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

DESEMPENHO OPERACIONAL E ENERGÉTICO DE COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum* spp.) PARA UMA E DUAS LINHAS DA CULTURA

JOÃO VITOR PAULO TESTA

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
Julho – 2014

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

DESEMPENHO OPERACIONAL E ENERGÉTICO DE COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum* spp.) PARA UMA E DUAS LINHAS DA CULTURA

JOÃO VITOR PAULO TESTA

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
Julho – 2014

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

T338d

Testa, João Vitor Paulo, 1987-
Desempenho operacional e energético de colhedoras de cana-de-açúcar (*Saccaharum* spp.) para uma e duas linhas da cultura / João Vitor Paulo Testa. – Botucatu : [s.n.], 2014
viii, 43 f. : fots. color., grafs., ils., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2014
Orientador: Kléber Pereira Lanças
Inclui bibliografia

1. Cana-de-açúcar – Colheita. 2. Mecanização agrícola. 3. Máquinas agrícolas – Consumo de combustível. 4. Colheita – Eficiência. 5. Colheita – Produtividade. I. Lanças, Kléber Pereira. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: **DESEMPENHO OPERACIONAL E ENERGÉTICO DE COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum* spp.) PARA UMA E DUAS LINHAS DA CULTURA**

ALUNO: JOÃO VITOR PAULO TESTA

ORIENTADOR: PROF. DR. KLEBER PEREIRA LANÇAS

Aprovado pela Comissão Examinadora

Prof. Dr. KLEBER PEREIRA LANÇAS

Prof. Dr. FABRÍCIO CAMPOS MASIERO

Prof. Dr. MARCELO DE ALMEIDA SILVA

Data da Realização: 30 de julho de 2014.

Aos meus pais Danilo e Jaqueline,

a minha irmã Rafaela,

aos meus avós paternos José e Eide,

aos meus avós maternos Jaime e Iara,

a minha namorada Josiane,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais: Danilo e Jaqueline, pela dedicação e amor incondicional durante todas as fases de minha vida, me proporcionando sempre as melhores oportunidades e me mostrando os melhores caminhos.

Ao amigo Marcelo Sahão, pela ajuda em tornar esse trabalho possível, me apoiando em todos os momentos.

A toda minha família, pelo apoio durante meus anos de graduação e pós graduação, sem a contribuição de todos isso não teria sido possível.

Ao meu orientador e amigo Professor Kléber Pereira Lanças, por todos os ensinamentos que foram tão importantes para o meu crescimento profissional e pessoal durante esses anos.

A todos colegas do NEMPA, me sinto privilegiado por poder participar de um grupo tão especial como esse.

Aos amigos da UNESP: Emanuel Spadim, Indiamara Marasca, Fabrício Masiero, Murilo Battistuzzi Martins, Barbara Barreto Fernandes, Rômulo Leonardo, Thiago Ramos, Fellippe Damasceno, Miguel Pascucci e Luiz Balestrin.

A minha namorada Josiane Paulo, pela ajuda e compreensão durante esses anos de trabalho e ausência.

Aos amigos da republica, Tiago Zoz, Ismael Fernando, Diego Fiorese, Laerte Piveta e Victor Aleixo.

A CAPES, pela disponibilidade de bolsa de auxílio financeiro durante o curso de mestrado.

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia Rural pela atenção, amizade e serviços prestados. Às secretárias da Seção de Pós-graduação da FCA-UNESP, Câmpus de Botucatu pela atenção e atendimento.

A todas as pessoas e instituições que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS VII

LISTA DE FIGURAS VIII

RESUMO 1

SUMMARY 3

1 INTRODUÇÃO 5

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 8

2.1 Cultura da cana-de-açúcar no Brasil 8

2.2 Colheita mecanizada da cana-de-açúcar 10

2.3 Desempenho operacional de colhedoras de cana-de-açúcar 13

2.4 Perdas quantitativas e qualitativas da matéria-prima colhida 17

2.5 Análise de componentes principais 19

3 MATERIAL E MÉTODOS 20

3.1 Área experimental 20

3.2 Máquinas utilizadas 21

3.3 Tratamentos e critérios de amostragem 24

3.4 Velocidade de deslocamento 25

3.5 Capacidade de campo efetiva 25

3.6 Consumo de combustível 25

3.6.1 Consumo horário de combustível (L h^{-1}) 27

3.6.2 Consumo de combustível por área (L ha^{-1}) 27

3.6.3 Consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar (L t^{-1}) 27

3.7 Perdas visíveis de matéria prima 28

3.8 Qualidade da matéria prima colhida 29

3.9 Delineamento experimental 31

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 32

4.1 Colhedoras se deslocando em velocidades iguais 32

4.1.1 Velocidade de deslocamento 32

4.1.2 Capacidade de campo efetiva (ha h^{-1}) 33

4.1.3 Consumo horário de combustível (L h^{-1}).....33

4.1.4 Consumo de combustível por área (L ha^{-1}) 34

4.1.5 Consumo de combustível por tonelada colhida (L t^{-1}) 35

4.2 Colhedoras com velocidade ideal de trabalho 36

4.2.1 Análise de componentes principais 36

5 CONCLUSÕES.....39

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Desempenho de três colhedoras colhendo cana-de-açúcar crua. 15
Tabela 2. Desempenho de três colhedoras de pneus colhendo cana-de-açúcar crua. 16
Tabela 3. Desempenho de colhedora de cana-de-açúcar em diferentes rotações e velocidades. 16
Tabela 4. Distância percorrida pela colhedora de acordo com espaçamento adotado. 17
Tabela 5. Colhedoras utilizadas no experimento. 21
Tabela 6. Tratamentos realizados na primeira fase. 24
Tabela 7. Classificação das perdas de matéria-prima. 29
Tabela 8. Classificação de impurezas mineral e vegetal. 31
Tabela 9. Médias das velocidades de deslocamento nos tratamentos. 32
Tabela 10. Médias dos valores de capacidade de campo efetiva. 33
Tabela 11. Médias dos valores de consumo de combustível horário. 34
Tabela 12. Médias dos valores de consumo de combustível por área. 35
Tabela 13. Médias dos valores de consumo de combustível por tonelada colhida. 35
Tabela 14. Valores das variáveis qualitativas, do desempenho operacional e desempenho energético das máquinas avaliadas. 36
Tabela 15. Componentes principais das variáveis qualitativas e quantitativas do desempenho operacional e energético das máquinas avaliadas. 38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Licenciamento anual de automóveis novos no Brasil (ciclo Otto) por tipo de combustível. (Fonte: ANFAVEA, 2013) 10
Figura 2. Esquema de uma colhedora de cana-de-açúcar picada com destaque para os principais órgãos ativos, extraído de Neves (2003) 13
Figura 3. Área Experimental. 20
Figura 4. Colhedora utilizada no experimento definida como Máquina 1. 22
Figura 5. Colhedora utilizada no experimento definida como Máquina 2. 22
Figura 6. Destaque do sistema de corte de duas linhas simultâneas da colhedora M2. 23
Figura 7. Esquema das diferentes formas de colheita realizadas pelas máquinas. 23
Figura 8. Imagem de um dos fluxômetros utilizados durante os ensaios e instalados nas máquinas. 26
Figura 9. Painel de equipamentos para de aquisição de dados utilizado no ensaio. 26
Figura 10. Área em que foi realizado a quantificação de perdas visíveis, em destaque o espaçamento utilizado e as duas linhas colhidas de cana-de-açúcar. 28
Figura 11. Separação das frações de interesse no material colhido. 30
Figura 12. Limpeza das frações da amostra colhida para a quantificação de impurezas minerais. 30
Figura 13. Gráfico gerado pela análise de componentes principais 37

RESUMO

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) do mundo, portanto, o seu cultivo é de grande importância para o agronegócio brasileiro. A mecanização da colheita da cana-de-açúcar se tornou necessária, pois a queima da cultura está, gradativamente, sendo proibida no Brasil e, sem essa prática, o corte manual se torna ineficiente e dispendioso. Com o aumento da colheita mecanizada surgiram as inovações do setor para o aumento do rendimento dessa operação e, nos últimos anos, a tentativa de se desenvolver uma colhedora especifica para duas linhas simultâneas se tornou realidade. O objetivo desse trabalho foi avaliar o desempenho operacional e energético de duas colhedoras de cana-de-açúcar para uma e duas linhas da cultura, em espaçamento convencional. Os ensaios foram conduzidos em um canavial colhido sem queima prévia, da variedade RB855156, em seu segundo corte, com espaçamento entre linhas de 1,5 m, produtividade agrícola estimada de 83,5 t ha^{-1} e porte ereto. O experimento foi dividido em duas fases, sendo que na primeira, as máquinas foram avaliadas em 3 velocidades de deslocamento (2,5 km h^{-1}, 3,5 km h^{-1} e 5 km h^{-1}) e na segunda fase foram selecionadas velocidades usuais de trabalho para os modelos uma e duas linhas sendo de 5,0 km h^{-1} e 3,5 km h^{-1} respectivamente, realizando avaliações quantitativas e qualitativas do desempenho das máquinas. Na primeira fase foram encontradas diferenças nas avalições das máquinas, a média de capacidade de campo efetiva foi de 0,56 ha h^{-1} para a colhedora de uma linha e de 1,08 ha h^{-1} para a colhedora de duas linhas, o consumo de combustível por tonelada

colhida foi de 0,97 L t^{-1} para a colhedora de uma linha contra 0,65 L t^{-1} para a colhedora de duas linhas. Na segunda fase foi observado diferença entre as colhedoras, em que a maior diferença foi encontrada na capacidade operacional efetiva, com média de 0,73 ha h^{-1} e 1,06 ha h^{-1} para a colhedora de uma linha e duas linhas respectivamente e a menor diferença no índice de matéria estranha do material colhido, de 8,58% e 8,91% para a colhedora de uma linha e duas linhas respectivamente. Em todos os casos a colhedora de duas linhas apresentou maior eficiência e produtividade do que a de colhedora de uma linha.

