**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Avaliação de desempenho efetivo de colhedora de cana-de-açúcar
(*Saccharum spp*)**

João Conrado Schmidt Junior

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração:
Máquinas Agrícolas

**Piracicaba
2011**

João Conrado Schmidt Junior
Engenheiro Agrônomo

**Avaliação de desempenho efetivo de colhedora de cana-de-açúcar
(*Saccharum spp*)**

Orientador:
Prof. Dr. **TOMAZ CAETANO CANNAVAN RIPOLI**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração:
Máquinas Agrícolas

**Piracicaba
2011**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Schmidt Junior, João Conrado

Avaliação de desempenho efetivo de colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) / João Conrado Schmidt Junior. - - Piracicaba, 2011.
108 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2011.

1. Cana-de-açúcar 2. Colhedoras - Desempenho 3. Ensaios I. Título

CDD 633.61
S352a

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, João Conrado Schmidt e Judite Schmidt, pelo caráter e ética que possuem, nos quais me espelho, juntamente ao amor e ensinamentos transmitidos durante toda minha vida.

Aos meus irmãos Fábio, Juliana e Emília pela amizade, apoio, conselhos e respeito mútuo.

Aos cunhados Silvia, Vicente e Kleber por, apesar de agregados, fazer parte da família.

Aos meus sobrinhos Ingrid, João Vitor e Ana Carolina pela alegria do convívio e pelo futuro promissor.

Aos meus amigos, também chamados de irmãos por sempre me apoiarem.

AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e a Universidade de São Paulo pela minha formação em Engenharia Agrônômica e pela oportunidade de aprendizado e realização do mestrado.

Ao Departamento de Engenharia de Biosistemas pela transmissão de conhecimento e pela disponibilidade de materiais necessários no programa de pós-graduação em máquinas agrícolas.

Ao professor Tomáz Caetano Cannavam Ripoli pela paciência, dedicação, orientação, e apoio durante o mestrado. Também pela amizade e “paternidade” concedida durante tantos anos de convívio.

Aos professores Marcos Milan, José Paulo Molin, Casimiro Dias Gadanha Junior, Walter Francisco Molina Junior e Thiago Libório Romanelli do Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ/USP pelos conhecimentos transmitidos juntamente aos conselhos concedidos durante o curso.

À Divisão de Biblioteca e Documentações da ESALQ/USP em nome de Eliana Maria Garcia e Silvia Maria Zinsly.

À secretaria de pós-graduação do Departamento de Engenharia de Biosistemas, na pessoa de Davilmar Collevatti.

Às secretarias do LEB, em nome de Fernanda Barbosa Neves da Silva.

Aos colaboradores do setor de mecânica, em nome do amigo e colega Áureo Santana de Oliveira.

À professora Sônia Maria de Stefano Piedade do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ/USP pela confiança e apoio concedido na realização da disciplina de estatística experimental.

Aos colegas da pós-graduação em máquinas agrícolas, em especial ao Áureo, Felipe (garça), Vanderson e Franz.

Aos colegas de orientação Guilherme (Berolo), Gilda, Paulo pelo convívio e pelas ajudas durante o curso.

À Usina Jalles Machado e seus funcionários pela colaboração no ensaio.

À Protecta Comércio de Produtos Agropecuários pela compreensão durante as ausências e pelo incentivo na conquista de mais esta etapa.

Aos irmãos da Republica K-ZONA, especialmente ao: Hulq, Muskito, Benga, Koskrq, Koño, Lazaroni, Vacilão, Angélik, Napoleão, Asnézio, K-rrero, Ticé, Gargamel, Tamburelo, Brasil-1, Pai-Nosso, Ticruzu, Purifiq, Z-itona, Pogreci, 3-pulim e Biro.

Aos amigos de Ponta Grossa pelo incentivo em finalizar esta etapa do mestrado.

Ao amigo e irmão Barak por morar no meio do caminho entre Ponta Grossa e Piracicaba.

Obrigado

EPÍGRAFE

“Há homens que lutam um dia e são bons, há outros que lutam um ano e são melhores, há os que lutam muitos anos e são muito bons. Mas há os que lutam toda a vida e estes são imprescindíveis.”

Bertold Brecht

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	13
LISTA DE FIGURAS.....	15
LISTA DE TABELAS.....	19
1 INTRODUÇÃO.....	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1 A cultura da cana-de-açúcar.....	23
2.1.1 Produção mundial de cana-de-açúcar.....	24
2.1.2 Produção brasileira de cana-de-açúcar.....	25
2.2 Colheita da cana-de-açúcar.....	30
2.3 Colheita mecanizada da cana-de-açúcar.....	31
2.4 Qualidade da matéria-prima.....	34
2.5 Perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar.....	35
2.5.1 Perdas na colheita mecanizada relacionadas ao exaustor primário.....	36
2.6 Desempenho operacional de colhedoras de cana-de-açúcar.....	36
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	41
3.1 Máquinas utilizadas.....	41
3.2 Equipamentos e instrumentos de campo utilizados.....	43
3.3 Métodos.....	44
3.3.1 Tratamentos e critérios de amostragens.....	44
3.3.2 Caracterização da área.....	45
3.3.2.1 Determinação da área amostral.....	45
3.3.2.2 Porte do canavial.....	46
3.3.2.3 Grau de maturação da cultura.....	47
3.3.3 Mensuração da velocidade operacional.....	47
3.3.4 Determinação de perdas visíveis de matéria-prima no campo.....	48
3.3.5 Determinação de qualidade de matéria-prima colhida e quantidade de rebolos colhidos.....	50

3.3.6 Determinação de frequência de tamanhos e índice de cisalhamento e comprimento de rebolos.....	53
3.3.7 Determinação da quantidade de matéria-prima colhida para cada repetição.....	54
3.3.8 Determinação do consumo de combustível.....	56
3.3.9 Delineamento estatístico.....	57
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
4.1 Velocidades efetivas de deslocamento (km.h^{-1} e m.s^{-1})	59
4.2 Produtividade agrícola (t.ha^{-1})	60
4.3 Produtividade agrícola de colmos no talhão e colmos colhidos (t.ha^{-1}).....	61
4.4 Eficácia de manipulação (%).....	63
4.5 Qualidade da matéria-prima.....	63
4.5.1 Rebolos inteiros e estraçalhados na matéria-prima (%).....	63
4.5.2 Matéria estranha mineral (%).....	65
4.5.3 Matéria estranha vegetal (t.ha^{-1} e %).....	66
4.5.3.1 Ponteiros na matéria-prima (%).....	67
4.5.3.2 Folhas e palha na matéria-prima (%).....	68
4.5.3.3 Toco de soqueira na matéria-prima (%).....	69
4.5.3.4 Rizomas na matéria-prima (%).....	70
4.5.3.5 Matéria estranha não identificada na matéria-prima (%).....	70
4.5.4 Matéria estranha total (t.ha^{-1} e %).....	71
4.6 Perdas.....	73
4.6.1 Total de perdas visíveis (t.ha^{-1} e %).....	73
4.6.1.1 Perdas de frações de colmo nas soqueiras (t.ha^{-1} e %).....	75
4.6.1.2 Perdas de colmos e suas frações (t.ha^{-1} e %).....	76
4.6.1.3 Perdas de rebolos estraçalhados (t.ha^{-1} e %).....	77
4.7 Consumo de combustível (L.h^{-1} , L.min^{-1} e L.t^{-1})	78
4.8 Frequência de comprimento e índice de cisalhamento de rebolos.....	80
5 CONCLUSÕES.....	85
REFERÊNCIAS.....	87
APÊNDICES.....	93

RESUMO

Avaliação de desempenho efetivo de colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)

A cultura da cana-de-açúcar está relacionada principalmente à produção de açúcar e de etanol, sendo ambos os produtos considerados commodities na economia mundial. A demanda por alimentos e energia renovável é crescente, proporcionando o crescimento da produção nacional destes produtos. Segundo a ÚNICA (2010), o Brasil atingiu na safra 2008/2009 uma produção total de cana-de-açúcar de 569,1 milhões de toneladas processadas, o que representa um crescimento de 14,8% com relação à safra anterior. O setor sucro-alcooleiro no Brasil vem ganhando espaço no mercado nacional e internacional em função da diversificação e melhoria de produtividade, principalmente no setor agrícola. A colheita da cana-de-açúcar no Brasil era tradicionalmente realizada com corte e carregamento manual. Esta técnica começou a ser questionada quando o cultivo desta cultura tomou dimensões mais expressivas no cenário nacional, juntamente a apelos ambientais e sociais. A mão-de-obra utilizada no corte se torna escassa e normalmente apresenta incompatibilidade perante a atual legislação trabalhista brasileira. A colheita mecanizada favorece o processo de corte e carregamento, depositando a cana picada diretamente no sistema de transporte. O corte da cana-de-açúcar crua também apresenta vantagens no processo de moagem na usina, sendo assim a mecanização da colheita reduz custo, aumenta o desempenho operacional e diminui o impacto ambiental. Por estes fatores, o presente trabalho teve como objetivo avaliar, através de um ensaio padrão, a combinação ideal entre a velocidade de deslocamento e a velocidade do exaustor primário para um protótipo de colhedora de cana-de-açúcar, baseado nos padrões já utilizados pela usina. Os ensaios foram realizados na Usina Jalles Machado, município de Goianésia, Estado de Goiás, em condições de campo, sem queima prévia do canavial, sendo a cana-de-açúcar da variedade SP 841431 em seu segundo corte. O espaçamento utilizado era de 1,5m e a produtividade estimada, pela usina, de 85 t ha⁻¹. O porte do canavial foi determinado como ereto, assim como o paralelismo entre as fileiras de plantio dentro do limite desejável e o relevo em condições adequadas. A colhedora avaliada foi submetida a três velocidades de deslocamento e duas velocidades do exaustor primário, enquanto a colhedora referência utilizou os padrões da usina. A metodologia de ensaio e avaliação do desempenho efetivo foram os propostos por Ripoli & Ripoli (2009), por meio de determinações da eficácia de manipulação, perdas de matéria-prima de campo, índices de matéria estranha vegetal e mineral na matéria-prima, consumo de combustível e frequência do comprimento e índice de cisalhamento de rebolos. Foi constatado que o consumo de combustível da colhedora avaliada foi menor que o consumo da colhedora referência, e que este apresentou relação com a velocidade de deslocamento. A eficácia de manipulação não apresentou diferença entre os tratamentos, sendo as perdas totais maiores na maior velocidade de deslocamento. Os valores encontrados para a variável matéria-estranha total apresentaram diferença estatística ao nível de 5% de probabilidade entre os tratamentos.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar; Desempenho efetivo; Colhedora; Ensaios

ABSTRACT

Effective performance evaluation of a sugar cane (*Saccharum spp*) harvester

The sugar cane crop is mainly related to the production of sugar and ethanol, both products being considered as commodities in the global economy. The demand for food and renewable energy is growing, providing the growth of domestic production of these products. According to UNICA (2010), Brazil has achieved in the 2008/2009 crop a total production of 569.1 million tons of sugar cane to be processed, representing an increase of 14.8% compared to the previous harvest. The sugar-alcohol sector in Brazil has been gaining ground in national and international market due to the diversification and improvement of productivity, especially in the agricultural sector. The harvesting of sugar cane in Brazil has traditionally been done with cutting and loading by men. This technique began to be questioned when the cultivation of this culture took most significant dimensions in the national scene, along with environmental and social causes. The manpower used in the harvest becomes scarce and usually mismatch current Brazilian labor legislation. Mechanized harvesting favors the process of cutting and loading, directly depositing the chopped cane into the transport system. The mechanical harvest of sugar cane also has advantages in the milling process at the plant, so the harvest mechanization reduces cost, improves operational performance and decreases the environmental impact. By these factors, this study used a standard test to evaluate the ideal combination of speed and primary extractor velocity for a prototype of sugar cane harvester based on standards already used by the sugar cane mill. The assessments were performed in Jalles Machado sugar cane mill, municipality of Goianésia, State of Goiás, in field conditions without prior burning of the sugarcane. The sugar cane variety was SP 841431 in its second cut. The spacing between rows was 1.5 m and yields were estimated by Jalles Machado to be around 85 t ha⁻¹. The sugar cane was erect and the land was under appropriate conditions for mechanical harvesting. Also the parallelism between rows of planting was considered appropriated. The evaluated harvester worked in three different forward speeds and two different speeds of the primary exhaust, while the harvester used as reference worked in standards of the Jalles Machado mill. The test methodology and evaluation of actual performance used were those proposed by Ripoli & Ripoli (2009), by determination of the effectiveness of manipulation, field losses indexes, harvesting quality and vegetable and mineral impurities indexes, fuel consumption and damage index and length frequency of the billets. It was found that the fuel consumption of the evaluated harvester was lower than the consumption of the reference harvester, and that this was related to speed. The effectiveness of manipulation had no difference between treatments, with higher total losses at higher speed. The values found for the variable total foreign matters showed statistical difference at 5% probability between treatments.

