultura (BENEDINI; DONZELLI, 2007).

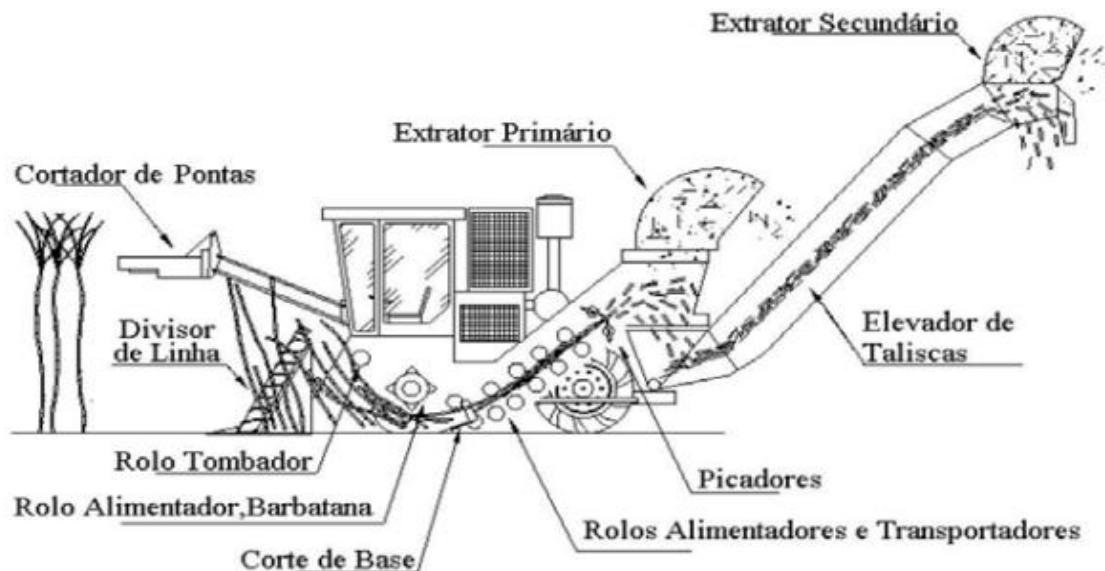


Figura 2. Esquema de uma colhedora de cana-de-açúcar automotriz com destaque para os principais órgãos ativos (NEVES, 2003).

Conforme Ripoli e Ripoli (2009) a capacidade de colheita é a quantidade de trabalho que a máquina é capaz de executar na unidade de tempo, podendo essa capacidade ser efetiva ou operacional. Conforme os autores, a capacidade efetiva desconsidera os tempos não utilizados para a efetiva colheita como em manobras de cabeceira e outras interrupções, além disso, tanto pode ser líquida, quando são levadas em consideração as perdas de matéria-prima no campo, como pode ser bruta, quando se considera apenas o material jogado no veículo de transporte, ou seja, é a relação entre uma produção obtida e o

tempo efetivo decorrido na execução da operação, dada em função da massa média de colmos presentes na fileira por metro, das perdas e, principalmente, da velocidade de deslocamento. A capacidade operacional pode estar relacionada a uma jornada de trabalho ou a uma safra e considera a somatória do tempo efetivo de trabalho com todos os tempos de interrupções ocorridos durante a operação.

As condições tanto do terreno como da cultura são fatores fundamentais para o desempenho de colhedoras de cana-de-açúcar, influenciando diretamente sua velocidade de deslocamento. Segundo os próprios fabricantes, as colhedoras têm capacidade de trabalhar em velocidades de até  $9,0 \text{ km h}^{-1}$ ; contudo, o que tem sido visto no campo é o uso de velocidades entre  $4,0$  e  $6,0 \text{ km h}^{-1}$ . A velocidade de deslocamento a ser utilizada em cada condição deve ser ajustada em função das características do talhão, no que diz respeito à sistematização, porte do canavial e a produtividade agrícola estimada (RIPOLI; RIPOLI, 2009).

A velocidade de deslocamento é um fator significativo para o desempenho operacional das colhedoras de cana-de-açúcar e para o consumo de combustível. Quanto maior a velocidade de deslocamento maior será a capacidade operacional, sendo que com uma velocidade de deslocamento de  $7 \text{ km h}^{-1}$  a eficiência de campo pode chegar a 75%. Em se tratando do consumo horário de combustível, o mesmo também tem influência da velocidade de deslocamento da colhedora, uma vez que quanto maior a velocidade maior o consumo horário e menor o consumo por tonelada de cana colhida (CARVALHO FILHO, 2000)

Na colheita mecanizada de cana-de-açúcar um dos maiores custos é o combustível, devido aos altos consumos das colhedoras, ultrapassando, muitas vezes, o valor de 60 litros por hora (RIPOLI; RIPOLI, 2009), demonstrando o quanto é importante para o setor produtivo a otimização dessa variável, que impacta significativamente no custo de produção.

Lyra (2012), estudando o consumo de combustível de duas colhedoras, em função da variação de rotação de trabalho do motor, em canaviais com produtividades distintas, de  $37,58 \text{ t ha}^{-1}$  e  $102,07 \text{ t ha}^{-1}$  verificaram que os resultados apresentaram redução da rotação de trabalho do motor em canaviais de baixa produtividade, diminuiu significativamente o consumo de combustível da colhedora, encontrando valores de  $68,08 \text{ L h}^{-1}$  quando colhendo na rotação máxima (2100 rpm) e se deslocando entre 5 e  $6 \text{ km h}^{-1}$ , e quando reduziu a rotação para 1900 rpm obteve  $45,80 \text{ L h}^{-1}$ . Os resultados ainda

demonstraram menor consumo de combustível no canavial de menor produtividade, em todas as velocidades avaliadas, quando usando a rotação reduzida.

Ramos (2013), estudando o desempenho operacional na colheita mecanizada em função da velocidade de deslocamento e rotação do motor, ao utilizar duas velocidades diferentes de deslocamento, concluiu que nas velocidades maiores a capacidade efetiva é sempre maior, sendo que a  $4 \text{ km h}^{-1}$  a capacidade efetiva foi de  $54,9 \text{ t h}^{-1}$  de cana-de-açúcar colhida e a  $5,5 \text{ km h}^{-1}$  a capacidade efetiva aumentou para  $81,8 \text{ t h}^{-1}$ .

A colheita mecanizada também apresenta alguns problemas de ordem econômica e operacional. O problema econômico começa pelo alto preço das máquinas e pela grande quantidade de máquinas, já que uma frente de trabalho mecanizado requer, segundo Soares (2007), os seguintes equipamentos, colhedora, trator, equipamento de transbordo, caminhão-prancha, caminhão oficina e caminhão bombeiro.

Sob o ponto de vista operacional é necessário treinamento das equipes de trabalho para a correta utilização da colheita mecanizada a fim de evitar problemas como: pisoteio e arranquio das soqueiras, falhas de brotação e redução do vigor, compactação do solo influenciado pelo teor de água do solo e tráfego intenso que podem reduzir a longevidade do canavial (BENEDINI; DONZELLI, 2007).

### **2.3 Perdas qualitativas e quantitativas de matéria-prima colhida**

As perdas de matéria-prima de cana-de-açúcar são inevitáveis em qualquer modalidade de colheita sendo ela manual, semi-mecanizada ou mecanizada; porém, a mecanizada, de acordo com avaliações realizadas pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), apresenta perdas de cerca de 10% de toda matéria prima colhida (MAGALHÃES et al., 2006).