OPERATIONAL AND ENERGETIC PERFORMANCE OF SUGARCANE (*Saccharum* spp.) HARVESTERS FOR ONE AND TWO LINES OF PLANTING

Botucatu, 2014.
Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.
Author: JOÃO VITOR PAULO TESTA
Adviser: KLÉBER PEREIRA LANÇAS

SUMMARY

Brazil is the largest producer of sugarcane (*Saccharum* spp.) In the world, so its cultivation is of great importance for the Brazilian agribusiness. Harvest mechanization of sugarcane became necessary because the burning of field is gradually being banned in Brazil and, without this practice, manual cutting becomes inefficient and costly. With the increase of mechanized harvesting innovations in the sector appeared to increase the performance of this operation and, in recent years, the attempt to develop a specify harvester for two rows simultaneous became reality. The objective of this study was to evaluate the operational and energy performance of two harvesters of sugarcane for one and two lines of planting. The tests were conducted on a sugarcane field harvested without burning, the variety RB855156 in his second cut, with spacing of 1.5 m between lines, estimated agricultural productivity of 83.5 t ha^{-1} and plants upright. The experiment was divided into two stages: in the first, machines were evaluated in three forward speeds (2.5 km h^{-1} 3.5 km h^{-1} and 5 km h^{-1}) and the second stage were selected normal working speeds for models of one and two rows, was 5.0 km h^{-1} and 3.5 km h^{-1}, respectively, performing quantitative and qualitative evaluations of the performance of the machines. In the first phase differences were found in the machine studied, the average effective field capacity was 0.56 ha h^{-1} to single row harvester and 1.08 ha h^{-1} to multi row harvester, fuel consumption per ton harvested was 0.97 L t^{-1} to single row against 0.65 L t-1 to multi row harvester. In the second phase difference between the combines was observed, where the largest difference was found in the effective operational capacity, with an average of 0.73 ha h ha^{-1} and 1.06 h^{-1} for the one line and two lines harvester respectively and no difference in the rate of foreign matter in the harvested material, 8.58% and 8.91% for

the one line and two lines harvester respectively. In all cases the harvester two lines showed greater efficiency and productivity of the harvester one row.

Keywords: Agricultural mechanization; fuel consumption; vegetal and minerals impurities index; efficiency; productivity.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) do mundo, portanto, o seu cultivo tem sido de grande importância para o agronegócio brasileiro, ocupando uma posição de destaque na geração de empregos, renda e energia, principalmente quando associado com a produção de açúcar e etanol.

Historicamente, a cana-de-açúcar foi produzida de forma manual em todo o transcorrer do seu processo produtivo e, essa realidade vem sendo modificada gradativamente. Na última década a introdução de processos totalmente mecanizados vem se intensificando, principalmente pela escassez da mão de obra no campo, seu alto custo e a baixa eficiência dos processos manuais.

A produtividade agrícola da lavoura brasileira de cana-de-açúcar atingiu, em 2007, a marca histórica de 11.200 kg de Açúcares Totais Recuperáveis (ATR) por hectare (ATR/ha), nível quase 130% superior ao verificado em 1975, no início do Programa Nacional do Álcool (Proálcool). Essa evolução se deveu, em boa medida, ao desenvolvimento das tecnologias agrícolas de produção, notadamente pela introdução de novas variedades de cana. Desse modo, até o fim da década passada, a produção brasileira de cana-de-açúcar era celebrada como paradigma mundial de eficiência agrícola.

Contudo, o desempenho nos últimos anos passou a apresentar trajetória distinta, com anos seguidos de reduções de produtividade, ainda que, no longo prazo, a trajetória

continue crescente. Em 2011 e 2012, por exemplo, a produtividade da lavoura canavieira ficou abaixo do patamar de 10.000 kg de ATR/ha. Como resultado, a afirmação de que o Brasil tem a indústria de cana mais competitiva do mundo deixou de ser verdadeira.

Entre outros fatores, um dos motivos apontados para esse resultado desfavorável foi a Lei nº 11.241 de 19/09/2002 que impõe o fim da queima da palha de forma gradativa em um prazo máximo de 20 anos em áreas mecanizáveis e a pressão internacional pelo fim da queima prévia da cana-de-açúcar por questões ambientais, obrigando o setor a introduzir a colheita mecanizada.

Conforme dados apresentados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, no ano de 2012, dos 4.658.316 hectares do canavial colhido no estado de São Paulo, 27,4% foram com auxílio da queima e 3.381.313 (72,60%) mecanicamente, contra 65,76% colhidos com o uso de fogo e 34,24% com o uso de máquinas em 2006.

Com o crescimento da colheita mecanizada grandes problemas tecnológicos foram criados, o elevado custo e baixa eficiência das colhedoras aliado a uma mão de obra sem a capacitação adequada estão gerando além do aumento de custos, um efeito negativo sobre a cultura. O resultado do excessivo trafego de maquinas pesadas e erros operacionais são a redução da produtividade e longevidade do canavial, se fazendo necessário avaliar se as atuais tecnologias de mecanização agrícola poderiam ser mais bem desenvolvidas.

Um dos principais problemas apontados é o amento do trafego de máquinas na lavoura. As colhedoras em geral são máquinas pesadas (aproximadamente 18 t) e tem capacidade de colher apenas uma linha da cultura, obrigando a realização de muitas manobras (baixa eficiência) e o deslocamento da colhedora por, praticamente, toda a extensão do talhão, o que acarreta o aumento do pisoteio e, consequentemente, a compactação do solo.

A operação de colheita mecanizada, quando realizada de forma errada ou até mesmo por erro de projeto das máquinas (forma como é realizado o corte), acaba causando perdas de matéria prima e prejudicando a soqueira da cana-de-açúcar. Os danos causados durante a operação facilitam o ataque de pragas e doenças, podendo chegar ao ponto de inibir a brotação quando a soqueira e arrancada pela colhedora, reduzindo a produtividade e vida útil do canavial.

Tendo em vista que a colheita mecanizada de cana-de-açúcar é um caminho sem volta, a melhoria dessa tecnologia se torna imprescindível para a retomada da rentabilidade do setor sucroenergético. O desenvolvimento de novas tecnologias, o aumento de rendimento da operação e uma melhor formação de operadores de máquinas, são os principais

itens apontados para que a colheita mecanizada de cana-de-açúcar se torne, de fato, uma solução para o setor e não um problema.

No mercado existem colhedoras de cana-de-açúcar capazes de colher duas fileiras de cana simultaneamente. Essas são muito parecidas com uma colhedora de cana-de-açúcar convencional; porém, dependendo do fabricante, podem ocorrer algumas diferenças. O objetivo dessa tecnologia é a redução na compactação do solo pelo menor tráfego no talhão, maior rendimento operacional e menor consumo de combustível por tonelada cana colhida, entre outros.

O objetivo desse trabalho foi avaliar o desempenho operacional e energético de duas colhedoras de cana-de-açúcar, uma para a colheita de uma linha e a outra para a colheita de duas linhas simultâneas da cultura, em espaçamento convencional (1,5 m entre linhas).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cultura da cana-de-açúcar no Brasil

A cana-de-açúcar é originaria da Nova-Guiné, região da Oceania. A primeira evidência do uso do açúcar na forma atual (sólida) data do século V, na Pérsia. No Brasil existem indícios que sua aparição tenha ocorrido antes do descobrimento; porém, seu desenvolvimento ocorreu apenas com a construção de engenhos e com as mudas trazidas pelos portugueses (MOZAMBINI et al., 2006)

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

O cultivo de cana-de-açúcar é considerado uma atividade de grande importância a nível nacional, tendo uma posição de destaque na economia brasileira, em relação à produção de açúcar, álcool e aguardente, sendo de suma importância para a economia brasileira (BARBOSA E SILVEIRA, 2006)

O Brasil é 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 (UNICA, 2013).

De acordo com a CONAB (2013), a área cultivada com cana-de-açúcar que será destinada a atividade sucroalcooleira na safra de 2013/2014 será de 8.810,79 mil hectares distribuídos em todos os estados produtores, destacando-se que o maior produtor nacional entre todos os estados produtivos da federação é o estado de São Paulo, que possui 51,66% (4.552.040 hectares) da área plantada seguido por Goiás com 9,29% (818.390 hectares), Minas Gerais com 8,85% (779.830 hectares), Paraná com 6,66% (586.400 hectares), Mato Grosso do Sul com 7,08% (624.110 hectares), Alagoas com 5,02% (442.590 hectares) e Pernambuco com 3,25% (286.030 hectares). Para os demais estados, as áreas somadas não chegam a 3,0%. A previsão total de cana de açúcar a ser moída no país nessa safra é de 659,85 milhões de toneladas, superando em 13% a safra anterior.

O incremento na produção de cana-de-açúcar está direcionado à produção de etanol, tanto anidro quanto hidratado, que na safra 2012/2013 fechou em total de 23,64 bilhões de litros e foi estimada em 27,66 bilhões de litros para safra 2013/14, um acréscimo de 4,02 bilhões de litros, alta de 16,98%. Deste total, 15,93 bilhões de litros de etanol hidratado, e 11,73 bilhões de litros de etanol anidro. Assim, o etanol hidratado teve aumento de 15,51%, e o etanol anidro teve um acréscimo de 19,04% na produção, quando comparados com a produção de etanol da safra anterior. O açúcar que teve produção de 38,34 milhões de toneladas na safra 2012/2013, para a safra 2013/2014 deverá se manter nesse patamar, com um aumento estimado em 1,23%, chegando a 38,81 milhões de toneladas (CONAB, 2013).

O crescimento do consumo interno de etanol é explicado pelo desenvolvimento de carros leves bicombustíveis. Essa tecnologia que está disponível no mercado desde 2003, quando nesse ano representavam 3,9% da frota nacional, já em 2012 esse percentual era bem mais expressivo, chegando aos 56,97% da frota de 31.410.752 veículos leves. No licenciamento de carros novos em 2012, os carros “flex-fuel” representaram um percentual de 92,03% (Figura 1) (ANFAVEA, 2013).

Além do açúcar e do etanol, o setor sucroalcooleiro também gera energia através da queima do bagaço de cana, sendo que na matriz energética brasileira, a biomassa de cana representa 15,4% da energia consumida no país, sendo 4,2% na forma de etanol, e 11,2% na forma de bagaço de cana (EPE, 2013).