Keywords: Sugar cane; Effective performance; Agriculture; Harvester

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Produção mundial de cana-de-açúcar (Fonte: FAO, 2011).....	25
Figura 2 – Produção brasileira de cana-de-açúcar (Fonte: UNICA, 2010).....	26
Figura 3 – Produção brasileira de açúcar (Fonte: UNICA, 2010).....	27
Figura 4 – Produção brasileira de etanol (Fonte: UNICA, 2010).....	28
Figura 5 – Principais componentes de colhedora automotriz (Fonte: Neves, 2003).....	33
Figura 6 – Colhedora avaliada.....	42
Figura 7 – Colhedora referência.....	42
Figura 8 – Critério para determinação do porte do canavial por meio de triângulo retângulo (adaptado de Ripoli et al. 1996)	46
Figura 9 – Porte do canavial definido como ereto).....	47
Figura 10 - Demarcação e limpeza das áreas de sub amostras de perdas de matéria- prima antes de cada repetições.....	49
Figura 11 - Recolhimento e ensacamento de perdas remanescente no campo na área amostral após a passagem da colhedora para cada repetição.....	49
Figura 12 - Área de trabalho para determinações ponderais	50
Figura 13 - Tambores para sub-amostras de qualidade de matéria-prima colocados dentro do transbordo.....	51
Figura 14 – Retirada dos tambores de sub-amostras de qualidade de matéria-prima colocados dentro do transbordo.....	51
Figura 15 - Determinação de qualidade de matéria-prima colhida através da determinação de percentagem de rebolos, de matéria estranha vegetal (ponteiros, folhas e palha) e matéria estranha mineral.....	52
Figura 16 - Determinação de índice de cisalhamento e freqüência no tamanho de rebolos.....	53
Figura 17 - Transbordo sobre as células de carga.....	54
Figura 18 - Esquema teórico de transferência de peso.....	55
Figura 19 – Calços utilizados no eixo do transbordo.....	55
Figura 20 – Cabeçalho do transbordo desengatado do trator.....	56
Figura 21 – Fluxômetro adaptado na mangueira de combustível.....	57

Figura 22 - Dataloger para aquisição e armazenagem de dados de consumo.....	57
Figura 23 - Médias das velocidades efetivas de deslocamento (km.h ⁻¹).....	59
Figura 24 - Médias das velocidades efetivas de deslocamento (m.s ⁻¹)	60
Figura 25 - Médias da produtividade agrícola das fileiras (t.ha ⁻¹).....	61
Figura 26 - Médias da produtividade agrícola de colmos no talhão (t.ha ⁻¹).....	62
Figura 27 - Médias da produtividade agrícola de colmos colhidos (t.ha ⁻¹).....	62
Figura 28 - Médias das eficácias de manipulação (%).....	63
Figura 29 - Médias de rebolos inteiros na matéria-prima (%).....	64
Figura 30 - Médias de rebolos estraçalhados na matéria-prima (%).....	64
Figura 31 - Médias de rebolos inteiros em relação ao total de rebolos (%).....	65
Figura 32 - Médias de matéria estranha mineral (%).....	66
Figura 33 - Médias de matéria estranha vegetal (t.ha ⁻¹).....	67
Figura 34 - Médias de matéria estranha vegetal (%).....	67
Figura 35 - Médias de ponteiros na matéria-prima (%).....	68
Figura 36 - Médias de folhas e palha na matéria-prima (%).....	69
Figura 37 - Médias de toco de soqueira na matéria-prima (%).....	69
Figura 38 - Médias de rizomas na matéria-prima (%).....	70
Figura 39 - Médias matéria estranha não identificada na matéria-prima (%).....	71
Figura 40 - Médias de matéria estranha total (t.ha ⁻¹).....	72
Figura 41 - Médias de matéria estranha total (%).....	72
Figura 42 - Médias do total de perdas visíveis (t.ha ⁻¹).....	74
Figura 43 - Médias do total de perdas visíveis (%).....	74
Figura 44 - Médias das perdas de frações de colmo nas soqueiras (t.ha ⁻¹).....	75
Figura 45 - Médias das perdas de frações de colmo nas soqueiras (%).....	76
Figura 46 - Médias das perdas de colmos e suas frações (t.ha ⁻¹).....	77
Figura 47 - Médias das perdas de colmos e suas frações (%).....	77
Figura 48 - Médias das perdas de colmos estraçalhados (t.ha ⁻¹).....	78
Figura 49 - Médias das perdas de colmos estraçalhados (%).....	78
Figura 50 - Médias dos consumos efetivos de combustível (L.h ⁻¹).....	79
Figura 51 - Médias dos consumos efetivos de combustível (L.min ⁻¹).....	80
Figura 52 - Médias dos consumos efetivos de combustível (L.t ⁻¹).....	80

Figura 53 – Frequência (%) de distribuição do tamanho de rebolos para o tratamento V1E1.....	81
Figura 54 – Frequência (%) de distribuição do tamanho de rebolos para o tratamento V2E1.....	81
Figura 55 – Frequência (%) de distribuição do tamanho de rebolos para o tratamento V1E2.....	82
Figura 56 – Frequência (%) de distribuição do tamanho de rebolos para o tratamento V2E2.....	82
Figura 57 – Frequência (%) de distribuição do tamanho de rebolos para o tratamento V3E1.....	82
Figura 58 – Frequência (%) de distribuição do tamanho de rebolos para o tratamento REF.....	83
Figura 59 – Qualidade de cisalhamento dos rebolos colhidos (%)......	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Licenciamento de automóveis e comerciais leves por tipo de combustível..	29
Tabela 2 - Desempenho operacional da colhedora Class em quatro velocidades de trabalho.....	38
Tabela 3 - Resultados de ensaios com 4 diferentes velocidades para a colhedora Class cc3300.....	39
Tabela 4 - Resultados de ensaios com 4 diferentes velocidades para a colhedora Class Vantor.....	39
Tabela 5 - Resultados de ensaios com 4 diferentes velocidades para a colhedora Brastoft A7700.....	39
Tabela 6 - Influência da rotação do exaustor nas perdas e matéria estranha vegetal (MEV).....	40
Tabela 7 - Capacidades efetivas de três colhedoras de cana-de-açúcar em 4 diferentes velocidades.....	40
Tabela 8 - Tratamentos e número de repetições.....	45

1 INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar está relacionada principalmente à produção de açúcar e de etanol, sendo ambos os produtos considerados commodities na economia mundial. O desenvolvimento do cultivo desta cultura no campo está relacionado ao mercado destes produtos, uma vez que a demanda mundial por alimentos e energia é crescente.

O setor sucro-alcooleiro no Brasil vem ganhando espaço no mercado nacional e internacional em função da diversificação e melhoria de produtividade, principalmente no setor agrícola. O setor sucro-alcooleiro do Brasil pode ser considerado como um dos mais competitivos internacionalmente, tendo em vista que em termos energéticos a cana-de-açúcar apresenta um altíssimo teor de fibra, levando clara vantagem competitiva quando comparada com outras culturas (UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA, 2010).

A colheita da cana-de-açúcar no Brasil era tradicionalmente realizada com corte e carregamento manual. Esta técnica começou a ser questionada quando o cultivo desta cultura tomou dimensões mais expressivas no cenário nacional, juntamente a apelos ambientais e sociais. O corte manual de cana-de-açúcar utiliza da queima do canavial para diminuir impurezas, reduzir o risco com animais peçonhentos e aumentar a capacidade operacional. Esse sistema elimina a matéria seca e aumenta a concentração de gás carbônico na atmosfera, contribuindo com o efeito estufa e diminuindo o teor de matéria orgânica no solo. A mão-de-obra utilizada no corte se torna escassa e normalmente apresenta incompatibilidade perante a atual legislação trabalhista brasileira.

A colheita da cana-de-açúcar destaca-se pelos altos custos envolvidos e pelas dificuldades operacionais, seja ela conduzida de forma manual ou mecanizada. O processo encontra-se em fase de substituição do corte manual para o mecanizado, porém este apresenta certos inconvenientes, tais como: perdas de cana no campo, redução da qualidade da matéria-prima e a redução da longevidade do canavial. As impurezas minerais e vegetais presentes na cana-de-açúcar a ser processada oneram

os custos de transporte e aceleram a degradação dos equipamentos industriais além de reduzirem a eficiência de moagem e extração de sacarose.

De acordo com Ripoli (1996), a cana-de-açúcar, por ser material biológico sujeito a mudanças rápidas na qualidade como matéria prima industrial, requer no processo de colheita que as máquinas utilizadas preservem as características qualitativas e reduzam ao mínimo possível a contaminação do produto colhido por matéria estranha vegetal (folhas e palhas) ou mineral (partículas de solo).

A colheita mecanizada favorece o processo de corte e carregamento, uma vez que não é necessário o uso de carregadoras, depositando a cana picada diretamente no sistema de transporte. O corte da cana-de-açúcar crua também apresenta vantagens no processo de moagem na usina, sendo assim a mecanização da colheita de cana de açúcar reduz custo, aumenta o desempenho operacional e diminui o impacto ambiental.

A taxa de mecanização no estado de São Paulo, que representa 60% da produção de cana-de-açúcar é de 49,1% da área colhida (UNICA, 2010a) e existe a perspectiva desse percentual aumentar nos próximos anos principalmente pela escassez de mão-de-obra e por leis ambientais como a 11.241 e o Protocolo Agroambiental (assinado por 90% das usinas de SP) para o estado de São Paulo (UNICA, 2010b).

Com o crescimento da demanda de cana-de-açúcar e a competitividade de preço dos produtos, o setor agrícola está buscando maior eficiência e melhor tecnologia para o campo, investindo, assim, em máquinas que proporcionam menor perda de matéria-prima, redução da contaminação de cana-de-açúcar com impurezas e consequentemente, maior lucratividade. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar, através de um ensaio padrão, a combinação ideal entre a velocidade de deslocamento e a velocidade do exaustor primário para um protótipo de colhedora de cana-de-açúcar, baseado nos padrões já utilizados pela usina.

A hipótese levantada é que em diferentes velocidades de deslocamento e diferentes velocidades do exaustor primário ocorrem variações na qualidade da matéria-prima colhida, nas perdas envolvidas no processo de colheita e no consumo de combustível.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura da cana-de-açúcar

A cultura da cana-de-açúcar originou um dos principais produtos de exportação do Brasil. O cultivo iniciou-se nos séculos XVI e XVII, hegemonia do açúcar na economia colonial, em que a produção para exportação, atrelada às condições propícias de solo e clima para o desenvolvimento da cultura, caracterizou-se na principal causa de ocupação territorial brasileira (ARRUDA, 1996).

Segundo Barbosa e Silveira (2006), o cultivo da cana-de-açúcar é considerado uma das primeiras atividades de importância nacional, ocupando posição de destaque na economia brasileira. Considerando a produção de açúcar, álcool e aguardente, essa atividade transparece com grande relevância na geração de divisas.

No Brasil, a produção de açúcar apresenta um grande potencial, entre as safras 1993/1994 e 2003/2004 houve crescimento de aproximadamente 130%. Com isso, as exportações promovidas pela região Centro-Sul têm aumentado significativamente. Na safra 2007/2008, a região respondeu por 85% da produção de açúcar, enquanto a região Norte-Nordeste representou 15% (CAMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2010).

Segundo Carvalho (1993) a produção de cana-de-açúcar passou por períodos distintos no Brasil, no entanto, apresentou em todas as fases crescimento em área cultivada, bem como, na quantidade de cana-de-açúcar colhida. Nos anos de 1975 a 1991, a produção da cultura cresceu 3,5 vezes, passando de 68 milhões para 233 milhões de toneladas incentivados principalmente pela produção de álcool através do processamento da cana-de-açúcar.

A importância da cana-de-açúcar é decorrente de sua vasta utilidade, podendo ser empregada in natura, sob a forma de 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, o bagaço pode ser queimado nas caldeiras e servir como combustível e o vinhoto ser transformado em adubo (CAPUTO et al., 2008).

Em 1938, a mistura de 5% de etanol à gasolina foi estendida para toda gasolina produzida no país, decorrente do início da operação da primeira refinaria de Petróleo do Brasil (SILVA, 2010). Com essas mudanças o etanol de subproduto passaria a ser visto como um fator de equilíbrio da balança comercial brasileira e de recuperação do setor agroindustrial, que nos anos 30 passava por intensa crise de superprodução. O etanol era visto como um mecanismo de defesa, de salvaguarda, para o mercado açucareiro (FISCHER, 1983).

No ano de 1975, com a criação do PROÁLCOOL, programa do governo federal de incentivo à produção e uso de álcool como combustível (em substituição à gasolina), o país conseguiu evoluir na produção de álcool combustível por meio do processamento e fermentação da cana-de-açúcar. Pinheiro Machado (2006) relatou que o avanço tecnológico foi de fundamental importância para o Brasil enfrentar as crises do petróleo que se seguiram nas próximas décadas.

O programa acelerou o crescimento e o desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar em novas regiões produtoras como o Paraná, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Segundo Paulillo et al. (2006) o PROÁLCOOL abriu um importante mercado para o álcool que, aliado à abertura do mercado internacional para o açúcar, permitiu a expansão e sustentação do setor sucro-alcooleiro.

O ciclo do PROÁLCOOL teve fim no final da década de 80 com uma crise de governo e de confiabilidade do setor sucroalcooleiro, gerada pelo desabastecimento do vasto mercado nacional que havia sido criado. O financiamento público ao programa escasseou a partir de 1987 enquanto o mercado internacional de açúcar teve preços em ascensão. Estes fatores por um lado desestimularam a expansão e a renovação dos canaviais e, por outro, levaram os produtores a desviar a matéria-prima da produção de etanol para a de açúcar, visando principalmente à exportação (RODRIGUES; ORTIZ, 2006).

2.1.1 Produção mundial de cana-de-açúcar

De acordo com a FAO (2010), o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com uma produção de mais de 600 milhões de toneladas (Figura 1). Índia,

China e Tailândia são o segundo, terceiro e quarto maiores produtores respectivamente, sendo que o somatório de suas produções é próximo ao total produzido no Brasil.

Figura 1 – Produção mundial de cana-de-açúcar (Fonte: FAO, 2011)

2.1.2 Produção brasileira de cana-de-açúcar

O Brasil se destaca como o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com mais de sete milhões de hectares plantados, produzindo na safra 2007/2008 mais de 480 milhões de toneladas de cana, o que coloca o país na liderança mundial em tecnologia de produção da cultura e consequentemente de açúcar e álcool. Além de matéria-prima para a produção de açúcar e álcool, seus subprodutos e resíduos são utilizados para cogeração de energia elétrica, fabricação de ração animal e fertilizante para as lavouras (EMBRAPA, 2009).

Podemos considerar que o setor canavieiro é de extrema importância para o agronegócio nacional, por possuir o maior parque industrial de açúcar, álcool e derivados de cana-de-açúcar do mundo (RIPOLI, 2009).

Nas ultimas décadas o interesse por fontes de energia renováveis e que causem menores índices de poluição e emissão de gases, deu novo animo ao uso de álcool combustível produzido através da fermentação e processamento da cana-de-açúcar e impulsionou à produção da cultura no Brasil. A área destinada ao plantio da cultura dobrou, basicamente em função da produção do álcool, essa expansão ocorreu principalmente em regiões de solo fértil e climas favoráveis (TAKESHI, 2008).