Na colheita mecanizada da cana-de-açúcar encontram-se algumas características próprias que interagem com o solo, a planta e a máquina e que pode vir trazer perdas vegetais no campo, iniciando com a qualidade da matéria prima e se estendendo a redução do número de cortes do canavial (SALVI et al., 2007).

Na colheita mecanizada em que não há queima prévia do canavial para efetuar a pré-limpeza da palha, os índices de perdas vegetais e de matéria estranha possuem tendência de aumentar, uma vez que a massa vegetal a ser processada pela colhedora é maior (NEVES et al., 2004).

Segundo Neves et al. (2004), as perdas de matéria prima podem ser identificadas como visíveis e invisíveis, sendo consideradas as perdas visíveis os colmos inteiros e suas frações, rebolos e tocos resultantes do corte basal da colhedora de cana-de-açúcar. No processo de colheita, se houver arranque da soqueira, o canavial terá problemas de rebrota, e o solo e outras impurezas presentes no material a ser processado poderão onerar os custos de transporte e manutenção de equipamentos industriais e reduzir a eficiência de moagem e extração de sacarose (KROES; HARRIS, 1996). As perdas invisíveis são constituídas por caldo, pequenas partículas de cana decorrentes da ação dos mecanismos rotativos que cortam, picam e limpam a cana durante o processamento interno nas máquinas.

Carvalho Filho (2000), em estudo de desempenho operacional e econômico da colheita mecanizada, concluiu que a velocidade de deslocamento da colhedora é um dos principais fatores que influenciaram o nível de perdas no campo. As principais perdas são aquelas que podem ser diagnosticadas visualmente no campo após a colheita, sendo facilmente determinadas por meio de coleta manual (Tabela 1).

Além da velocidade de deslocamento da colhedora de cana-de-açúcar, outro fator que está diretamente relacionado às perdas, é a velocidade de rotação dos extratores primários que fazem a limpeza da matéria prima, pois na tentativa de diminuir os índices de matéria estranha na cana-de-açúcar colhida, o aumento da rotação dos extratores primários das colhedoras acaba elevando as perdas, como por exemplo, pelos estilhaços e, essas perdas, são economicamente inaceitáveis (YOUNGER, 1980; MORAES, 1992; NEVES et al., 2004).

De acordo com Moraes e Neves (1997), a possibilidade de haver maiores perdas de cana-de-açúcar aumenta na medida em que se aumenta a eficiência de limpeza dos extratores. A alta velocidade do fluxo de ar, geralmente do extrator primário, causa a sucção dos toletes de cana-de-açúcar que, ao se chocarem com as pás do ventilador ficam parcialmente ou totalmente dilacerados. Os autores afirmam que a definição de regulagens adequadas às diferentes condições de colheita se torna mais simples por meio de avaliações periódicas das perdas de matéria-prima e de impurezas vegetais e minerais.

Tabela 1. Descrições das perdas visíveis de matéria prima em colheita mecanizada.

Tipo de Perdas	Especificação	Ilustração
Rebolo repicado	Fração do colmo com o corte característico do facão picador, em ambas as extremidades.	
Cana inteira	Fração de cana-de-açúcar com tamanho igual ou superior a 2/3 do comprimento total. Pode ou não estar preso ao solo pelas raízes.	
Cana-ponta	Fração de colmo deixada no solo e agregada ao ponteiro.	
Estilhaço	Fragmentos de cana-de-açúcar dilacerados.	
Toco	Fração do colmo cortada acima da superfície do solo, presa às raízes não-arrancadas, com comprimento menor ou igual a 0,2 m	
Pedaço Fixo	Segmento médio de cana-de-açúcar (maior que 0,20 m), que deve estar necessariamente preso ao solo.	
Pedaço Solto	Todas as variações visíveis de colmos sem as características que definam tocos, colmos inteiros, rebolos, lascas e cana-ponta e que estejam soltos.	

(FONTE: adaptado de REIS, 2009).

Moraes (1992), ao avaliar as perdas invisíveis e as impurezas vegetais na colheita mecanizada da cana-de-açúcar, concluiu que o extrator primário foi o ponto principal de perdas invisíveis, as quais não foram afetadas pelo extrator secundário.

Schmidt Junior (2011) estudou o desempenho de colhedoras de cana-de-açúcar, colhendo sem queima prévia, com produtividade de 85 t ha<sup>-1</sup>, em três velocidades de deslocamento, sendo elas 5,7 km h<sup>-1</sup>, 7,0 km h<sup>-1</sup>, e 8,5 km h<sup>-1</sup>, variando a rotação do extrator primário em duas rotações, 1000 e 1500 rpm. Os resultados mostraram aumento no

índice de matéria estranha total, com o aumento da rotação. Na maior velocidade de deslocamento o índice ficou em 15,56% para a rotação de extrator de 1500 rpm, sendo que, o aumento de rotação do extrator não influenciou significativamente na quantidade de matéria estranha colhida. Na maior velocidade de deslocamento ensaiada ( $8,5 \text{ km h}^{-1}$ ) as perdas foram significativamente maiores do que nas demais velocidades.

Neves et al. (2004) quantificaram as perdas de massa remanescente em lavouras de cana-de-açúcar submetidas à colheita por meio de colhedora automotriz operando sob duas diferentes rotações do ventilador do extrator primário do equipamento, onde essas foram de 1200 rpm e 1500 rpm. E neste estudo foi comprovado que ocorreram as maiores perdas para a maior rotação, com 5,68% para perdas totais (correspondente a perdas em rebolos, tocos, colmos, pedaços e lascas), 17,38% para as perdas de massa foliar e totalizou 23,06% da base úmida. Na menor rotação houve perdas; porém, menores que a anterior, chegando a 2,51% para as mesmas perdas totais e de 10,74% para perdas de massa foliar, totalizando 13,25%. Dentro das perdas totais, a fração de toco correspondeu a somente 0,08% para 1500 rpm e 0,14% para 1200 rpm.

As impurezas são classificadas como qualquer material que esteja junto com a matéria-prima colhida e que não sejam colmos maduros, sendo divididas em dois tipos, impureza vegetal (folha, palha, palmito, raízes e colmos secos) e impurezas minerais (terra, sílica, cinzas, pedras) (MOLINA JÚNIOR, 2000).

Moraes e Neves (1997), estudando o desempenho de três modelos de colhedoras em duas variedades de cana-de-açúcar sem queima prévia, obtiveram perdas em torno de 4%, as impurezas vegetais em torno de 9,9% e as impurezas minerais de, aproximadamente, 0,3%.

Belardo (2010) avaliou a matéria estranha mineral e vegetal de três colhedoras de marcas diferentes em duas velocidades de deslocamento,  $5,0$  e  $7,0 \text{ km h}^{-1}$ . O autor obteve valores para matéria estranha mineral que variam entre 0,50 e 0,92 % e 0,55 a  $1,16 \text{ t ha}^{-1}$ . Já para a matéria estranha vegetal, foram encontrados valores que variaram entre  $5,0$  e  $7,3\%$  e  $5,5$  e  $8,8 \text{ t ha}^{-1}$ .