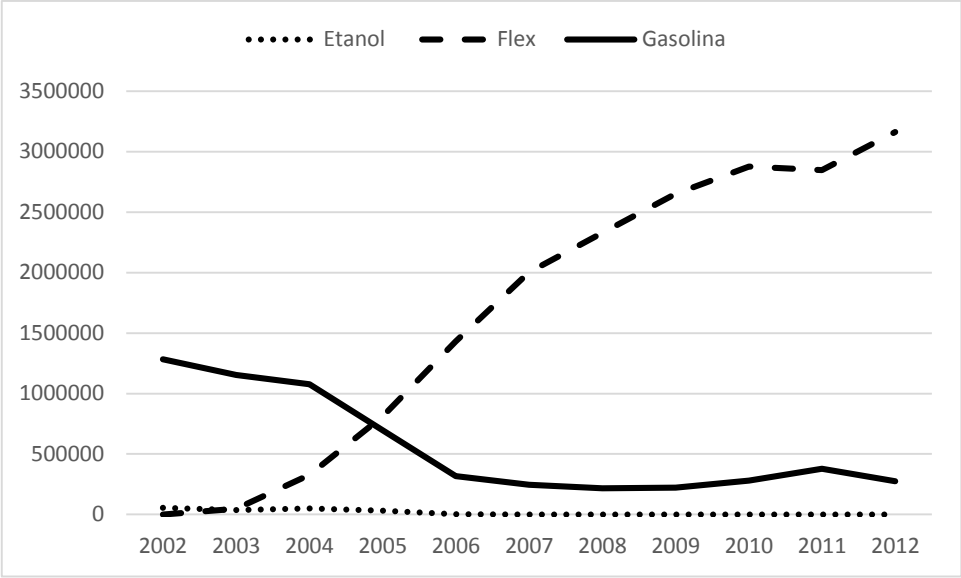

Figura 1. Licenciamento anual de automóveis novos no Brasil (ciclo Otto) por tipo de combustível. (Fonte: ANFAVEA, 2013)

2.2 Colheita mecanizada da cana-de-açúcar

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 os governos 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.

No Brasil, utilizam-se três sistemas distintos para a colheita de cana-de-açúcar, sendo eles: manual, semimecanizado e mecanizado. No sistema manual o corte e o carregamento do material são inteiramente realizados através de mão de obra braçal. No sistema semimecanizado a colheita é realizada de forma manual e o carregamento da cana-de-açúcar é mecanizado. Já no sistema mecanizado tanto o corte como o carregamento são realizados por máquinas (RIPOLI E RIPOLI, 2009).

Conforme Dias de Moraes (2007), o rendimento da mão de obra no corte manual da cana-de-açúcar sem queima comparado com a queimada apresenta uma perda considerável. Conforme o autor expõe, no corte com queima prévia o rendimento médio é de seis toneladas por trabalhador e na cana-de-açúcar crua esse rendimento cai para uma média de duas toneladas e meia por trabalhador dia. A conclusão é que o corte de cana-de-açúcar crua só é rentável quando realizado por máquinas.

Segundo Ripoli e Ripoli (2009), a primeira cortadora auto-propelida para a colheita de cana-de-açúcar foi desenvolvida e fabricada no estado do Hawaii, nos Estados Unidos da América, em 1906. Na Austrália, em meados de 1960, foi desenvolvido um novo tipo de colhedora para a cana-de-açúcar, sendo chamada de colhedora combinada.

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

O corte mecanizado ganhou espaço no Brasil a partir da década de 1970, com a produção de colhedoras que realizam o corte, limpeza e carregamento da cana-de-açúcar. Nesta época, com a implantação do PROÁLCOOL, foi necessário suprir a escassez de mão de obra no campo, que ocorreu com a rápida expansão da cultura, fruto dos incentivos do governo. Mas a grande explosão da mecanização da cana-de-açúcar ocorreu na década de 1990, fruto do encarecimento da mão de obra e melhora na tecnologia (VIEIRA E SIMON, 2005).

Para Costa Neto (2006), a mecanização da colheita da cana-de-açúcar, trouxe vários benefícios em relação a colheita manual, que vão além do menor custo, deixando claro que a maior eficiência da operação traz vantagens para a indústria, como a melhor programação da colheita, pois uma colhedora substitui o trabalho de aproximadamente 100 pessoas, chegando de 15 a 20 t h^{-1} contra 5 a 6 t dia^{-1} por trabalhador manual, diminuindo o risco de greves e escassez de mão de obra no campo. O autor afirmou que os programas de qualificação profissional são de grande importância para desenvolvimento da atividade, assim como políticas públicas específicas para amenizar os reflexos do êxodo rural que ocorreu nos anos subsequentes.

Rodrigues (2008), ao fazer um estudo comparativo entre os custos da colheita mecanizada e manual na cana-de-açúcar crua, encontrou os valores de 5,50 R$ t^{-1} para

a colheita mecanizada, e 13,94 R$ t^{-1} para a colheita manual, as diferenças de valores são da ordem de 60,46% de redução do custo da tonelada colhida mecanicamente.

Conforme Rodrigues e Saab (2007), a mudança de colheita manual para a colheita mecanizada não é a simples substituição de uma técnica por outra e sim um aperfeiçoamento de vários aspectos do cultivo da cultura como: preparo de solo, plantio, adequação dos equipamentos, sistematização das áreas, equipe de manutenção e apoio, treinamento e alterações no transporte e recepção da cana-de-açúcar na usina.

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, facilitando para os operadores, geram dados que facilitam o gerenciamento do que está acontecendo no campo e, principalmente, tem melhor aproveitamento energético, melhor qualidade do material colhido e um rendimento operacional superior. Os sistemas de colheita de cana-de-açúcar têm sido muito discutidos, para que as modificações futuras venham a atender de forma mais adequada às particularidades de cada sistema de produção.

As máquinas mais utilizadas no Brasil são as colhedoras combinadas automotrizes de cana-de-açúcar picada. Nessa máquina (Figura 2) o material passa por vários processos, desde o corte da cana-de-açúcar, realizado pelo corte de base, até o carregamento no veículo de transporte. No momento da colheita a máquina é posicionada na linha da cultura e, com o movimento o cortador de ponta, retira o ponteiro da cana-de-açúcar. O sistema alimentador que é constituído pelo divisor de linhas, rolos alimentador e tombador, direcionam os colmos para o corte de base, que realiza o corte da cana-de-açúcar com dois discos rotativos munidos de facas. O material é transportado para dentro da máquina pelos rolos alimentadores e transportadores. O corte dos rebolos é realizado pelos picadores e, em seguida, os extratores retiram as impurezas antes do carregamento (NEVES, 2003).

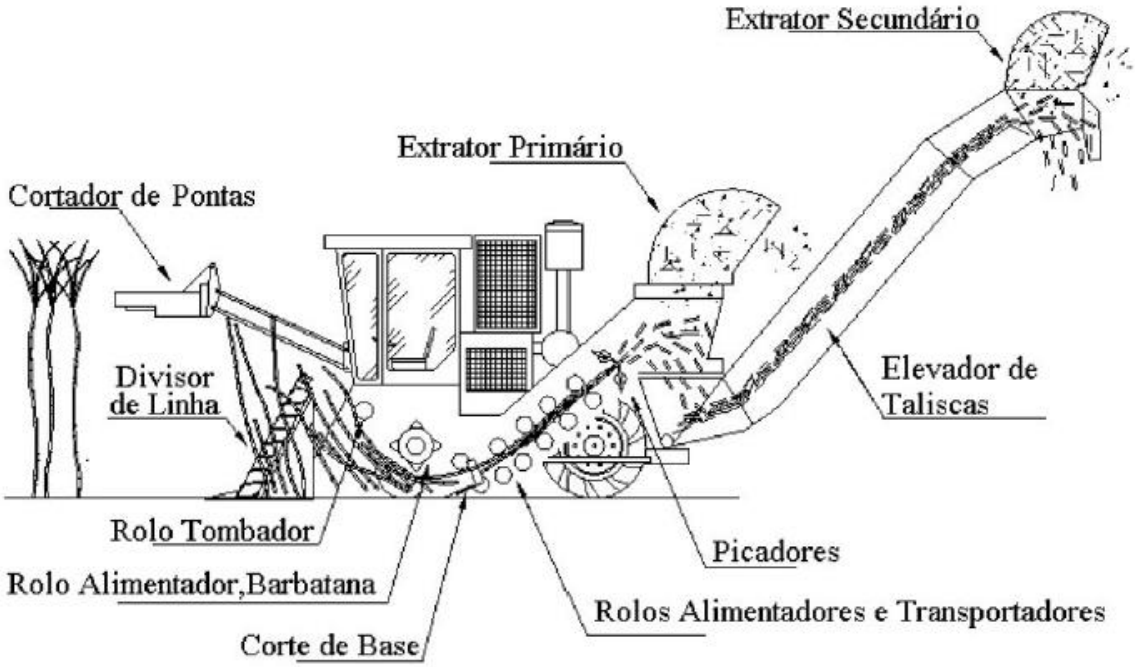

Figura 2. Esquema de uma colhedora de cana-de-açúcar picada com destaque para os principais órgãos ativos, extraído de Neves (2003)

2.3 Desempenho operacional de colhedoras de cana-de-açúcar

Ripoli (1996) afirmou que o desempenho operacional de colhedoras de cana-de-açúcar é composto por vários atributos formando um conjunto, que caracterizam o grau de habilitação da máquina para realizar a colheita. Dessa maneira o autor completa que o desempenho operacional não deve ser medido somente pelos dados de capacidade operacional, sendo que dados complementares como a qualidade da matéria-prima colhida e suas perdas, são importantes para definir o desempenho da máquina.

O grau de habilitação, segundo Mialhe e Carraro Neto (1993), é caracterizado a partir de vários grupos, que abrangem vários aspectos, sendo: a) capacidade de colheita; b) qualidade de processamento; c) funcionalidade mecânica e d) ergonomia e segurança.

As condições da cultura e do terreno influenciam diretamente na velocidade de deslocamento da colhedora. As colhedoras de cana-de-açúcar têm capacidade para operar em velocidades de até 9,0 km h^{-1}, entretanto, é observado que essas máquinas trabalham melhor com uma velocidade de deslocamento entre 4,0 e 6,0 km h^{-1} sendo que isso ocorre, possivelmente, pela falta de sistematização dos talhões destinados a colheita mecanizada. Em talhões não devidamente adequados à colheita mecanizada, o uso de

velocidades superiores causa o aumento das perdas de matéria-prima. A velocidade de trabalho deve ser ajustada às características do talhão, evitando assim as perdas de matéria-prima (RIPOLI E RIPOLI, 2009).

De Leon (2000) avaliou duas colhedoras distintas, em quatro velocidades de deslocamento diferentes em um canavial com produtividade média de 176,3 t ha^{-1}, colhendo cana-de-açúcar crua. O autor observou o aumento da capacidade efetiva bruta e líquida com o aumento da velocidade de deslocamento. Na máquina denominada A o autor encontrou capacidades efetivas brutas de 26,44; 58,76; 93,11 e 141,26 t h^{-1} de cana-de-açúcar colhida para as velocidades de 1,68; 3,21; 5,37 e 7,28 km h^{-1} respectivamente, e na máquina B, para as velocidades de 1,70; 3,37; 5,40; e 7,28 km h^{-1}, as capacidades efetivas brutas encontradas foram respectivamente: 30,64; 54,31; 102,08 e 131,93 t h^{-1} de cana-de-açúcar colhida.

Lyra (2012) avaliou 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 t ha^{-1} e 102,07 t ha^{-1} e os resultados mostraram que a redução da rotação de trabalho do motor em canaviais de baixa produtividade (como o estudado, 37,58 t ha^{-1}) diminuiu o consumo de combustível da colhedora significativamente, a autor encontrou valores de 68,08 L h^{-1} quando colhendo na rotação máxima (2100 rpm) e se deslocando entre 5 e 6 km h^{-1}, e quando reduziu a rotação para 1900 rpm obteve 45,80 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.

A colheita e o transporte da matéria prima até a indústria representam aproximadamente 30% de todos os custos dentre os sistemas produtivos do canavial (mudas, fertilizantes, agroquímicos, operações mecanizadas e mão de obra). Na colheita o maior custo é o combustível, devido aos altos consumos das colhedoras, de até 60 litros por hora (RIPOLI E RIPOLI, 2009), demostrando o quanto é importante para o setor produtivo, a otimização dessa variável, que impacta significativamente no custo de produção.

Conforme Belardo (2010), a variação da velocidade de deslocamento das colhedoras de cana-de-açúcar durante a operação da colheita, tem efeito direto na capacidade operacional efetiva, sendo ela: bruta de matéria-prima, bruta de colmos ou líquida de colmos. O aumento da velocidade contribuiu para o aumento da capacidade operacional da colhedora (RAMOS, 2013).

Nery (2000) estudou o desempenho de uma colhedora de fabricação nacional, colhendo em um talhão com produtividade de 145,39 t ha^{-1}, em quatro velocidades distintas, sendo elas 1,34; 2,66; 5,27 e 7,68 km h^{-1}, obtendo respectivamente 16,29; 36,29; 87,67 e 110,18 t h^{-1} para a capacidade efetiva bruta e 2,92; 1,25; 0,69 e 0,61 L t^{-1} para o consumo de combustível por tonelada. O autor concluiu que o aumento na velocidade proporcionou aumento na capacidade efetiva bruta e no consumo de combustível horário, e redução do consumo de combustível por tonelada.

Belardo (2010), avaliando o desempenho de três colhedoras de fabricação nacional, sendo elas: John Deere 3520, Santal Tandem e Case 8800, utilizando duas velocidades de deslocamento, 5,0 km h^{-1} e 7,0 km h^{-1}, observou que com o aumento de velocidade ocorreu um aumento na capacidade efetiva, no consumo horário de combustível e diminuição do consumo de combustível por área (Tabela 1).

Tabela 1. Desempenho de três colhedoras colhendo cana-de-açúcar crua.

Parâmetros	**Colhedoras**					
	John Deere 3520		Santal Tandem II		Case 8800	
Velocidade de deslocamento (km h^{-1})	5,16	7,28	4,98	6,81	4,94	6,71
Capacidade efetiva (ha h^{-1})	0,77	1,09	0,75	1,02	0,74	1,01
Consumo de combustível (L h^{-1})	57,27	60,56	53,75	55,60	63,04	64,80
Consumo de combustível por área (L ha^{-1})	74,03	55,54	72,04	54,43	85,00	64,45

Fonte Belardo (2010), adaptada.

Santos (2012), avaliando três modelos diferentes de colhedoras de cana-de-açúcar de pneus, colhendo sem queima prévia, em duas velocidades, sendo elas 5 km h^{-1} e 7 km h^{-1}, em um canavial de segundo corte e produtividade agrícola de 78,89 t ha^{-1}. O aumento de velocidade afetou positivamente a capacidade efetiva e a eficácia de manipulação, além disso, houve diminuição no consumo de combustível por área e aumento no consumo de combustível horário, mas este não obteve diferenças significativas (Tabela 2).

Tabela 2. Desempenho de três colhedoras de pneus colhendo cana-de-açúcar crua.

Parâmetros	**Colhedoras**					
	M1		M2		M3	
Velocidade de deslocamento (km h^{-1})	5,34	7,06	5,21	7,04	5,33	7,24
Eficácia de manipulação (%)	96,50	97,54	97,25	98,36	96,68	97,27
Capacidade efetiva (ha h^{-1})	0,80	1,06	0,78	1,05	0,80	1,09
Consumo de combustível (L h^{-1})	55,45	57,22	71,20	68,07	68,09	62,25
Consumo de combustível por área (L ha^{-1})	72,67	57,22	91,25	68,07	85,17	62,25
Consumo de comb. por tonelada (L t^{-1})	0,88	0,69	1,19	0,76	1,19	0,81

Fonte Santos (2012), adaptado.

Ramos (2013), estudando o desempenho operacional na colheita mecanizada em função da velocidade de deslocamento e rotação do motor, ao utilizar dois velocidades diferentes de deslocamento, sendo elas 4 e 5,5 km h^{-1}, o autor concluiu que nas velocidades maiores a capacidade efetiva é sempre maior. Sendo que a 4 km h^{-1} a capacidade efetiva foi de 54,9 t h^{-1} de cana-de-açúcar colhida, e a 5,5 km h^{-1} a capacidade efetiva aumentou para 81,8 t h^{-1} de cana-de-açúcar colhida (Tabela 3).

Tabela 3. Desempenho de colhedora de cana-de-açúcar em diferentes rotações e velocidades.

Parâmetros	**Resultados**					
	Rotação 1		Rotação 2		Rotação 3	
Velocidade de deslocamento (km h^{-1})	4,5	5,5	4,5	5,5	4,5	5,5
Rotação do motor (rpm)	1800		1950		2100	
Eficácia de manipulação (%)	98,20	95,90	97,70	95,40	99,10	96,00
Capacidade efetiva (t h^{-1})	52,20	70,80	52,00	79,10	60,50	95,50
Consumo de combustível (L h^{-1})	53,05	57,57	59,95	70,44	66,53	77,38
Consumo de combustível por área (L ha^{-1})	82,41	70,31	95,32	84,53	112,62	90,58

Fonte: Ramos (2013), adaptado.

Furlani Neto (2009), estudando a colheita de duas linhas em plantios adensados, afirmou que tal prática trouxe efeitos positivos no controle do tráfego de máquinas no talhão, resultando em menores distâncias percorridas pela máquina (Tabela 4) e, por esse motivo, melhorou, consideravelmente, o desempenho operacional da atividade.

Tabela 4. Distância percorrida pela colhedora de acordo com espaçamento adotado.

Espaçamento (m)	Tipo	Distância percorrida pela máquina (metros/hectare)
0,90 x 1,5	Duplo alterando	4.166
0,90 x 1,6	Duplo alterando	4.000
1,4	Simples	7.042
1,5	Simples	6.666

Fonte: Furlani Neto (2013), adaptado.

Dalben (2011), que fez um estudo sobre o desempenho operacional de colhedoras de duas linhas de cana-de-açúcar, relatou que o consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida foi 60% menor nesse tipo de máquina, e que a capacidade operacional dessas máquinas foi, em média, 80% superior às colhedoras de uma linha.

Rosa (2013), avaliando a colheita mecanizada em plantios adensados em relação ao desempenho efetivo da operação, utilizando duas velocidades de deslocamento, 5 km h^{-1} e 7 km h^{-1}, no espaçamento alternado entrelinhas de 0,9 x 1,6 m. Realizando uma análise comparativa com trabalhos de espaçamento simples, a capacidade de colheita da máquina foi superior aos trabalhos pesquisados e os indicativos de perdas, apesar de ficarem dentro do limite aceitável, se mostraram elevados.

2.4 Perdas quantitativas e qualitativas da matéria-prima colhida

A colheita mecanizada frente à colheita manual apresenta alguns inconvenientes, entre eles está o aumento de matéria estranha no material colhido, reduzindo a qualidade do mesmo e o aumento significativo de perda de matéria-prima deixada no campo na forma de colmos e frações não colhidos (REIS, 2009).

Neves (2003) definiu as perdas visíveis como aquelas que podem ser quantificadas no campo, ou seja, que podem ser medidas após a colheita, sendo principalmente colmos inteiros, e suas frações, como rebolos e tocos. O autor também definiu as perdas invisíveis, sendo aquelas que não podem ser quantificadas no campo, entre elas estão o caldo, serragem e estilhaços da cana-de-açúcar. O autor observou a variação de 2 a 11% nas perdas visíveis em operação de colheita mecanizada. As perdas visíveis ocorreram principalmente por

erro de operação, falta de manutenção da máquina e déficit na sistematização do talhão. As invisíveis ocorreram pela ação dos sistemas de limpeza, transporte e fracionamento do material, na parte interna da máquina.

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

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

As contaminações e perdas que ocorrem durante a colheita de cana-de-açúcar são ligadas diretamente ao acompanhamento inadequado do microrrelevo do solo e da varredura ineficiente realizada pelo corte de base (OLIVEIRA, 2003).

Salvi (2006) afirmou que a melhoria da qualidade do corte da matéria-prima pode ser atingida por meio de intervenção diretamente na colheita, em outras partes do cultivo (plantio, preparo de solo, sistematização do talhão) e alterações no projeto da máquina.

Carvalho (2009) realizou uma avaliação de uma colhedora John Deere 3510, em um talhão com variedade plantada RB867515, em quarto corte, com produtividade de 94,12 t ha^{-1}, em quatro velocidades diferentes, sendo elas: 3,0, 4,5, 6,0, e 8,0 km h^{-1}, alcançando respectivamente 2,56%, 5,33%, 2,67% e 4,28% de perdas de matéria prima no campo. As perdas não foram afetadas pela variação de velocidade.

Schmidt Junior (2011) estudou o desempenho de colhedoras de cana-de-açúcar, colhendo sem queima prévia, com produtividade de 85 t ha^{-1}, em três velocidades de deslocamento, sendo elas 5,7 km h^{-1}, 7,0 km h^{-1}, e 8,5 km h^{-1}, variando a velocidade do extrator primário em duas velocidades, 1000 e 1500 rpm. Os resultados mostraram aumento no índice de matéria estranha total, com o aumento de velocidade. Na maior velocidade 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 ensaiada (8,5 km h^{-1}) as perdas foram significativamente maiores do que nas demais velocidades.

Giachini (2012) estudou o desempenho operacional de uma colhedora de cana-de-açúcar em diferentes turnos de trabalho, ou seja, o primeiro turno (A) das 08h01 às 16h00, o segundo (B) das 16h01 às 00h00 e o terceiro (C) das 00h01 às 08h00, encontrou

menores valores de perdas durante o turno A, o aumento das perdas teve início no turno B e se tornando ainda maiores no turno C, os valores encontrados foram: 0,92 t ha^{-1}, 1,6 t ha^{-1} e 2,27 t ha^{-1}, respectivamente.

Monaco Junior (2011) ensaiando duas colhedoras de cana-de-açúcar, sendo uma delas para espaçamento adensado, colhendo duas fileiras, e outra para a colheita em plantio convencional, colhendo uma fileira de cana-de-açúcar, verificou maior desempenho operacional da colheita de duas fileiras em 50%, sendo que a perda de matéria prima foi maior quando colhendo duas fileiras simultâneas.

2.5 Análise de componentes principais

A análise de componente principal usa um conjunto de dados representado por uma matriz de “n” registros por “p” atributos, que podem estar correlacionados, e sumarizam esse conjunto por eixos não correlacionados (componentes principais) que são uma combinação linear das “p” variáveis originais. PC 1 (primeiro eixo) é a direção de maior variação na nuvem p-dimensional de pontos. PC 2 (segundo eixo) está na direção da próxima maior variância, condicionada a zero covariância com PC 1, ou seja, os componentes principais representam um sistema de eixos ortogonais que explicam toda a variabilidade original dos dados, mas o primeiro eixo explica a maior parte da variabilidade, o segundo explica a segunda maior parte e assim sucessivamente (HAIR et al., 2009).

Lattin, Carroli e Green (2011) definiram a análise de componentes principais como um método de reexpressar dados multivariados, permitindo ao pesquisador reorientar os dados de modo que as primeiras poucas dimensões expliquem o maior número possível de informação disponível. Essa redução de dimensões torna a visualização dos dados mais direta e sua análise mais administrável.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área experimental

O experimento foi realizado em outubro de 2013, no município de Bocaina, estado de São Paulo, o centro da área experimental está situado nas coordenadas geográficas: 22º06'22" de Latitude Sul, 48º28'4" de Longitude Oeste, com 532 metros de altitude (Figura 3).

Figura 3. Área Experimental.

A área experimental utilizada no ensaio, foi um talhão homogêneo de aproximadamente 20 ha, apresentando solo arenoso, declividade de média de 3,5%, e sistematização adequada, sendo considerada apta para a colheita mecanizada. A variedade colhida foi a RB855156, com porte ereto, no segundo corte, colhida de forma mecanizada, plantada em espaçamento de 1,5 m entre linhas mecanicamente, apresentando produtividade média total da área de 83,49 t ha^{-1}, sendo que a operação de colheita da cana-de-açúcar foi realizada sem a queima prévia do palhiço.

3.2 Máquinas utilizadas

Foram utilizadas duas colhedoras de cana-de-açúcar, M1 (Figura 4) e M2 (Figura 5), suas características estão descritas na Tabela 5.

Tabela 5**.** Colhedoras utilizadas no experimento.

Características	Colhedoras	
	Máquina 1 (M1)	Máquina 2 (M2)
Nº de Fileiras que colhe	1	2
Ano de fabricação	2013	2013
Horímetro (h)	323,4	2.123,4
Potência máxima (cv / kw)	358 / 260	358 / 260
Sistema de injeção	Common Rail	Common Rail
Aspiração	Turbo aftercooler	Turbo aftercooler
Cilindrada (L)	9	9
Rodado	Esteiras	Esteiras
Peso (kg)	18.600	20.600

Figura 4. Colhedora utilizada no experimento definida como Máquina 1.

Figura 5. Colhedora utilizada no experimento definida como Máquina 2.

A colhedora M2 realiza o corte das duas linhas de cana-de-açúcar através de dois discos de cortes munidos de facas posicionados nos divisores de linha da colhedora (Figura 6). Cada disco realiza o corte de uma linha da cultura, na sequência, o corte de base recolhe o material para o interior da máquina aonde são realizados os processos picagem e limpeza do material de maneira similar a colhedora de uma linha.

Figura 6. Destaque do sistema de corte de duas linhas simultâneas da colhedora M2.

As máquinas realizaram a colheita no mesmo talhão, sendo que, a colhedora M1 colheu uma linha da cultura a cada passada realizada e a colhedora M2 colheu duas linhas da cultura a cada passagem no talhão (Figura 7).

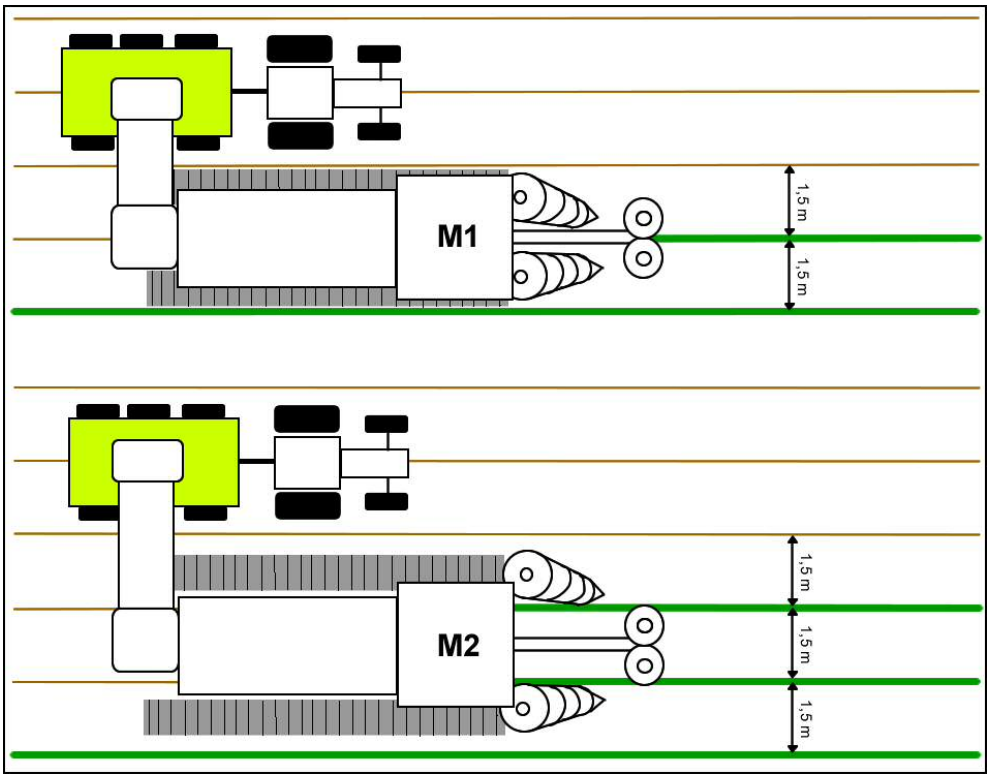

Figura 7. Esquema das diferentes formas de colheita realizadas pelas máquinas.

3.3 Tratamentos e critérios de amostragem

O experimento foi dividido em duas fases distintas, sendo que na primeira fase, no intuito de comparar as colhedoras na mesma velocidade de trabalho, foram avaliados o consumo energético e a capacidade efetiva das máquinas. Foram selecionadas três velocidades de deslocamento na colheita, sendo elas: 2,5 km h^{-1} (V1), 3,5 km h^{-1} (V2) e 5,0 km h^{-1} (V3).

Os tratamentos foram submetidos a três repetições, totalizando 18 repetições para avaliar o consumo de combustível e a capacidade operacional das colhedoras, com cada repetição representando 100 metros de fileira contínua dentro do talhão, sendo que a Máquina 1 colhendo uma linha da cultura e a Máquina 2 colhendo duas linhas, gerando uma parcela experimental de 150 m² para colhedora M1 e de 300 m² para a colhedora M2 em cada repetição.

Durante o experimento o operador mais experiente disponível foi utilizado em cada máquina, essas, que trabalharam no mesmo talhão, com a mesma rotação nos extratores primário e secundário, e em todas as demais configurações recomendadas pelo fabricante. Os tratamentos realizados na primeira fase estão dispostos na Tabela 6:

Tabela 6**.** Tratamentos realizados na primeira fase.

Tratamento	Colhedora	Velocidade de colheita
M1V1	M1	2,5 km h^{-1}
M1V2	M1	3,5 km h^{-1}
M1V3	M1	5,0 km h^{-1}
M2V1	M2	2,5 km h^{-1}
M2V2	M2	3,5 km h^{-1}
M2V3	M2	5,0 km h^{-1}

Na segunda fase do experimento foram selecionadas as velocidades ideais de trabalho de cada máquina, se baseando nos resultados obtidos na primeira fase. As colhedoras trabalharam no talhão, nas velocidades selecionadas, de forma convencional e ininterrupta, como se estivessem colhendo em um dia normal de trabalho, e, complementando os tratamentos da primeira fase, foram realizadas avaliações qualitativas da colheita nas velocidades selecionadas.

Para colhedora M1 a velocidade selecionada foi a de 5,0 km h^{-1}, pois a colhedora não apresentou nenhuma dificuldade para colher nessa velocidade. Para a colhedora M2, a velocidade selecionada foi de 3,5 km h^{-1}, sendo escolhida baseado na recomendação do fabricante e na dificuldade de se manter constante maiores velocidades de deslocamento no talhão. Sendo assim, na segunda fase, foi realizado um complemento dos tratamentos M1V3 e M2V2.

3.4 Velocidade de deslocamento

As velocidades de deslocamento foram calculadas em função do tempo gasto para percorrer cada fileira de 100 metros. Para a determinação do comprimento da área colhida foi utilizado um GPS modelo MAP 60csx da marca Garmin*.

3.5 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 1:

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

onde:

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

Atr = área útil da parcela trabalhada (m^2);

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

0,36 = fator de conversão.

3.6 Consumo de combustível

Para a aquisição de dados do consumo de combustível foram utilizados quatro fluxômetros da marca Oval, modelo LSF45, de 500 L h^{-1} de capacidade de leitura máxima (Figura 8), que foram instalados nas máquinas avaliadas, sendo que cada máquina recebeu duas unidades, sendo instaladas no sistema de alimentação de combustível entre o tanque e o motor e outro instalado no retorno para o tanque.

*Marcas e modelos não expressam recomendações de uso pelo autor.

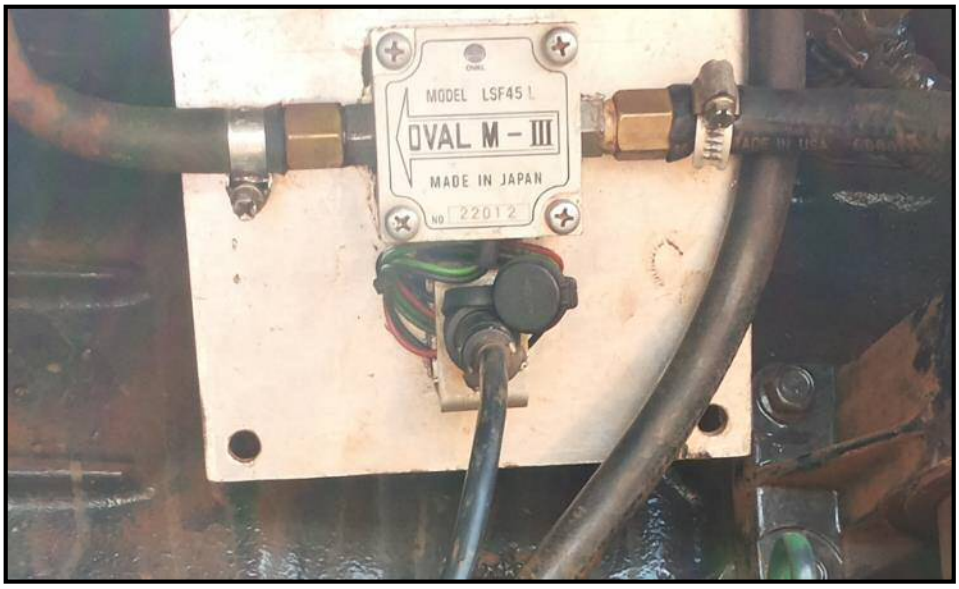

Figura 8. Imagem de um dos fluxômetros utilizados durante os ensaios e instalados nas máquinas.

Os fluxômetro enviaram os dados a uma taxa de um pulso para cada 10 mL de combustível que se deslocam em seu interior, esses pulsos são transmitidos para um sistema de aquisição de dados, sendo ele dois contadores de pulsos e um cronômetro (Figura 9), que são disparados em conjunto, no início da fileira a ser colhida, e chegando ao término da fileira, com os dados recebidos, foi calculado o consumo horário da máquina (Equação 2).

Figura 9. Painel de equipamentos para de aquisição de dados utilizado no ensaio.

3.6.1 Consumo horário de combustível (L h^{-1})

O consumo horário de combustível foi obtido através do cálculo dos dados adquiridos pela Equação 2:

$$CCh = \frac{\sum (pe - p_s)\ .\ 3{,}6}{\Delta t} \qquad (2)$$

onde:

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

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

Δ_t = tempo gasto (s);

3,6 = fator de conversão.

3.6.2 Consumo de combustível por área (L ha^{-1})

O consumo de combustível por área colhida foi calculado através da Equação 3:

$$CCa = Td.CCh \qquad (3)$$

onde:

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

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

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

3.6.3 Consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar (L t^{-1})

A determinação da quantidade de matéria prima colhida foi calculada baseado na produtividade do talhão (t ha^{-1}) multiplicando a área útil da parcela (ha). A produtividade do talhão foi obtida através da usina, com a quantidade de matéria prima retirada no total da área. O consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida foi obtido através da Equação 4:

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

Onde:

Ct= consumo de combustível por toneladas de cana-de-açúcar colhida (L t^{-1})
CCa= consumo de combustível por área (L ha^{-1})
P= produtividade do canavial (t ha^{-1})

3.7 Perdas visíveis de matéria prima

As perdas visíveis foram quantificadas pela metodologia utilizada pelo CTC (Centro de Tecnologia Canavieira), em que após a colheita se faz uma catação manual das frações de colmos deixados no campo, aonde se adota uma área de amostragem de 10 m^2, abrangendo duas linhas da cultura, com o comprimento de 3,3 m e largura de 3,0 m (Figura 10). Na segunda fase do trabalho, para cada colhedora, foram realizadas três amostragens de perdas, as frações encontradas foram pesadas separadamente, com uma balança portátil de 25 kg de capacidade e precisão de 10 gramas. As perdas foram calculadas de forma absoluta (t ha^{-1}) multiplicando a quantidade em kg encontrada na parcela por 1.000.

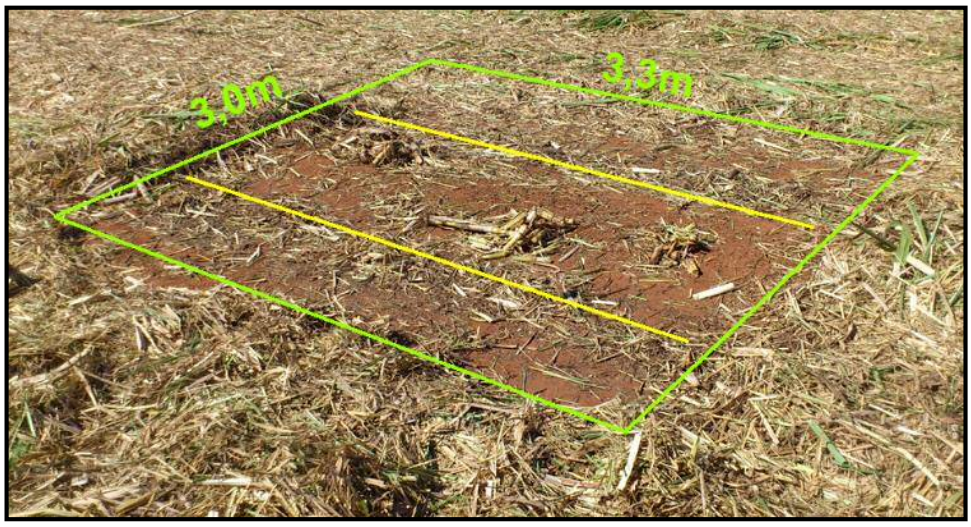

Figura 10. Área em que foi realizado a quantificação de perdas visíveis, em destaque o espaçamento utilizado e as duas linhas colhidas de cana-de-açúcar.

Segundo Bendini et al. (2009), 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. As perdas de matéria prima são classificadas conforme a Tabela 7.

Tabela 7**.** 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).

As perdas de matéria prima em t ha^{-1} são transformadas em porcentagem segundo a Equação 5:

$$Pd = \frac{Pc}{P + Pc} \tag{5}$$

Onde:

Pd= perdas (%)

Pc= perdas no campo (t ha^{-1})

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

3.8 Qualidade da matéria prima colhida

Para a avaliação da qualidade de matéria prima colhida pelas máquinas foram realizadas amostras do material colhido (Figura 11) que seria depositado na unidade de transporte. Essas amostras são retiradas diretamente após o extrator secundário, e passam por todos os sistemas de limpeza das máquinas, permitindo avaliar a capacidade real de retirada de material estranho (vegetal e mineral) do material colhido.

Após a coleta do material, a amostra foi separada 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. Ressalta-se que o cortador de pontas da Máquina 2 (M2) apresentou problemas durante o ensaio, dessa maneira para fazer um comparativo justo, as duas colhedoras não utilizaram o cortador de pontas durante a avaliação.

Figura 11. Separação das frações de interesse no material colhido.

Durante o processo de classificação e separação das frações, foi realizada uma limpeza minuciosa de todos os itens da amostra (Figura 12), essa limpeza teve por objetivo retirar o máximo de impureza mineral aderida aos itens da amostra. As amostras de solo com fragmentos vegetais foram separadas e levadas até o laboratório da usina, onde para a retirada dos resíduos vegetais presentes, foram incineradas em cadinhos por um período de três horas e após a queima, pesadas em balança de precisão, o resultado obtido foi utilizado para quantificar a presença de impureza mineral no material colhido.

Figura 12. Limpeza das frações da amostra colhida para a quantificação de impurezas minerais.

Segundo metodologia do CTC, a classificação de impureza mineral e vegetal conforme é apresentado na Tabela 8:

Tabela 8**.** Classificação de impurezas mineral e vegetal.

Classificação	Impurezas Minerais	Impurezas Vegetais
Baixa	< 0,3%	< 3%
Média	0,4% a 0,6%	4% a 6%
Alta	> 0,6%	> 7%

Fonte: CTC. (2009).

3.9 Delineamento experimental

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado em fatorial 2x3, representado por duas colhedoras (M1 e M2) e três velocidades de trabalho (2,5; 3,5 e 5 km h^{-1}) com três repetições. As médias foram analisadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Para as velocidades definidas como ideais para o trabalho de cada máquina foram analisados a perda de matéria prima, índice de material estranho vegetal, mineral e total, capacidade efetiva, consumo de combustível horário, por área e por tonelada de cana-de-açúcar colhida, através de uma análise de componentes principais. O software utilizado na análise foi o Minitab (16).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Colhedoras se deslocando em velocidades iguais

4.1.1 Velocidade de deslocamento

Para as velocidades avaliadas não houve diferença entre as máquinas dentro dos tratamentos realizados, sendo observadas diferenças significativas apenas entre os diferentes tratamentos (Tabela 9).

Tabela 9**.** Médias das velocidades de deslocamento nos tratamentos.

Máquina	Velocidade			Média
	V1	V2	V3	
M1	2,49	3,78	4,85	**3,71**
M2	2,60	3,52	4,66	**3,60**
Média	**2,55 c**	**3,65 b**	**4,76 a**	

P-Value (Máq.): 0,188; P-Value (Vel.): 0,000; P-Value (Máq. x Vel.): 0,197; CV: 0,047; V1: Velocidade média de 2,5 km h^{-1}, V2: Velocidade média de 3,5 km h^{-1}, V3: Velocidade média de 5,0 km h^{-1}, M1: Colhedora de uma linha, M2: Colhedora de duas linhas. Médias seguidas de letras iguais minúsculas na coluna não diferem pelo teste de Tukey (α = 5%), médias seguidas de letras iguais maiúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey (α= 5%).