De acordo com a UNICA (2010), a produção nacional de cana-de-açúcar na safra 2008/2009 foi de 569,1 milhões de toneladas, sendo que nas duas últimas décadas a produção aumentou praticamente três vezes (Figura 2).

Figura 2 – Produção brasileira de cana-de-açúcar (Fonte: UNICA, 2010)

A previsão do total de cana moída na safra 2011/12 é de 641.982 toneladas, com incremento de 2,9% em relação à safra 2010/11, que foi de 623.905 toneladas, o que significa que a quantidade que será moída deve superar em 18.076 toneladas a moagem da safra anterior (CONAB, 2011).

Segundo dados da UNICA (2010), a produção nacional de açúcar na safra 2008/2009 foi de 31,05 milhões de tonelada de açúcar, permanecendo praticamente sem alterações nas últimas três safras (Figura 3).

Figura 3 – Produção brasileira de açúcar (Fonte: UNICA, 2010)

O segmento sucroalcooleiro tem participado ativamente da atividade agrícola brasileira. Na safra 2007/2008, o Brasil produziu, aproximadamente, 22,5 bilhões de litros de álcool, dos quais grande parte foi destinada ao mercado interno, que vem ganhando destaque no segmento agroindustrial brasileiro, devido à retomada do aumento do consumo doméstico em decorrência do preço competitivo do combustível em relação à gasolina (EMBRAPA, 2009).

O álcool é reconhecido mundialmente pelas suas vantagens ambientais, sociais e econômicas, e alguns países do primeiro mundo já estão interessados na tecnologia brasileira (CAMPANHÃO et al., 2005).

De acordo com UNICA (2010), a produção de etanol obteve um incremento de 22% quando comparadas as safras 2007/2008 e 2008/2009, atingindo 27,5 bilhões de litros ante aos 22,5 bilhões de litros na safra anterior (Figura 4).

Figura 4 – Produção brasileira de etanol (Fonte: UNICA, 2010)

Segundo EMBRAPA (2010) há um potencial de crescimento na exportação do álcool brasileiro, que, possivelmente, será utilizado para atender parte da demanda mundial por etanol. A produção de álcool está em fase de expansão, já que o produto é barato, renovável e útil como alternativa para a matriz energética mundial. A tendência de aumento de sua produção no Brasil ocorre por vários fatores, como: aumento da frota de carros bicomcombustível (demanda interna), Protocolo de Kyoto (demanda externa) e aumento do preço do petróleo.

Segundo Silva et al. (2009) um dos principais fatores que influenciaram a expansão do cultivo de cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil foi o aumento, nos últimos anos, na venda de veículos bicomcombustíveis que aumentou a demanda por etanol.

Segundo dados da ANFAVEA (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores), o aumento no consumo interno é explicado pelo aumento de vendas de veículos leves bicomcombustíveis (flex-fuel) que teve início em 2003 quando representou 3,9% do total de veículos comercializados e que no ano de 2009 representaram 92,3% do total de automóveis e veículos leves licenciados no Brasil (Tabela 1) (UNICA, 2010).

Tabela 1 – Licenciamento de automóveis e comerciais leves por tipo de combustível

ANOS	Automóveis e Comerciais Leves			TOTAL
	Gasolina	Álcool	Flex-fuel	
1993	764.598	264.235	-	1.028.833
1994	1.127.485	141.834	-	1.269.319
1995	1.557.674	40.706	-	1.598.380
1996	1.621.968	7.647	-	1.629.615
1997	1.801.688	1.120	-	1.802.808
1998	1.388.734	1.224	-	1.389.958
1999	1.122.229	10.947	-	1.133.176
2000	1.310.479	10.292	-	1.320.771
2001	1.412.420	18.335	-	1.430.755
2002	1.283.963	55.961	-	1.339.924
2003	1.152.463	36.380	48.178	1.237.021
2004	1.077.945	50.949	328.379	1.457.273
2005	697.004	32.357	812.104	1.541.465
2006	316.561	1.863	1.430.334	1.748.758
2007	245.660	107	2.003.090	2.248.857
2008	217.021	84	2.329.247	2.546.352
2009	221.709	70	2.652.298	2.874.077

Fonte: UNICA (2010). Elaborada a partir de dados da ANFAVEA.

Com a crescente demanda mundial de energia e pressupondo que o etanol obtido a partir da destilação do caldo de cana-de-açúcar é a melhor alternativa para a produção de biocombustível, está claro que o Brasil continuará se destacando na produção e comercialização de cana-de-açúcar dentre os próximos anos, já que possui a maior área plantada do mundo consequentemente a maior produtividade (BRASIL, 2007).

O Estado de São Paulo é líder no setor sucroalcooleiro nacional e a principal região produtora da cultura, sendo responsável por 62% da produção nacional na safra 2006/2007; é líder também nos avanços tecnológicos e de produtividade (PAULILLO et al., 2007); naquela safra São Paulo registrou um crescimento de 11% da área destinada

ao cultivo de cana-de-açúcar, atingindo 3,65 milhões de hectares plantados. Em Minas Gerais, 70,6 mil hectares foram incorporados à área produtiva, que soma 490,6 mil hectares (acréscimo de 16,8%). Destacam-se, ainda, as elevações de área na Bahia (49%), Mato Grosso do Sul (32%), Paraná (26%), Goiás (19%) e Ceará (36%) no mesmo período.

A produtividade média brasileira de cana-de-açúcar tem apresentado significativa elevação, aumentou 50% nos últimos 20 anos, passando de 44 para 67 toneladas de cana-de-açúcar por hectare. Com a evolução das pesquisas em melhoramento genético, evolução nas técnicas agronômicas e na aplicação de máquinas agrícolas observa-se que muito ainda pode ser melhorado na área agrícola do setor sucro-alcooleiro. O Estado de São Paulo, o maior e mais avançado produtor brasileiro, apresenta produtividade média de 78 toneladas de cana por hectare, e possui diversas unidades produtoras que ultrapassaram a marca de 90 a 95 toneladas de cana por hectare (MACEDO, 2008).

2.2 Colheita de cana-de-açúcar

As operações de colheita de cana-de-açúcar foram classificadas por Ripoli (1996) em três subsistemas distintos: manual, semimecanizado e mecanizado. Tal classificação deve-se ao fato da existência de um sistema global que envolve o corte e o carregamento, o transporte e a recepção da matéria-prima. O subsistema mecanizado diferencia-se pelas operações de corte, carregamento e transporte ocorrerem exclusivamente por meio de máquinas.

A produtividade do trabalho no corte de cana-de-açúcar manual, medida em toneladas por dia por homem atingiu no final da década de 1990 e início da década de 2000 o índice de 12 toneladas de cana-de-açúcar por dia (ALVES, 2006). A capacidade efetiva de uma colhedora é, em média, de 750 toneladas de cana de açúcar por dia, mas segundo alguns fabricantes a capacidade já chega, em alguns modelos entre 1000 a 1200 toneladas de cana-de-açúcar colhida por dia (ANSELM, 2006). Considerando que um cortador possa colher 12 toneladas por dia, somente uma máquina pode substituir o corte manual de 100 homens em um dia de trabalho.

Dentro do ciclo operacional gerado pela cana-de-açúcar, a etapa da colheita pode ser considerada como uma das mais importantes, da mesma depende a qualidade do produto entregue para a indústria nas usinas (MAGALHÃES et al., 2008). No processo de produção da cana, a colheita destaca-se pelos altos custos e problemas envolvendo as operações agrícolas, seja essa conduzida de forma manual, semimecanizada, ou mecanizada (NUNES JUNIOR et al., 2005). Macedo (2008) relata que o corte manual de cana exige excessiva mão-de-obra, porém a substituição pela colheita mecanizada aumenta a produtividade e reduz custos e somados a fatores legais levam a redução gradual e contínua da queima de cana.

2.3 Colheita mecanizada de cana-de-açúcar

Um dos principais fatores que influenciaram a mecanização do setor sucroalcooleiro aconteceu na década de 60, quando o setor sofreu as primeiras dificuldades de escassez de mão-de-obra que impulsionaram grandes mudanças principalmente nos sistemas de colheita. Essas mudanças tiveram início no subsistema de carregamento de matéria prima às unidades transportadoras, o qual passou a ser mecânico. Desde então, as operações de corte, carregamento e transporte (CCT) passaram por diferentes métodos, podendo ser CCT manuais, mecânicos ou mistos, por meio da colheita de cana queimada ou crua, com ou sem desponte, entre outras variáveis (PEREIRA, 1983).

Segundo Magalhães e Braunbeck (1998), o setor canavieiro enfrenta problemas pela escassez de tecnologia apropriada, principalmente no setor agrícola que, aliado à questão da sazonalidade da mão-de-obra, tem sobrecarregado o custo da produção. Na tentativa de reduzir custos e melhorar a rentabilidade do setor, as usinas, a exemplo do que ocorreu nas demais culturas, têm optado por um sistema gradual de mecanização, principalmente da colheita.

Mialhe e Carraro (1993) relatam que os objetivos fundamentais da mecanização agrícola são: aumentar a produtividade da mão-de-obra e reduzir custos operacionais. Assim, discrevem que as questões relativas à colheita manual “versus” colheita

mecanizada de cana-de-açúcar constituem parte significativa de um universo maior que a utilização racional de máquinas e implementos.

A matéria-prima cana-de-açúcar representa 60% dos custos de produção do açúcar e do álcool e por consequência, a evolução técnica, em todas as fases do processo de produção destas commodities é importante. Como esse processo tem início no campo, a colheita mecânica é momento estratégico para a redução de custos (VEIGA FILHO, 1999).

A colheita mecanizada é um sistema complexo de operações com subsistemas e interfaces exigindo um perfeito sincronismo, a fim de proporcionar a maior eficiência possível entre o corte de cana-de-açúcar no campo e entrega à usina. A perfeita combinação entre todos os subsistemas e interfaces não deve causar interrupção da colhedora por falta de transporte, e assim aperfeiçoar o número de unidades de transporte por colhedora, com influência direta e positiva no custo do sistema (RIPOLI, 1974).

Atualmente, aproximadamente 40% da área de cana-de-açúcar colhida utiliza o processo mecanizado de colheita, com ou sem queima prévia do canavial. As principais áreas de colheita mecanizadas são as que apresentam relevo adequado e regiões com problemas relacionados à dificuldade de contratação de mão-de-obra para a colheita manual. Este número tende a aumentar rapidamente considerando que nas novas áreas em expansão de plantio de cana-de-açúcar existe a maior dificuldade de se encontrar mão de obra qualificada e disposta a exercer esta função (MAGALHÃES et al., 2008).

Segundo Ripoli (1996), as colhedoras automotrizes (Figura 5), que fazem parte do subsistema mecanizado, realizam o corte, o fracionamento, a limpeza parcial e o carregamento dos colmos diretamente em unidades de transporte.

Figura 5 - Principais componentes de uma colhedora automotriz (Fonte: NEVES, 2003)

Nesse sistema, as colhedoras recolhem o material cortado pelo cortador de pontas e corte de base para dentro da máquina onde os colmos são picados em rebolos, sendo a matéria estranha vegetal controlada parcialmente através de ventilação ou exaustão, enquanto os colmos picados são conduzidos, através de taliscas e correntes ou rotores-lançadores, sobre veículos de transporte com carrocerias teladas e/ou fechadas (FURLANI NETO, 1995).

Os fatores que se referem à máquina e/ou características do projeto são avaliados pela eficácia e eficiência dos sistemas de colheita mecânica da cana-de-açúcar e devem levar em conta não só a quantia de matéria-prima colhida, mas também a qualidade do trabalho desempenhado pela máquina (CARVALHO FILHO, 2000).

Lopes (1995) cita que a colheita de cana-de-açúcar é atividade complexa, custosa e que para planejamento devem ser considerados fatores edafoclimáticos, vegetativos e de disponibilidade de recursos. Segundo Ripoli e Paranhos (1987), as características morfológicas e fisiológicas das variedades interferem no corte mecânico de cana-de-açúcar. Tanto as colhedoras como as cortadoras operam melhor em canas eretas, vigorosas e de sistema radicular profundo, havendo com isso um ganho na

capacidade efetiva de campo das máquinas, menor perda em canas não cortadas e melhor limpeza.

As perdas quantitativas no campo, as reduções da qualidade da matéria-prima e redução da longevidade do canavial na colheita mecanizada de cana-de-açúcar têm causado preocupações relevantes (RIPOLI; RIPOLI, 2009).

2.4 Qualidade de matéria prima

A parte mais importante da matéria prima para a indústria açucareira é caldo de onde se obtém o açúcar e o álcool. Além disso, da matéria prima se obtém os subprodutos, como vinhaça, torta de filtro, leveduras, óleo fúsel, etc. A fibra é importante na produção de bagaço que é utilizado para queima nas caldeiras permitindo a geração de energia térmica, também transformada em energia elétrica. Entretanto, um teor elevado de fibra, por característica de variedade ou por corte inadequado, pode reduzir o teor de sacarose (STUPIELLO, 1989).

Segundo Volpato (2002), a cana-de-açúcar colhida mecanicamente tem a qualidade tecnológica reduzida, quando da utilização do cortador de base por rebolos fragmentados, devido à facilidade de contaminação e incorporação de terra. Isso ocorre quando as lâminas dos discos dos cortadores trabalham em contato ou abaixo da superfície do solo e/ou o sistema radicular de soqueiras arrancadas for carregado com a cana-de-açúcar.

Contudo, a adoção do sistema mecanizado de colheita de cana picada introduz certos inconvenientes, tais como aumento dos índices de impurezas na carga, que implicam a redução da qualidade tecnológica da matéria-prima fornecida para moagem e perdas de cana no campo (MAGALHÃES; BRAUNBECK, 1998).

2.5 Perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar

Evidentemente que as perdas na colheita são indesejáveis, tanto na operação manual quanto na mecanizada, sendo discutidas a redução de prejuízos e a otimização da produção. (NEVES, 2003).

Segundo Ripoli e Ripoli (2009) a variabilidade da altura de corte, assim como a manutenção inadequada das lâminas de corte basal, associada com características varietais do canavial, podem aumentar significativamente a porcentagem de tocos e rebolos rachados e mal cisalhados, o que pode acarretar em perdas visíveis e invisíveis.