As colhedoras automotrizes de cana-de-açúcar realizam o corte da cana-de-açúcar em sua base pelo impacto, devido à utilização de um disco rotativo onde são acopladas múltiplas lâminas de corte. O rolo defletor empurra a cana para frente antes de cortá-la, com o intuito de facilitar a alimentação pelos rolos alimentadores. O corte de base é responsável por danos na cana colhida e na soqueira, gerando perdas, tanto de massa como

por deterioração, além de facilitar o ataque de fungos e doenças na soqueira (MELLO & HARRIS, 2003).

Conforme Ripoli e Ripoli (2009), a variação da altura de corte e a falta de manutenção das lâminas do corte de base, podem influenciar negativamente a quantidade de tocos rachados e mal cisalhados, aumentando as perdas visíveis e invisíveis.

Rafull (2003) afirma que a dificuldade dos mecanismos de corte das colhedoras de grãos e de cana-de-açúcar em acompanhar, de maneira eficiente, o perfil do terreno pode favorecer a realização de um corte acima da altura ideal. Tais fatos provocam perdas, presença de impurezas no material colhido, desgaste excessivo das lâminas de corte, sobrecarga dos elementos de transmissão, aumento da exigência de potência e, no caso da cana-de-açúcar, ainda danos às soqueiras.

Reis (2009), avaliando as perdas na colheita mecanizada da cana-de-açúcar crua em função do desgaste de facas do corte de base, observou que o intervalo de desgaste das facas de corte de base, após 4 a 6 horas trabalhadas, é responsável pelos maiores graus de danos às soqueiras.

Para Benedini et al. (2009) a quantificação das perdas vegetais ou de impurezas facilita as correções de falhas operacionais. Uma maneira de redução de perdas referentes ao canavial poderá ser minimizada, principalmente com a redução da velocidade da colheita. Assim, para a redução das perdas, os autores sugerem algumas alternativas como o treinamento dos operadores de colhedora e dos operadores do conjunto trator-transbordo e também o acompanhamento da operação durante a safra por técnico da área de treinamento e capacitação tecnológica analisando as condições do talhão, porte do canavial, comprimento de trabalho, sistema de caminhamento e aceiro, altura do corte de base/corte de ponta, velocidade de deslocamento da colhedora, sincronização entre a colhedora e o transbordo, distribuição dos equipamentos na área, cultivo e quebra do meio (lombo).

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.1 Área experimental**

O experimento foi realizado na usina Pederneiras, pertence ao grupo Zambianco, localizado no município de Tietê, estado de São Paulo, com as coordenadas geográficas 22°58'09" de Latitude Sul e 47°43'12" de Longitude Oeste.

O experimento foi plantado com a variedade CTC15 no dia 10 de maio de 2014, em uma área de 18,66 ha (Figura 3). O espaçamento entre fileiras de plantio foi de 1,5 metros e o terreno apresentava declividade média de 6%, sendo apto para a colheita mecanizada. Durante a realização dos tratamentos culturais na área experimental, foi realizada a operação de “quebra-lombo”. A colheita ocorreu sem a queima prévia do canavial no mês de setembro de 2015 e a produtividade média da área foi de 92,5 t ha<sup>-1</sup>.

### **3.2 Colhedora de cana-de-açúcar utilizada**

Em todo experimento foi utilizada a mesma colhedora de cana-de-açúcar de uma linha como demonstrado na (Figura 4) e as suas características na Tabela 2.



Figura 3. Localização da área experimental – Usina Pederneiras, Tietê (SP).



Figura 4. Modelo de colhedora utilizado no experimento

Tabela 2. Características da colhedora utilizada

Marca	Case IH
Modelo	A8800
Ano de fabricação	2010
Horímetro	6017,67 horas
Potência	330 cv (243kW)
Cortadores de pontas	Tambor separador bidirecional.
Rodado	Esteiras
Peso (kg)	18.300

### 3.3 Tratamentos e critérios de amostragem

Foram selecionadas três velocidades de deslocamento da colhedora, sendo a velocidade de 3,0 km h<sup>-1</sup> (V1), velocidade de 5,0 km h<sup>-1</sup> (V2) e a velocidade de 7,0 km h<sup>-1</sup> (V3). Foram utilizadas duas rotações do extrator primário da máquina, sendo a rotação de 700 rpm (R1) e a rotação de 1000 rpm (R2).

Os tratamentos foram:

- V1R1 - Colhedora na velocidade de colheita V1 (3,0 km h<sup>-1</sup>) e rotação do extrator R1 (700 rpm);
- V1R2 - Colhedora na velocidade de colheita V1 (3,0 km h<sup>-1</sup>) e rotação do extrator R2 (1000 rpm);
- V2R1 - Colhedora na velocidade de colheita V2 (5,0 km h<sup>-1</sup>) e rotação do extrator R1 (700 rpm);
- V2R2 - Colhedora na velocidade de colheita V2 (5,0 km h<sup>-1</sup>) e rotação do extrator R2 (1000 rpm);
- V3R1 - Colhedora na velocidade de colheita V3 (7,0 km h<sup>-1</sup>) e rotação do extrator R1 (700 rpm);
- V3R2 - Colhedora na velocidade de colheita V3 (7,0 km h<sup>-1</sup>) e rotação do extrator R2 (1000 rpm);

Os tratamentos foram submetidos a seis repetições, totalizando 36 parcelas. A área correspondente às parcelas foi obtida a partir de faixas de 100 m de comprimento de colheita, depois de eliminadas as bordaduras de 25 m, no talhão, ou seja, essa área foi suficientemente afastada dos carregadores, a fim de se buscar menor variabilidade espacial das fileiras de plantio.

### 3.4 Determinação do porte do canavial

O porte do canavial é definido quanto a posição relativa e a quantidade em que os colmos se encontram em relação ao solo, sendo classificados como eretos, acamados ou deitados. Para determinação do porte do canavial colhido foi utilizada a metodologia proposta por Ripoli et al. (1996), que consiste na utilização de um triângulo com divisões com ângulos para avaliação do porte do canavial, sendo realizadas seis repetições para cada tratamentos avaliado. A Figura 5 demonstra o canavial utilizado para o experimento.



Figura 5. Canavial utilizado para realização do experimento

### 3.5 Determinação da velocidade de deslocamento

A determinação da velocidade de deslocamento foi realizada através do tempo gasto para percorrer cada parcela, sendo que para determinar a distância de cada parcela e o tempo gasto no deslocamento foi utilizado um GPS modelo MAP 60csx da marca Garmin (Figura 6). A velocidade média foi obtida pela Equação 1.



Figura 6. Receptor GPS

$$Vel = \frac{L}{\Delta t} \cdot 3,6 \quad (1)$$

Em que:

$Vel$  = velocidade de deslocamento da colhedora ( $\text{km h}^{-1}$ );

$L$  = comprimento da parcela experimental (m);

$\Delta_t$  = tempo gasto para percorrer a parcela experimental (s);

3,6 = fator de conversão.

### 3.6 Capacidade de campo efetiva

A capacidade de campo efetiva foi determinada pela relação entre a área útil da parcela trabalhada e o tempo gasto no percurso da parcela, por meio da equação 2:

$$CE = \frac{Atr}{\Delta_t} \cdot 0,36 \quad (2)$$

onde:

$CE$  = capacidade de campo efetiva ( $\text{ha h}^{-1}$ );

$Atr$  = área útil da parcela trabalhada ( $\text{m}^2$ );

$\Delta_t$  = tempo gasto no percurso da parcela experimental (s);

0,36 = fator de conversão.