4.1.2 Capacidade de campo efetiva (ha h^{-1})

As médias de capacidade de campo efetiva foram estatisticamente diferentes a 5% de significância para todas as variáveis avaliadas (Tabela 10). A capacidade de campo efetiva foi maior para a máquina de duas linhas (M2), sendo que as médias também cresceram com o aumento de velocidade das colhedoras, sendo a maior encontrada no tratamento V3 (5,0 km h^{-1}), demonstrando que o aumento da quantidade de linhas colhidas simultaneamente e o aumento de velocidade de deslocamento da máquina, estão diretamente ligados ao aumento da capacidade de campo efetiva. A colhedora M2 obteve as maiores médias de capacidade efetiva em todas as velocidades avaliadas.

Os resultados encontrados para a capacidade de campo efetiva foram semelhantes aos dados apresentados por Belardo (2010), avaliando três máquinas de uma linha, obteve 0,74 ha h^{-1}, 0,75 ha h^{-1} e 0,77 ha h^{-1} colhendo numa velocidade de 5 km h^{-1} com uma colhedora de uma linha.

Tabela 10**.** Médias dos valores de capacidade de campo efetiva.

Máquina	Velocidade			Média
	V1	V2	V3	
M1	0,37 bC	0,57 bB	0,73 bA	**0,56 B**
M2	0,78 aC	1,06 aB	1,40 aA	**1,08 A**
Média	**0,58 c**	**0,81 b**	**1,06 a**	

P-Value (Máq.): 0,000; P-Value (Vel.): 0,000; P-Value (Máq. x Vel.): 0,000; CV: 0,046; V1: Velocidade média de 2,5 km h^{-1}, V2: Velocidade média de 3,5 km h^{-1}, V3: Velocidade média de 5,0 km h^{-1}, M1: Colhedora de uma linha, M2: Colhedora de duas linhas. Médias seguidas de letras iguais minúsculas na coluna não diferem pelo teste de Tukey (α = 5%), médias seguidas de letras iguais maiúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey (α= 5%).

4.1.3 Consumo horário de combustível (L h^{-1})

Para o consumo horário de combustível os resultados encontrados foram diferentes com 5% de probabilidade estatística (Tabela 11), quando analisada a variável máquina, o maior consumo horário ocorreu na colhedora M2. Para a variável velocidade de deslocamento, a menor velocidade de deslocamento das máquinas V1 (2,5 km h^{-1}), foi obtido o menor consumo horário.

As colhedoras apresentaram um consumo de combustível horário menor quando operando em menores velocidades, o maior consumo ocorreu nos tratamentos

de maior velocidade (V3) na colhedora M2. O aumento na velocidade de deslocamento e quantidade de linhas colhidas simultaneamente influenciou no aumento de consumo horário de combustível.

Rosa (2013) encontrou resultados semelhantes na colheita de duas linhas adensadas, obtendo um consumo médio de 67,5 L h^{-1} a 5,0 km h^{-1}. Da mesma forma, Schmidt Junior (2011), colhendo uma linha em velocidade semelhante, também encontrou resultados semelhantes aos da colhedora M1 (50,3 L h^{-1}). Ambos obtiveram aumento no consumo horário de combustível com o aumento da velocidade de deslocamento das colhedoras.

Tabela 11**.** Médias dos valores de consumo de combustível horário.

Máquina	Velocidade			Média
	V1	V2	V3	
M1	38,46	42,25	46,81	**42,50 B**
M2	50,95	57,28	60,30	**56,18 A**
Média	**44,71 b**	**49,77 a**	**53,55 a**	

P-Value (Máq.): 0,000; P-Value (Vel.): 0,000; P-Value (Máq. x Vel.): 0,683; CV: 0,050; V1: Velocidade média de 2,5 km h^{-1}, V2: Velocidade média de 3,5 km h^{-1}, V3: Velocidade média de 5,0 km h^{-1}, M1: Colhedora de uma linha, M2: Colhedora de duas linhas. Médias seguidas de letras iguais minúsculas na coluna não diferem pelo teste de Tukey (α = 5%), médias seguidas de letras iguais maiúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey (α= 5%).

4.1.4 Consumo de combustível por área (L ha^{-1})

Foi constatada diferença entre as máquinas e entre as velocidades de deslocamento, sendo que, para o consumo de combustível por área colhida, o aumento da velocidade de deslocamento das colhedoras diminuiu o consumo de combustível por área (Tabela 12).

A colhedora de duas linhas (M2) apresentou menor consumo por área do que a colhedora de uma linha (M1). O maior consumo por área ocorreu no tratamento V1M1 e o menor no tratamento V3M2, demonstrando que o consumo por área diminui quando ocorreu o aumento de velocidade e aumento de número de linhas colhidas.

Os resultados obtidos foram semelhantes aos encontrados por Ramos (2013) de 70,31 a 112,6 L ha^{-1}, por Lyra (2012) de 53 a 68 L ha^{-1}, e por Giachini (2012) que obtive consumos de 80 a 123 L ha^{-1} em colhedoras de uma linha.

Tabela 12**.** Médias dos valores de consumo de combustível por área.

Máquina	Velocidade			Total
	V1	V2	V3	
M1	102,89 aA	74,67 aB	64,44 aB	**80,67 A**
M2	65,33 bA	54,20 bAB	43,11 bB	**54,21 B**
Total	**84,11 a**	**64,43 b**	**53,78 c**	

P-Value (Máq.): 0,000; P-Value (Vel.): 0,000; P-Value (Máq. x Vel.): 0,012; CV: 0,068; V1: Velocidade média de 2,5 km h^{-1}, V2: Velocidade média de 3,5 km h^{-1}, V3: Velocidade média de 5,0 km h^{-1}, M1: Colhedora de uma linha, M2: Colhedora de duas linhas. Médias seguidas de letras iguais minúsculas na coluna não diferem pelo teste de Tukey (α = 5%), médias seguidas de letras iguais maiúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey (α= 5%).

4.1.5 Consumo de combustível por tonelada colhida (L t^{-1})

O consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida teve resultado semelhante ao consumo por área, o consumo de combustível por tonelada diminuiu com o aumento da velocidade em todas as velocidades ensaiadas, as médias foram submetidas à análise estatística a 5 % de confiança (Tabela 13). A colhedora de duas linhas (M2) apresentou o menor consumo e quando a análise foi realizada nos tratamentos separadamente o maior consumo de combustível por área ocorreu na máquina de uma linha na menor velocidade (V1M1), e o menor na máquina de duas linhas na maior velocidade ensaiada (V3M2).

Os resultados encontrados foram similares aos de Belardo (2010) que colhendo com máquina de uma linha, a 5 km h^{-1}, obteve valores entre 0,66 L t^{-1} e 0,70 L t^{-1} e colhendo a 7 km h^{-1}, obteve valores de 0,47 L t^{-1} a 0,53 L t^{-1}.

Tabela 13**.** Médias dos valores de consumo de combustível por tonelada colhida.

Máquina	Velocidade			Total
	V1	V2	V3	
M1	1,23 aA	0,89 aB	0,77 aB	**0,97 A**
M2	0,78 bA	0,65 bAB	0,52 bB	**0,65 B**
Total	**1,01 a**	**0,77 b**	**0,64 c**	

P-Value (Máq.): 0,000; P-Value (Vel.): 0,000; P-Value (Máq. x Vel.): 0,012; CV: 0,067; V1: Velocidade média de 2,5 km h^{-1}, V2: Velocidade média de 3,5 km h^{-1}, V3: Velocidade média de 5,0 km h^{-1}, M1: Colhedora de uma linha, M2: Colhedora de duas linhas. Médias seguidas de letras iguais minúsculas na coluna não diferem pelo teste de Tukey (α = 5%), médias seguidas de letras iguais maiúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey (α= 5%).

4.2 Colhedoras com velocidade ideal de trabalho

4.2.1 Análise de componentes principais

Para a análise de componentes principais foram utilizados as médias dos ensaios qualitativos, de desempenho operacional e desempenho energético das colhedoras das colhedoras avaliadas (Tabela 14).

Tabela 14**.** Valores das variáveis qualitativas, do desempenho operacional e desempenho energético das máquinas avaliadas.

Componentes	Máquinas	
	M1	M2
Velocidade de deslocamento (km h^{-1})	4,85 ± 0,22	3,52 ± 0,07
Capacidade efetiva (ha h^{-1})	0,73 ± 0,03	1,06 ± 0,02
Capacidade efetiva (t h^{-1})	60,79 ± 2,69	88,24 ± 1,73
Consumo de combustível horário (L h^{-1})	46,81 ± 1,81	57,28 ± 2,63
Consumo de combustível por área (L ha^{-1})	64,44 ± 5,39	54,2 ± 2,26
Consumo de combustível por tonelada (L t^{-1})	0,77 ± 0,06	0,65 ± 0,03
Índice de matéria estranha vegetal (%)	8,30% ± 0,67%	8,72% ± 1,12%
Índice de matéria estranha mineral (%)	0,28% ± 0,07%	0,19% ± 0,04%
Índice de matéria estranha total (%)	8,58% ± 0,62%	8,91% ± 1,08%
Perda de matéria prima (t ha^{-1})	1,41 ± 0,3	3,34 ± 1,07

A perda de matéria prima da colhedora de uma linha (M1) conforme classificação do CTC foi considerada baixa (1,41%), e para a colhedora de duas linhas o valor encontrado foi classificado como nível de perdas médio (3,34%). Em relação a classificação de qualidade de material colhido, as colhedoras foram classificadas da mesma forma, sendo considerado baixo o valor de impureza mineral encontrado nas amostras, e alto o valor de impureza vegetal das médias encontradas, o valor de impureza vegetal foi influenciado pelo não uso do cortador de pontas nas duas máquinas avaliadas.

Esses resultados foram semelhantes aos encontrados por Ramos (2013), que ao ensaiar uma colhedora de uma linha, com o corte de pontas desligado, obteve resultados de impureza vegetal de 4% a 7,4%, sendo classificadas de média a alta, já para as impurezas

minerais, os resultados foram muito variáveis sendo alguns semelhantes (0,4%) e outros superiores (0,79%) aos encontrados nesse trabalho.

A Figura 13 foi gerada a partir da análise de componentes principais, nela está demonstrado a diferença encontrada entre a primeira e segunda componente principal identificada durante a análise, através da distância entre os pontos é possível visualizar a diferença ou semelhança entre as colhedoras.