As perdas e a contaminação da cana-de-açúcar com terra durante o processo de colheita estão associadas diretamente ao acompanhamento inadequado do micro relevo do solo e da varredura ineficiente realizado pelo cortador basal (OLIVEIRA, 2003).

De Léon (2000) em estudo de análise de duas colhedoras de cana verificou que na medida em que houve aumento na velocidade de colheita ocorreu diminuição de perdas na forma de frações de rebolos, sendo que estes macerados em ambas as extremidades podem contribuir para a deterioração mais rápida da matéria-prima.

As perdas de rebolos inteiros estão ligadas a três pontos de processamento do material colhido, dentro da máquina: posição do processo onde ocorre o fracionamento dos colmos em rebolos; o sistema de limpeza através da intensidade de fluxo de ar associado ao comprimento e à massa dos rebolos; sistema, forma e posicionamento do dispositivo de descarga, incluindo a visibilidade do operador e a forma do veículo de recepção da matéria-prima (MOLINA Jr., 2000).

De acordo com medições feitas pelo CTC (Centro de Tecnologia Canavieira), 10% da matéria-prima colhida é perdida no campo quando o corte é mecanizado, representando prejuízo da ordem de US\$ 450 milhões por ano (MAGALHÃES et al., 2006).

2.5.1 Perdas na colheita mecanizada relacionadas ao exaustor primário

A tentativa de reduzir os índices de matéria estranha na cana colhida, aumentando-se a rotação dos extratores/ventiladores das colhedoras, pode elevar as perdas de matéria-prima para níveis inaceitáveis economicamente. Por outro lado, o sistema de extratores e/ou ventiladores, responsável pela maior demanda de potência disponível no motor, é o ponto principal de ocorrência de perdas de matéria-prima (YOUNGER, 1980). Segundo Moraes (1992), pelos levantamentos de dados de perdas visíveis e invisíveis na colheita por colhedoras de cana picada, obtiveram-se, em média, 10% de perdas totais e, no extrator primário da colhedora, responsável pela limpeza, as perdas invisíveis foram da ordem de 2% em rebolos, lascas, "serragem" e caldo.

Neves et al., 2006, através dos resultados obtidos em pesquisa, afirmou que o baixo desempenho das colhedoras, expresso pelos altos índices de perdas de matéria-prima, ou a baixa eficiência de limpeza não está associado diretamente à velocidade de deslocamento da colhedora ou ao potencial de produção do canavial. Esse desempenho está relacionado ao gradiente do fluxo de ar na câmara de limpeza, que apresenta grande variação na velocidade do ar, interferindo na capacidade de limpeza da colhedora e, por consequência, nas perdas totais, visíveis e invisíveis.

2.6 Desempenho operacional de colhedoras de cana-de-açúcar

Ripoli (1996) descreve desempenho operacional de colhedoras de cana-de-açúcar como sendo o conjunto de atributos que caracterizam o grau de habilitação da máquina para execução da operação de colheita, sob determinadas condições operacionais. Para o mesmo autor a análise do desempenho operacional de colhedoras de cana-de-açúcar, não deve limitar-se apenas a capacidade efetiva, em termos de kg.h^{-1} ou t.dia^{-1} , devendo-se levar em conta também, a qualidade da matéria-prima, bem como as suas perdas, e capacidade operacional.

Segundo Ripoli e Ripoli (2009) a velocidade de deslocamento das colhedoras de cana-de-açúcar é influenciada diretamente pelas condições da cultura e do terreno. Geralmente, as colhedoras podem trabalhar com velocidade de até $9,0 \text{ km.h}^{-1}$, mas

atualmente, não tem ultrapassado 4,0 a 6,0 km.h⁻¹, possivelmente devido à falta de sistematização dos talhões, voltados à colheita mecanizada. Maiores velocidades em talhões não adequadamente sistematizados levam inevitavelmente ao aumento de perdas de matéria-prima. A velocidade deve ser ajustada em função das características do talhão no que diz respeito à sistematização, porte do canavial e a produtividade agrícola estimada.

Furlani Neto et al. (1996), observando dados de usinas de açúcar, verificaram que a partir do desenvolvimento tecnológico e da sistematização dos talhões, as atuais colhedoras de cana-de-açúcar, conseguem uma capacidade efetiva em média, de 60 t.h⁻¹ com perdas no campo variando de 3 a 6 t.ha⁻¹ e, índice de matéria estranha de 3 a 8%.

O estudo do desempenho de três modelos de colhedoras em duas variedades de cana sem queima prévia, realizado por Moraes e Neves (1997), acusaram, perdas em torno de 4%, impurezas vegetais em torno de 9,9% e impurezas minerais de, aproximadamente, 0,3%.

Ripoli et al. (2001a), avaliaram o desempenho de colhedora de rodado de esteira em canavial de terceiro corte, porte ereto, produtividade de 176 t.ha⁻¹ e previamente sistematizado pra colheita mecanizada com quatro velocidades de deslocamento: 1,5, 3, 5 e 7 km.h⁻¹. Os resultados mostraram, para estas condições, que não houve influência da velocidade de deslocamento sobre as perdas totais de matéria prima, índice de matéria estranha total e qualidade tecnológica de matéria prima.

Carvalho Filho (2000), observou nos resultados obtidos em estudo com colhedora de cana, que para velocidade de 1,5 km.h⁻¹, ocorreu menor índice de cisalhamento de rebolos. Para as velocidades 3, 5 e 7 km.h⁻¹ não houve diferença significativa entre este índice, mostrando que o sincronismo do mecanismo de corte dos rebolos não foi alterado pela velocidade de deslocamento da máquina. Para a velocidade de 1,5 km.h⁻¹ houve um melhor sincronismo entre o mecanismo de corte dos rebolos e a velocidade de deslocamento. Pode-se dizer que em todas as velocidades, não houve ótimo desempenho de cisalhamento dos rebolos, conforme Ripoli (1996), que afirma que ótimo desempenho é caracterizado por índice maior que 95% de rebolos sem cisalhamento de ambos os lados.

Rozeff (1989) realizou ensaios para verificar os efeitos da velocidade de operação de colheita sobre o desempenho da colhedora, em cana queimada e cana crua, no estado do Texas (USA). A máquina utilizada foi a Class 1400, em quatro diferentes velocidades de deslocamento e a variedade colhida foi a CP70-321. A frequência de comprimento de rebolos ficou concentrada na faixa 15 a 38 cm e a porcentagem de rebolos com as medidas nessa faixa superior a 50% para as quatro velocidades analisadas. Nesse trabalho, mostrou-se que com o aumento da velocidade, obteve-se aumento na capacidade efetiva, porém o índice de matéria estranha total foi maior com o aumento da velocidade de deslocamento. Os resultados desse trabalho encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Desempenho operacional da colhedora Class em quatro velocidades de trabalho

Colhedora Class 1400	Velocidades (km.h ⁻¹)			
	1,4	2,5	4,2	5,6
Capacidade efetiva bruta (t.h-1)	17,4	28,5	54,2	91,6
Índice de matéria estranha (%)	5	6,8	13,7	21,6

Fonte: Rozeff (1989), adaptada.

Shaw e Brotherton (1992) avaliaram na Austrália a colheita mecanizada de cana-de-açúcar sem queima prévia. As perdas de matéria-prima e os índices de matéria estranha encontrados foram de 9,0 e 12,0%, respectivamente. A colheita de cana crua influenciou positivamente a qualidade do açúcar, quando comparada com a colheita em canaviais previamente queimados.

Ripoli et al. (2001a), realizando testes de campo com duas colhedoras Claas, modelos Ventor e CC3000 concluíram que, além do custo da tonelada de cana colhida diminuir, as capacidades efetiva e operacional de campo aumentaram com o aumento da velocidade das máquinas, assim como as perdas de cana e o índice de impureza vegetal não aumentaram com as colhedoras trabalhando em velocidades maiores (Tabelas 3 e 4). Ripoli et al. (2001b) chegaram às mesmas conclusões operando uma colhedora Brastoft A 7700 (Tabela 5).

Tabela 3 - Resultados de ensaios com 4 diferentes velocidades para a colhedora Class cc3300

Variáveis	V1	V2	V3	V4
Vel. (km.h ⁻¹)	1,68	3,21	5,37	7,28
C.E.L.(t.h ⁻¹)	24,5	56,0	88,5	133,5
E.M. (%)	95	95	95	96
P.V. (%)	7,4	4,8	5,1	3,9
M.E.V. (%)	7,0	8,8	6,1	6,4
M.E.M. (%)	0,5	0,3	0,2	2,9

Vel - Velocidade de deslocamento; C.E.L - Capacidade efetiva Líquida; E.M - Eficácia de Manipulação

P.V - Perdas visíveis; M.E.V - Matéria estranha vegetal; M.E.M - Matéria estranha mineral

Fonte: Ripoli et al. (2009), adaptada

Tabela 4 - Resultados de ensaios com 4 diferentes velocidades para a colhedora Class Ventor

Variáveis	V1	V2	V3	V4
Vel. (km.h ⁻¹)	1,70	3,37	5,40	8,01
C.E.L.(t.h ⁻¹)	26,3	49,6	94,5	124,6
E.M. (%)	86	91	93	94
P.V. (%)	14,1	8,7	7,4	5,6
M.E.V. (%)	7,8	6,8	5,2	7,8
M.E.M. (%)	0,9	0,1	0,1	0,1

Vel - Velocidade de deslocamento; C.E.L - Capacidade efetiva Líquida; E.M - Eficácia de Manipulação

P.V - Perdas visíveis; M.E.V - Matéria estranha vegetal; M.E.M - Matéria estranha mineral

Fonte: Ripoli et al. (2009), adaptada

Tabela 5 - Resultados de ensaios com 4 diferentes velocidades para a colhedora Brastoft A7700

Variáveis	V1	V2	V3	V4
C.E.L.(t.h ⁻¹)	15,8	33,6	79,0	100,3
E.M. (%)	93	92	89	91
P.V. (%)	6,1	6,9	9,9	8,8
M.E.V. (%)	8,4	11,4	7,2	8,4
M.E.M. (%)	0,1	0,5	0,1	0,7

C.E.L - Capacidade efetiva Líquida; E.M - Eficácia de Manipulação

P.V - Perdas visíveis; M.E.V - Matéria estranha vegetal; M.E.M - Matéria estranha mineral

Fonte: Ripoli et al. (2009), adaptada

Mello (2002) apresenta resultados obtidos na Usina São Martinho (SP) para perdas visíveis de $2,52 \text{ t.ha}^{-1}$, para matéria estranha mineral de $3,65 \text{ kg.t}^{-1}$ e para matéria estranha vegetal de 4,30%, sendo a média de colheita diária, por máquina, de 603 toneladas.

Pearce e Gonzales (2003) apresentaram resultados obtidos a respeito da influência da rotação de exaustores nas perdas de colheita, na qualidade de matéria-prima, na massa específica de carga, e em outras variáveis, utilizando-se das colhedoras CASE CNH, modelo A7700 versão 2003 (Tabela 6). Nesse estudo os autores obtiveram um tamanho médio de rebolos de 170mm.

Tabela 6 - Influência da rotação do exaustor nas perdas e matéria estranha vegetal (MEV)

Rotações (rpm)	Perdas (%)	MEV (%)
800	1,6	3,8
900	2,4	2,6
1000	2,3	2,1
1100	4,0	

Fonte: Pearce e Gonzales (2003), adaptada.

Molina Júnior et al. (2001) estudaram comparativamente o desempenho operacional de três colhedoras de cana crua em quatro diferentes velocidades de trabalho (1,57; 3,08; 5,34 e 7,66 km.h^{-1}) e concluíram que as máquinas T1 e T2 possuem desempenho equivalente, mas a máquina T3 obteve desempenho inferior quando comparada com as demais. Em velocidades de deslocamento maiores, todas as colhedoras apresentaram capacidade efetivas maiores (Tabela 7). Os índices de matéria estranha vegetal não apresentaram diferenças significativas. A eficácia de manipulação e os índices de perdas mantiveram-se em níveis aceitáveis.

Tabela 7 - Capacidades efetivas de três colhedoras de cana-de-açúcar em 4 diferentes velocidades

Colhedoras	Capacidades efetivas (t.h^{-1})				
	1,57 (km.h^{-1})	3,08 (km.h^{-1})	5,34 (km.h^{-1})	7,66 (km.h^{-1})	Média
T1	26,44	58,75	93,11	141,26	79,89
T2	30,64	54,31	102,08	131,26	79,74
T3	16,3	36,29	87,67	110,19	62,61

Fonte: Molina Jr. et al. (2001), adaptada.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os estudos e determinações de campo foram realizados entre os dias 20 e 24 de abril de 2009, na Usina Jalles Machado, localizada no município de Goianésia no estado de Goiás.

A área experimental na qual o ensaio foi conduzido apresenta as seguintes coordenadas geográficas: latitude 15°17'22"S e longitude 48°54'18"W. A altitude observada foi de 630 metros acima do nível do mar.

A colheita ocorreu sem queima prévia do canavial, sendo a cana-de-açúcar da variedade SP 841431 em seu segundo corte. O espaçamento utilizado era de 1,5m e a produtividade estimada, pela usina, de 85 t ha⁻¹. O porte do canavial foi determinado como ereto, assim como o paralelismo entre as fileiras de plantio foi considerado dentro do limite desejável. O relevo do terreno encontrava-se em condições adequadas para a operação de colheita mecanizada.

3.1 Máquinas utilizadas

A colhedora avaliada no ensaio é um protótipo da marca Santal (Figura 6). Uma segunda máquina (Figura 7) já utilizada como padrão pela Usina foi avaliada e tomada como referência no ensaio. Por questões comerciais os modelos das máquinas, assim como algumas de suas principais características construtivas não foram revelados. Neste trabalho as colhedoras serão tratadas como: colhedora avaliada e colhedora referência.

Visando evitar ao máximo as possíveis diferenças na operação de colheita, o mesmo operador foi utilizado em ambas as máquinas.