### 3.7 Determinação do consumo de combustível

Na avaliação do consumo de combustível da colhedora foram utilizados dois medidores de combustível tipo fluxômetro da marca Oval, modelo LSF45 com capacidade máxima de leitura  $500 \text{ L h}^{-1}$  (Figura 7), instalados no sistema de alimentação de combustível entre o tanque e o motor e outro instalado no retorno para o tanque. Para aquisição dos dados foi utilizado um Controlador Lógico Programável (CLP) (Figura 8), que registra uma unidade de pulso a cada 10 mL de combustível que passou pelos fluxômetros, permitindo calcular através da diferença de combustível que entra no motor e o que retorna ao tanque, o consumo horário de combustível, com a visualização instantânea dos dados, segundo a metodologia utilizada por Monteiro (2008) e adotada pelo Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais (NEMPA) da Faculdade de Ciências Agrônomicas (FCA-

UNESP) campus de Botucatu-SP. Em cada repetição o CLP foi acionado no início da colheita e parado ao final, obtendo o resultado de consumo de combustível de cada linha colhida. Para todos os tratamentos foi utilizado o sistema Smart Cruise da colhedora, o qual permite selecionar a potência do motor mais adequada para as diferentes condições de colheita.



Figura 7. Fluxômetros instalados na entrada e no retorno do tanque da colhedora para determinação do consumo de combustível.



Figura 8. Controlador Lógico Programável (CLP) utilizado para coleta de dados

### 3.8 Consumo horário de combustível ( $L h^{-1}$ )

O consumo horário de combustível foi obtido através da coleta dos dados fornecidos pelo CLP após percorrer cada parcela. Sendo calculado pela Equação 3:

$$CCh = \frac{\sum (pe - ps) \cdot 3,6}{\Delta t} \quad (3)$$

onde:

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

$\sum (pe - os)$  = diferença entre os somatórios de pulsos dos fluxômetros, equivalente a mL de combustível gasto, de entrada e de retorno do motor;

$\Delta t$  = tempo gasto na parcela (s);

3,6 = fator de conversão.

### 3.9 Consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida ( $L t^{-1}$ )

O consumo de combustível por tonelada foi obtido através do cálculo realizado conforme a Equação 4.

$$Ct = \frac{CCa}{P} \quad (4)$$

Onde:

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

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

$P$  = produtividade do canavial ( $t ha^{-1}$ )

### 3.10 Determinação das perdas visíveis de matéria prima

As perdas representam a massa de material vegetal (colmo) que fica no campo após a passagem da colhedora, cujo conteúdo em açúcar a qualifica como “matéria prima industrializável”.

Foi utilizada a metodologia proposta pelo Centro de Tecnologia Canavieira – CTC (BENEDINI et al., 2009), em que as perdas são medidas de maneira direta, demarcando-se uma área logo após a colheita e realizando a catação manual de todas as frações que não foram colhidas (frações de rebolos que foram estilhaçados, canas inteiras ou em pedaços amassados/estraçalhados, pedaços de cana-de-açúcar agarrados aos ponteiros, rebolos inteiros lançados fora do veículo transbordo e tocos altos deixados por deficiência no corte basal).

A área da parcela amostrada possuía aproximadamente 10 m<sup>2</sup>, abrangendo duas linhas de cana-de-açúcar, com 3,0 m na largura e 3,3 m no comprimento da fileira (Figura 9).

Foram realizadas 6 repetições de perdas de matéria-prima para cada tratamento.

Após a separação do material encontrado, foi feita a pesagem de cada material recolhido utilizando uma balança portátil com capacidade de leitura de 25 kg e precisão de 10 gramas. As perdas foram calculadas de forma absoluta (t ha<sup>-1</sup>), multiplicando-se o valor final em peso por 1.000. Para o valor em porcentagem, dividiu-se este valor pela produtividade mais o valor das perdas, conforme a Equação 5.

$$Pc(\%) = \frac{PC}{P + PC} \cdot 100 \quad (5)$$

Em que:

Pc = Porcentagem de perdas no campo (%)

PC = Perdas no campo (t ha<sup>-1</sup>)

P = Produtividade do canavial (t ha<sup>-1</sup>)

100 = Fator de conversão



Figura 9. Área demarcada para quantificação das perdas visíveis de matéria-prima.

Os componentes das sobras de cana-de-açúcar são: tocos, cana inteira, cana ponta, toletes, lascas e pedaços. Esses componentes são separados e pesados para realizar a quantificação de cada um, com essa informação é possível identificar onde estão ocorrendo às perdas. O nível de perda de matéria prima foi classificado conforme CTC (Tabela 3).

Tabela 3. Classificação das perdas de matéria – prima (%)

Nível de perdas	Percentual de perdas (%)
Baixo	< 2,5
Médio	2,5 a 4,5
Alto	> 4,5

Fonte: CTC (2009)

### 3.11 Qualidade da matéria prima colhida

Para a avaliação da qualidade de matéria prima colhida pela colhedora, foram realizadas amostras do material colhido que seria depositado no transbordo de cana-de-açúcar, utilizando sacos plásticos para coleta do material, em cada repetição. As amostras foram retiradas após o extrator secundário, sendo que as mesmas passaram por todos os sistemas de limpeza da colhedora, isto é, extrator primário e extrator secundário, permitindo avaliar a quantidade real de material estranho vegetal em relação ao material colhido.

Após a coleta do material, as amostras foram separadas em frações para a determinação da impureza vegetal, sendo elas: rebolos, ponteiros, folhas e palhas, raízes e total. Essas frações foram pesadas com a balança portátil, e foram determinadas as porcentagens de cada item no total da amostra (Figura 10). A classificação das impurezas vegetais foi realizada conforme Benedini et.al. (2009) (Tabela 4).



Figura 10. Separação das amostras para avaliação das impurezas vegetais.

Tabela 4. Classificação de impurezas vegetais.

Classificação das Impurezas vegetais	Percentual de Impurezas vegetais (%)
Baixo	< 3%
Médio	4% a 6%
Alto	> 7%

Fonte: BENEDINI et al.( 2009)

### 3.12 Frequência de comprimento e índice de fissura dos rebolos

Para todos os tratamentos, foram analisados aleatoriamente 50 rebolos, nos quais foram medidos seus comprimentos, para obtenção da frequência de comprimento, bem como se procedeu a análise da qualidade do corte realizado pelos facões picadores dos mesmos, sendo classificados como perfeitos, quando não houvesse fissuras em ambas as extremidades; extremidade danificada, quando somente um dos lados apresentasse fissuras, e imperfeito quando em ambas as extremidades fossem observadas as fissuras (Figura 11).



Figura 11. Avaliação da frequência de comprimento e índice de fissura.

### 3.13 Determinação da altura de toco e abalo de soqueiras

Para análise da qualidade da colheita em relação ao corte basal, foram avaliados os tocos remanescentes na linha colhida, imediatamente após a passagem da colhedora. Foi avaliada a altura de corte utilizando uma trena em 40 soqueiras, sendo realizadas 4 repetições para cada tratamento (Figura 12). Juntamente foi realizada a pontuação de cada soqueira, conforme a metodologia proposta por Benedini et al. (2009). Foram atribuídas notas para as soqueiras avaliadas, sendo classificadas de acordo com a qualidade do corte (Figura 13).