A distância dos pontos no gráfico representa a diferença que existe entre as colhedoras, observa-se que no eixo X e Y os pontos estão distantes, sendo assim pode-se afirmar que as colhedoras tiveram desempenho diferente durante o ensaio realizado.

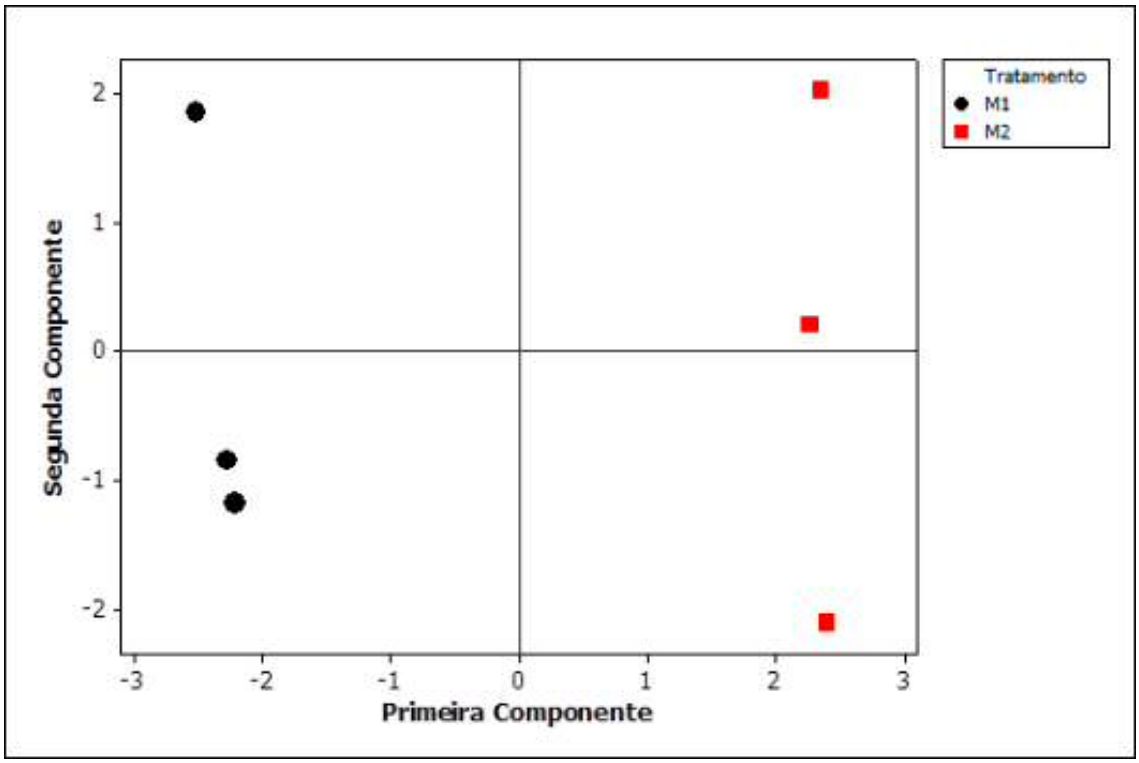

Figura 13. Gráfico gerado pela análise de componentes principais

A primeira componente teve 65,6% de representatividade na análise e a segunda 28,2%, gerando um total de 94% de representação da informação contida nas duas primeiras componentes avaliadas (Tabela 15).

O índice gerado pela análise de componentes principais indica quais variáveis tiveram maior ou menor diferença entre si (Tabela 15). O índice de matéria estranha total foi a componente que apresentou menor diferença entre as colhedoras avaliadas, seguido pelo índice de matéria estranha vegetal, demostrando que, nesses pontos as colhedoras não se

diferenciaram. A capacidade de campo efetiva das colhedoras foi a avaliação que mais distanciou as colhedoras, seguida pela velocidade de deslocamento, consumo de combustível horário, consumo de combustível por área, consumo de combustível por tonelada colhida e perdas de matéria prima.

Tabela 15**.** Componentes principais das variáveis qualitativas e quantitativas do desempenho operacional e energético das máquinas avaliadas.

Variáveis	PC1	PC2
Velocidade de deslocamento (km h^{-1})	**-0,38**	-0,104
Consumo de combustível horário (L h^{-1})	**0,363**	0,137
Consumo de combustível por área (L ha^{-1})	**-0,335**	0,249
Consumo de combustível por tonelada (L t^{-1})	**-0,335**	0,249
Capacidade efetiva (ha h^{-1})	**0,388**	-0,046
Capacidade efetiva (t h^{-1})	**0,388**	-0,046
Índice de matéria estranha vegetal (%)	0,096	0,562
Índice de matéria estranha mineral (%)	-0,273	-0,374
Índice de matéria estranha total (%)	0,077	0,563
Perda de matéria prima (t ha^{-1})	**0,329**	-0,263
Proporção	0,656	0,282

5 CONCLUSÕES

A capacidade de campo efetiva aumentou conforme o aumento de velocidade das colhedoras; a colhedora de duas linhas foi superior à colhedora de uma linha em todas as velocidades.

Com o aumento da velocidade, os consumos de combustível por área e por tonelada colhida diminuíram nas duas máquinas, apresentando comportamento semelhante. A colhedora de uma linha apresentou os maiores consumos por área trabalhada e tonelada colhida de cana-de-açúcar em todas as velocidades.

Para as velocidades ideais de trabalho, que foram de 3,5 e 5 km h^{-1} para a colhedora de duas e uma linha respectivamente, a colhedora de duas linhas apresentou uma maior capacidade de campo, maior consumo de combustível horário e um maior índice de perdas visíveis na colheita. A colhedora de uma linha apresentou maior velocidade de deslocamento e maior consumo por área e por tonelada colhida.

6 REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. **Estatística**. Produção venda e exportação de autoveículos. Disponível em:<www.anfavea.com.br/> Acesso em: 23 dez. 2013.

BARBOSA, M.H.P.; SILVEIRA, L.C.I. Cana-de-açúcar: variedades, estabelecimento e manejo. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO ESTRATÉGICO DE PASTAGEM, 3, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. P. 245-272.

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.

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.

CARVALHO, L. S. **Desempenho operacional de uma colhedora em cana crua na região de grande Dourados - MS**. 2009. 36 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Central de informações agropecuárias**. Disponível em: <www.conab.gov.br> Acesso em: 19 de dez 2013.

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

DALBEM, L.C. Alternativas de colheita mecanizadas com mais de uma linha. In: SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR,5., 2011, Piracicaba, **Anais...** Piracicaba, 2011.

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.

DIAS DE MORAES, M.A.F.; Indicadores do mercado de trabalho do sistema agroindustrial da cana-de-açúcar do Brasil no período de 1992-2005. **Estudo Econômico**, São Paulo, v. 37, n. 4, p. 875-902, out./dez. 2007. Disponivel em: <http://www.scielo.br/pdf/ee/v37n4/a07v34n4.pdf>. Acesso em 10 de nov 2013.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço energético nacional 2013.** Disponível em: <http://www.epe.gov.br/>Acesso em: 19 de dez 2013.

FURLANI NETO, V.L. Proposta de espaçamento para a mecanização em solos de baixa fertilidade – Ambientes C, D e E. In: SEMINÁRIO DE MECANIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR,11., 2009, Ribeirão Preto, **Anais...** Ribeirão Preto, 2009.

GIACHINI, C. F. **Desempenho operacional de uma colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) em função dos turnos de trabalho.** 2012. 57 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2012.

HAIR J. F., ANDERSON R. E., TATHAM RL, BLACK W. C. **Análise multivariada de dados**, 6rd edn. Artmed Editora SA, Porto Alegre, RS, 2009.

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.

LATTIN, J. M.; CARROLI, J. D.; GREEN, P. E. **Análise de dados multivariados.** 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 455 p.

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 Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2012.

MIALHE, L. G.; CARRARO NETO, H. C. **Avaliação e análise do desempenho de colhedora de cana-de-açúcar: relatório**. Olímpia: Usina Cruz Alta, 1993. 170 p.

MOLINA JUNIOR, W. F. **Proposta de metodologia descritiva para ensaio padronizado de colhedora de cana-de-açucar (S*accharum* spp.)**. 2000. 140p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2000.

MONACO JUNIOR, L.C. Plantio espaçamento alternado. In: SEMINÁRIO DE MECANIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR,13., 2011, Ribeirão Preto, **Anais...** Ribeirão Preto, 2011.

MOZAMBINI, A.E.: PINTO, A.S.; SEGATO, V.S.; MATTIUZ, C.F.M. História e morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V. (Org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. P. 11-12.

NERY, M. S. **Desempenhos 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 São Paulo, Piracicaba, 2000.

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

OLIVEIRA, C. A. A. **Modelagem e validação experimental de um cortador basal com discos segmentados**. 2003. 110p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

RAMOS, C. R. G. **Desempenho operacional da colheita mecanizada de cana-de-açúcar (S*accharum* 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 Agronômicas, 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 e 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.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar:** colheita, energia e ambiente. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2009. 333 p.

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

RODRIGUES, E. B. **Comparação técnico-econômica da colheita de cana-de-açúcar na região de Bandeirantes – PR. 2008**. 130 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

RODRIGUES, E. B.; SAAB, O. J. G. A. Avaliação técnico-econômica da colheita manual e mecanizada da cana-de-açúcar (Saccharumspp) na região de Bandeirantes – PR. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 28, n. 4, p. 581-588, out./dez. 2007

ROSA, J. H. M. **Avaliação de desempenho efetivo e econômico de uma colhedora de cana-de-açúcar (S*accharum* spp.) em espaçamento duplo alternado**. 2013. 153 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2013.

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

SANTOS, E. C. dos; **Colheita mecanizada de cana-de-açúcar (S*accharum* spp.) sem queima prévia: análise de parâmetros de desempenho efetivo**. 2012. 143p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2012.

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

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Dados e cotações.** Estatísticas. Disponível em: <http://www.unica.com.br/>. Acesso em: 23 dez. 2013.

VIEIRA, G.; SIMON, E. Possíveis impactos da mecanização no corte da cana-de-açúcar em consequência da eliminação da queima da palha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA SOCIOLOGIA RURAL,43., 2005. Ribeirão Preto, 2005. **Anais...** Ribeirão Preto: SOBER, 2005.