Figura 6 – Colhedora avaliada

Figura 7 – Colhedora referência

3.2 Equipamentos e instrumentos de campo utilizados

- 03 transbordos
- 01 caminhão e carreta reboque
- 01 carregadora de cana
- 01 caminhão oficina
- 01 caminhão tanque
- 04 balanças de plataforma com células de carga. Capacidade máxima de leitura de 16.000 kg e fundo de escala de 2 kgf
- 01 célula de carga marca Kyowa, capacidade máxima de leitura de 2.000 kgf e fundo de escala de 0,1 kgf
- 01 balança de plataforma com células de carga. Capacidade máxima de leitura de 4.000 kgf e fundo de escala de 0,1 kgf
- 01 fluxômetro marca Oval, modelo LSF41 com capacidade máxima de leitura 100 L.h⁻¹, fundo de escala de 1 mL por pulso
- 01 sistema de aquisição de dados, modelo CR10X, marca Campbell de 10 canais
- 01 cronômetro digital marca Casio, capacidade de leitura de 0,1 s
- 04 tambores metálicos com correntes (sub-amostragens)
- 01 compasso de madeira de abertura máxima de 2 m
- 01 tripé de ferro para suporte da célula de carga
- 01 triângulo retângulo de ferro de catetos de 1 metro de lado
- 03 baterias 12 v
- Trenas flexíveis

- Facões, cordas, estacas, lonas plásticas e sacos plásticos de diversos tipos e tamanhos, ganchos de ferro, cordas, fitas, latas de alumínio com tampas, nível de bolha, facões, estacas de madeira, correntes de ferro, encerados de plástico, três baterias 12 v.

3.3 Métodos

3.3.1 Tratamentos e critérios de amostragens

As determinações de campo foram efetuadas com base na metodologia proposta por Ripoli e Ripoli (2009). Para a colhedora avaliada foi determinado o uso de três velocidades de deslocamento, sendo a velocidade 1 (V1) de $5,7 \text{ km.h}^{-1}$ ou $1,6 \text{ m.s}^{-1}$, a velocidade 2 (V2) de $7,0 \text{ km.h}^{-1}$ ou $1,94 \text{ m.s}^{-1}$ e a velocidade 3 (V3) de $8,5 \text{ km.h}^{-1}$ ou $2,36 \text{ m.s}^{-1}$.

Na colhedora avaliada foram utilizadas duas diferentes rotações do exaustor primário, sendo a rotação E1 de 1500 rotações por minuto e a rotação E2 de 1000 rotações por minuto. No tratamento de velocidade V3 somente a rotação E1 pode ser utilizada, uma vez que quanto maior a velocidade de deslocamento, maior a necessidade de o sistema de limpeza trabalhar rapidamente. Se aplicada à rotação do exaustor E2 neste caso provavelmente a máquina não seria capaz de limpar todo o material colhido devido à grande quantidade de massa colhida por unidade de tempo.

A colhedora referência foi avaliada em velocidade de deslocamento e rotação do exaustor padrões utilizada pela usina, ou seja, velocidade de 6.5 km.h^{-1} ou 1.80 m.s^{-1} e rotação de 1200 rotações por minuto. Os tratamentos foram:

- V1E1 - Colhedora avaliada na velocidade de colheita 1 (V1) e rotação do exaustor à 1500 rpm (E1)
- V2E1 - Colhedora avaliada na velocidade de colheita 2 (V2) e rotação do exaustor à 1500 rpm (E1)
- V1E2 - Colhedora avaliada na velocidade de colheita 1 (V1) e rotação do exaustor à 1000 rpm (E2)

- V2E2 - Colhedora avaliada na velocidade de colheita 2 (V2) e rotação do exaustor à 1000 rpm (E2)
- V3E1 - Colhedora avaliada na velocidade de colheita 3 (V3) e rotação do exaustor à 1500 rpm (E1)
- REF – Colhedora referência velocidade de colheita e rotação do exaustor padrões utilizada pela usina

Os tratamentos foram submetidos a um número de seis repetições, exceto o tratamento V3E1, o qual recebeu somente cinco repetições devido à problemas climáticos. O total foi de 35 repetições conforme apresentado na tabela 8.

Tabela 8 - Tratamentos e número de repetições

Tratamentos	Número de repetições
V1E1	6
V2E1	6
V1E2	6
V2E2	6
V3E1	5
REF	6
Total de repetições	35

3.3.2 Caracterização da área

3.3.2.1 Determinação da área amostral

A área correspondente as repetições foi obtida com fileiras de 150 metros de comprimento, depois de eliminadas as bordaduras de 25 metros, ou seja, a área estava suficientemente afastada dos carregadores a fim de se buscar menor variabilidade espacial das fileiras de plantio.

3.3.2.2 Porte do canal

O porte do canal diz respeito à posição relativa em que os colmos se apresentam em relação ao terreno (erectos, acamados ou deitados). A quantidade de colmos em determinada posição nos fornece parâmetros para tal avaliação. Para o presente trabalho foi utilizado o método proposto por Ripoli et al. (1996) no qual se utiliza uma estrutura triangular para a avaliação do porte do canal (Figura 8).

Figura 8 – Critério para determinação do porte do canal por meio de triângulo retângulo (adaptado de RIPOLI et al. 1996)

O canal onde foi realizado o estudo foi definido como ereto com 100% dos colmos acima do ângulo de 45° (Figura 9), baseado em 12 medições ao acaso do gabarito em forma de triângulo retângulo.

Figura 9 – Porte do canavial definido como ereto

3.3.2.3 Grau de maturação da cultura

O talhão em seu segundo corte foi considerado, pela Usina Jalles Machado, em estado de desenvolvimento vegetativo próprio para colheita, ou seja, a cultura havia atingido o grau de maturação desejável para o processo de colheita.

3.3.3 Mensuração da velocidade operacional

Os ajustes dos níveis de velocidade foram determinados por meio de testes preliminares, nos quais as velocidades foram medidas com o uso de GPS para calibração do operador.

As repetições corresponderam a uma distância média de 150 m, sendo que para a mensuração da velocidade de deslocamento para cada repetição registrou-se o tempo decorrido de colheita por meio de cronometragem, entre o início e final de colheita da colhedora. Posteriormente a passagem da colhedora foi medida a distância exata de cada fileira colhida como auxílio de um gabarito de 2 m para verificação da metragem exata de cada repetição. Para esta variável, não foram efetuadas amostragens, mas obtidos os valores efetivamente ocorridos, de cada repetição.

3.3.4 Determinação de perdas visíveis de matéria-prima no campo

Segundo Neves (2003) as perdas de cana-de-açúcar durante a colheita mecânica podem ser divididas em duas componentes, perdas visíveis e invisíveis. As perdas são denominadas visíveis devido à facilidade de serem detectadas no campo após a colheita e são constituídas principalmente por canas inteiras, toletes, pedaços de cana, ponteiros, rebolos, tocos resultantes da altura do corte basal e canas esmagadas perdidas no campo ou presas à colhedora. As perdas na forma de caldo, serragem e estilhaços de cana, que ocorrem devido à ação de mecanismos rotativos que cortam, picam e limpam a cana durante o processamento interno nas colhedoras, são definidas como perdas invisíveis. Neste trabalho somente foram avaliadas as perdas visíveis, ou seja, as perdas remanescentes no campo.

Segundo Ripoli e Ripoli (2009), as perdas visíveis representam a massa de matéria vegetal, cujo conteúdo em açúcar a qualifica como "matéria-prima industrializável", que fica no campo após a passagem da máquina. Estas perdas de matéria-prima podem ser determinadas por dois métodos: direto e analítico. Para essa pesquisa utilizou-se o método direto, ou seja, pela da coleta e pesagem da matéria-prima remanescente no campo.

Para amostragens de perdas visíveis de matéria-prima, para cada repetição, demarcou-se três sub-amostras de 10 m x 4,5 m (múltiplo do espaçamento de 1,5 m), ou seja 45 m², deixando-as livre de material remanescente da ação anterior da colhedora (Figura 10). Após a passagem da colhedora na fileira de 150 metros, o material remanescente além dos restos de colmos das soqueiras das três sub-amostras foi recolhido e ensacado (Figura 11) e pesado (Figura 12), separadamente, por tipo, sendo eles: perdas de rebolos estraçalhados, colmos ou suas frações e frações de colmo na soqueira (toco soca). Para a análise estatística destes constituintes utilizou-se a somatória das três sub-amostras.

Figura 10 - Demarcação e limpeza das áreas de sub amostras de perdas de matéria-prima antes de cada repetições

Figura 11 - Recolhimento e ensacamento de perdas remanescente no campo na área amostral após a passagem da colhedora para cada repetição

Figura 12 - Área de trabalho para determinações ponderais

3.3.5 Determinação de qualidade de matéria-prima colhida e quantidade de rebolos colhidos

Para a amostragem e avaliação da qualidade de matéria-prima colhida foram colocados dois tambores metálicos (meio tambor de 200 litros composto de chapa metálica) dentro do conjunto de transbordo que acompanhava a colhedora durante cada repetição servindo de sub-amostras de material colhido para análise tecnológica (Figuras 13 e 14).

Figura 13 - Tambores para sub-amostras de qualidade de matéria-prima colocados dentro do transbordo

Figura 14 – Retirada dos tambores de sub-amostras de qualidade de matéria-prima colocados dentro do transbordo

Após cada repetição, juntamente com o material colhido e contido no transbordo, foram retirados os dois tambores que, aleatoriamente, receberam a matéria-prima. O material contido em um dos tambores (de cada repetição) foi pesado e despejado sobre um encerado, onde foi separado (Figura 15) e efetuado as determinações de porcentagem de rebolos, de matéria estranha mineral e matéria estranha vegetal que foi separada em: rizomas, toco soca, ponteiros, folhas e palhas e total (somatória de todas as porções). O material coletado no segundo tambor, depois de separados cinquenta rebolos, foi ensacado e encaminhado para o laboratório da Usina Jalles Machado para posteriores análises de qualidade, os quais não fazem parte deste ensaio.

Figura 15 - Determinação de qualidade de matéria-prima colhida através da determinação de porcentagem de rebolos, de matéria estranha vegetal (ponteiros, folhas e palha) e matéria estranha mineral

3.3.6 Determinação de frequência de tamanhos, índice de cisalhamento e comprimento de rebolos

Coletou-se aleatoriamente 50 rebolos, provindos do segundo meio tambor de amostragem de dentro do transbordo, os quais foram medidos seus comprimentos, para obtenção da frequência de distribuição de tamanho, bem como se procedeu a análise da qualidade do cisalhamento dos mesmos sendo perfeito quando não houvesse cisalhamento em ambas as extremidades, perfeito em uma extremidade quando somente um dos lados apresentasse cisalhamento e imperfeito quando em ambas as extremidades apresentasse cisalhamento, conforme a Figura 16.

Figura 16 - Determinação de índice de cisalhamento e frequência no tamanho de rebolos

3.3.7 Determinação da quantidade de matéria-prima colhida para cada repetição

Após a retirada dos dois tambores de dentro do transbordo cheio de matéria-prima, basculou-se a quantidade total de matéria-prima colhida do transbordo que acompanhou a colhedora para outro transbordo que estava apoiado sobre células de carga para mensurar a quantidade exata de cana colhida por repetição (Figura 17).

Figura 17 - Transbordo sobre as células de carga

Para evitar erros na pesagem devido a transferências de peso do transbordo para o trator (Figura 18), as células de carga foram colocadas sobre os quatro pneus de apoio do transbordo. Também foram usados calços nos eixos (Figura 19), possibilitando assim desengatar o cabeçalho do transbordo do trator (Figura 20). Para a avaliação do peso exato da carga colhida, ao valor anotado na balança de pesagem do transbordo foram somados os valores dos pesos da matéria-prima contida nos dois tambores metálicos retirados de dentro do transbordo e usados para mensuração da qualidade de matéria-prima e qualidade de rebolos colhidos.

Figura 18 - Esquema teórico de transferência de peso

Figura 19 – Calços utilizados no eixo do transbordo

Figura 20 – Cabeçalho do transbordo desengatado do trator

Com a produtividade agrícola de matéria-prima colhida mensurada ($t.ha^{-1}$) através da pesagem e a análise da qualidade de matéria-prima colhida (porcentagens de rizomas, ponteiros, folhas e palha) pode-se mensurar a porcentagem de colmos colhidos e consequentemente a produtividade agrícola de colmos ($t.ha^{-1}$), ou seja, a quantidade de colmos colhidos por unidade de área.

Com isso, pode-se calcular a eficácia de manipulação, que segundo Ripoli e Ripoli (2009) é a relação entre a quantidade de rebolos colocados na unidade de transporte e a quantidade de colmos existentes na fileira de plantio.

3.3.8 Determinação do consumo de combustível

O consumo de combustível foi determinado através da adaptação de um fluxômetro na mangueira de entrada de óleo diesel para o motor (Figura 21). O fluxo de combustível foi coletado na frequência de um segundo, sendo os dados armazenados em um datalogger posicionado dentro da cabine da colhedora (Figura 22).

Figura 21 – Fluxômetro adaptado na mangueira de combustível

Figura 22 – Datalogger para aquisição e armazenagem de dados de consumo

3.3.9 Delineamento estatístico

O delineamento estatístico utilizado foi o inteiramente casualizado, sendo seis tratamentos e seis repetições. A análise estatística foi efetuada pelo sistema SAS, onde aplicou-se o teste F, ao nível de significância de 5% de probabilidade. Posteriormente aplicou-se o teste Tukey para as comparações de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Velocidades efetivas de deslocamento (km.h^{-1} e m.s^{-1})

As velocidades efetivas de deslocamento apresentam valores próximos aos esperados, sendo as médias apresentadas nas Figuras 23 e 24. A velocidade 1 (V1) obtida na média dos tratamentos V1E1 e V1E2 foi de $5,72 \text{ km.h}^{-1}$ ou $1,59 \text{ m.s}^{-1}$, perante a velocidade almejada de $5,7 \text{ km.h}^{-1}$ ou $1,6 \text{ m.s}^{-1}$. A velocidade 2 (V2) obtida na média dos tratamentos V2E1 e V2E2 foi de $6,99 \text{ km.h}^{-1}$ ou $1,94 \text{ m.s}^{-1}$, perante a velocidade almejada e $7,0 \text{ km.h}^{-1}$ ou $1,94 \text{ m.s}^{-1}$, e a velocidade 3 (V3) foi de $8,28 \text{ km.h}^{-1}$ ou $2,30 \text{ m.s}^{-1}$, perante a velocidade almejada e $8,5 \text{ km.h}^{-1}$ ou $2,36 \text{ m.s}^{-1}$. A colhedora referência apresentou uma velocidade média de $6,61 \text{ km.h}^{-1}$ ou $1,84 \text{ m.s}^{-1}$. Como é difícil, em operação normal, obter com precisão a velocidade desejada, entende-se que, pelos valores encontrados, as variações ocorridas dentro de cada tratamento, são perfeitamente aceitáveis.