Para quantificação do abalo da soqueira foram atribuídos os valores de 1 a 4 em função da situação encontrada em cada soqueira (Figura 13), conforme Kroes (1997) e citado por Mello e Harris (2003).



Figura 12. Avaliação da altura de toco.

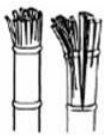
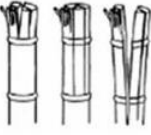
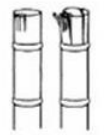

Classificação de danos	Limite inferior	Nota
Fragmentado		1
Rachaduras		2
Danos periféricos		3
Sem danos		4

Figura 13. Tabela para a classificação dos danos às soqueiras. Adaptado de Kroes (1997), citado por Mello e Harris (2003).

### 3.14 Análise estatística

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em fatorial 3x2 sendo três velocidades de deslocamento (3,0; 5,0 e 7,0 km h<sup>-1</sup>) e duas rotações do extrator primário (700 e 1000 rpm) e seis repetições. A análise estatística foi efetuada pelo software Minitab (16). As médias foram analisadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Determinação do porte do canavial

O canavial colhido foi classificado como de porte ereto, pois 96 % das plantas apresentaram-se com ângulo igual ou superior a 45° em relação a superfície do solo.

### 4.2 Velocidade de deslocamento

Para as velocidades avaliadas não houve diferença entre as rotações e as velocidades dentro dos tratamentos realizados, sendo observadas diferenças significativas apenas entre as diferentes velocidades dos tratamentos (Tabela 5), mostrando que o ensaio foi realizado com precisão.

Tabela 5. Médias das velocidades de deslocamento nos tratamentos (km h<sup>-1</sup>)

Velocidade de deslocamento (km h <sup>-1</sup> )	Rotação extrator primário (rpm)		Média
	R1	R2	
V1	2,98	2,91	<b>2,94 C</b>
V2	4,82	4,97	<b>4,89 B</b>
V3	6,96	7,23	<b>7,09 A</b>
Média	<b>4,92 a</b>	<b>5,03 a</b>	

V1: Velocidade média de 3,0 km h<sup>-1</sup>, V2: Velocidade média de 5,0 km h<sup>-1</sup>, V3: Velocidade média de 7,0 km h<sup>-1</sup>, R1: 700 rpm, R2: 1000 rpm. Médias seguidas de letras iguais e maiúsculas na coluna não diferem pelo teste de Tukey ( $\alpha=5\%$ ), médias seguidas de iguais e minúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey ( $<0,05$ ).

### 4.3 Capacidade de campo efetiva

As médias de capacidade de campo efetiva (ce) foram estatisticamente diferentes a 5% de significância para todas as velocidades avaliadas (Tabela 6). Obteve-se a maior capacidade de campo para a velocidade de V3 (7,0 km h<sup>-1</sup>), mostrando assim que o aumento de velocidade de deslocamento da colhedora resultou em aumento da capacidade de campo efetiva. Para as diferentes rotações do extrator primário não houve diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos.

Os resultados encontrados para a capacidade de campo efetiva (Ce) na velocidade de deslocamento V2 (5 km h<sup>-1</sup>) são semelhantes aos de Belardo (2010), de 0,74 ha h<sup>-1</sup> em avaliação de três colhedoras de cana-de-açúcar de uma linha, em canavial de primeiro corte com produtividade média de 100 t ha<sup>-1</sup>. Já para a velocidade V1 (3 km h<sup>-1</sup>) os valores são inferiores aos de Testa (2014), em avaliação do desempenho operacional e energético de colhedoras de cana-de-açúcar de uma e duas linhas, em canavial com produtividade média de 83,5 t ha<sup>-1</sup>, em colhedora de uma linha obteve valores de 0,57 ha h<sup>-1</sup>.

Tabela 6. Médias dos valores de capacidade de campo efetiva (ha h<sup>-1</sup>)

Velocidade de deslocamento (km h <sup>-1</sup> )	Rotação extrator primário (rpm)		Média
	R1	R2	
V1	0,45	0,44	<b>0,44 C</b>
V2	0,72	0,75	<b>0,73 B</b>
V3	1,04	1,09	<b>1,06 A</b>
Média	<b>0,73 a</b>	<b>0,75 a</b>	

V1: Velocidade média de 3,0 km h<sup>-1</sup>, V2: Velocidade média de 5,0 km h<sup>-1</sup>, V3: Velocidade média de 7,0 km h<sup>-1</sup>, R1: 700 rpm, R2: 1000 rpm. Médias seguidas de letras iguais e maiúsculas na coluna não diferem pelo teste de Tukey ( $\alpha=5\%$ ), médias seguidas de iguais e minúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey ( $<0,05$ ).

### 4.4 Consumo horário efetivo de combustível

A tabela 7 apresenta os valores para o consumo horário efetivo de combustível (L h<sup>-1</sup>) para os tratamentos avaliados. A avaliação do consumo de combustível difere-se da avaliação do consumo de combustível médio avaliado, ou seja, a avaliação do consumo de combustível neste trabalho referiu-se somente ao consumo da colhedora no momento da operação de colheita da cana-de-açúcar, não considerando situações envolvidas

no processo como manobras de cabeceira, mudanças de talhão, espera por transbordos, desembuchamentos, ou qualquer situação que envolva o consumo de combustível da máquina.

Conforme houve aumento na velocidade de deslocamento em todos os tratamentos, obteve-se aumento no consumo de combustível, sendo que o maior valor encontrado foi na velocidade de deslocamento V3 (7,0 km h<sup>-1</sup>), diferenciando-se estatisticamente de todas outras velocidades ao nível de 5% de probabilidade. O mesmo ocorreu para a rotação dos extratores primários, sendo que, conforme se aumentou a rotação, R2 (1000 rpm), houve aumento no consumo de combustível, havendo diferença estatística entre os tratamentos avaliados.

Tabela 7. Médias dos valores de consumo efetivo de combustível horário (L h<sup>-1</sup>)

Velocidade de deslocamento (km h <sup>-1</sup> )	Rotação extrator primário (rpm)		Média
	R1	R2	
V1	44,2	46,7	<b>45,4 C</b>
V2	47,3	51,5	<b>49,4 B</b>
V3	62,6	68,1	<b>65,3 A</b>
Média	<b>51,4 b</b>	<b>55,4 a</b>	

V1: Velocidade média de 3,0 km h<sup>-1</sup>, V2: Velocidade média de 5,0 km h<sup>-1</sup>, V3: Velocidade média de 7,0 km h<sup>-1</sup>, R1: 700 rpm, R2: 1000 rpm. Médias seguidas de letras iguais e maiúsculas na coluna não diferem pelo teste de Tukey ( $\alpha=5\%$ ), médias seguidas de iguais e minúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey ( $<0,05$ ).

Os resultados para consumo horário de combustível deste trabalho são semelhantes ao de Carvalho Filho (2000) de 49,77 L h<sup>-1</sup>, Giachini (2012) com 57,5 L h<sup>-1</sup> e Lyra (2012) sendo de 55,88 L h<sup>-1</sup> com a colhedora a velocidade de 5,0 km h<sup>-1</sup>.

Schmidt Junior (2011), colhendo a velocidade de 5,7 km h<sup>-1</sup> e rotação de extrator primário a 1000 rpm obteve 50,3 L h<sup>-1</sup>, resultado próximo deste trabalho, entretanto a velocidade de 7,0 km h<sup>-1</sup> e rotação do extrator primário de 1000 rpm os valores ficaram abaixo deste trabalho sendo de 53,79 L h<sup>-1</sup>. Já Nery (2000), a uma colheita realizada a velocidade de 7,5 km h<sup>-1</sup> obteve um consumo de 66,27 L h<sup>-1</sup> resultando em um valor próximo ao encontrado nesse ensaio.

#### 4.5 Consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida

O maior consumo de combustível por tonelada colhida ocorreu na velocidade de deslocamento V1 (3,0 km h<sup>-1</sup>) diferenciando-se estatisticamente das demais velocidades ao nível de 5% de probabilidade. As velocidades V2 (5,0 km h<sup>-1</sup>) e V3 (7,0 km h<sup>-1</sup>)

<sup>1)</sup> não se diferenciaram estatisticamente (Tabela 8). A rotação R2 (1000 rpm) apresentou maior consumo de combustível, diferenciando-se estatisticamente da rotação R1 (700 rpm).

Os resultados encontrados neste trabalho foram maiores que os encontrados por Belardo (2010) colhendo a velocidade de 7 km h<sup>-1</sup> que obteve valores de 0,47 a 0,53 L t<sup>-1</sup>; porém, similar quando colhendo a uma velocidade de 5 km h<sup>-1</sup> com valores de 0,66 a 0,70 L t<sup>-1</sup> e também são semelhantes aos valores encontrados por Testa (2014) de 0,77 L t<sup>-1</sup>.

Tabela 8. Médias dos valores de consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida (L t<sup>-1</sup>)

Velocidade de deslocamento (km h <sup>-1</sup> )	Rotação extrator primário (rpm)		Média
	R1	R2	
V1	1,06	1,12	<b>1,09 A</b>
V2	0,68	0,74	<b>0,71 B</b>
V3	0,64	0,70	<b>0,67 B</b>
Média	<b>0,79 b</b>	<b>0,85 a</b>	

V1: Velocidade média de 3,0 km h<sup>-1</sup>, V2: Velocidade média de 5,0 km h<sup>-1</sup>, V3: Velocidade média de 7,0 km h<sup>-1</sup>, R1: 700 rpm, R2: 1000 rpm. Médias seguidas de letras iguais e maiúsculas na coluna não diferem pelo teste de Tukey ( $\alpha=5\%$ ), médias seguidas de iguais e minúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey ( $<0,05$ ).

#### 4.6 Impurezas vegetais na matéria-prima

A velocidade de deslocamento da colhedora não apresentou diferença estatística, isto é, mesmo com o aumento da velocidade da colhedora, as médias de impurezas vegetais não se diferenciaram, entretanto para as médias das rotações dos extratores houve diferença estatística, sendo que o maior valor de impurezas vegetais foi encontrado na rotação R1 (700 rpm) e o menor em R2 (1000 rpm), demonstrando a influência da rotação do extrator primário na limpeza da cana-de-açúcar (Tabela 9). De acordo com a classificação de Benedini et al. (2009), os valores encontrados neste trabalho para os tratamentos V1R2; V2R2; V3R2 apresentam níveis médios de impurezas vegetais, já os tratamentos V1R1; V2R1; V3R1 apresentam níveis altos de impurezas vegetais.

Os resultados deste trabalho de 5,5% a 7,6% são inferiores ao de Schmidt Junior (2011) que obteve entre 10 e 15%, Cenicaña (1997) de 8,3% e semelhantes ao de Molina Júnior et al. (2001) entre 6,17 e 7,58% e Belardo (2010) entre 5 a 7,39%

Tabela 9. Média dos valores de impurezas vegetais na matéria-prima (%)

Velocidade de deslocamento (km h <sup>-1</sup> )	Rotação extrator primário (rpm)		Média
	R1	R2	
V1	7,0	6,9	<b>7,0 A</b>
V2	7,6	5,5	<b>6,6 A</b>
V3	7,3	5,5	<b>6,4 A</b>
Média	<b>7,3 a</b>	<b>6,0 b</b>	

V1: Velocidade média de 3,0 km h<sup>-1</sup>, V2: Velocidade média de 5,0 km h<sup>-1</sup>, V3: Velocidade média de 7,0 km h<sup>-1</sup>, R1: 700 rpm, R2: 1000 rpm. Médias seguidas de letras iguais e maiúsculas na coluna não diferem pelo teste de Tukey ( $\alpha=5\%$ ), médias seguidas de iguais e minúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey ( $<0,05$ ).

#### 4.7 Perdas vegetais de matéria-prima

Conforme houve aumento da velocidade de deslocamento ocorreu uma maior perda vegetal em todos os tratamentos avaliados, sendo que a velocidade de deslocamento V1 (3,0 km h<sup>-1</sup>) apresentou o menor valor de perda vegetal diferenciando-se estatisticamente, ao nível de probabilidade 5%, segundo teste de Tukey, da velocidade V3 (7,0 km h<sup>-1</sup>); porém, a velocidade de V2 (5,0 km h<sup>-1</sup>) não se diferenciou estatisticamente das demais velocidades (Tabela 10). Quando analisadas as rotações do extrator primário não houve diferença estatisticamente significativa.

Os resultados são inferiores ao de Santos (2011), de 3 a 5%, De León (2000) entre 3,93 e 7,43%, Mazzonetto (2004) entre 3,5 a 4,5%, Nery (2000) de 6,1 e 9,98%, porém são superiores ao de Schmidt Junior (2011) de 0,29 a 0,82% e semelhantes ao de Belardo (2010) entre 1,5 e 3,2%.

Os resultados encontrados neste trabalho discordaram dos observados por Ripoli et al. (2001), que ao realizar ensaios de campo com 2 colhedoras de uma linha, observaram que as perdas de cana-de-açúcar não aumentaram com as colhedoras trabalhando em velocidades maiores, e de Neves et al. (2006), que afirmaram que o baixo desempenho das colhedoras, expresso pelos altos índices de perdas de matéria prima, não está associado à velocidade de deslocamento da colhedora

Com os valores obtidos neste trabalho, verificou-se que a porcentagem de perdas, segundo Benedini et al. (2009), seria classificada como baixa para todos tratamentos, pois foi inferior a 2,5%.

Tabela 10. Médias dos valores de perdas vegetais da matéria-prima (%)

Velocidade de deslocamento (km h <sup>-1</sup> )	Rotação extrator primário (rpm)		Média
	R1	R2	
V1	1,2	1,3	<b>1,2 B</b>
V2	1,4	1,7	<b>1,6 AB</b>
V3	2,0	2,3	<b>2,1 A</b>
Média	<b>1,5 a</b>	<b>1,8 a</b>	

V1: Velocidade média de 3,0 km h<sup>-1</sup>, V2: Velocidade média de 5,0 km h<sup>-1</sup>, V3: Velocidade média de 7,0 km h<sup>-1</sup>, R1: 700 rpm, R2: 1000 rpm. Médias seguidas de letras iguais e maiúsculas na coluna não diferem pelo teste de Tukey ( $\alpha=5\%$ ), médias seguidas de iguais e minúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey ( $<0,05$ ).

#### 4.8 Altura de toco e abalo de soqueira

Os resultados encontrados demonstram que conforme houve aumento na velocidade obteve-se aumento da altura de corte das soqueiras, assim como o aumento dos danos a soqueira (Tabela 11). Os maiores valores tanto para altura como para danos, isto é, rachaduras e soqueiras fragmentadas foram encontradas nos tratamentos V3R1 (7,0 km h<sup>-1</sup>; 700 rpm) e V3R2 (7,0 km h<sup>-1</sup>; 1000 rpm), os quais podem estar mais suscetíveis a problemáticas nas safras seguintes. Os menores valores para altura de toco e sem danos das soqueiras foram observados nos tratamentos V1R1 (3,0 km h<sup>-1</sup>; 700 rpm) e V1R2 (3,0 km h<sup>-1</sup>; 1000 rpm).

Além da velocidade de deslocamento outros fatores também podem influenciar na altura de toco e abalo de soqueira como, o desgaste das lâminas de corte, turno de trabalho (diurno e noturno), época de colheita, entre outros.

Reis (2009), avaliando as perdas na colheita mecanizada da cana-de-açúcar crua em função do desgaste das facas do corte de base, observou que os maiores danos as soqueiras ocorre no intervalo de desgaste das facas de corte de 4 a 6 horas, sendo que esses danos eram menores até atingir esse tempo e após a virada das facas de lado do corte basal.

Noronha (2011), avaliando a colheita mecanizada diurna e noturna de cana-de-açúcar, observou diferença significativa quanto aos danos periféricos causados na soqueira entre os períodos, com 42,6% na colheita diurna e 35,8% noturna. Quanto aos danos fragmentados, obteve 36,4% na colheita diurna e 31,2% na noturna.

Ramos (2013) em estudo do desempenho operacional da colheita mecanizada de cana-de-açúcar em função da velocidade e rotação do motor da colhedora

obteve que à medida que se aumentou a altura de corte, houve maior incidência de danos às soqueiras.

Silva et al. (2008), em estudo do perfilhamento e produtividade de cana-de-açúcar com diferentes alturas de corte e épocas de colheita, verificaram que em caso de altura de corte de colmos mais elevada, devido a reserva energética acumulada na base dos colmos, favorece a rebrota da cana-de-açúcar.

Tabela 11. Porcentagem da altura de toco (cm) e classificação de danos às soqueiras (%)

Altura de toco (cm)	V1R1	V1R2	V2R1	V2R2	V3R1	V3R2
1 – 3	75,5	80	47,5	47,5	22,5	15,5
4 – 6	24,5	20	52,5	52,5	65	74
> 7	0	0	0	0	12,5	10,5
Classificação de Danos (%)	V1R1	V1R2	V2R1	V2R2	V3R1	V3R2
Sem Danos	42,5	42,5	27,5	17,5	15	14
Danos Periféricos	45	40	47,5	39,5	24	23
Rachaduras	12,5	17,5	15	23	23,5	22,5
Fragmentado	0	0	10	20	37,5	40,5

#### 4.9 Frequência de comprimento de rebolos e índice de fissura dos rebolos

A porcentagem dos rebolos diminuiu com o aumento da velocidade de deslocamento da colhedora (Tabela 12).

De todos os rebolos avaliados a maioria se manteve no intervalo de comprimento de 16 a 19 cm, para todos os tratamentos avaliados. Também foi observado que para os tratamentos V3R1 (7,0 km h<sup>-1</sup>; 700 rpm) e V3R2 (7,0 km h<sup>-1</sup>; 1000 rpm) houve uma maior porcentagem de comprimento de rebolos no intervalo de 20 a 22 cm.

Mazzonetto (2004) obteve resultados de tamanho de rebolos entre 6 a 10 cm, sendo menores que os apresentados neste trabalho.

Os resultados deste trabalho foram semelhantes aos encontrados por Pelloia et al. (2010), que obtiveram valores de comprimento de rebolos que variaram entre 11 e 25 cm e de Ramos (2013), com valores de comprimento entre 16 e 20 cm. Porém, foram diferentes dos encontrados por De León (2000), que obteve porcentagem maior que 50% para

o comprimento médio de rebolos de 20 a 25 cm ao avaliar o comprimento médio de rebolos de duas colhedoras em quatro velocidades.

Para a qualidade do cisalhamento dos rebolos, pode-se observar que os tratamentos V1R2, V2R2, V3R2, devido à rotação mais elevada do extrator primário, houve menor incidência de rebolos perfeitos, isto é, aumentou-se o índice de fissura em uma ou nas duas extremidades do rebolo.

A porcentagem de rebolos perfeitos encontrados neste trabalho é semelhante aos encontrados por De León (2000) de 72,5% e Mazzonetto (2004) com valores de 60%.

Tabela 12. Porcentagem do intervalo de comprimento (cm) e índice de fissura dos rebolos (%)

Intervalo de comprimento (cm)	V1R1	V1R2	V2R1	V2R2	V3R1	V3R2
10 – 12	6	2	0	0	0	0
13 - 15	8	10	9	10	12	6
16 – 17	43	44	40	38	25	24
18 – 19	35	38	34	36	36	38
20 – 22	5	6	17	16	27	32
Índice de fissura dos rebolos (%)	V1R1	V1R2	V2R1	V2R2	V3R1	V3R2
Perfeito	88	76	82	78	72	62
Imperfeito	0	2	2,5	5	7	10
Extremidade danificada	12	22	15,5	17	21	28

## 5. CONCLUSÕES

Quanto maior a velocidade de deslocamento da colhedora de cana-de-açúcar e a rotação do extrator primário maiores são a capacidade de campo efetiva e o consumo horário efetivo de combustível.

A maior rotação do extrator primário (1000 rpm), apresenta níveis médios (4 a 6%) de impurezas vegetais, enquanto a menor rotação do extrator primário (700 rpm) levou a níveis altos (>7%).

A altura de corte e os danos as soqueiras e o índice de fissura dos rebolos foram maiores em função das maiores velocidades de deslocamento da colhedora de cana-de-açúcar.

## 6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRUDA, J.J.A. **História: moderna e contemporânea**. São Paulo: Ática, 1996. 472p.

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 de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2010.

BENEDINI, M. S.; DONZELLI, J. L.; Colheita mecanizada de cana crua: caminho sem volta. **Coplana**, Guariba-SP. n. 40, p. 22-25, Ago 2007. Disponível em: [www.coplana.com](http://www.coplana.com)

BENEDINI, M.S.; BROD, F.P.R.; PERTICARRARI, J.G. **Perdas de cana e impurezas vegetais e minerais na colheita mecanizada**. Boletim. 2009. 7p. Disponível em: <http://xa.yimg.com/kq/groups/20144470/1118993118/name/Perdas+de+cana+e+impurezas+vegetais+e+minerais++CTC.pdf>. Acesso em: 19 maio 2015.

BENEDINI, M.S.; SILVA, A.L. Perdas de cana na colheita mecanizada. **Canavieiros: a força que movimenta o setor**. Sertãozinho, v.5, n.48, p.28-31, 2010.

BURNQUIST, H.L. **Mechanical harvesting: balance between costs and opportunities**. *Abr-Jun.2011*. Disponível em: <http://www.revistaopinioes.com.br/aa/materia>. Acesso em set.2011.

CÂMARA, G. M. S. Cana-de-açúcar. In: SOUSA, J. S. I. **Enciclopédia agrícola brasileira**. São Paulo: Edusp, 1998. v. 2, p. 111-120.

CANA: colheita mecanizada. **Revista Rural**, v. 92, out. 2005. Disponível em <[http://www.revistarural.com.br/Edicoes/2005/artigos/rev92\\_cana.htm](http://www.revistarural.com.br/Edicoes/2005/artigos/rev92_cana.htm)> Acesso em: 19 maio 2015.

CAPUTO, M. M. et al. Resposta de genótipos de cana-de-açúcar à aplicação de indutores de maturação. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 15-23, 2008.

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

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira, quarto levantamento - safra 2014/2015 - abril/2015. Brasília, 2015. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 18 maio 2015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira, primeiro levantamento - safra 2015/2016 - abril/2015. Brasília, 2015. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 18 maio 2015.

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

DE LÉON, M.J. **Avaliação de desempenho operacional de duas colhedoras de cana (*Saccharum spp*) crua**. 2000. 111 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) –

Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Balanço Energético Nacional 2013: Ano base 2012. Rio de Janeiro. 2013. Disponível em: . Acesso em: 13 mai. 2015.

FURLANI NETO, V. L. **Incidência da matéria estranha e perdas no campo nos processos de corte manual e com colhedoras amontoadoras em cana-de-açúcar (*Saccharum ssp*)**. 1984. 120 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1984.

IEA. INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. Índice de mecanização na colheita da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo e nas regiões produtoras paulistas, Junho de 2007. Análises e Indicadores do Agronegócio v.3, n.3, março 2008.

JANK, M.S. Etanol - Novo ciclo de crescimento. **In: UNICA. União da indústria de cana-de-açúcar**. Disponível em: <http://www.unica.com.br/opiniaio/>. Acesso em: 01 de jun. 2011.

KROES, S.; HARRIS, H.D. Knockdown causes major damage to cane during harvesting. **Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technologists**, Brisbane, v.1, n.2, p.137-44, 1996.

LYRA, G. A. de. **Consumo de combustível de duas colhedoras de cana-de-açúcar em função da velocidade e rotação do motor**. 2012. 53 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2012.

MAGALHÃES, P. S. G.; BRAUNBECK, O. A. Colheita de cana-de-açúcar- atualidades e perspectivas Organizado por: R H Balbuena; Sergio Hugo Benez; Daniel Jorajuria. **Ingenieria Rural y Macanizacion Agrária em el Âmbito Latinoamericano**. La Planta: Universidade Nacional de La Plata, 1998.v.1, p.262-73

MAGALHÃES, P.S.G.et al. Colheita de cana-de-açúcar e palha para a produção de etanol. In: WORKSHOP - COLHEITA, TRANSPORTE E RECUPERAÇÃO DE PALHA, 2., 2006, Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 19 p. 2006.

MAZZONETTO, A.W. **Colheita integral de cana (*Saccharum SSP*) crua, análise de desempenho operacional**. 2004. 88 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de Sao Paulo, Piracicaba, 2004.

MELLO, R.C.; HARRIS, H. Desempenho de cortadores de base para colhedoras de cana-de-açúcar com lâminas serrilhadas e inclinadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 355-358, 2003.

MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaios ; certificação**. Piracicaba, 1996. cap.13, p.635-73. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

MOLINA JUNIOR, W. F. **Proposta de metodologia descritiva para ensaio padronizado de colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)**. 2000. 140p. Tese (Doutorado em

Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2000.

MORAES, E. E. **Avaliação das perdas invisíveis de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) e impurezas vegetais na colheita mecanizada.** 1992 .124 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade de Campinas, Campinas, 1992.

MORAES, E.E.; NEVES, J.L.M. Colheita de cana crua: avaliação de perdas invisíveis nos sistemas com colhedoras de cana picada. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 7., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: COPERSUCAR, 1997.p. 288-297.

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

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

NEVES, J.L.M.; MAGALHÃES, P.S.G.; OTA, W.M. **Sistema de monitoramento de perdas visíveis de cana-de-açúcar em colhedora de cana picada.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.24, n.3, p.764-70, 2004.

NEVES, J. L. M. et al. Avaliação de perdas invisíveis na colheita mecanizada em dois fluxos de massa de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.3, p.787- 94, 2006.

NORONHA, R. H. F.; SILVA, R. P.; CHIODEROLI, C. A.; SANTOS, E. P; CASSIA, M. T. Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada diurna e noturna de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 931-938, 2011.

OLIVEIRA, O.J.; PINHEIRO, C.R.M.S. Implantação de sistemas de gestão ambiental ISO 14001: uma contribuição da área de gestão de pessoas. In: **Revista Gestão & Produção**. UFSCar. São Carlos, SP, v. 17, n. 1. p. 51-61, mar. 2010.

PARANHOS, S. B.; RIGHI, J. C.; RIPOLI, T. C. C. Sulcos duplos. In: Seminário interno Copersucar. **Anais...** Piracicaba. 1974. 6p.

PELOIA, Paulo Rodrigues; MILAN, Marcos; ROMANELLI, Thiago Libório. Capacity of the mechanical harvesting process of sugar cane billets. **Scientia agrícola**, Piracicaba, v. 67, n. 6, 2010 .

RAFULL, L. Z. L. **Simulação de sistemas de controle de posição do mecanismo de corte em colhedoras.** Viçosa, MG: UFV, 2003. 103f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

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. 75 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) -

Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2013.

REIS, G. N. dos. **Perdas na colheita mecanizada da cana-de-açúcar crua em função do desgaste das facas do corte de base.** 2009. 73 p. Tese (Doutorado em Agronomia / Ciência do solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e veterinárias, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 2009.

RIPOLI, T. C. C. Ensaio ; certificação de máquinas para colheita de cana-de-açúcar. In: MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaios ; certificação.** Piracicaba, 1996. cap.13, p.635-73. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

RIPOLI, T.C.C.et al. Operational and economic performance of green cane chopped harvester, in Brazil, In: INTERNATIONAL ANNUAL MEETING ASAE, Sacramento, 2001. **Anais...** St. Joseph: ASAE, 2001.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente.** Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2009. 333 p.

SALVI, J. V. **Qualidade do corte de base de colhedoras de cana-de-açúcar.** 2006. 89 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2006.

SANTOS, N. B. dos; **Identificação dos fatores críticos da colheita mecanizada de cana-de-açúcar.** 2011. 85p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2011.

SCHMIDT JUNIOR, J. C. **Avaliação do desempenho efetivo de colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*).** 2011. 108 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

SILVA, M.A.; JERONIMO, E. M.; LÚCIO, A. D. **Perfilamento e produtividade de cana-de-açúcar com diferentes alturas de corte e épocas de colheita.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.43, n.8, p.979-986, ago. 2008.

SOARES, R. A. Engenheiro Agrônomo. Programa Técnica Rural: Vantagens da colheita mecânica de cana. **Canal Rural.** Exibido em 05 outubro 2007.

TESTA, J.V.P. **Desempenho operacional e energético de colhedoras de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) para uma e duas linhas da cultura.** 2014. 40 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Energia na Agricultura ) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2014.

YOUNGER, J. A. Quality cane and extraneous matter. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS. 17. Manila, Feb. 1-11. 1980. **Proceedings.** Philipinnes, 1980. v.1. p. 885-890.