Conforme esperado, os tratamentos apresentam diferença estatística a 5% de significância, sendo que o tratamento REF apresentou média igual aos tratamentos de velocidade de deslocamento V2 (Tabela 1 e 2 – apêndice).

Figura 23 - Médias das velocidades efetivas de deslocamento (km.h^{-1})

Figura 24 - Médias das velocidades efetivas de deslocamento (m.s⁻¹)

4.2 Produtividade agrícola (t.ha⁻¹)

A Figura 25 apresenta a variabilidade espacial da produtividade agrícola nas 35 fileiras que representaram as repetições em todos os tratamentos. Nota-se que existe uma grande variação nos resultados e tal constatação é explicada pela enorme variabilidade espacial encontrada em cada metro linear de cada fileira do canal.

A variabilidade, segundo Ripoli (2010), está diretamente relacionada com o número de colmos industrializáveis, porte do canal (ereto, acamado, deitado), comprimento de colmos, pesos unitários, distâncias entre as soqueiras e arquitetura dos colmos, e é decorrente da: característica varietal, irregular distribuição de fertilizantes, falhas de brotação (devido a gemas danificadas ou profundidade de plantio inadequada), ataques de pragas, incidência de doenças, ocorrência de plantas daninhas e aplicações imperfeitas de defensivos agrícolas.

Sabe-se que o comportamento de colhedoras sofre influência direta em praticamente todas as suas variáveis de desempenho. E por essa razão é que em estudos como este casualizam-se os tratamentos e as repetições e, obrigatoriamente, efetua-se a análise estatística. Para ensaios de colhedora de cana, devido à dificuldade de instrumentação e logística para a coleta de dados e pela própria variabilidade

espacial do canavial, os sorteios para casualização é realizado somente para os tratamentos e não para as repetições.

Figura 25 - Médias da produtividade agrícola das fileiras (t.ha⁻¹)

4.3 Produtividade agrícola de colmos no talhão e colmos colhidos (t.ha⁻¹)

A produtividade agrícola de colmos no talhão representa o total de colmos disponíveis a serem colhidos na área (Figura 26). A variação observada nas médias dos tratamentos está relacionada a produtividade das fileiras. Apesar da variação observada, as médias não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade (Tabelas 3 e 4 – apêndice).

Figura 26 - Médias da produtividade agrícola de colmos no talhão (t.ha⁻¹)

A produtividade agrícola de colmos colhidos (Figura 27) representa o total de colmos realmente colhidos no talhão, sendo as perdas o diferencial entre as produtividades. As médias entre os tratamentos não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade (Tabelas 5 e 6 – apêndice).

Figura 27 - Médias da produtividade agrícola de colmos colhidos (t.ha⁻¹)

4.4 Eficácia de manipulação (%)

A figura 28 apresenta as médias dos tratamentos obtidas para a variável eficácia de manipulação. Os valores obtidos são considerados altos quando comparados com os resultados encontrados por Mialhe e Carraro Neto (1993) de 96,7 e 96,8%, Cenicaña (1997) de 96,35%, por De León (2000) entre 93 e 96% e Mazzonetto (2004) entre 87 e 97%. As médias submetidas a análise estatística apresentaram diferença ao nível de 5% de probabilidade, sendo os tratamentos V1E1 e V3E1 diferente dos demais (Tabelas 7 e 8 – apêndice).

Figura 28 - Médias das eficácias de manipulação (%)

4.5 Qualidade da matéria-prima

4.5.1 Rebolos inteiros e estraçalhados na matéria-prima (%)

A qualidade da matéria-prima está relacionada com as matérias estranhas presentes, assim como com a quantidade de rebolos colhidos. As figuras 29 e 30 mostram as médias dos tratamentos para rebolos colhidos inteiros e estraçalhados e a

figura 31 apresenta a relação entre estas médias. Na análise estatística, essas três variáveis não apresentaram diferença ao nível de 5% de probabilidade (Tabelas 9, 10, 11, 12, 13 e 14 – apêndice).

Figura 29 - Médias de rebolos inteiros na matéria-prima (%)

Figura 30 - Médias de rebolos estraçalhados na matéria-prima (%)

Figura 31 - Médias de rebolos inteiros em relação ao total de rebolos (%)

4.5.2 Matéria estranha mineral (%)

As médias encontradas para a variável matéria estranha mineral estão apresentadas na figura 32. Os valores encontrados nesse ensaio foram semelhantes aos encontrados por Furlani Neto (1995) de 0,7%, Nery (2000) com 0,66%, De Léon (2000) com 0,16% e Molina Júnior et al. (2001) entre 0,08 e 1,17%. Os tratamentos V1E1 e V3E1 diferem dos demais tratamentos ao nível de 5% de probabilidade. A colhedora referência apresentou menor média nesta variável, demonstrando que a colhedora avaliada trabalhou com valores maiores do padrão utilizado na usina. (Tabelas 15 e 16 – apêndice).

Figura 32 - Médias de matéria estranha mineral (%)

4.5.3 Matéria estranha vegetal (t.ha⁻¹ e %)

As figuras 33 e 34 apresentam as médias de matéria estranha vegetal em toneladas por hectare e percentagem presentes na matéria-prima. A média do tratamento V3E1 difere ao nível de 5% de probabilidade das demais médias (Tabelas 17, 18, 19 e 20 – apêndice). Pode-se perceber que a velocidade de deslocamento influencia sobre esta variável, sendo que quanto maior a velocidade utilizada no tratamento maior a quantidade de matéria estranha vegetal presente na matéria-prima. Os resultados foram superiores aos encontrados por De Léon (2000) entre 5,16 e 7,84%, Molina Júnior et al. (2001) entre 6,17 e 7,58% e Furlani Neto (1995) de 8,1%, Cenicaña (1997) de 8,3%.

Figura 33 - Médias de matéria estranha vegetal (t.ha⁻¹)

Figura 34 - Médias de matéria estranha vegetal (%)

4.5.3.1 Ponteiros na matéria-prima (%)

Os ponteiros na matéria-prima são um dos componentes da matéria estranha vegetal. Na figura 35 são apresentadas as médias da percentagem de ponteiros nos tratamentos, sendo que estas não apresentam diferença estatística ao nível de 5% de probabilidade (Tabelas 21 e 22 – apêndice).

Figura 35 - Médias de ponteiros na matéria-prima (%)

4.5.3.2 Folhas e palha na matéria-prima (%)

Assim como os ponteiros, a variável folhas e palha na matéria-prima é uma subdivisão da matéria estranha vegetal. As médias do ensaio aparecem na figura 36. O tratamento V3E1 apresenta resultados estaticamente diferentes (Tabelas 23 e 24 – apêndice) nesta avaliação, provavelmente relacionado a maior massa de cana colhida por unidade de tempo, o que dificulta a limpeza deste material.

Figura 36 - Médias de folhas e palha na matéria-prima (%)

4.5.3.3 Toco de soqueira na matéria-prima (%)

Na figura 37 são apresentadas as médias da porcentagem de toco de soqueira na matéria estranha vegetal. Os tocos de soqueira representam as frações de colmo presas aos rizomas, sendo que os rizomas quando isolados são enquadrados em outra variável – rizomas na matéria-prima. Neste caso, os tratamentos não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (Tabelas 25 e 26 – apêndice).

Figura 37 - Médias de toco de soqueira na matéria-prima (%)

4.5.3.4 Rizomas na matéria-prima (%)

A variável rizomas na matéria-prima apresentada na figura 38 apresenta médias baixas, pois enquadram somente os rizomas isolados e não juntos a frações de colmos. As médias não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade (Tabelas 27 e 28 - apêndice).

Figura 38 - Médias de rizomas na matéria-prima (%)

4.5.3.5 Matéria estranha não identificada na matéria-prima (%)

As matérias estranhas não identificadas na matéria prima são resultantes do processo de colheita, nas quais a divisão entre matéria estranha vegetal e matéria estranha mineral não pode ser realizada devido a baixa granulometria e difícil reconhecimento do material. Os resultados obtidos são apresentados na figura 39, sendo que as médias não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (Tabelas 29 e 30 - apêndice).

Figura 39 - Médias matéria estranha não identificada na matéria-prima (%)

4.5.4 Matéria estranha total (t.ha⁻¹ e %)

A matéria estranha total é a soma da matéria estranha mineral e da matéria estranha vegetal. Com base nesta variável, o sistema de limpeza das colhedoras pode ser avaliado. Nas figuras 40 e 41 as médias da matéria estranha total são apresentadas em toneladas por hectare e percentagem, respectivamente. O tratamento V3E1 apresenta média diferente ao nível de 5% de probabilidade dos demais tratamentos. Os tratamentos V2E1, V2E2 e REF apresentam médias estatisticamente iguais, assim como os tratamentos V1E1 e V1E2 (Tabelas 31, 32, 33 e 34 – apêndice). Percebe-se que a quantidade de matéria estranha está relacionada com a velocidade de deslocamento das colhedoras. Os tratamentos realizados na velocidade de deslocamento V2 aproximam-se do padrão referência já utilizado na usina. Os tratamentos realizados na velocidade de deslocamento V1 apresentam menor quantidade de matéria estranha, porém a capacidade efetiva de colheita é reduzida.

Figura 40 - Médias de matéria estranha total (t.ha⁻¹)

Figura 41 - Médias de matéria estranha total (%)

4.6 Perdas

4.6.1 Total de perdas visíveis (t.ha⁻¹ e %)

Neves et al. (2004) concluem que a eficiência de limpeza do extrator primário, as perdas de cana-de-açúcar em geral e a velocidade de rotação do ventilador estão diretamente relacionadas, pois, quanto maior a rotação, maior é a eficiência de limpeza e maiores são as perdas. As médias da variável total de perdas visíveis são apresentadas nas figuras 42 e 43, nas unidades de t.ha⁻¹ e percentagem, respectivamente. O tratamento V3E1 apresentou maior quantidade de perda, sendo sua média diferente estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade. Os demais tratamentos apresentaram médias próximas e iguais estatisticamente. Neste caso, diferentemente do concluído por Neves et al. (2004), a velocidade de deslocamento leva a uma maior perda, sendo que a variação da velocidade do exaustor não apresentou diferença estatística (Tabelas 35, 36, 37 e 38 – apêndice).

Os resultados das médias obtidos nesse ensaio são menores que os valores encontrados por todos os autores estudados, entre eles Ripoli e Berto (1981) de 6,5%, Romero et al. (1993) com resultados entre 10 e 13%, Cenicaña (1997) de 3,65%, Mialhe e Carraro Neto (1993) entre 3,22 e 4,14%, Furlani Neto (1995) com 4,53%, De León (2000) entre 3,93 e 7,43%, Nery (2000) entre 6,1 e 9,98% e Mazzonetto (2004) entre 3,5 a 4,5%.

Figura 42 - Médias do total de perdas visíveis (t.ha⁻¹)

Figura 43 - Médias do total de perdas visíveis (%)

4.6.1.1 Perdas de frações de colmo nas soqueiras ($t.ha^{-1}$ e %)

Uma das subdivisões das perdas é a variável perdas de frações de colmo nas soqueiras. Segundo Ripoli e Ripoli (2009) a variabilidade da altura de corte, assim como a manutenção inadequada das lâminas de corte basal, associada com características varietais do canavial, podem aumentar significativamente a porcentagem de tocos e rebolos rachados e mal cisalhados, o que pode acarretar em perdas visíveis e invisíveis. As figuras 44 e 45 apresentam as médias da variável perdas de frações de colmo nas unidades de $t.ha^{-1}$ e percentagem, respectivamente. Analisados estatisticamente, os tratamentos diferem entre si, porém a velocidade de deslocamento e a velocidade do exaustor não definem esta diferença. O tratamento REF apresenta menor média comparado aos demais, porém estatisticamente igual aos tratamentos V1E1, V1E2, V2E1, V2E2. O tratamento V3E1 apresenta média maior que os demais nesta variável (Tabelas 39, 40, 41 e 42 – apêndice).

Figura 44 - Médias das perdas de frações de colmo nas soqueiras ($t.ha^{-1}$)

Figura 45 - Médias das perdas de frações de colmo nas soqueiras (%)

4.6.1.2 Perdas de colmos e suas frações (t.ha⁻¹ e %)

Nas figuras 46 e 46 são apresentadas as médias dos tratamentos para a variável perdas de colmos e suas frações. Nesta variável enquadram-se as perdas de colmos inteiros e de relobos inteiros. Na unidade de t.ha⁻¹ os resultados não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, porém quando comparadas em percentagem as médias apresentam diferença. O tratamento REF apresenta maior valor nestas perdas, sendo o tratamento V3E1 o menor valor (Tabelas 43, 44, 45 e 46 – apêndice).

Figura 46 - Médias das perdas de colmos e suas frações (t.ha⁻¹)

Figura 47 - Médias das perdas de colmos e suas frações (%)

4.6.1.3 Perdas de rebolos estraçalhados (t.ha⁻¹ e %)

As médias de perda de rebolos estraçalhados são apresentadas nas figuras 48 e 49. O tratamento V3E1 difere estatisticamente dos demais na unidade t.ha⁻¹ com valor superior nesta subdivisão das perdas. Em percentagem os tratamentos não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (Tabelas 47, 48, 49 e 50 – apêndice).

Figura 48 - Médias das perdas de colmos estraçalhados (t.ha⁻¹)

Figura 49 - Médias das perdas de colmos estraçalhados (%)

4.7 Consumo de combustível (L.h⁻¹, L.min⁻¹ e L.t⁻¹)

O consumo de combustível foi analisado em três diferentes unidades: L.h⁻¹, L.min⁻¹ e L.t⁻¹, sendo as médias dos tratamentos apresentadas nas figuras 50, 51 e 52, respectivamente.

Os valores apresentados no ensaio são menores aos encontrados por Nery (2000) onde no ensaio realizado a 5,3 km.h⁻¹ a colhedora consumiu 60,04 L.h⁻¹ e a 7,68 km.h⁻¹ o consumo foi de 66,27 L.h⁻¹.

As médias dos tratamentos nas unidades L.h⁻¹ e L.min⁻¹ diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, sendo que tratamento REF apresentou maior consumo perante os demais. Os tratamentos V1E1 e V1E2 apresentam médias menores dos tratamentos V2E1 e V2E2 que por sua vez apresentam médias inferiores ao tratamento V3E1. A velocidade de deslocamento apresenta relação com o consumo na máquina avaliada, ou seja, quanto maior a velocidade de deslocamento maior é o consumo de combustível. A velocidade do exaustor primário não demonstra tal relação.

As médias dos tratamentos para o consumo de combustível na unidade t.ha⁻¹ apresenta diferença estatística, sendo que o tratamento V3E1 difere pelo menor consumo (Tabelas 51, 52, 53, 54, 55 e 56 – apêndice).

Figura 50 - Médias dos consumos efetivos de combustível (L.h⁻¹)

Figura 51 - Médias dos consumos efetivos de combustível (L.min⁻¹)

Figura 52 - Médias dos consumos efetivos de combustível (L.t⁻¹)

4.8 Frequência de comprimento e índice de cisalhamento de rebolos

A frequência de comprimento de rebolos é apresentada por tratamento nas figuras 52, 54, 55, 56, 57 e 58. Nesta variável a colhedora analisada apresenta em todos os tratamentos uma maior frequência de comprimento de rebolos no intervalo de

210 a 260 mm, independentemente da velocidade de deslocamento e da velocidade do exaustor primário, já a colhedora referência apresenta maior frequência de comprimento de rebolos no intervalo de 150 a 200 mm.

As variações encontradas nas frequências de maiores porcentagens entre as máquinas são provenientes de características de fabricação dos rolos picadores sincronizados, possíveis regulagens e principalmente pelo número de facas do picador. Rebolos maiores levam a menores densidades de carga, todavia, com menores perdas invisíveis.

Figura 53 – Frequência (%) de distribuição do tamanho de rebolos para o tratamento V1E1

Figura 54 – Frequência (%) de distribuição do tamanho de rebolos para o tratamento V2E1

Figura 55 – Frequência (%) de distribuição do tamanho de rebois para o tratamento V1E2

Figura 56 – Frequência (%) de distribuição do tamanho de rebois para o tratamento V2E2

Figura 57 – Frequência (%) de distribuição do tamanho de rebois para o tratamento V3E1

Figura 58 – Frequência (%) de distribuição do tamanho de rebolos para o tratamento REF

A qualidade de cisalhamento dos rebolos apresenta, em todos os tratamentos, valores próximos entre si, mantendo a qualidade de cisalhamento mesmo com o aumento da velocidade de colheita e da velocidade do exaustor primário. Todos os resultados encontram-se bem acima da porcentagem de colmos perfeitos encontrados por Norris et al. (1998) entre 32,4 e 51,2%, De León (2000) onde todos os tratamentos estiveram acima de 72,5% e Mazzonetto (2004) com valores de 60%, verificando-se que para esta variável os resultados obtidos estão dentro dos padrões apresentados pelas demais máquinas comerciais.

Figura 59 – Qualidade de cisalhamento dos rebolos colhidos (%)

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos no presente trabalho, pode-se concluir que:

As velocidades de deslocamento pretendidas foram alcançadas.

A eficácia de manipulação manteve índices estatisticamente iguais entre os tratamentos, não apresentando diferença significativa a 5% de probabilidade.

Os níveis de matéria-estranha vegetal na matéria-prima diferiram estatisticamente a 5% de probabilidade, apresentando relação com a velocidade de deslocamento na colhedora.

Os níveis de matéria-estranha mineral na matéria-prima diferiram estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, sendo que o tratamento REF apresentou menor valor para esta variável.

Os valores encontrados para a variável matéria-estranha total apresentaram diferença estatística ao nível de 5% de probabilidade entre os tratamentos.

As perdas totais foram maiores e diferentes ao nível de 5% de probabilidade para o tratamento V3E1.

O consumo de combustível ($L.h^{-1}$) da colhedora avaliada, nos cinco tratamentos, quando comparado ao consumo da colhedora referência, foi estatisticamente diferente ao nível de 5% de probabilidade.

O consumo de combustível ($L.h^{-1}$) apresentou relação com a velocidade de deslocamento na colhedora avaliada.

REFERÊNCIAS

- ALVES, F. Por que morrem os cortadores de cana? **Saúde e Sociedade**, São Paulo - SP, v. 15, n. 3, p. 90-98, set./dez. 2006.
- ANSELMÍ, R. Colhedoras abrem caminho para a mecanização total. **Jornal Cana**, Ribeirão Preto, n. 15, jul. 2006. Disponível em: <<http://jornalcana.com.br/pdf/151//tacagric.pdf>>. Acesso em: 06 ago. 2009.
- ARRUDA, J.J.A. **História: moderna e contemporânea**, São Paulo: Ática, 1996. 472 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Balanço nacional da cana-de-açúcar e agroenergia**. Brasília, 2007. 140 p.
- CAMPANHÃO, J.M.; BARBOSA, V.; DURIGAN, A.M.P.R.; MUTTON, M.A. Manejo da soqueira da cana-de-açúcar submetida a queima acidental da palhada remanescente da colheita mecanizada. **STAB. Açúcar, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 23, n. 4, p. 33-37, 2005.
- CAPUTO, M.M.; SILVA, M.A.; BEAUCLAIR, E.G.F.; GAVA, G.J. Resposta de genótipos de cana-de-açúcar à aplicação de indutores de maturação. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 15-23, 2008.
- CARVALHO, L.C.C. Perspectivas da cultura de cana-de-açúcar para a década de noventa. In: CÂMARA, G.M.S.; OLIVEIRA, E.A.M. **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ, 1993. p. 1-17.
- 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.
- CENICAÑA. **Centro de Investigacion de la Caña de Azúcar de Colômbia**. Cali, v. 19, n. 1, p. 7-10, jan./abr. 1997.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Central de Informações Agropecuárias**. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em: 15 maio 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.
- EMBRAPA. **Agência de Informação Embrapa: cana-de-açúcar**. Disponível em: <www.agencia.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 15 maio 2011.

FAO. **FAO Stats**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 15 maio 2011.

FISCHER, R.M. **A política e as políticas das relações de Trabalho**. São Paulo: USP, FFLCH, 1983. p. 40-45.

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

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

LOPES, M.B. **Simulação de um sistema de carregamento e transporte de cana-de-açúcar**. 1995. 143 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

MACEDO, N. **Variedades da cana-de-açúcar**. 2008. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/comciencia/?section=23hjd=258>>. Acesso em: 06 ago. 2010.

MAGALHÃES, P.S.G.; BRAUNBECK, O.A. Colheita de cana-de-açúcar: atualidades e perspectivas In: BALBUENA, R H.; BENEZ, S.H.; JORAJÚRIA, D. **Ingeniería rural y mecanización agrária em el ámbito latinoamericano**. La Plata: Editora de la Universidad Nacional de La Plata, 1998. v. 1, p. 262-273.

MAGALHÃES, P.S.G.; BALDO, R.F.G.; CERRI, D.G.P. Sistema de sincronismo entre a colhedora de cana-de-açúcar e o veículo de transbordo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 274-282, abr./jun. 2008.

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 São Paulo, Piracicaba, 2004.

MELLO, M.O. Colheita mecanizada de alto desempenho. In: SEMINÁRIO SOBRE MECANIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 2002, Ribeirão Preto. **Anais...** CD-ROM, Ribeirão Preto, 2002.

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

MOLINA JR., W.F. **Desenvolvimento de metodologia descritiva para ensaio padronizado de colhedoras de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)**. 2000. 138 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

MOLINA JR., W.F.; RIPOLI, T.C.C.; MIALHE, L.G.; CANALE, A.C.; RIPOLI, M.L.C.; Comparative study of operational performance of three harvesters in green cane. In: ASAE INTERNATIONAL ANNUAL MEETING, 2001, Sacramento. **Proccedings...** Sacramento, ASAE, 2001. p. 718-726.

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.

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 Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1992.

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

NEVES, J.L.M.; MAGALHÃES, P.S.G.; MORAES, E.E.; ARAÚJO, F.V.M. Avaliação de perdas invisíveis na colheita mecanizada em dois fluxos de massas de cana-de-açúcar. **Engenharia. Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 787-794, set./dez. 2006

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.

NORRIS, C.P.; DAVIS, R.J.; QUICK, D.J.; MOHOMMAD, Y. An alternative approach to cane harvester design: an initial review of the Massey Fergusson 405. *Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technologists*. n. 20, p. 10-16, 1998.

NUNES JUNIOR, D.; PINTO, R.S.A.; KIL, R.A. **Indicadores de desempenho da agroindústria canavieira: safra 2003-2004**. Ribeirão Preto: IDEA, 2005. 195 p.

PAULILLO, L.F.; MELLO, F.O.T.; VIAN, C.E.F. Análise da competitividade das cadeias de agroenergia no Brasil. In: BUAINAIN, A.M.; BATALHA, M.O. (Coord.). **Análise da competitividade das cadeias agroindustriais brasileiras**. São Carlos: UFSCAR, DEP; UNICAMP, IE, 2006. 119 p. (Projeto MAPA/IICA).

PAULILLO, L.F.; VIAN, C.E.F.; SHIKIDA, P.F.A.; MELLO, F.T. de. Álcool combustível e biodiesel no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 45, n. 3, p. 531-565, jul./set. 2007.

PEARCE, J.; GONZALES, C. Resultados de ensaios de qualidade de colhedoras série 7000 versão 2003. In: SEMINÁRIO SOBRE MECANIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 2002, Ribeirão Preto. **Anais...**CD-ROM, Ribeirão Preto, 2002.

PEREIRA, V. Avaliação da nova sistemática de corte de cana implantada na região de Ribeirão preto na safra 83/84. **STAB. Açúcar, Álcool e subprodutos**, Piracicaba, v. 2, n. 2, p. 16-21, Nov./dez. 1983.

PINHEIRO MACHADO, F.B. **Brasil, a doce terra**: história do setor. 2006. Disponível em: <http://www.jornalcana.com.br/conteudo/noticias.asp?id_materia=8541>. Acesso em: 10 ago. 2009.

RIPOLI, T.C.C. **Corte, carregamento, transporte, e recepção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 52 p.

_____. Ensaio & certificação de máquinas para colheita de cana-de-açúcar. In: MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas**: ensaios & certificação. Piracicaba: FEALQ, 1996. cap. 13, p. 635-673.

RIPOLI, T.C.C.; BERTO, P.N.A. Avaliação de desempenho de colhedoras de cana-de-açúcar na região de Campos, RJ. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 49, n. 2, p. 30-31, fev. 1981.

RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C. **Biomassa da cana-de-açúcar**: colheita, energia e ambiente. Piracicaba: Os Autores, 2002. 302 p.

_____. **Biomassa da cana-de-açúcar**: colheita, energia e ambiente. 2. ed. Piracicaba: Os Autores, 2009. 333 p.

RIPOLI, T.C.C.; NERY, M.S.; MOLINA Jr, W.F.; RIPOLI, M.L.C. Operational and economic performance of a green cane chopped harvester, in Brazil. In: ASAE INTERNATIONAL ANNUAL MEETING, 2001, Sacramento. **Proccedings...** St. Joseph: ASAE, 2001. p. 718-726.

RODRIGUES, D.; ORTIZ, L. **Em direção à sustentabilidade da produção de etanol de cana-de-açúcar no Brasil**. Disponível em: <http://www.vitaecivilis.org.br/anexos/etanol_sustentabilidade.pdf>. Acesso em: 19 out. 2009.

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

ROZEFF, N. The effects of operating velocity on productivity in green and burned sugar cane. **Sugar Cane**, Texas, n. 1, p. 7-19, Nov. 1989.

SHAW, G.R.; BROTHERTON, G.A.; Green cane harvesting – a dilemma. In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 14., 1992. Mackay, **Proceedings...** Brisbane: Watson Fergusson, 1992. p. 1-7.

SILVA, C.E.C. **Avaliação dos condicionantes ambientais nas perspectivas de expansão da produção de etanol no Brasil**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia – Programa de Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

SILVA, W.F.; AGUIAR, D.A.; RUDORFF, B.F.T.; SUGAWARA, L.M.; AULICINO, T.L.I.N; Análise da expansão da área cultivada com cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil: safras 2005/2006 a 2008/2009. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 464–474

STUPIELLO, J.P. Alguns aspectos da qualidade da matéria-prima. **STAB. Açúcar, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 7, n. 3/5, p. 52-54, jun./jul. 1989.

TAKESHI, H. **Cana no estado de São Paulo**. 2008. Disponível em: <<http://www.takeshi.inf.br>>. Acesso em: 06 ago. 2009.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Cresce a mecanização na colheita de cana-de-açúcar em São Paulo**. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/noticias>>. Acesso em: 15 maio 2010a.

_____. **Sustentabilidade**: protocolo agroambiental. Disponível em: <www.unica.com.br>. Acesso em: 15 maio 2010b.

_____. **Dados e cotações**. Disponível em: <www.unica.com.br>. Acesso em: 15 maio 2011.

VEIGA FILHO, A.A. Estudo do processo de mecanização do corte na cana-de-açúcar: o caso do Estado de São Paulo, Brasil. **Recitec**, Recife, v. 3, n. 1, p. 74-99, 1999.

VOLPATO, C.E.S.; BRAUNBECK, O.A.; OLIVEIRA, C.A.A. Desenvolvimento e avaliação de um protótipo de cortador de base para colhedoras de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 345-348, 2002.

YOUNGER, J.A. Quality cane and extraneous matter. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 17., 1980, Manila. **Proceedings...** Manila: The Executive Committee of the ISSCT Congress, 1980. v. 1, p. 885-890.

APÊNDICES

Tabela 1 - Análise de variância para a variável velocidade de deslocamento (km.h^{-1})

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamentos	5	5,0126	42,22*
Resíduo	29	0,1187	
Total	34		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 2 - Teste de Tukey para a variável velocidade de deslocamento (km.h^{-1})

Velocidade de deslocamento (km.h^{-1})	
Tratamentos	Médias
V1E1	5,75 C
V1E2	5,70 C
V2E1	7,11 B
V2E2	6,87 B
V3E1	8,28 A
REF	6,61 B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 3 - Análise de variância para a variável produtividade agrícola de colmos no talhão (t.ha^{-1})

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamentos	5	38,0237	1,65ns
Resíduo	29	23,0671	
Total	34		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 4 - Teste de Tukey para a variável produtividade agrícola de colmos no talhão (t.ha^{-1})

Produtividade agrícola de colmos no talhão (t.ha^{-1})	
Tratamentos	Médias
V1E1	74,56 A
V1E2	71,28 A
V2E1	73,71 A
V2E2	75,78 A
V3E1	74,87 A
REF	78,93 A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 5 - Análise de variância para a variável produtividade agrícola de colmos colhidos (t.ha⁻¹)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamentos	5	38,1950	1,65ns
Resíduo	29	23,0958	
Total	34		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 6 - Teste de Tukey para a variável produtividade agrícola de colmos colhidos (t.ha⁻¹)

Produtividade agrícola de colmos colhidos (t.ha ⁻¹)	
Tratamentos	Médias
V1E1	74,17 A
V1E2	71,04 A
V2E1	73,44 A
V2E2	75,46 A
V3E1	74,26 A
REF	78,70 A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 7 - Análise de variância para a variável eficácia de manipulação (%)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamentos	5	0,1961	5,89*
Resíduo	29	0,0333	
Total	34		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 8 - Teste de Tukey para a variável eficácia de manipulação (%)

Eficácia de Manipulação (%)	
Tratamentos	Médias
V1E1	99,47 AB
V1E2	99,66 A
V2E1	99,63 A
V2E2	99,58 A
V3E1	99,18 B
REF	99,71 A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 9 - Análise de variância para a variável rebolos inteiros na matéria-prima (%)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamentos	5	8,8311	1,05ns
Resíduo	29	8,4261	
Total	34		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 10 - Teste de Tukey para a variável rebolos inteiros na matéria-prima (%)

Rebolos inteiros na matéria-prima (%)	
Tratamentos	Médias
V1E1	81,93 A
V1E2	81,88 A
V2E1	81,57 A
V2E2	81,07 A
V3E1	78,46 A
REF	80,93 A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 11 - Análise de variância para a variável rebolos estraçalhados na matéria-prima (%)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamentos	5	2,1802	2,07ns
Resíduo	29	1,0544	
Total	34		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 12 - Teste de Tukey para a variável rebolos estraçalhados na matéria-prima (%)

Rebolos estraçalhados na matéria-prima (%)	
Tratamentos	Médias
V1E1	6,77 A
V1E2	6,34 A
V2E1	5,63 A
V2E2	5,21 A
V3E1	5,38 A
REF	5,55 A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 13 - Análise de variância para a variável rebolos inteiros em relação ao total de rebolos (%)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamentos	5	2,0827	1,57ns
Resíduo	29	1,3258	
Total	34		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 14 - Teste de Tukey para a variável rebolos inteiros em relação ao total de rebolos (%)

Rebolos inteiros em relação ao total de rebolos (%)	
Tratamentos	Médias
V1E1	92,37 A
V1E2	92,82 A
V2E1	93,54 A
V2E2	93,96 A
V3E1	93,58 A
REF	93,57 A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 15 - Análise de variância para a variável matéria estranha mineral (%)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamentos	5	0,0106	5,45*
Resíduo	29	0,0019	
Total	34		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 16 - Teste de Tukey para a variável matéria estranha mineral (%)

Matéria estranha mineral (%)	
Tratamentos	Médias
V1E1	0,36 AB
V1E2	0,40 A
V2E1	0,41 A
V2E2	0,39 A
V3E1	0,35 AB
REF	0,29 B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 17 - Análise de variância para a variável matéria estranha vegetal na matéria-prima ($t.ha^{-1}$)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamentos	5	19,4027	3,59*
Resíduo	29	5,4012	
Total	34		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 18 - Teste de Tukey para a variável matéria estranha vegetal na matéria-prima ($t.ha^{-1}$)

Matéria estranha vegetal na matéria-prima ($t.ha^{-1}$)	
Tratamentos	Médias
V1E1	8,35 B
V1E2	8,02 B
V2E1	9,46 AB
V2E2	9,69 AB
V3E1	13,41 A
REF	9,70 AB

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 19 - Análise de variância para a variável matéria estranha vegetal na matéria-prima (%)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamentos	5	18,7727	3,08*
Resíduo	29	6,0920	
Total	34		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 20 - Teste de Tukey para a variável matéria estranha vegetal na matéria-prima (%)

Matéria estranha vegetal (%)	
Tratamentos	Médias
V1E1	10,12 B
V1E2	10,08 B
V2E1	11,39 AB
V2E2	11,45 AB
V3E1	15,21 A
REF	10,98 AB

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 21 - Análise de variância para a variável ponteiros na matéria-prima (%)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamentos	5	5,8539	1,57ns
Resíduo	29	3,7401	
Total	34		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 22 - Teste de Tukey para a variável ponteiros na matéria-prima (%)

Ponteiros na matéria-prima (%)	
Tratamentos	Médias
V1E1	5,19 A
V1E2	6,17 A
V2E1	7,12 A
V2E2	6,82 A
V3E1	8,18 A
REF	6,02 A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 23 - Análise de variância para a variável folhas e palha na matéria-prima (%)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamentos	5	7,1350	2,82*
Resíduo	29	2,5311	
Total	34		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 24 - Teste de Tukey para a variável folhas e palha na matéria-prima (%)

Folhas e palha na matéria-prima (%)	
Tratamentos	Médias
V1E1	3,35 AB
V1E2	2,51 B
V2E1	2,70 B
V2E2	2,97 AB
V3E1	5,67 A
REF	3,82 AB

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 25 - Análise de variância para a variável toco de soqueira na matéria-prima (%)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamentos	5	2,1335	1,33ns
Resíduo	29	1,6083	
Total	34		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 26 - Teste de Tukey para a variável toco de soqueira na matéria-prima (%)

toco de soqueira na matéria-prima (%)	
Tratamentos	Médias
V1E1	1,16 A
V1E2	1,69 A
V2E1	1,41 A
V2E2	2,26 A
V3E1	0,96 A
REF	2,49 A

Tabela 27 - Análise de variância para a variável rizoma na matéria-prima (%)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamentos	5	0,1706	0,81ns
Resíduo	29	0,2103	
Total	34		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 28 - Teste de Tukey para a variável rizoma na matéria-prima (%)

Rizoma na matéria-prima (%)	
Tratamentos	Médias
V1E1	0,16 A
V1E2	0,16 A
V2E1	0,25 A
V2E2	0,46 A
V3E1	0,00 A
REF	0,00 A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 29 - Análise de variância para a variável matéria estranha não identificada na matéria-prima (%)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamentos	5	0,0724	0,17ns
Resíduo	29	0,4357	
Total	34		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 30 - Teste de Tukey para a variável matéria estranha não identificada na matéria-prima (%)

Matéria estranha não identificada na matéria-prima (%)	
Tratamentos	Médias
V1E1	1,42 A
V1E2	1,23 A
V2E1	1,33 A
V2E2	1,19 A
V3E1	1,36 A
REF	1,13 A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 31 - Análise de variância para a variável matéria estranha total (t.ha⁻¹)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamentos	5	19,4161	3,58*
Resíduo	29	5,4283	
Total	34		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 32 - Teste de Tukey para a variável matéria estranha total (t.ha⁻¹)

Matéria estranha total (t.ha ⁻¹)	
Tratamentos	Médias
V1E1	8,64 B
V1E2	8,33 B
V2E1	9,80 AB
V2E2	10,02 AB
V3E1	13,72 A
REF	9,96 AB

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 33 - Análise de variância para a variável matéria estranha total (%)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamentos	5	18,6974	3,07*
Resíduo	29	6,0869	
Total	34		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 34 - Teste de Tukey para a variável matéria estranha total (%)

Matéria estranha total (%)	
Tratamentos	Médias
V1E1	10,48 B
V1E2	10,47 B
V2E1	11,80 AB
V2E2	11,84 AB
V3E1	15,56 A
REF	11,27 AB

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 35 - Análise de variância para a variável perdas totais (t.ha⁻¹)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamentos	5	0,1085	6,10*
Resíduo	29	0,0178	
Total	34		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 36 - Teste de Tukey para a variável perdas totais (t.ha⁻¹)

Perdas totais (t.ha ⁻¹)	
Tratamentos	Médias
V1E1	0,39 AB
V1E2	0,24 B
V2E1	0,27 B
V2E2	0,32 B
V3E1	0,61 A
REF	0,23 B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 37 - Análise de variância para a variável perdas totais (%)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamentos	5	0,1961	5,89*
Resíduo	29	0,0333	
Total	34		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 38 - Teste de Tukey para a variável perdas totais (%)

Perdas totais (%)		
Tratamentos	Médias	
V1E1	0,53	AB
V1E2	0,34	B
V2E1	0,37	B
V2E2	0,42	B
V3E1	0,82	A
REF	0,29	B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 39 - Análise de variância para a variável perda de frações de colmo nas soqueiras (t.ha⁻¹)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamentos	5	0,0561	3,43*
Resíduo	29	0,0164	
Total	34		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 40 - Teste de Tukey para a variável perdas de frações de colmos nas soqueiras (t.ha⁻¹)

Perdas de frações de colmo nas soqueiras (t.ha ⁻¹)		
Tratamentos	Médias	
V1E1	0,15	AB
V1E2	0,07	B
V2E1	0,10	B
V2E2	0,14	AB
V3E1	0,34	A
REF	0,05	B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 41 - Análise de variância para a variável perda de frações de colmo nas soqueira (%)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamentos	5	721,5266	1,93ns
Resíduo	29	374,5723	
Total	34		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 42 - Teste de Tukey para a variável perdas de frações de colmos nas soqueiras (%)

Perdas de frações de colmo nas soqueiras (%)	
Tratamentos	Médias
V1E1	29,80 A
V1E2	26,86 A
V2E1	33,57 A
V2E2	35,98 A
V3E1	53,21 A
REF	18,66 A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 43 - Análise de variância para a variável perda de colmos e suas frações (t.ha⁻¹)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamentos	5	0,0009	1,76ns
Resíduo	29	0,0005	
Total	34		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 44 - Teste de Tukey para a variável perdas de colmos e suas frações (t.ha⁻¹)

Perdas de colmos e suas frações (t.ha ⁻¹)	
Tratamentos	Médias
V1E1	0,08 A
V1E2	0,05 A
V2E1	0,05 A
V2E2	0,06 A
V3E1	0,72 A
REF	0,07 A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 45 - Análise de variância para a variável perda de colmos e suas frações (%)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamentos	5	220,4104	4,66*
Resíduo	29	47,2767	
Total	34		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 46 - Teste de Tukey para a variável perdas de colmos e suas frações (%)

Perdas de colmos e suas frações (%)	
Tratamentos	Médias
V1E1	21,90 AB
V1E2	21,23 AB
V2E1	17,99 B
V2E2	19,74 AB
V3E1	12,30 B
REF	31,45 A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 47 - Análise de variância para a variável perda de rebolos estraçalhados (t.ha⁻¹)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamentos	5	0,0065	4,74*
Resíduo	29	0,0014	
Total	34		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 48 - Teste de Tukey para a variável perdas de rebolos estraçalhados (t.ha⁻¹)

Perdas de rebolos estraçalhados (t.ha ⁻¹)	
Tratamentos	Médias
V1E1	0,17 AB
V1E2	0,11 B
V2E1	0,12 B
V2E2	0,13 B
V3E1	0,20 A
REF	0,11 B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 49 - Análise de variância para a variável perda de rebolos estraçalhados (%)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamentos	5	207,6541	0,90ns
Resíduo	29	230,4371	
Total	34		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 50 - Teste de Tukey para a variável perdas de rebolos estraçalhados (%)

Perdas de rebolos estraçalhados (%)	
Tratamentos	Médias
V1E1	48,30 A
V1E2	51,92 A
V2E1	48,44 A
V2E2	44,28 A
V3E1	34,49 A
REF	49,89 A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 51 - Análise de variância para a variável consumo efetivo de combustível ($L \cdot h^{-1}$)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamentos	5	60,0632	36,48*
Resíduo	29	1,6465	
Total	34		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 52 - Teste de Tukey para a variável consumo efetivo de combustível ($L \cdot h^{-1}$)

Consumo efetivo de combustível ($L \cdot h^{-1}$)	
Tratamentos	Médias
V1E1	50,30 D
V1E2	50,67 D
V2E1	54,82 BC
V2E2	53,79 C
V3E1	56,13 B
REF	58,56 A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 53 - Análise de variância para a variável consumo efetivo de combustível ($L \cdot min^{-1}$)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamentos	5	0,0167	36,42*
Resíduo	29	0,0005	
Total	34		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 54 - Teste de Tukey para a variável consumo efetivo de combustível ($L \cdot min^{-1}$)

Consumo efetivo de combustível ($L \cdot min^{-1}$)	
Tratamentos	Médias
V1E1	0,84 D
V1E2	0,84 D
V2E1	0,91 BC
V2E2	0,90 C
V3E1	0,94 B
REF	0,98 A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 55 - Análise de variância para a variável consumo efetivo de combustível ($L \cdot t^{-1}$)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	F
Tratamentos	5	0,0369	13,12*
Resíduo	29	0,0028	
Total	34		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 56 - Teste de Tukey para a variável consumo efetivo de combustível ($L \cdot t^{-1}$)

Consumo efetivo de combustível ($L \cdot t^{-1}$)	
Tratamentos	Médias
V1E1	0,71 AB
V1E2	0,75 A
V2E1	0,62 B
V2E2	0,62 BC
V3E1	0,52 C
REF	0,67 AB

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade