Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Avaliação de desempenho efetivo de três colhedoras em cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) sem queima

Guilherme de Castro Belardo

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

Piracicaba
2010

Guilherme de Castro Belardo
Engenheiro Agrônomo

Avaliação de desempenho efetivo de três colhedoras em cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) sem queima

Orientador:
Prof. Dr. **TOMÁZ CAETANO CANNAVAM RIPOLI**

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

Piracicaba
2010

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

Belardo, Guilherme de Castro
Avaliação de desempenho efetivo de três colhedoras em cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) sem queima / Guilherme de Castro Belardo. - - Piracicaba, 2010.
136 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2010.
Bibliografia.

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

CDD 633.61
B426a

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

DEDICATÓRIA

Ao meu pai Luiz Guilherme e minha mãe Márcia pelo amor, educação, ensinamentos, incentivo aos estudos, paciência e por estarem ao meu lado em todos os momentos da minha vida;

Às minhas queridas irmãs Flávia e Carolina pela amizade, apoio, lições e conselhos;

Aos meus avós paternos Antonio (in memoriam) e Zenaide (in memoriam) e maternos Edson (in memoriam) e Maria Bernadette pelos ótimos momentos vividos e que ajudaram a formar a pessoa que sou;

À minha namorada Amanda pela paciência durante os tempos de estudo e de elaboração dessa dissertação e por estar ao meu lado em todos os momentos.

Aos meus amigos e amigas que sempre me apoiaram e fazem parte da minha família;

AGRADECIMENTOS

- À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, por ser responsável pela minha formação e ser sem dúvida a melhor escola da vida.
- Ao professor e amigo Tomáz Caetano Cannavam Ripoli pela dedicação, orientação, estímulo e incentivo na elaboração desta dissertação.
- Aos professores Marcos Milan, José Paulo Molin, Casimiro Gadanha Junior do Departamento de Engenharia de Biossistemas da ESALQ/USP pelos conhecimentos transmitidos.
- Ao professor Edgar Ferreira de Beauclair do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ/USP pelos conhecimentos transmitidos e ajuda.
- À professora Sônia Maria de Stefano Piedade e ao Professor Silvio Sandoval Zocchi do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ/USP pelo apoio na análise estatística dessa dissertação.
- A Divisão de Biblioteca e Documentações da ESALQ/USP em nome de Silvia Maria Zinsly e Eliana Maria Garcia.
- A Davilmar Collevatti, secretária de pós-graduação do Departamento de Engenharia de Biossistemas da ESALQ/USP.
- Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Biossistemas da ESALQ/USP, em nome da Fernanda Barbosa Neves da Silva.
- Ao amigo e colega Áureo Santana de Oliveira do Departamento de Engenharia de Biossistemas da ESALQ/USP, pelo apoio e ajuda nesse trabalho.
- À Usina Clealco e seus funcionários de campo pelo apoio e colaboração durante a pesquisa de campo.

- Aos colegas do curso de pós-graduação em Máquinas Agrícolas, pela amizade, apoio, estímulo e trabalhos realizados em conjunto.
- À AGCO Corporation, em nome do Sr. André Muller Carioba pelo apoio e incentivo à pesquisa em máquinas agrícolas.
- Ao Jak Torreta, Diretor de Produtos AGCO, pelo apoio, compreensão nos momentos de ausência para elaboração dessa dissertação e incentivo durante o período de mestrado.
- Aos colegas de trabalho da Valtra do Brasil pelo apoio e dedicação durante a pesquisa de campo.
- Aos estagiários Rafael Luiz Tonette e Luiz Otávio Morelli da ESALQ/USP e Melina Cais da UNESP/Jaboticabal pelo apoio nos estudos e revisões.
- Aos irmãos da Republica Boi Véio pela eterna amizade.

Obrigado

EPÍGRAFE

"Vitória sem luta é mérito sem glória"

Professor Alcides Zagatto

SUMÁRIO

RESUMO.....13
ABSTRACT 15
LISTA DE FIGURAS.....17
LISTA DE TABELAS.....22
1 INTRODUÇÃO 23
2 Revisão bibliográfica 25
2.1 Importância da cultura da cana-de-açúcar para o Brasil e mundo 25
2 A colheita de cana-de-açúcar.....29
2.3 Colheita mecanizada de cana-de-açúcar 31
2.3.1 História 31
2.3.2 Aumento da colheita de cana crua em substituição à cana queimada: aspectos técnicos, econômicos, ambientais, legais e sociais.....33
2.3.3 Desempenho operacional e econômico de colhedoras de cana 37
3 Material.....47
3.1 Máquinas utilizadas.....48
3.1.2 Equipamentos e Instrumentos de campo 50
3.1.3 Instrumentos de laboratório.....51
3.2 Métodos.....51
3.2.1 Tratamentos e critérios de amostragens 51
3.2.3 Caracterização da área 52
3.2.3.1 Determinação da área amostral 52
3.2.3.2 Porte do canavial.....53
3.2.3.4 Umidade do solo, granulometria e classe textural do solo 54
3.2.3.5 Grau de maturação da cultura.....55
3.2.4 Desempenho operacional de colhedoras 55
3.2.4.1 Mensuração da velocidade operacional[.....55
3.2.4.2 Determinação de perdas visíveis de matéria-prima no campo.....56
3.2.4.3 Determinação de qualidade de matéria-prima colhida e quantidade de rebolos colhidos 59
3.2.4.4 Determinação de freqüência, índice de cisalhamento e comprimento de rebolos 60

3.2.4.5 - Determinação da quantidade de matéria-prima colhida para cada repetição, ou produtividade agrícola de matéria-prima colhida 61
3.2.4.6 Capacidade de Colheita..... 64
3.2.4.6.1 Capacidade Efetiva – CE 65
3.2.4.6.2 Capacidade Efetiva Líquida ou Calculada - CE_l 66
3.2.4.6.3 Capacidade Efetiva Bruta - CE_b 67
3.2.4.7 Eficácia de Manipulação 67
3.2.4.8. Índices de matéria estranha na matéria-prima..... 68
3.2.4.9 Consumo de combustível 71
3.2.4.10 Delineamento Estatístico 71
4 Resultados e Discussão 72
4.1 Umidade e granulometria do solo 72
4.2 Velocidade efetiva de deslocamento ($km.h^{-1}$) 73
4.3 Produtividade agrícola ($t.ha^{-1}$)..... 74
4.3 Colmos colhidos (%) 75
4.4 Eficácia de manipulação (%) 77
4.5 Capacidade efetiva ($ha.h^{-1}$)..... 79
4.5.1 Capacidade efetiva bruta de matéria-prima ($t.h^{-1}$)..... 80
4.5.2 Capacidade efetiva bruta de colmos ($t.h^{-1}$) 82
4.5.3 Capacidade efetiva líquida de colmos ($t.h^{-1}$) 83
4.6 Qualidade de matéria-prima 85
4.6.1 Matéria estranha mineral 85
4.6.1.1 Matéria estranha mineral (%)..... 85
4.6.1.2 Matéria estranha mineral ($t.ha^{-1}$)..... 87
4.6.2 Matéria estranha vegetal 88
4.6.2.1 Matéria estranha vegetal (%)..... 88
4.6.2.2 Matéria estranha vegetal ($t.ha^{-1}$) 90
4.7 Perdas 92
4.7.1 Perdas de rebolos inteiros ($t.ha^{-1}$)..... 92
4.7.2 Perdas de pedaços de rebolos ($t.ha^{-1}$)..... 93
4.7.3 Perdas de colmos e suas frações ($t.ha^{-1}$) 95

4.7.4 Perdas de frações de colmos nas soqueiras (toco de soqueira) ($t.ha^{-1}$).....96
4.7.5 - Perdas totais ($t.ha^{-1}$ e %).....98
4.8 Consumo de combustível ($L.h^{-1}$) 99
4.8.1 Consumo de combustível por área ($L.ha^{-1}$) 101
4.8.2 Consumo de combustível na capacidade efetiva bruta de matéria-prima ($L.t^{-1}$)..102
4.8.3 Consumo de combustível na capacidade efetiva bruta de colmos ($L.t^{-1}$) 104
4.8.4 Consumo de combustível na capacidade efetiva líquida de colmos ($L.t^{-1}$).....105
4.9 Freqüência de comprimento e índice de cisalhamento de rebolos.....107
5 Conclusões.....113
REFERÊNCIAS.....115
APÊNDICES.....133

RESUMO

Avaliação de desempenho operacional de três colhedoras em cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) crua

O aumento nacional e mundial no consumo de açúcar e as pressões pelo uso de fontes de energia renováveis, como o etanol e a energia elétrica gerada através da queima de subprodutos da cana-de-açúcar vêm impulsionando o crescimento da área destinada à produção da cultura no Brasil nas últimas décadas. Segundo a UNICA (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. Esse incremento é representado pelo aumento no consumo de etanol como combustível que cresceu 22,2% no mesmo período. A colheita mecanizada de cana-de-açúcar também vem aumentando nos últimos anos e as principais razões para esse crescimento são a escassez de mão-de-obra para colheita manual, as legislações ambientais que buscam a eliminação gradativa da queima prévia do canavial para a colheita e a redução de custos operacionais da colheita mecanizada frente à colheita manual. Por esses fatores, e com o objetivo de avaliar o desempenho efetivo dos três modelos de colhedoras de cana-de-açúcar mais comercializadas no Brasil, foram realizados ensaios em condições de campo operando em colheita de cana crua na Usina Clealco, município de Clementina, Estado de São Paulo no período de 22 a 27 de março de 2010. A variedade colhida foi a RB85-5453, sem queima prévia, de primeiro corte, com espaçamento entre fileiras de 1,5m, o solo foi classificado como latossolo vermelho e o micro-relevo do terreno estava em condições adequadas para operação de colheita mecânica com declividade de 2,4%, e bom paralelismo entre fileiras de plantio. A área do ensaio foi caracterizada como canavial de porte ereto e a produtividade agrícola média foi de 115,14 $t.ha^{-1}$. As máquinas foram ensaiadas em duas velocidades de deslocamento pré-estabelecidas em 5,0 e 7,0 $km.h^{-1}$ (tratamentos 1 e 2) com cinco repetições para cada velocidade totalizando 30 determinações, ou seja, 10 para cada máquina. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com esquema fatorial 3X2. Cada repetição correspondeu a 150 m de colheita ao longo das fileiras de plantio. A metodologia de ensaio e avaliação do desempenho efetivo foram os propostos por Ripoli & Ripoli (2009), por meio de determinações das capacidades efetivas, eficácia de manipulação, perdas de matéria-prima de campo, índices de matéria estranha vegetal e mineral na matéria-prima, consumo de combustível e freqüência do comprimento e índice de cisalhamento de rebolos. Foi constatado que com o aumento da velocidade de deslocamento não houve diferença estatística nas variáveis eficácia de manipulação e na maioria dos índices de qualidade de colheita e de perdas, apenas a variável perda de colmos e sua frações melhorou, contudo melhorou-se as capacidades efetivas e consumos de combustível por unidades de área e produção, ou seja, o aumento da velocidade de deslocamento trouxe benefícios de ordem econômica mantendo a qualidade de colheita.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar, Colhedora, Mecanização agrícola, Desempenho efetivo

ABSTRACT

Effective performance evaluation of three sugar cane harvester operating in green sugar cane (*Saccharum spp*)

Increasing national and global sugar consumption and pressures by the use of renewable energy sources, such as ethanol and the electric energy generated by the burning of sugar cane sub-products are driving the growth of the area destined to the production of culture in recent decades. According to UNICA (2010), the Brazil reached in 2008/2009 harvest season a total sugarcane production of 569.1 million tons processed, representing a growth of 14.8% regarding the previous crop. This increment is represented mainly by the increase in consumption of ethanol as a fuel which grew 22.2% over the same period. Sugar cane mechanical harvesting also has been increasing in recent years and the main reasons for this growth are the shortage of labor to harvest manual, environmental laws that seek the gradual elimination of sugar cane areas flaring prior to the harvest and the reduction of operational costs of mechanical harvesting against manual harvest. By these factors, and to assess the actual performance of the three sugar cane harvesters models made in Brazil, were conducted tests in field conditions operating in green sugarcane at Clealco sugar cane mill, municipality of Clementina, State of São Paulo in the period from 22 to 27 March 2010. The variety harvested was the RB85-5453, without burning, first cut, with 1,5 m spacing between rows, the soil was classified as red latosol and micro-relief of the land was under appropriate conditions for mechanical harvesting operation with 2.4% slope, and parallelism between planting rows. The test area has been characterized as erect sugar cane and average agricultural productivity was 115.14 t ha^{-1}. The machines were tested at two harvesting speeds pre-established in 5.0 and 7.0 km h^{-1} (treatments 1 and 2) with five repetitions for each treatment totaling 30 determinations, i.e. 10 to each machine. The statistic analyses design was entirely randomized with schema factorial 3 x 2. Each repetition matched 150 m of harvesting along the row of planting. The test methodology and evaluation of effective performance used were those proposed by Ripoli & Ripoli (2009), through effective capacities determinations, effectiveness of manipulation, field losses indexes, harvesting quality and mineral and vegetal impurities index, fuel consumption and damage index and length frequency of the billets. It was found that with the increased speed of displacement there was no statistical difference in the variables effectiveness of manipulation and in most harvesting quality indexes and harvest losses, only the variable loss of stalks and its fractions has been improved, but the variables effective capacities and fuel consumptions per unit area and production has shown betters index, in other words, increasing the speed of displacement has benefited from economic order while maintaining quality harvest.

Keywords: Sugar cane; Harvester; Agricultural mechanization; Effective performance

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produção Brasileira de cana-de-açúcar (Fonte: UNICA, 2010) 26
Figura 2 - Produção brasileira de açúcar (Fonte: UNICA, 2010).....27
Figura 3 - Produção brasileira de álcool (Fonte: UNICA, 2010) 27
Figura 4.- Esquema de uma colhedora de cana picada com destaque para os principais órgãos ativos, extraído de Neves (2003).....33
Figura 5 - Mapa da área de ensaios (talhão 2).....47
Figura 6 - Máquina John Deere em colheita de uma das repetições 48
Figura 7 -Máquina Santal em colheita de uma das repetições.....48
Figura 8 - Máquina Case em colheita de uma das repetições.....49
Figura 9 - Área delimitada para as avaliações de campo.....53
Figura 10 - Critério para determinação do porte do canavial por meio de triangulo retângulo (adaptado de Ripoli et al, 1996) 53
Figura 11 - Porte do canavial definido como ereto 54
Figura 12 - Aferição da distância exata de cada uma das repetições com uso do compasso de madeira 56
Figura 13 - Demarcação e limpeza das áreas de sub amostras de perdas de matéria-prima antes de cada repetições 57
Figura 14 - Recolhimento e ensacamento de perdas remanescente no campo na área amostral após a passagem da colhedora para cada repetição 57
Figura 15 - Separação e ensacamento de perdas remanescente após a colheita para posterior pesagem das sub-amostras 58
Figura 16 - Área de trabalho para determinações ponderais 58
Figura 17 - Tambores para sub-amostras de qualidade de matéria-prima colocados dentro do transbordo 59
Figura 18 - 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 60
Figura 19 - Determinação de índice de cisalhamento e freqüência no tamanho de rebolos 61

Figura 20 - Transbordo sobre as células de carga para mensuração da quantidade de matéria-prima colhida 62
Figura 21 - Basculamento da quantidade de matéria-prima colhida de um transbordo para outra unidade com as células de carga (estação de trabalho) para mensuração da quantidade total de cana colhida por repetição 62
Figura 22 - Displays utilizados nos diferentes tipos de pesagem 63
Figura 23 - Células de carga para pesagem do apoio do cabeçalho do transbordo para evitar erros de transferência de carga entre o transbordo e o trator 63
Figura 24 - Esquema teórico de transferência de peso 64
Figura 25 - Médias das umidades do solo para os tratamentos 1 e 2 das colhedoras avaliada. 72
Figura 26 - Médias das velocidades efetivas de deslocamento obtidas nos ensaios para o tratamento 1 (V1 = 5,0 $km.h^{-1}$) 73
Figura 27 - Médias das velocidades efetivas de deslocamento obtidas nos ensaios para o tratamento 2 (V2 = 7,0 $km.h^{-1}$) 74
Figura 28 - Variabilidade espacial da produtividade agrícola ($t.ha^{-1}$) de colmos entre todas as repetições efetuadas 75
Figura 29 - Médias das repetições para a porcentagem de colmos colhidos para as três máquinas avaliadas no tratamento 1 (V = 5,0$km.h^{-1}$) 76
Figura 30 - Médias das repetições para a porcentagem de colmos colhidos para as três máquinas avaliadas no tratamento 2 (V = 7,0 $km.h^{-1}$) 77
Figura 31 - Médias das repetições para a eficácia de manipulação para as três máquinas avaliadas no tratamento 1 (V = 5,0 $km.h^{-1}$) 78
Figura 32 - Médias das repetições para a eficácia de manipulação para as três máquinas avaliadas no tratamento 2 (V = 7,0 $km.h^{-1}$) 78
Figura 33 - Médias das repetições para a capacidade efetiva para as três máquinas no tratamento 1 (V = 5,0 $km.h^{-1}$) 79
Figura 34 - Médias das repetições para a capacidade efetiva para as três máquinas no tratamento 2 (V = 7,0 $km.h^{-1}$) 80
Figura 35 - Médias das repetições para a capacidade efetiva bruta de matéria-prima para as máquinas ano tratamento 1 (V = 5,0 $km.h^{-1}$) 81

Figura 36 - Médias das repetições para a capacidade efetiva bruta de matéria-prima para as máquinas no tratamento 2 (V = 7,0 km.h^{-1}) 81
Figura 37 - Médias das repetições para a capacidade efetiva bruta de colmos para as máquinas no tratamento 1 (V = 5,0 km.h^{-1}) 82
Figura 38 - Médias das repetições para a capacidade efetiva bruta de colmos para as máquinas no tratamento 2 (V = 7,0 km.h^{-1}) 83
Figura 39 - Médias das repetições para a capacidade efetiva líquida de colmos para as três máquinas no tratamento 1 (V = 5,0 km.h^{-1}) 84
Figura 40 - Médias das repetições para a capacidade efetiva liquida de colmos para as três máquinas no tratamento 2 (V = 7,0 km.h^{-1}) 84
Figura 41 - Médias das repetições para a porcentagem de matéria entranha mineral para as três máquinas no tratamento 1 (V = 5,0 km.h^{-1}) 86
Figura 42 - Médias das repetições para a porcentagem de matéria entranha mineral para as três máquinas no tratamento 2 (V = 7,0 km.h^{-1}) 86
Figura 43 - Médias das repetições para a matéria entranha minerais para as três máquinas no tratamento 1 (V = 5,0 km.h^{-1}) 87
Figura 44 - Médias das repetições para a matéria entranha minerais para as três máquinas no tratamento 2 (V = 7,0 km.h^{-1}) 88
Figura 45 - Médias das repetições para a matéria entranha vegetal para as três máquinas no tratamento 1 (V = 5,0 km.h^{-1}) 89
Figura 46 - Médias das repetições para a matéria entranha vegetal para as três máquinas no tratamento 2 (V = 7,0 km.h^{-1}) 90
Figura 47 - Médias das repetições para a matéria entranha vegetal para as três máquinas no tratamento 1 (V = 5,0 km.h^{-1}) 91
Figura 48 - Médias das repetições para a matéria entranha vegetal para as três máquinas no tratamento 2 (V = 7,0 km.h^{-1}) 91
Figura 49 - Médias das repetições para a quantidade de perdas de rebolos inteiros (t.ha^{-1}) para as três máquinas no tratamento 1 (V = 5,0 km.h^{-1}).....92
Figura 50 - Médias das repetições para a quantidade de perdas de rebolos inteiros (t.ha^{1}) para as três máquinas no tratamento 2 (V = 7,0 km.h^{-1}).....93

Figura 51 - Médias das repetições para a quantidade de perdas de rebolos inteiros ($t.ha^{1}$) para as três máquinas no tratamento 1 (V = 5,0 $km.h^{-1}$) 94
Figura 52 Médias das repetições para a quantidade de perdas de rebolos inteiros ($t.ha^{1}$) para as três máquinas no tratamento 2 (V = 7,0 $km.h^{-1}$)..... 94
Figura 53 - Médias das repetições para a quantidade de perdas de colmos e suas frações para ($t.ha^{-1}$) as três máquinas no tratamento 1 (V = 5,0 $km.h^{-1}$)..... 95
Figura 54 - Médias das repetições para a quantidade de perdas de colmos e suas frações ($t.ha^{-1}$) para as três máquinas no tratamento 2 (V = 7,0 $km.h^{-1}$)..... 96
Figura 55 - Médias das repetições para a quantidade de perdas de colmos nas soqueiras ($t.ha^{-1}$) para as três máquinas no tratamento 1 (V = 5,0 $km.h^{-1}$)..... 97
Figura 56 - Médias das repetições para a quantidade de perdas de colmos nas soqueiras ($t.ha^{-1}$) para as três máquinas no tratamento 2 (V = 7,0$km.h^{-1}$)..... 97
Figura 57 - Médias das repetições para a quantidade de perdas totais ($t.ha^{-1}$) para as três máquinas no tratamento 1 (V = 5,0 $km.h^{-1}$)..... 98
Figura 58 - Médias das repetições para a quantidade de perdas totais ($t.ha^{-1}$) para as três máquinas no tratamento 2 (V = 7,0 $km.h^{-1}$)..... 99
Figura 59 - Médias das repetições para consumo de combustível horário para as três máquinas no tratamento 1 (V = 5,0 $km.h^{-1}$)..... 100
Figura 60 - Médias das repetições para consumo de combustível horário para as três máquinas no tratamento 2 (V = 7,0 $km.h^{-1}$)..... 100
Figura 61 - Médias das repetições para consumo de combustível por área para as três máquinas no tratamento 1 (V = 5,0 $km.h^{-1}$)..... 101
Figura 62 - Médias das repetições para consumo de combustível pro área para as três máquinas no tratamento 2 (V = 7,0 $km.h^{-1}$)..... 102
Figura 63 - Médias das repetições para consumo de combustível na capacidade efetiva bruta de matéria-prima para as três máquinas no tratamento 1 (V = 5,0 $km.h^{-1}$)..... 103
Figura 64 - Médias das repetições para consumo de combustível na capacidade efetiva bruta de matéria-prima para as três máquinas no tratamento 2 (V = 7,0 $km.h^{-1}$)..... 103
Figura 65 - Médias das repetições para consumo de combustível na capacidade efetiva bruta de colmos para as três máquinas no tratamento 1 (V = 5,0 $km.h^{-1}$) 104

Figura 66 - Médias das repetições para consumo de combustível na capacidade efetiva bruta de colmos para as três máquinas no tratamento 2 (V = 7,0 km.h^{-1}) 105
Figura 67 - Médias das repetições para consumo de combustível na capacidade efetiva líquida de colmos para as três máquinas no tratamento 1 (V = 5,0 km.h^{-1}) 106
Figura 68 - Médias das repetições para consumo de combustível na capacidade efetiva líquida de colmos para as três máquinas no tratamento 2 (V = 7,0 km.h^{-1}) 106
Figura 69 - Qualidade de cisalhamento (%) dos rebolos obtidos pela colhedora John Deere nos dois tratamentos 107
Figura 70 - Qualidade de cisalhamento (%) dos rebolos obtidos pela colhedora Santal nos dois tratamentos 107
Figura 71 - Qualidade de cisalhamento (%) dos rebolos obtidos pela colhedora Case nos dois tratamentos 108
Figura 72 - Freqüência (%) de distribuição de tamanho de rebolos para colhedora John Deere no tratamento 1 (V = 5,0 km.h^{-1}) 109
Figura 73 - Freqüência (%) de distribuição de tamanho de rebolos para colhedora John Deere no tratamento 2 (V = 7,0 km.h^{-1}) 109
Figura 74 - Freqüência (%) de distribuição de tamanho de rebolos para colhedora Santal no tratamento 1 (V = 5,0 km.h^{-1}) 110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Licenciamento de automóveis e comerciais leves por tipo de combustível .. 28
Tabela 2 - Desempenho operacional da colhedora Class 1400 em quatro velocidades de trabalho 38
Tabela 3 - Desempenho operacional das colhedoras Class Gladiator e Class 2000 39
Tabela 4 - Desempenho operacional em ensaio realizado com a colhedora Class CC 2000 em canaviais de cana crua 39
Tabela 5 - Desempenho operacional das colhedoras Austoft 7000 e Cameco CHT 2500 40
Tabela 6 - Desempenho operacional de uma colhedora de em quatro diferentes velocidades de deslocamento 42
Tabela 7 - Desempenho operacional de duas colhedoras de cana em quatro diferentes velocidades de deslocamento 43
Tabela 8 - Eficácia de manipulação e capacidade efetiva líquida em quatro diferentes velocidades de colheita 44
Tabela 9 - Médias das capacidades efetivas obtidas nas diferentes velocidades de trabalho para três colhedoras de cana 44
Tabela 10 - Ensaio comparativo entre o protótipo Massey Ferguson 405 e a colhedora Austoft 7000 avaliando os parâmetros matéria estranha mineral e total e índice de cisalhamento de rebolos 45
Tabela 11 - Comparativo entre as características de cada uma das colhedoras utilizadas no ensaio 49
Tabela 12 - Tratamentos e número de repetições 52
Tabela 13 - Porcentagens de rebolos perfeitos para das máquinas e velocidades de deslocamento estudadas. V1 e V2 = velocidades 108
Tabela 14 - Intervalo de comprimento de rebolos com maiores porcentagens de freqüência. 112

1 INTRODUÇÃO

A expansão recente do setor sucroalcooleiro brasileiro, impulsionada pelo aumento na demanda por etanol dos mercados doméstico e internacional, e a maior participação do Brasil no mercado global de açúcar, têm provocado profundas transformações no setor. Observa-se neste novo ambiente o crescimento em área plantada com a cultura de cana-de-açúcar, a construção de novas usinas, a ampliação de plantas industriais já instaladas, o aumento do capital internacional no setor, a busca de aumentos na produtividade por meio da adoção de novas tecnologias e pressões ambientais mundiais.

No centro-sul, responsável por 90% da produção nacional de cana-de-açúcar (MAPA, 2010a), houve da safra 2005/06 à safra 2008/09, um aumento em área de 55,96% (3,12 milhões de hectares) e o número de municípios que cultivam cana passou de 703 a 859 no mesmo período (RUDORFF et al., 2009).

No mercado mundial as exportações de açúcar em 2009 foram 24,7% maiores que em 2008. Para o etanol ocorreu uma ampliação nos países importadores passando de 34 em 2006 para 48 em 2008 e um aumento de 50% no volume exportado neste mesmo período, demonstrando a adesão por novos países ao uso de etanol e ao aumento do consumo por alguns deles, seja por pressões ambientais ou econômicas. Os países com maior importação em 2008 foram: Estados Unidos (29,7%), União Européia (28,8%, em especial Países Baixos) e Jamaica (8,5%) com ênfase no aumento de participação desde 2006 da UE (UNICA, 2010) e parcerias com o Japão que tendem a elevar as exportações para este país que já aumentou de 2008 para 2009 em 18% (42,96 milhões de litros) (MAPA, 2010a).

A crescente preocupação mundial com a geração e consumo de energia é responsável por uma ampla discussão centrada em questões ambientais e na substituição das matérias-primas não renováveis, como os subprodutos do petróleo, por fontes renováveis, como o etanol e a biomassa. Neste sentido, a agricultura vista até então como um setor voltado para a produção de alimentos, passa a fazer parte da agenda que envolve a geração e distribuição de energia, e sua sustentabilidade (TORQUATO et al., 2010). Caldeira (2002) cita que, com o aumento das áreas

produtivas de cana-de-açúcar e a crescente preocupação com o ambiente, a colheita mecanizada de cana crua vem substituindo, gradativamente, a colheita manual com queima prévia.

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, 2009a) 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, 2009b).

No processo de produção da cana-de-açúcar a colheita se destaca pelo alto custo (chegando a mais de 30% dos custos totais de produção). A mudança nos últimos anos para o sistema de colheita mecanizado conjuntamente com o desenvolvimento de novas tecnologias às colhedoras foi responsável por uma redução acentuada nos custos da colheita mecanizada em relação à colheita manual, o que leva inevitavelmente a uma majoritária adoção de colhedoras nos canaviais.

Esse trabalho teve por objetivo principal estabelecer as diferenças entre os desempenhos efetivos de colheita das três principais colhedoras de cana fabricadas e comercializadas no Brasil.

As hipóteses levantadas nesse trabalho foram que com o aumento da velocidade de deslocamento das colhedoras, há um aumento nas capacidades efetivas de colheita e que com os últimos avanços tecnológicos das colhedoras, indicadores de desempenho, como por exemplo, qualidade de matéria-prima, nível de perdas e eficácia de manipulação que antes sofriam grandes alterações com o aumento da velocidade, hoje se mantém estáveis, conjuntamente com um consumo por unidade de área e tonelada colhida menor.

Caso seja comprovado que com o aumento da velocidade de colheita os índices de desempenho efetivo das colhedoras se mantenham e em alguns casos, melhorem, conseqüentemente o aumento da velocidade de deslocamento trará ganhos de ordem econômica. Com o presente trabalho também poderá ser avaliado para cada variável analisada o valor ótimo entre a interação máquina x velocidade.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Importância da cultura da cana-de-açúcar para o Brasil e mundo

O cultivo da cana-de-açúcar 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 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 1931 a 1950, a produção aumentou 5 vezes; de 1950 a 1970 4 vezes; e de 1975 a 1991, a produção da cultura cresceu 3,5 vezes, passando de 68 milhões de toneladas para 233 milhões incentivados principalmente pela produção de etanol por meio do processamento da cana-de-açúcar.

No ano de 1975 criou-se o PROÁLCOOL, programa do governo federal de incentivo à produção e uso de álcool etílico como combustível (em substituição à gasolina), fato este que permitiu um avanço tecnológico no setor sucroalcooleiro e abriu um importante mercado para o álcool combustível (etanol) que, aliado à abertura do mercado internacional para o açúcar, permitiu a expansão e sustentação do setor (PAULILLO et al. 2006).

O ciclo do PROÁLCOOL terminou 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 álcool (etanol) para a de açúcar, visando principalmente à exportação (RODRIGUES & ORTIZ, 2006).

Nas últimas décadas o interesse por fontes de energia renováveis e que causem menores índices de poluição e emissão de gases do efeito estufa, foi responsável por

uma nova disposição ao uso de álcool etílico combustível produzido por meio da fermentação e processamento da cana-de-açúcar, impulsionando, assim, a produção da cultura no Brasil. A área destinada ao plantio da cultura dobrou, basicamente em função da produção do etanol. Essa expansão ocorreu principalmente em regiões de solo fértil e climas favoráveis (TAKESHI, 2008).

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 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 sucroalcooleiro. O estado de São Paulo, o maior e mais avançado produtor brasileiro (62% da produção nacional), apresenta produtividade média de 78 toneladas de cana por hectare, e possui diversas unidades produtoras que ultrapassaram a média de 90 a 95 toneladas de cana por hectare (MACEDO, 2008).

De acordo com a UNICA (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 a safra do ano anterior (Figura 1). Esse incremento é representado pelo aumento na produção de álcool etílico combustível que cresceu 22,2% com relação ao ano anterior (Figura 2) enquanto que a produção de açúcar manteve-se estável no mesmo período (Figura 3).

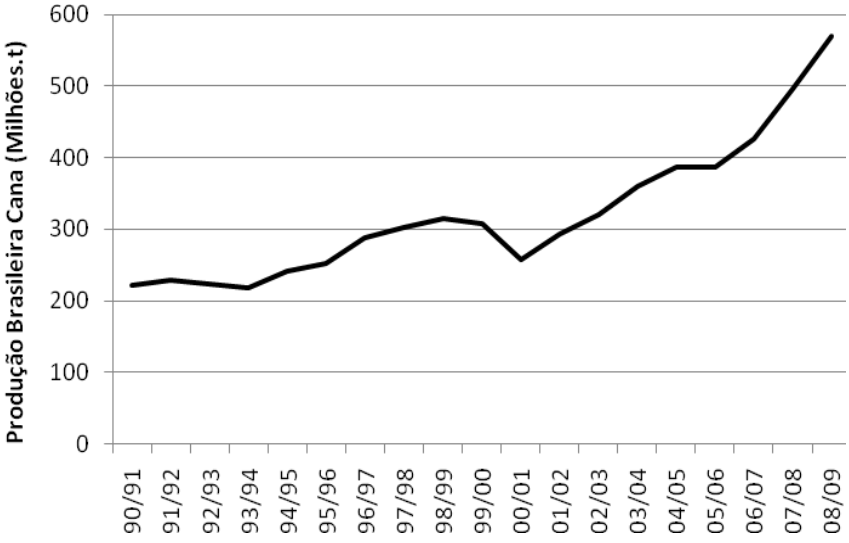


Figura 1 - Produção Brasileira de cana-de-açúcar (Fonte: UNICA, 2010)

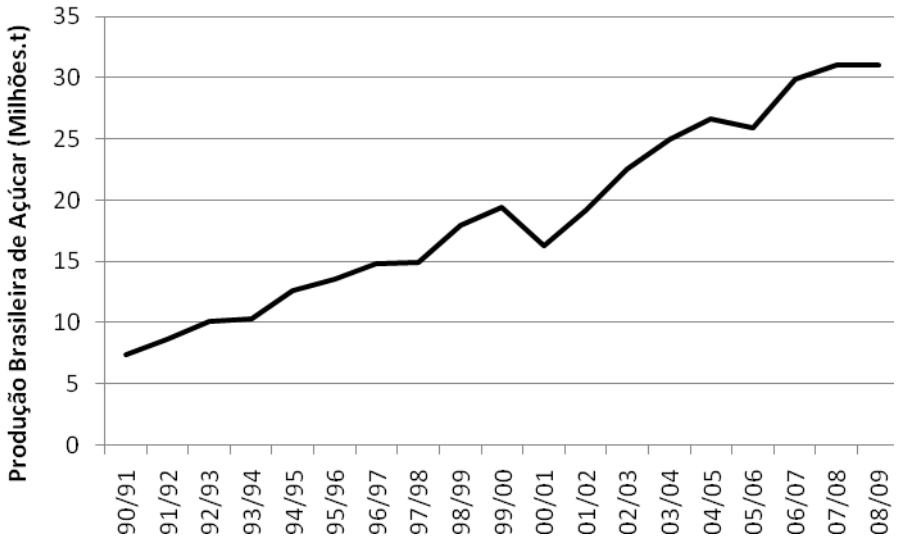


Figura 2 - Produção brasileira de açúcar (Fonte: UNICA, 2010)

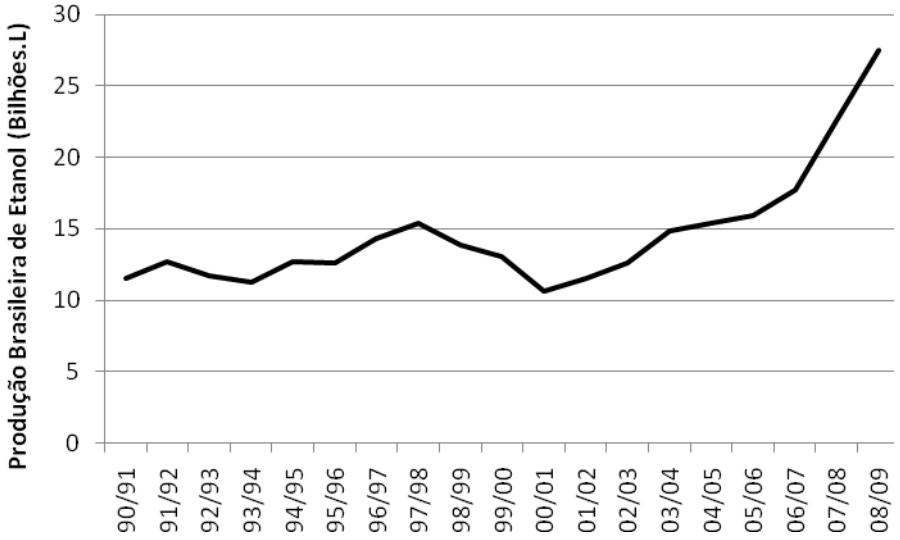


Figura 3 - Produção brasileira de etanol (Fonte: UNICA, 2010)

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 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).

Em 2008, o número total de veículos licenciados no Brasil, ou seja, a frota total de veículos circulantes, atingiu 23,8 milhões e as previsões mostram que em 2017 esse

volume deve chegar a 37,5 milhões de veículos leves. Neste mesmo período a parcela dos carros flex aumentará de 29,6% para 73,6% (EPE, 2009).

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

Anos	Automóveis e comerciais leves			Totais
	Gasolina	Álcool	Flex-fuel	
1994	1.122.229	141.834	0	1.269.319
1995	1.557.674	40.706	0	1.598.380
1996	1.621.968	7.647	0	1.629.615
1997	1.801.688	1.120	0	1.802.808
1998	1.388.734	1.124	0	1.389.958
1999	1.122.229	10.947	0	1.133.176
2000	1.310.479	10.292	0	1.320.771
2001	1.412.420	18.335	0	1.430.755
2002	1.283.963	55.961	0	1.339.924
2003	1.152.463	36.380	48.178	1.237.021
2004	1.077.945	50.949	318.379	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.

Segundo Coelho (2009), como conseqüência dessa tendência de mercado, a destinação da cana-de-açúcar para a produção de etanol está crescendo. Na safra 2007, a participação de cana destinada para a produção de etanol estava em 54,03% (45,97% para o açúcar) e, na safra 2008, esta proporção foi estimada em 56,80% (43,10% para o açúcar).

No mercado mundial, segundo o cálculo das taxas de crescimento obtidas a partir das projeções do AGE (Assessoria de Gestão Estratégica do Ministério da Agricultura), as exportações brasileiras de açúcar devem chegar a 32,2 milhões de

toneladas na safra 2019/20 (crescimento de 3,8% a.a) e a produção de 46,7 milhões na mesma safra. Para o mercado de etanol, as projeções referentes à produção, consumo e exportação refletem grande dinamismo devido especialmente ao crescimento do consumo interno e das exportações. A produção de etanol projetada para a safra 2019/20 é de 62,91 bilhões de litros, mais que o dobro da produção da safra 2008/09. O consumo interno para 2020 está projetado para 47,79 bilhões de litros e as exportações em 15,12 bilhões (MAPA, 2010b).

O Brasil é exemplo de sucesso na produção e uso em larga escala de um combustível renovável e de baixo carbono, como hoje quer o mundo. Recentemente, foi reconhecido pela agência ambiental dos Estados Unidos, a Environmental Protection Agency (EPA), que designou o etanol produzido no Brasil como "biocombustível avançado." Paralelamente, cresce rapidamente o número de novas vertentes que vão gerar crescimento adicional nos próximos anos, como a bioeletricidade, os bioplásticos e a produção de hidrocarbonetos como diesel e querosene de aviação, a partir da cana-de-açúcar (JANK, 2010).

2 A colheita de cana-de-açúcar

A colheita de cana-de-açúcar é a atividade que se inicia com o corte da cana no campo, seu transporte até a usina e termina quando esta chega à indústria e é submetida à moagem (BOFILL et al. 1982).

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 à existência de um sistema global que envolve o corte, o carregamento, o transporte e a recepção da matéria-prima. O subsistema mecanizado diferencia-se por as operações de corte, carregamento e transporte ocorrerem exclusivamente por meio de máquinas.

Nesse sistema, as colhedoras recolhem o material cortado pelo despontador e corte de base para dentro da máquina onde os colmos são picados em rebolos, sendo a matéria estranha vegetal controlada parcialmente por meio de ventilação ou exaustão,

enquanto os colmos picados são conduzidos, por meio de taliscas e correntes ou rotores-lançadores, sobre veículos de transporte com carrocerias teladas e/ou fechadas conhecidos como transbordos. (FURLANI NETO E RIPOLI ,1996).

Dentro do ciclo operacional gerado pela cana-de-açúcar, a etapa da colheita pode ser considerada como uma das mais importantes. A qualidade do produto entregue para a indústria nas usinas depende desta etapa (MAGALHÃES et al., 2008). No processo de produção da cana, a colheita destaca-se pelos altos custos e problemas envolvendo as operações agrícolas, seja esse conduzido de forma manual, semimecanizada, ou mecanizada (NUNES JÚNIOR et al., 2005). Para Ripoli & Paranhos (1987) do ponto de vista econômico, o corte, o carregamento e transporte de matéria-prima absorvem em torno de 50% das despesas totais da produção agrícola, refletindo papel bastante destacado no balanço econômico das empresas.

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 o qual, sem o subsídio do Governo Federal, enfrenta sérios impasses financeiros. 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.

De acordo com Nunes Júnior et al. (2005), na safra 2003/2004 da região Centro-Sul do País, 38,8% da produção de cana foi colhida mecanicamente e, dessa porcentagem, 40,7% na forma de cana crua picada. Existe a perspectiva desses percentuais aumentarem nos próximos anos devido à redução de custos de colheita mecanizada, escassez de mão-de-obra e pela introdução de legislações ambientais, que prevêem a redução gradativa da queima de canaviais, inviabilizando a colheita manual.

Segundo Coelho (2009), com a preocupação ambiental e humana por parte de vários segmentos da sociedade, a tendência é que a colheita mecanizada seja mais utilizada nas próximas décadas.

2.3 Colheita mecanizada de cana-de-açúcar

2.3.1 História

Segundo Furlani Neto (1984) a primeira máquina cortadora de cana foi patenteada em 1854 no Havaí, era tracionada por uma parelha de muares e além de cortar a cana, removia folhas e palhas dos colmos com escova de arame. Assim, fez se reconhecer pela primeira vez a necessidade de limpeza através do corte mecânico.

Humbert (1974) salienta que a mecanização da colheita no Havaí iniciou-se em 1906, quando foi introduzida a primeira cortadora autopropelida. Em 1925, foi nomeado um comitê pela associação dos usineiros do Havaí para estudar dispositivos econômicos de trabalho, que foram posteriormente identificados em 286 tipos diferentes. Em 1937, tal comitê desenvolveu o primeiro protótipo integrado de colheita, visando suprir a escassez de mão-de-obra e reduzir o custo do corte manual.

No final da década de 50 surge na Austrália, um novo conceito que solucionou a mecanização da colheita da cana-de-açúcar, ou seja, a máquina que corta, pica, limpa e carrega a matéria-prima, ou colhedora combinada (PINTO, 1976). Essas máquinas vieram substituir o sistema de corte mecânico de cana inteira em 1960. Nos anos 60 a Massey Ferguson introduziu no Brasil a primeira colhedora que fazia a operação de corte, picagem e carregamento, importada da Austrália. Na década de 70, com a adesão a nova tecnologia, o sistema de colhedora combinada detinha 95% da mecanização da colheita na Austrália e, logo depois, se difundiu para outros países (PINTO, 1977).

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

Ripoli e Villa Nova (1992) relataram que no Brasil o registro da primeira experimentação de máquina para corte de cana-de-açúcar, foi de máquina importada

em 1956, logo depois em 1962, houve iniciativa pioneira para o desenvolvimento de cortadora amontoada por uma empresa de Piracicaba- SP, de modo que a história da mecanização do corte de cana-de-açúcar no Brasil em escala comercial deu-se em 1973, em São Paulo, pela empresa Santal Equipamentos S/A, com fabricação nacional utilizando tecnologia importada. Desde então vêm sendo realizados estudos e avaliações de desempenho operacional e econômico de colhedoras de cana.

Atualmente, no Brasil, são utilizadas com maior freqüência as colhedoras combinadas automotrizes de cana picada. Nesse tipo de máquina, a cana passa por várias etapas dentro da colhedora, desde o momento do corte basal até o carregamento no veículo de transporte. Durante a colheita, a máquina (Figura 4), é posicionada em uma fileira de cana e quando se inicia o deslocamento da colhedora, os ponteiros são cortados pelo cortador de pontas. O sistema de alimentação é constituído pelos divisores de linhas, rolo alimentador e tombador, que direcionam a fileira de cana para o corte. O corte de base é realizado por dois discos rotativos com lâminas, e o recolhimento e transporte interno das canas inteiras é realizado por rolos alimentadores e transportadores. O corte da cana em rebolos é feito pelos picadores e a retirada das impurezas (limpeza) pelo extrator primário. Em seguida, os rebolos são elevados pelo elevador de taliscas e na parte superior, antes do descarregamento dos rebolos, ocorre uma segunda limpeza pelo extrator secundário (NEVES, 2003).

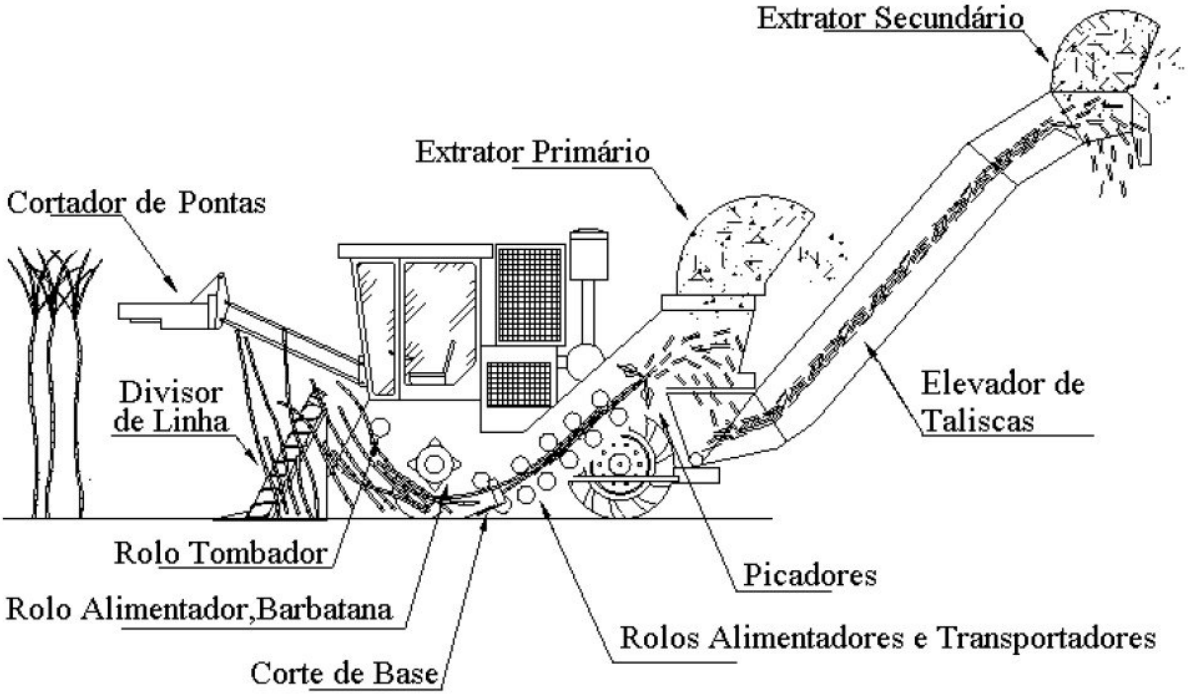


Figura 4.- Esquema de uma colhedora de cana picada com destaque para os principais órgãos ativos, extraído de Neves (2003)

Ripoli e Ripoli (2009) cita que nos últimos anos grandes fabricantes do setor de máquinas agrícolas que desenvolvem máquinas colhedoras no Brasil vêm buscando melhorias principalmente referentes à qualidade de matéria-prima colhida, desempenhos operacionais, e menores níveis de perdas.

2.3.2 Aumento da colheita de cana crua em substituição à cana queimada: aspectos técnicos, econômicos, ambientais, legais e sociais

A diminuição da matéria-estranha vegetal no canavial e maior facilidade da colheita (seja corte manual ou mecânico) são as principais razões da queima de pré-colheita, de acordo com Ripoli e Paranhos (1987). Segundo Delgado (1985) a queima apresenta vantagens para a operação de colheita, facilidades no preparo e cultivo, aumento do teor de cinzas no solo e eliminação de algumas pragas da cultura.

No entanto, atualmente a concepção de colheita de cana queimada está sofrendo modificações em função de restrições legais e ambientais ao processo de colheita de cana-de-açúcar (BRAUNBECK E MAGALHÃES , 1998). Ripoli et al. (1990)

explicaram que o processo de colheita com queima prévia deverá ser substituído pelo sistema de colheita de cana crua, por benefícios de ordem técnica, econômica, ambiental e agronômica. As queimadas representam um desperdício de energia, e a colheita de cana sem queima prévia merece uma nova atenção por parte dos pesquisadores, empresas sucroalcooleiras e do governo, uma vez que sua adoção deverá beneficiá-los, bem como diminuir os impactos ambientais e oferecer ao país uma nova matriz energética que pode contribuir para minimização da crise de energia.

Segundo Torquato et al. (2010) a colheita mecânica de cana crua tem apresentado economia de até 30% em relação ao custo da colheita manual de cana queimada. Romanach e Caron (1999) desenvolveram estudo sobre impactos nos custos da colheita manual e mecanizada e concluíram que o custo da colheita mecanizada foi 55,44% menor que o custo da colheita manual.

Do ponto de vista agronômico, segundo Churchward e Poulsen (1998), a colheita de cana crua possui vantagens principalmente voltadas para a área agrícola por meio do controle de plantas daninhas; conservação da umidade no solo; economia do cultivo; melhor perfilhamento e brotação das soqueiras, além de permitir o tráfego de veículos no cultivo sem prejuízos acentuados ao solo.

Segundo Urquiaga et al. (1997), a quantidade de palha depositada anualmente no solo no sistema de colheita de cana crua varia de 10 a 15 $t.ha^{-1}$ e a queima desse material representa uma perda de vários nutrientes, principalmente de nitrogênio (30 a 60 $kg/.ha^{-1}$) e enxofre (15 a 25 $kg.ha^{-1}$).

Stupiello (1989) afirma que após a queima prévia da cana, ocorrem perdas de açúcares que comprometem a qualidade da matéria-prima. O autor classifica a perda em três tipos de deterioração existentes: microbiológicos, fisiológicos e tecnológicos. O primeiro oriundo da inoculação nas rachaduras dos colmos (micro-fissuras) feita pelo fogo, o segundo procedente da utilização dos açúcares para reativar as atividades fisiológicas das plantas em função do tempo de exposição da planta no solo após a queimada e o último originário da exudação e aumento da porcentagem de fibra da cana.

Churchward e Poulsen (1998) observaram que o corte de cana crua quando comparada à cana com queima prévia apresenta um acréscimo de biomassa

proveniente da matéria-prima em torno de 20,6%. Ripoli e Villa Nova (1992) mostraram que as colheitas da cana crua, evitaram um desperdício de energia produzido pela queima de pontas, folhas verdes e palha, que representa, em média, 32,5% da biomassa produzida por um canavial.

Segundo Ripoli e Ripoli (1995) abandonando-se a queima prévia do canavial, o palhiço (ponteiros, folhas verdes e palhas) remanescentes sobre o terreno e decorrente da colheita mecanizada poderia ser recolhido e utilizado para geração de energia elétrica nas próprias usinas e destilarias, tornando-se, então, mais uma fonte de energia renovável.

Ripoli (1991), concluiu que o desperdício energético do não aproveitamento do material remanescente da colheita, representado pelo palhiço, chega a 34,9% da energia produzida em um hectare de cana. O mesmo autor determinou que o material remanescente queimado na operação de pré-colheita representa, em termos de equivalente energético, cerca de 30 barris.ha^{-1} de petróleo e que uma tonelada de material remanescente, em termos de poder calorífero, substituem em média, 1,08 toneladas de bagaço.

Ambientalmente a colheita de cana crua possui vantagens, Kirchhoff (1991) afirma que as queimadas existentes no Brasil contribuem indiretamente para o aumento do efeito estufa no planeta. Os principais gases produzidos nas queimadas são: CO, CO_2, O_3, e SO_2, os quais quando encontrados em concentrações elevadas, produzem riscos à vida humana. O aumento da concentração de CO_2 atmosférico é preocupante, pois é o principal gás do “efeito estufa” (LAURE, 1991). A não queima dessas áreas para colheita traz benefícios ecológicos, principalmente porque a cana-de-açúcar é uma fonte de energia renovável e por captar CO_2 da atmosfera contribuindo para a diminuição do aquecimento global (ORLANDO FILHO, 2007).

No aspecto legal, alguns estados estabeleceram normas específicas para tratar a eliminação da queimada. Em São Paulo, estado com mais da metade da produção nacional, foi promulgada em setembro de 2002 a lei número 11.241, que estipula um cronograma gradativo de extinção da queima, determinando que tal prática deve ser totalmente banida no estado até o ano de 2021, em áreas mecanizáveis e até 2031 em áreas não mecanizáveis. No entanto em junho de 2007, foi assinado um protocolo de

cooperação entre o governo do estado de São Paulo e a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA), denominado de Protocolo Agroambiental, que visa a antecipação da eliminação da queima para 2014, em áreas mecanizáveis e 2017 para áreas não mecanizáveis e apesar de não ser obrigatório mais de 90% das usinas do estado já aderiram ao mesmo (UNICA, 2009b)

Na área social Andrade Silva (1997) destaca em seu trabalho que somente 60% da área do estado de São Paulo (maior produtor da cultura) são consideradas mecanizáveis; a suspensão de 54% da mão-de-obra seria responsável por uma perda de aproximadamente 90.000 postos de trabalho.

Segundo estimativas da UNICA, sem se considerar os funcionários envolvidos na gestão e administração da produção, no Estado de São Paulo, entre as safras de 2006/2007 e 2020/2021, o número de empregados envolvidos com a produção de cana-de-açúcar, açúcar e álcool passará de 260,4 mil para 146,1 mil, ou seja, haverá uma redução de 114 mil empregos neste período. Na lavoura canavieira o número passará de 205,1 mil empregados para 70,8 mil, ou seja, uma queda de 134,3 mil, considerando-se que não haja colheita manual na safra 2020/2021. Para que parte dos empregados agrícolas sejam realocados para as atividades do corte mecânico, é necessário escolaridade maior do que a da grande maioria dos empregados (MORAES, 2007).

Com isto, novas alternativas de geração de empregos deverão ser criadas, assim como a pré-qualificação dos trabalhadores atuais, sendo necessário também o estabelecimento de políticas para os pequenos fornecedores, que não possuem condições favoráveis à mecanização da colheita (ROMANACH E CARON, 1999).

2.3.3 Desempenho operacional e econômico de colhedoras de cana

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.

Para Stupiello et al. (1971), a qualidade tecnológica da matéria-prima caracteriza os padrões do produto colhido. Nas canas colhidas por colhedoras, deve ser avaliada a porcentagem de Brix, com valor mínimo de 18%, a porcentagem de Pol, que deve estar entre 14 e 15 % e a porcentagem da pureza, variando entre 80 e 85%, os valores destes dois últimos parâmetros são mínimos para o início e o final da safra.

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. Estas perdas podem ser facilmente determinadas por coleta manual. 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.

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 $km.h^{-1}$, 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.

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 freqüência 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 1400 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.

Romero et al. (1993) realizaram ensaios de desempenho operacional de colhedoras de cana Class Gladiator e Class 2000, em canaviais sem queima prévia em Tucuman na Argentina. As determinações foram realizadas em canaviais com produtividade entre 60 a 140 t.h^{-1} avaliando-se para diferentes velocidades as variáveis: capacidade efetiva, perdas de matéria-prima, matéria estranha e eficiências de limpeza (Tabela 3).

Tabela 3 - Desempenho operacional das colhedoras Class Gladiator e Class 2000

Class Gladiator					
Variedades	Velocidades ($km.h^{-1}$)	Capacidades efetivas ($t.h^{-1}$)	Perdas de matéria-prima (%)	Matéria estranha (%)	Eficiências de limpeza (%)
CP 65-577	4,9	40	4,7	10	64
TUC 67-27	3,6	40	2,8	13	62
NA 56-79	5,7	51	7,0	10,7	65,5
CP – 457	5,6	56	5,7	12	60
Class 2000					
Variedades	Velocidade ($km.h^{-1}$)	Capacidade efetiva ($t.h^{-1}$)	Perdas de matéria-prima (%)	Matéria-estranha (%)	Eficiências de limpeza (%)
CP 65-577	5,8	58	6,6	7,8	56
TUC 77-42	3,5	31	7,2	5,3	71

Fonte: Romero et al. (1993), adaptada

Mialhe e Carraro Neto (1993), ensaiaram a colhedora Class CC-2000 colhendo em cana crua a duas velocidades de deslocamento. Os valores de capacidade efetiva bruta e líquida, eficácia de manipulação e perdas visíveis totais obtidos no estudo são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Desempenho operacional em ensaio realizado com a colhedora Class CC 2000 em canaviais de cana crua

Parâmetros	Velocidades de trabalho ($km.h^{-1}$)	
	3,67	4,04
Capacidade efetiva bruta ($t.h^{-1}$)	83,83	75,64
Capacidade efetiva líquida ($t.h^{-1}$)	73,47	Não determinada
Eficácia de Manipulação (%)	96,78	96,86
Perdas totais no campo (%)	3,22	4,14

Fonte: Mialhe e Carraro Neto (1993), adaptado.

Furlani Neto et al. (1996) realizaram a avaliação do desempenho operacional de colhedoras Santal Amazón em canaviais com e sem queima prévia, na região de Ribeirão Preto, Estado de São Paulo. Nesse trabalho, a produtividade do canavial para a colheita de cana crua foi de 87,6 $t.ha^{-1}$, a velocidade média de deslocamento de 4,65 $km.h^{-1}$ e a capacidade efetiva em cana crua de 57,8 $t.h^{-1}$, as perdas visíveis de matéria-prima atingiram níveis de 4,53%, a matéria estranha mineral de 0,7 % e a matéria estranha vegetal de 8,1%.

O mesmo autor, observando dados de colheita mecanizada de usinas, verificou 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 totais no campo variando de 3 a 6 $t.ha^{-1}$ (3 a 5 %) e, índice de matéria estranha total de 3 a 8%.

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

Em 1997 na Colômbia, o Cenicaña avaliou duas colhedoras de cana operando em canavial da variedade CC 86-65 sem queima prévia em uma área de 4,65 ha e produtividade média de 147 $t.ha^{-1}$. As colhedoras utilizadas foram a Austoft 7700 e Cameco CHT2500. A matéria estranha vegetal das amostras foi de 8,3%, as perdas de matéria-prima de 3,65% e a eficácia de manipulação de 96,35%. Os resultados de desempenho obtidos se encontram na Tabela 5.

Tabela 5 - Desempenho operacional das colhedoras Austoft 7000 e Cameco CHT 2500

Variáveis	Austoft 7700	Cameco CHT 2500
Eficiências de campo (%)	43	46
Velocidades ($km.h^{-1}$)	2	1
Capacidades efetivas de campo ($t.h^{-1}$)	70,6	29,4
Capacidades teóricas de campo ($t.h^{-1}$)	47,6	13,4
Capacidades efetivas liquida ($t.h^{-1}$)	68,02	28,32

Fonte: Cenicaña (1997).

No mesmo ano, o Cenicaña (1997) fez ensaio para avaliar a colhedora Austoft 7700, em canaviais sem queima prévia, em uma área de 4,8 ha, plantada com a variedade CC 85-68 de 13,4 meses de idade e produtividade média de 211 $t.ha^{-1}$. A colhedora Austoft 7700 apresentou os seguintes dados de desempenho: eficiência de campo 51%, capacidade operacional de campo 37,0 $t.h^{-1}$, capacidade efetiva de campo 73 $t.h^{-1}$ e matéria estranha total em torno de 11,7%.

Ripoli et al. (1999) avaliaram o desempenho de colhedora em cana sem queima em função da velocidade de avanço. No ensaio a colhedora operou em quatro diferentes velocidades: 1,5; 3; 5 e 7 $km.h^{-1}$. Concluíram que a elevação da velocidade de deslocamento da colhedora provocou aumentos das capacidades efetiva bruta, operacional e efetiva líquida e a diminuição do consumo de combustível. Concluíram também que para esse trabalho tanto a eficácia de manipulação e as perdas de matéria-prima no campo não foram influenciadas.

Nery (2000) estudou o desempenho econômico e operacional de colhedora de cana crua e concluiu que houve aumento nas capacidades efetiva bruta e operacional, à medida que se elevou a velocidade de deslocamento da colhedora. O aumento da velocidade da colhedora aumentou o consumo de combustível por hora ($L.h^{-1}$), porém diminuiu o consumo de combustível por tonelada de cana colhida ($L.t^{-1}$) trazendo benefícios de ordem econômica. O aumento da velocidade não influenciou a qualidade tecnológica de matéria-prima colhida (eficácia de manipulação) nem provocou o aumento de quantidade de matéria estranha total (vegetal e mineral), mas aumentou a quantidade de perdas das velocidades acima de 5,0 $km.h^{-1}$(Tabela 6).

Tabela 6 - Desempenho operacional de uma colhedora de em quatro diferentes velocidades de deslocamento

Parâmetros	Velocidades de trabalho ($km.h^{-1}$)			
	1,34	2,66	5,27	7,68
Capacidade efetiva bruta ($t.h^{-1}$)	16,29	36,29	87.67	110,18
Eficácia de manipulação (%)	93	92	89	91
Capacidade efetiva líquida ($t.h^{-1}$)	15,18	33,61	79,01	100,34
Matéria-estranha vegetal (%)	8,42	10,88	7,19	8,40
Matéria-estranha mineral (%)	0,07	0,45	0,08	0,66
Perdas totais (%)	6,10	6,91	9,89	8,81
Consumo de combustível ($L.t^{-1}$)	2,92	1,25	0,69	0,61
Consumo de combustível ($L.h^{-1}$)	45,28	49,77	60,04	66,27

Fonte: Nery (2000), adaptada.

De Léon (2000) estudou duas colhedoras de cana, avaliando a interferência da velocidade de deslocamento nas capacidades efetiva bruta, líquida e operacional, nos índices de perdas e na qualidade de matéria-prima colhida. A avaliação foi realizada em colheita de cana crua da variedade RB 83-5089 com produtividade agrícola de matéria-prima de 176,3 $t.ha^{1}$ e 145,3 $t.ha^{-1}$ de produtividade agrícola de colmos. Com o aumento da velocidade variando de 1,7 a 8 $km.h^{-1}$, aumentou-se a capacidade operacional e efetiva das máquinas, a eficácia de manipulação manteve-se em níveis aceitáveis, as perdas totais e a matéria estranha vegetal diminuíram, mostrando que o aumento de velocidade trouxe ganhos operacionais. A conclusão foi de que em velocidades muito baixas de colheita pode-se inviabilizar o uso da máquina em termos de desempenho econômico. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Desempenho operacional de duas colhedoras de cana em quatro diferentes velocidades de deslocamento

Máquina A					
Velocidades ($km.h^{-1}$)	Capacidades efetivas brutas ($t.h^{-1}$)	Capacidades efetivas líquidas ($t.h^{-1}$)	Eficácias de manipulação (%)	Perdas totais de matéria-prima (%)	Matérias estranhas vegetal (%)
1,68	26,44	24,52	95	7,37	7,06
3,21	58,31	56,01	95	4,79	8,77
5,40	93,11	88,45	95	5,09	6,10
7,28	131,93	133,53	96	3,93	6,43
Máquina B					
Velocidade ($km.h^{-1}$)	Capacidades efetivas brutas ($t.h^{-1}$)	Capacidades efetivas líquidas ($t.h^{-1}$)	Eficácias de manipulação (%)	Perdas totais de matéria-prima (%)	Matérias estranhas vegetal (%)
1,70	30,64	26,3	86	14,13	7,8
3,37	54,61	49,61	91	8,66	6,83
5,40	102,08	94,51	93	7,43	5,16
8,01	141,26	124,55	94	5,55	7,84

Fonte: De Léon (2000), adaptada.

Carvalho Filho (2000), estudou o desempenho operacional e econômico da colheita mecanizada de cana sem queima prévia, e concluiu que a velocidade variável de deslocamento teve influência direta no estudo, assim como a eficiência do sistema de colheita. Nesse estudo, a colhedora trabalhando na velocidade de colheita de 5,4 $km.h^{-1}$ apresentou o melhor desempenho econômico, com menores perdas no campo e menor índice de matéria estranha. Velocidades e eficiências de campo baixas aumentaram os custos por tonelada de cana colhida.

Ripoli et al. (2001) estudaram o desempenho operacional e econômico de colhedoras Brastoft de cana crua em quatro velocidades de trabalho diferentes. Os resultados de eficácia de manipulação não apresentaram diferenças significativas mesmo com a variação de velocidade de trabalho. Maiores velocidades implicaram em maiores capacidades efetivas líquidas (Tabela 8).

Tabela 8 - Eficácia de manipulação e capacidade efetiva líquida em quatro diferentes velocidades de colheita

	Colhedora Brastoft			
Parâmetros	V1	V2	V3	V4
Eficácias de manipulação (%)	93	92	89	91
Capacidades efetivas líquidas ($t.h^{-1}$)	15,8	33,6	79	100

Fonte: Ripoli et al. (2001), 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 9). 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 9 - Médias das capacidades efetivas obtidas nas diferentes velocidades de trabalho para três colhedoras de cana

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	16,30	36,29	87,67	110,19	62,61

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

Mazzonetto (2004), estudando uma colhedora de cana Cameco CHT 2500 em canavial com produtividade agrícola de 121,4 $t.ha^{-1}$ e trabalhando a uma velocidade de 6,0 $km.h^{-1}$, obteve capacidade efetiva bruta de matéria-prima de 59,2 $t.h^{-1}$, capacidade efetiva líquida de matéria-prima de 56,47 $t.h^{-1}$ e capacidade efetiva líquida de colmos colhidos de 52,83 $t.h^{-1}$. Nessa avaliação, foram encontrados valores de eficácia de manipulação de 95,31%, perdas totais de 4,69% e matéria estranha vegetal de 6,3%, ou seja, dentro de limites aceitáveis.

Com relação à qualidade de corte e cisalhamento de rebolos, Fuelling (1982), em trabalho realizado na Austrália com colhedoras Toft, Massey Ferguson e Class, avaliou os critérios de qualidade dos rebolos colhidos pelas colhedoras de cana picada e determinou que para rebolos perfeitos que se encontravam dentro do tamanho padrão (25 cm a 35 cm), o índice de deterioração foi muito menor que nos rebolos danificados e pequenos (menores que 25 cm). Para o mesmo autor, o tamanho ótimo de comprimento dos rebolos fica em torno de 20 a 25 cm, pois pode diminuir a deterioração, a matéria estranha, as perdas e o custo com transportes. E rebolos macerados em ambas as extremidades podem contribuir para a deterioração mais rápida da matéria-prima.

Norris et al. (1998) avaliaram a qualidade de limpeza e corte de rebolos no protótipo Massey Ferguson 405 e na colhedora Austoft 7000 em diferentes velocidades de trabalho, sendo que o tamanho médio dos rebolos variou entre 0,25 a 0,3m (Tabela 10).

Tabela 10 - Ensaio comparativo entre o protótipo Massey Ferguson 405 e a colhedora Austoft 7000 avaliando os parâmetros matéria estranha mineral e total e índice de cisalhamento de rebolos

Colhedoras	Velocidades ($km.h^{-1}$)	Matérias estranhas mineral (%)	Matérias estranhas total (%)	Rebolos perfeitos (%)	Rebolos danificados 1 lado (%)	Rebolos danificados 2 lados (%)
Austoft 7000	3	2,1	6,4	41,8	32,5	25,7
	5	2,9	7,1	36,1	39,0	24,9
	7	2,7	7,1	32,4	44,1	23,5
Massey Ferguson 405	3	0,7	2,6	51,2	31,8	17,0
	5	2,1	4,6	45,8	36,1	18,2
	6,5	0,4	5,1	42,5	36,8	20,7

Fonte: Norris et al.(1998), adaptada

De Léon (2000), avaliou o comprimento médio de rebolos de duas colhedoras de cana e para ambas as máquinas nas quatro velocidades avaliadas, obteve porcentagem maior que 50% para o comprimento médio de rebolos de 20 a 25 cm, com

relação a cisalhamento de rebolos, todos os tratamentos obtiveram porcentagem maior de 72,5% de colmos perfeitos.

Mazzonetto (2004), em estudo realizado com colheita de cana crua, obteve colmos menores onde a maioria deles apresentou tamanhos entre 6 a 10 cm, os índices de cisalhamento de rebolos foi maior, sendo que apenas 60% do total estavam perfeitos.

3 MATERIAL

Os estudos e determinações de campo foram realizados entre os dias 22 a 27 de março de 2010, na Usina Clealco, localizada no município de Clementina, estado de São Paulo.

A localização da área do ensaio, segundo a Usina Clealco era denominada: Fundo Agrícola 238; Regional R1; Zona 230; Setor J8; Talhão 2, com declividade de 2,4% (Figura 5). A área experimental onde ocorreram os ensaios apresenta as seguintes coordenadas geográficas: latitude 21°13' 22,9" S, longitude 50°26'14,4" W.

A variedade colhida foi a RB 855453, sem queima prévia, de primeiro corte, no espaçamento de 1,5 m, cultivada em um latossolo vermelho. O porte do canavial foi determinado como ereto com produtividade agrícola estimada, pela usina,de 100 $t.ha^{-1}$. A colheita ocorreu sem queima prévia.

O micro relevo do terreno encontrava-se em condições adequadas para operação de colheita mecânica e o paralelismo entre fileiras de plantio estava dentro do limite desejável.

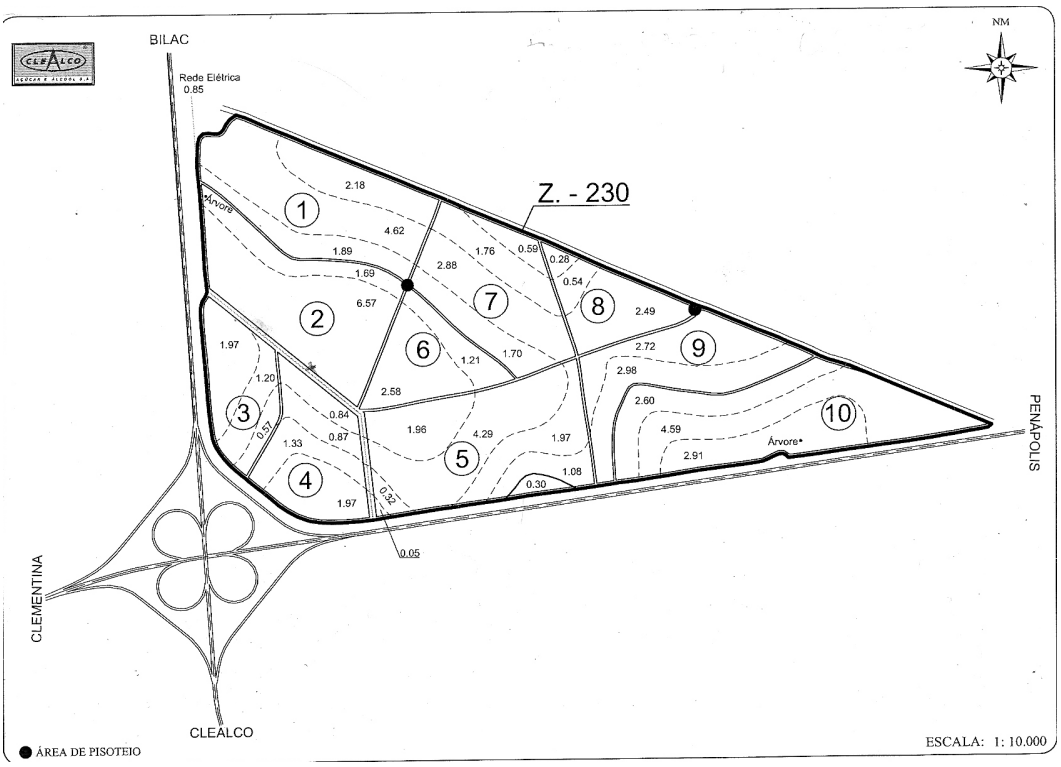


Figura 5 - Mapa da área de ensaios (talhão 2)

3.1 Máquinas utilizadas

As colhedoras avaliadas no ensaio foram John Deere 3520, Santal Tandem II e Case 8800 (Figuras 6, 7 e 8 respectivamente). A Tabela 11 mostra um comparativo entre as principais características construtivas das máquinas utilizadas.

Para evitar, ao máximo possíveis diferenças de manejo e operação das máquinas dentro do canavial para todas as colhedoras de cana, foi utilizado o mesmo operador.

Figura 6 - Máquina John Deere em colheita de uma das repetições

Figura 7 -Máquina Santal em colheita de uma das repetições

Figura 8 - Máquina Case em colheita de uma das repetições

Tabela 11 - Comparativo entre as características de cada uma das colhedoras utilizadas no ensaio

Máquinas	John Deere (M1)	Santal (M2)	Case (M3)
Anos de fabricação	2010	2007	2009
Modelos	3520	Tandem	8800
Horímetros (h)	946	748	1201
Rodados	esteira	pneu	esteira
No. Facas/ discos	5	5	5
No. Facas/picador	8	6	8
No. Exaustores	2	2	2
Rotações trabalho do exaustor 1º (rpm)	1000	1000	1000
Potências (cv)@rpm	350@2100	330@2100	358@2100
Pesos em ordem de marcha (t)	19	18	19
Bitolas (m) – dianteira / traseira	1,90	1,94 / 2,05	1,90
Distancias entre eixos (m)	3,00	3,39	3,04
Larguras externa face a face (m)	2,40	2,40	2,40
Larguras interna face a face (m)	1,70	1,70	1,70
Larguras ext. pneu traseiro ou esteira (m)	2,35	2,50	2,40
Larguras int. pneu traseiro (m)	1,45	1,49	1,45
Larguras boca de entrada (m)	1,00	0,97	1,00
Diâmetro dos discos corte de base (m)	0,60	0,57	0,57

3.1.2 Equipamentos e Instrumentos de campo

- 03 transbordos
- 01 carreta com três unidades;
- 01 carregadora de cana
- 01 caminhão oficina
- 04 balanças de plataforma com células de carga. Capacidade máxima de leitura individual 4 t e fundo de escala de 2 kgf
- 01 balança de plataforma com células de carga. Capacidade máxima de leitura 4 t e fundo de escala de 0,1 kgf.
- Célula de carga marca Kyowa, capacidade máxima de leitura de 2.000 kgf e fundo de escala de 0,1kgf.
- Fluxômetro marca Oval, modelo LSF41 com capacidade máxima de leitura 100 $L.h^{-1}$, fundo de escala de 1 mL por pulso;
- Sistema de aquisição de dados, modelo CR10X, marca Campbell de 10 canais.
- Cronômetro digital, marca Casio, capacidade de leitura de 0,1 s.

Outros:
- 04 unidades para sub-amostragens (tambores metálicos com correntes).
- Tripé de ferro para suporte da célula de carga.
- trenas flexíveis.
- compasso de madeira de abertura máxima de 2 m.
- facões, cordas, estacas, lonas plásticas e sacos plásticos de diversos tipos e tamanhos, ganchos de ferro, cordas, fita crepe, latas de alumínio com tampas, encerados de plástico, cinco baterias 12 v.

3.1.3 Instrumentos de laboratório

Da Usina Clealco:
- balanças de precisão,
- triturador
- mufla,
- cadinhos.

Da ESALQ-USP:
- Microcomputadores com programas de planilha eletrônica; específico para conversão de dados do CR10 e estatístico SAS.
- Balança Metler, capacidade de leitura de 4,9 kg e fundo de escala de 0,001 g., estufa marca Tecnal, estufa marca FANEN,
- Peneiras padrão para análise granulométrica de solo, mufla, peneiras granulométricas

3.2 Métodos

3.2.1 Tratamentos e critérios de amostragens

As determinações de campo foram efetuadas com base na metodologia proposta por Ripoli e Ripoli (2009).

Para o trabalho foi determinado o uso de duas velocidades de deslocamento da colhedora sendo a velocidade 1 (V1) a padrão utilizada pela usina de 5,0 $km.h^{-1}$ e a velocidade 2 (V2) de 7,0 $km.h^{-1}$. Os tratamentos efetuados foram:

M1V1 = Colhedora John Deere na velocidade efetiva de colheita 1 (padrão) e rotação do exaustor à 1000 rpm

M1V2 = Colhedora John Deere na velocidade efetiva de colheita 2 (acima do padrão) e rotação do exaustor à 1000 rpm

M2V1 = Colhedora Santal, modelo Tandem na velocidade efetiva de colheita 1 (padrão) e rotação do exaustor à 1000 rpm.
M2V2 = Colhedora Santal, modelo Tandem na velocidade efetiva de colheita 2 (acima do padrão) e rotação do exaustor à 1000 rpm
M3V1 = Colhedora Case, modelo 8800 na velocidade efetiva de colheita 1 (padrão) e rotação do exaustor à 1000 rpm
M3V2 = Colhedora Case, modelo 8800 na velocidade efetiva de colheita 2 (acima do padrão) e rotação do exaustor à 1000 rpm

Os tratamentos receberam um número de 5 repetições para as máquinas M1 e M2, porém o número de repetições da máquina M3 foi diferenciado, motivados por problemas de chuva e outros fatores incontroláveis no campo conforme a Tabela 12.

Tabela 12 - Tratamentos e número de repetições

Tratamentos	Número de repetições
M1V1	5
M1V2	5
M2V1	5
M2V2	5
M3V1	6
M3V2	4
Total de repetições	30

3.2.3 Caracterização da área

3.2.3.1 Determinação da área amostral

A área correspondente às repetições foi obtida com fileiras de 150 m de comprimento de colheita, depois de eliminadas as bordaduras de 25 m, no talhão, ou seja, essa área estava suficientemente afastada dos carreadores, a fim de se buscar menor variabilidade espacial das fileiras de plantio (Figura 9).

Figura 9 - Área delimitada para as avaliações de campo

3.2.3.2 Porte do canavial

O porte do canavial diz respeito à posição relativa e a quantidade em que os colmos se apresentam em relação ao terreno (eretos, acamados ou deitados). Para o presente trabalho foi utilizado o método proposto por Ripoli et al. (1996) no qual se utiliza uma estrutura triangular para avaliação do porte do canavial (Figura 10).

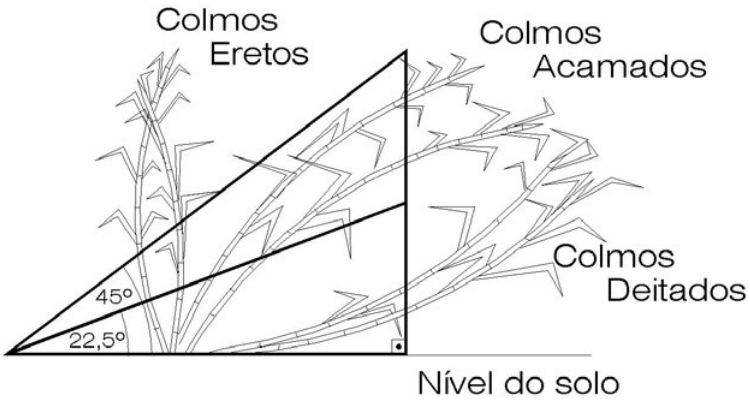


Figura 10 - Critério para determinação do porte do canavial por meio de triangulo retângulo (adaptado de Ripoli et al, 1996)

Na avaliação do canavial onde foi realizado o estudo, foram tomadas 12 áreas ao acaso nos quais se posicionou o gabarito com formato de triangulo retângulo. O canavial foi definido como ereto com 100% dos colmos do canavial acima do angulo de 45^0 (Figura 11).

Figura 11 - Porte do canavial definido como ereto

3.2.3.4 Umidade do solo, granulometria e classe textural do solo

Quanto maior for a umidade do solo por ocasião do carregamento ou da colheita mecânica, maior será a probabilidade de arraste desse material juntamente com a matéria-prima, aumentando, assim, a quantidade de matéria estranha mineral (RIPOLI E RIPOLI, 2009).

Para as determinações de umidade do solo foram realizadas, ao acaso, 10 amostras de solo abrangendo a profundidade de 0 a 10 cm, o mais próximo possível da fileira de plantio e logo após a passagem da máquina. Utilizou-se o método de determinação gravimétrico padrão, com base na massa de solo seco em estufa à temperatura de 105 a 110º C, até se obter a massa constante das amostras.

Utilizaram-se as mesmas amostras de solo utilizadas para determinação da umidade do solo para essas determinações. Partindo-se de uma amostra composta

originada da mistura e homogeneização das amostras originais para a obtenção da fração argila, conforme metodologia de Steel & Bradfield (1934). A obtenção da fração areia ocorreu por peneiramento úmido (peneira 270, diâmetro de 0,053 mm) e a seguir fracionada por peneiramento a seco. Com base nos dados obtidos determinou-se a classe textural do solo, conforme recomenda Medina (1953), utilizando-se do diagrama triangular do *Soil Survey Staff*.

3.2.3.5 Grau de maturação da cultura

O canavial colhido no ensaio foi de primeiro corte e seu grau de maturação foi determinado pelo laboratório de análises da Usina Clealco, segundo critérios propostos por Stupiello et. al. (1971).

3.2.4 Desempenho operacional de colhedoras

Para cada uma das máquinas realizou-se dois ensaios correspondentes a duas velocidades de deslocamento pré-estabelecidas, com 5 repetições em cada nível de velocidade, totalizando 10 determinações por máquina. Assim, os ensaios para as três máquinas totalizaram 30 conjuntos de procedimentos de avaliação de desempenho de campo. As velocidades de referência foram: V1 = 5,0 $km.h^{-1}$ e V2 = 7,0 $km.h^{-1}$

Os ajustes desses 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.

3.2.4.1 Mensuração da velocidade operacional[

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 (Figura 12). Para esta variável, não foram efetuadas amostragens, mas obtidos os valores efetivamente ocorridos, de cada repetição.

Figura 12 - Aferição da distância exata de cada uma das repetições com uso do compasso de madeira

3.2.4.2 Determinação de perdas visíveis de matéria-prima 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 3 sub-amostras de 10 m x 4,5 m (múltiplo do espaçamento de 1,5 m), ou seja 45 m^2, deixando-as livre de material remanescente da ação anterior da colhedora (Figura 13). Após a passagem da colhedora na fileira de 150 metros, o material remanescente além dos restos de colmos das soqueiras das 03 sub-amostras foi recolhido e ensacado (Figuras 14 e 15) e pesado (Figura 16), separadamente, por tipo, sendo eles: perdas de rebolos inteiros, pedaços de rebolos, colmos ou suas frações

(maiores que 30 cm) e frações de colmo na soqueira (toco soca). Para a análise estatística destes constituintes utilizou-se a somatória das 3 sub-amostras.

Figura 13 - Demarcação e limpeza das áreas de sub amostras de perdas de matéria-prima antes de cada repetições

Figura 14 - Recolhimento e ensacamento de perdas remanescente no campo na área amostral após a passagem da colhedora para cada repetição

Figura 15 - Separação e ensacamento de perdas remanescente após a colheita para posterior pesagem das sub-amostras

Figura 16 - Área de trabalho para determinações ponderais

3.2.4.3 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 L 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 (Figura 17).

Figura 17 - Tambores para 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 ensacado, pesado e encaminhado ao laboratório de análises tecnológicas da Usina Clealco. No laboratório, efetuaram-se as determinações de porcentagem de rebolos, de matéria estranha mineral e matéria estranha vegetal que foi separada em: ponteiros, folhas, palhas e total (somatória de todas as porções), conforme Figura 18.

Figura 18 - 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

3.2.4.4 Determinação de freqüência, índice de cisalhamento e comprimento de rebolos

Do outro tambor retirado de dentro do transbordo, coletou-se aleatoriamente 50 rebolos, nos quais foram medidos seus comprimentos, para obtenção da freqüência de distribuição de tamanho, bem como procedeu-se a análise da qualidade do cisalhamento dos mesmos sendo perfeito quando não houvesse cisalhamento em ambas extremidades, perfeito em uma extremidade quando somente um dos lados apresentasse cisalhamento e imperfeito quando em ambas as extremidades apresentasse cisalhamento, conforme a Figura 19.

Figura 19 - Determinação de índice de cisalhamento e freqüência no tamanho de rebolos

3.2.4.5 - Determinação da quantidade de matéria-prima colhida para cada repetição, ou produtividade agrícola de matéria-prima colhida

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 (Figuras 20, 21 e 22).

Figura 20 - Transbordo sobre as células de carga para mensuração da quantidade de matéria-prima colhida

Figura 21 - Basculamento da quantidade de matéria-prima colhida de um transbordo para outra unidade com as células de carga (estação de trabalho) para mensuração da quantidade total de cana colhida por repetição

Figura 22 - Displays utilizados nos diferentes tipos de pesagem

Para evitar erros na pesagem devido a transferências de peso do transbordo para o trator, foram usadas cinco células de carga sendo que quatro delas foram colocadas sobre os quatro pneus de apoio do transbordo (Figura 20) e uma quinta célula de carga no cabeçalho de acoplamento do transbordo ao trator (Figura 23 e 24). Para a avaliação do peso exato da carga colhida, ao valor anotado na balança de pesagem do transbordo (5 células de carga) 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 23 - Células de carga para pesagem do apoio do cabeçalho do transbordo para evitar erros de transferência de carga entre o transbordo e o trator

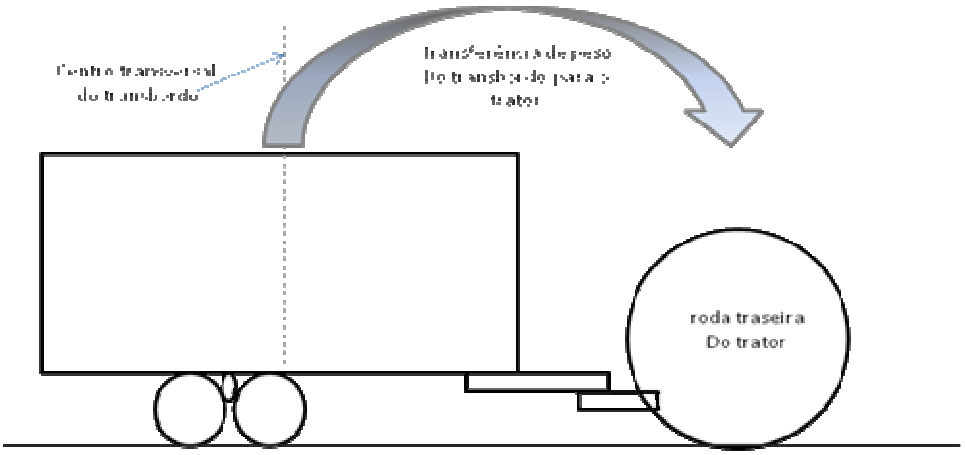


Figura 24 - Esquema teórico de transferência de peso

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 folhas, pontas, palha e colmos) pode-se mensurar a porcentagem de colmos colhidos e conseqüentemente a produtividade agrícola de colmos ($t.ha^{-1}$), ou seja, a quantidade de colmos colhidos por unidade de área.

3.2.4.6 Capacidade de Colheita

Desempenho operacional de colhedoras e, em particular, de colhedoras de cana-de-açúcar, segundo, ASAE (1983); Furlani Neto et al. (1977); Mialhe (1974); Mialhe & Ripoli (1976); Witney (1988), que tratam do assunto, é entendido como o conjunto de atributos que caracterizam o grau de habilitação da máquina para execução da operação de colheita, sob determinadas condições operacionais.

Capacidade de colheita tem sido entendida como a quantidade de trabalho que um conjunto de máquinas (ou sistema mecanizado) ou uma colhedora isoladamente, é capaz de executar na unidade de tempo. Segundo Ripoli & Ripoli (2009), o aspecto capacidade de máquinas colhedoras de cana-de-açúcar, fica convenientemente caracterizado por meio dos seguintes parâmetros:

- Capacidade Teórica
- Capacidades Efetivas: Líquida (ou Calculada) e Bruta
- Capacidade Operacional

Para o presente estudo foram consideradas somente as capacidades de campo efetivas, pois o trabalho busca avaliar a interação entre máquina e campo e não analisar demais variáveis que influenciam nas capacidades operacionais como, por exemplo, logística de carregamento e transporte de cana do canavial à usina.

3.2.4.6.1 Capacidade Efetiva – CE

Ripoli (1996) considera como capacidade efetiva, a relação entre uma área (ou uma produção) obtida e o tempo efetivo decorrido na execução de determinada operação mecanizada. O tempo efetivo não leva em conta os tempos consumidos em: manobras de cabeceiras, interrupções para reabastecimento e manutenção, para regulagens, desembuchamentos e, ainda, descanso e refeições de operadores. Revela a máxima quantidade de trabalho que uma máquina é capaz de desenvolver, sob uma dada condição da cultura, num certo intervalo de tempo contínuo, durante o qual seus órgãos ativos receberam um fluxo, relativamente, uniforme de produto.

A velocidade efetiva de deslocamento (V_e) é a máxima velocidade que as máquinas conseguem desenvolver numa dada condição de campo ou a velocidade estabelecida para ensaios e ou pelas usinas para colheita. Sua magnitude é determinada por duas categorias de fatores:

1. Fatores da máquina (capacidade dos órgãos ativos, capacidade teórica); características de torque e potência do motor; características das transmissões; aptidão do rodado para desenvolver tração (para autopropulsão) e da suspensão para trafegabilidade; posição do centro de gravidade, distância entre eixos e bitola, garantindo condição de estabilidade.

2. Fatores de campo (condições de trafegabilidade do terreno, em relação ao micro relevo superficial e obstáculos, ou seja, quanto melhor a sistematização do

talhão, melhores serão as condições para a máquina desempenhar sua atividade); características de relevo, em relação a declividade das rampas; condições de solo, em termos de resistência do recalque e cisalhamento; condições da cultura, em termos de resistência oferecida ao avanço da máquina.

Para o presente ensaio as velocidades de deslocamento foram pré-estabelecida em 5 km.h^{-1} (V1) velocidade ideal de colheita determinada pela usina, e 7,0 km.h^{-1} (V2) velocidade máxima de deslocamento permitido pela usina. Sendo assim a capacidade efetiva será avaliada para as duas velocidades definidas para o ensaio.

3.2.4.6.2 Capacidade Efetiva Líquida ou Calculada[1] - CE_l

A Capacidade Efetiva Líquida ou Calculada pode ser obtida por cálculos tendo como base o parâmetro qualitativo denominado Eficácia de Manipulação**,** que é calculada pela seguinte equação:

$$CE_l\,(kg.s^{-1}) = \frac{D_f\,(kg.m^{-1}).N_e.V_{ens}\,(m.s^{-1}).EM\,(\%)}{100} \qquad (1.)$$

$$CE_l\,(t.h^{-1}) = CE_l\,(kg.s^{-1}).3{,}6 \qquad (2.)$$

sendo:

D_f = massa média de colmos na fileira por metro;

N_e = número de fileiras por eito colhido pela máquina;

V_{ens} = velocidade da máquina, na parcela padrão, durante o ensaio;

EM = Eficácia de Manipulação (% de matéria-prima industrializável, disponível na parcela padrão, que a colhedora foi capaz de recolher e processar, durante o ensaio).

---

[1] Capacidade Efetiva Liquida = trata-se de parâmetro similar ao que Witney (1988) designa como *commodity throughput capacity.*

3.2.4.6.3 Capacidade Efetiva Bruta[2] - CE_b

A Capacidade Efetiva Bruta ocorre quando se considera diretamente a quantidade de material liberado no veículo de transporte, sem levar em conta as perdas no campo e a matéria estranha contida na carga recolhida, e pode ser calculada através da equação:

$$CE_l(kg.s^{-1}) = \frac{W_e(kg)}{T_e(s)} \tag{3.}$$

$$CE_l(t.h^{-1}) = CE_l(kg.s^{-1}).3{,}6 \tag{4.}$$

sendo:

W_e = massa de produto colhida, lançada no veículo de transporte, durante o ensaio

Te = tempo cronometrado de ensaio, durante o qual recolheu-se a massa W_e.

3.2.4.7 Eficácia de Manipulação

Segundo Ripoli e Ripoli (2009), a Eficácia de Manipulação de colhedoras de cana (EM%) vem a ser a relação entre a quantidade (Tc) de rebolos de colmos colocados na unidade de transporte e a quantidade (TC) de colmos existentes na fileira de plantio, *in natura*, ou seja:

$$EM_t(\%) = \left(\frac{Tc}{TC}\right).100 \tag{5.}$$

[2] Capacidade Efetiva bruta = equivalente ao que Witney (1988) designa como *spot rate of work.*

Para colhedoras de cana, a quantidade de colmos industrializáveis (na forma de rebolos) depositada no veículo de transporte (Tc) é função, também das perdas ocorridas (P_c), de maneira que:

$$Tc = TC - P_c \tag{6.}$$

Substituindo-se nas equações (6.) em (5.) e efetuando-se as simplificações, obtem-se:

$$EM\,(\%) = \left(1 - \frac{P_c}{TC}\right).100 \tag{7.}$$

3.2.4.8. Índices de matéria estranha na matéria-prima.

Segundo Ripoli e Ripoli (2009), esse índice é representado pelo teor de matéria estranha que acompanha a matéria-prima industrializável recolhida no veículo de transporte ou de transbordo. Em ensaios de colhedoras de cana, freqüentemente utilizam-se de um parâmetro denominado Índice de Matéria Estranha, de Índice de *Impurezas*[3], e que pode ser subdividido em:

IM = Índice de matéria estranha mineral

IV = Índice de matéria estranha vegetal (somatória dos índices de ponteiros, índice de folhas e palhas e índice de raízes)

IT = Índice de matéria estranha total (somatória das anteriores)

---

[3] O termo "impurezas" está mais relacionado com aspectos tecnológicos da matéria-prima, tais como, a presença de cinzas e outros compostos químicos do caldo processado na indústria. Diz respeito à "pureza", conforme Stupiello et al. (1971)

- **Índice de Ponteiros - IP (%)**

O Índice de Ponteiros – IP (%) é uma razão entre a soma da quantidade (kgf) de ponteiros livres na carga (PL) e a quantidade de ponteiros (ou suas frações) aderidos aos rebolos ou colmos (PA) e a quantidade C (kgf) correspondente a matéria-prima, na unidade de transporte. Essa matéria-prima é constituída de colmos (inteiros, fracionados, rachados ou em rebolos) industrializáveis e de matérias estranhas diversas calculadas por:

$$IP\ (\%) = (PL + PA / C).100 \qquad (8.)$$

- **Índice de Folhas e Palhas – IF (%)**

O Índice de Folhas e Palhas – IF (%) vem a ser a relação entre a quantidade de folhas e palhas (Tf) e a quantidade C (kgf) de matéria-prima na unidade de transporte, ou seja:

$$IF(\%) = \left(\frac{Tf}{C}\right).100 \qquad (9.)$$

- **Índice de Raízes – IR (%)**

O IR (%) expressa, em percentagem, a massa de raízes – IR (%), contida na carga C. E obtido por:

$$IR(\%) = \left(\frac{R}{C}\right).100 \qquad (10)$$

- **Índice de Matéria Estranha Vegetal – IV (%)**

Quantidade total em peso de matéria estranha vegetal que acompanha os colmos ou rebolos industrializáveis, na unidade de transporte, constituídos de ponteiros, palhas, raízes, expressa por:

IV (%) = IP (%) + IF (%) + IR (%) (11.)

- **Índice de matéria Estranha Mineral – IM (%)**

O Índice de Matéria Estranha Mineral é a relação entre a quantidade t (kg) de terra que acompanhou a matéria-prima C (kg), na unidade de transporte, ou seja:

$$IM\,(\%) = \left(\frac{t}{C}\right).100 \qquad (12.)$$

- **Índice de Matéria Estranha Total – IT (%)**

O Índice de Matéria Estranha Total (IT%), é a soma do Índice de Matéria Estranha Vegetal - IV (%) com o índice de Matéria Estranha Mineral IM (%), calculado pela equação:

IT (%) = IV (%) + IM (%) (13.)

Representa o total de material que não deveria ter sido carregado e transportado juntamente com os colmos ou rebolos industrializáveis.

3.2.4.9 Consumo de combustível

O consumo de combustível das colhedoras é um dos principais itens formadores do custo operacional da máquina e, constitui um indicativo da eficiência do processo de conversão de energia do sistema mecanizado utilizado, na operação de colheita. A mensuração do consumo foi realizada utilizando-se fluxômetro marca Oval modelo LSF41 com capacidade máxima de leitura 100 $L.h^{-1}$, fundo de escala de 1 mL por pulso ligado em um sistema de aquisição de dados, modelo CR10X, marca Campbell de 10 canais para registro eletrônico das informações que permitiu o controle e mensuração, em tempo real.

Para as avaliações de consumo, foram calculados o consumo de combustível por hectare ($L.ha^{-1}$), litros de combustível por hora ($L.h^{-1}$), litros na capacidade efetiva bruta de matéria-prima ($L.t^{-1}$), litros na capacidade efetiva bruta de colmos ($L.t^{-1}$) e litros na capacidade efetiva líquida de colmos ($L.t^{-1}$).

3.2.4.10 Delineamento Estatístico

O delineamento estatístico utilizado foi o de parcelas subdivididas em esquema fatorial 3X2, sendo três máquinas com duas velocidades de deslocamento e cinco repetições para cada velocidade, totalizando 10 determinações para cada variável analisada. A análise estatística foi efetuada pelo sistema de análise estatística SAS onde aplicou-se o teste F, ao nível de significância de 5% de probabilidade, para verificar se as médias apresentam diferenças significativas. Onde houve diferença entre as médias, aplicou-se o teste Tukey para as comparações de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Umidade e granulometria do solo

Com base nas amostragens de solo efetuadas a Figura 25 apresenta os resultados obtidos e seus respectivos coeficientes de variação (CV) e desvios padrão (DP).

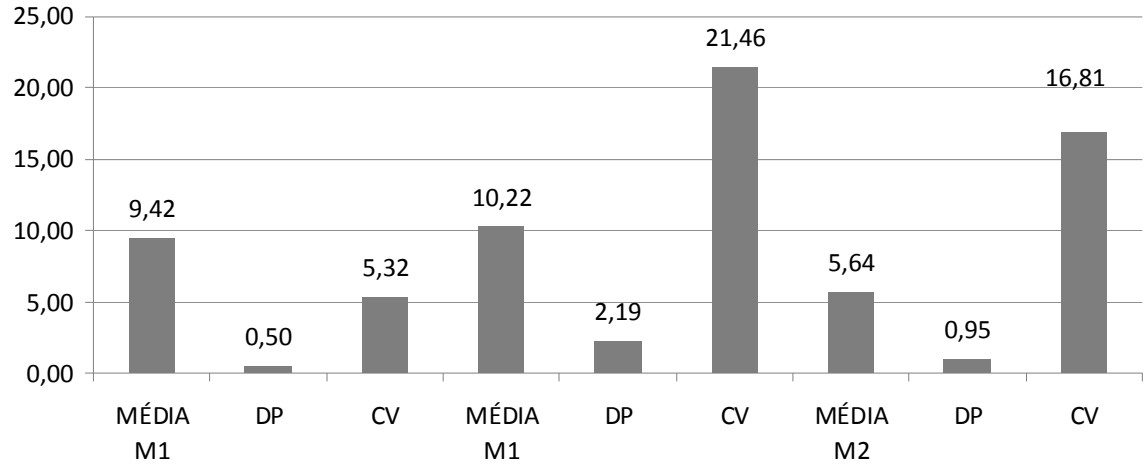


Figura 25 - Médias das umidades do solo para os tratamentos 1 e 2 das colhedoras avaliada.

Observa-se que entre todos os tratamentos a umidade do solo variou, apenas de 5,64 a 10,22%, o que mostra que os ensaios foram efetuados dentro das condições aceitáveis de campo, permitindo afirmar que essas umidades não influenciaram na porcentagem de terra arrastada na matéria-prima, nos diferentes tratamentos. Sendo assim, os valores obtidos para a variável matéria estranha mineral sofreram efeitos da operação e da condição do micro-relevo do talhão, sem influência da umidade do solo. Os resultados de desvio padrão e de coeficiente de variação das amostras, também se encontram dentro de variações aceitáveis.

Quanto a granulometria, as determinações laboratoriais foram as seguintes: 9,98% de argila, 13,4% de silte e 76,62% de areia podendo-se afirmar que o solo é arenoso.

4.2 Velocidade efetiva de deslocamento (km.h^{-1})

As médias das repetições das velocidades efetivas de deslocamento (km.h^{-1}) para cada máquina nos dois tratamentos são apresentadas nas Figuras 26 e 27. 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. Mesmo sendo pré-estabelecida a velocidade para cada um dos tratamentos em 5,0 e 7,0 km.h^{-1}, houve para ambos os tratamentos uma pequena variação da velocidade efetiva entre as máquinas. No tratamento 1 (Figura 26) não houve diferença estatística a 5% de significância entre as velocidades de deslocamento das colhedoras, no entanto para o tratamento 2 (Figura 27) a colhedora John Deere apresentou velocidade efetiva um pouco acima, o que representou diferença estatística a 5% de significância quando comparada com a velocidade de deslocamento das demais colhedoras avaliadas (Tabela 1 e 2 - apêndice).

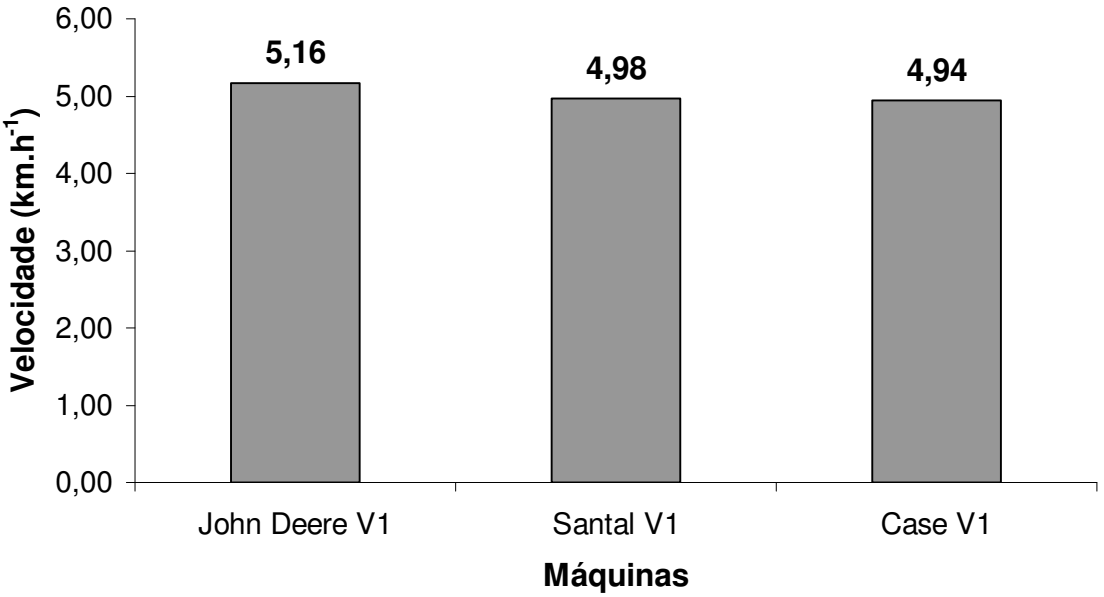


Figura 26 - Médias das velocidades efetivas de deslocamento obtidas nos ensaios para o tratamento 1 (V1 = 5,0 km.h^{-1})

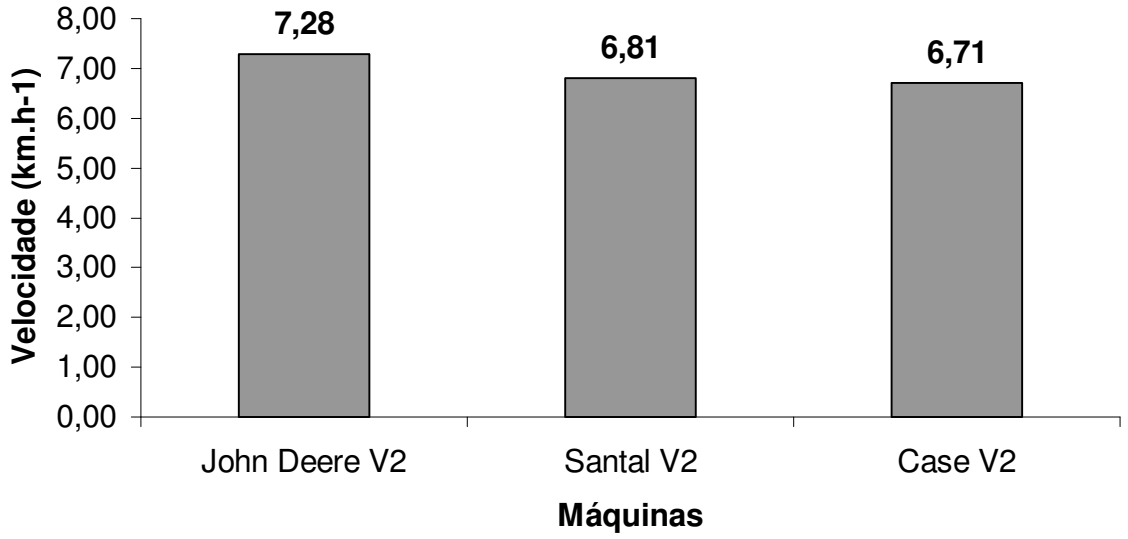


Figura 27 - Médias das velocidades efetivas de deslocamento obtidas nos ensaios para o tratamento 2 (V2 = 7,0 km.h^{-1})

4.3 Produtividade agrícola (t.ha^{-1})

A Figura 28 apresenta a variabilidade espacial da produtividade agrícola nas 50 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 canavial. Essa variabilidade, segundo Ripoli (2010), está diretamente relacionada com o número de colmos industrializáveis, porte do canavial (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.

O talhão onde foram realizadas as determinações foi selecionado pela usina que o considerou como o melhor canavial para colheita mecânica.

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.

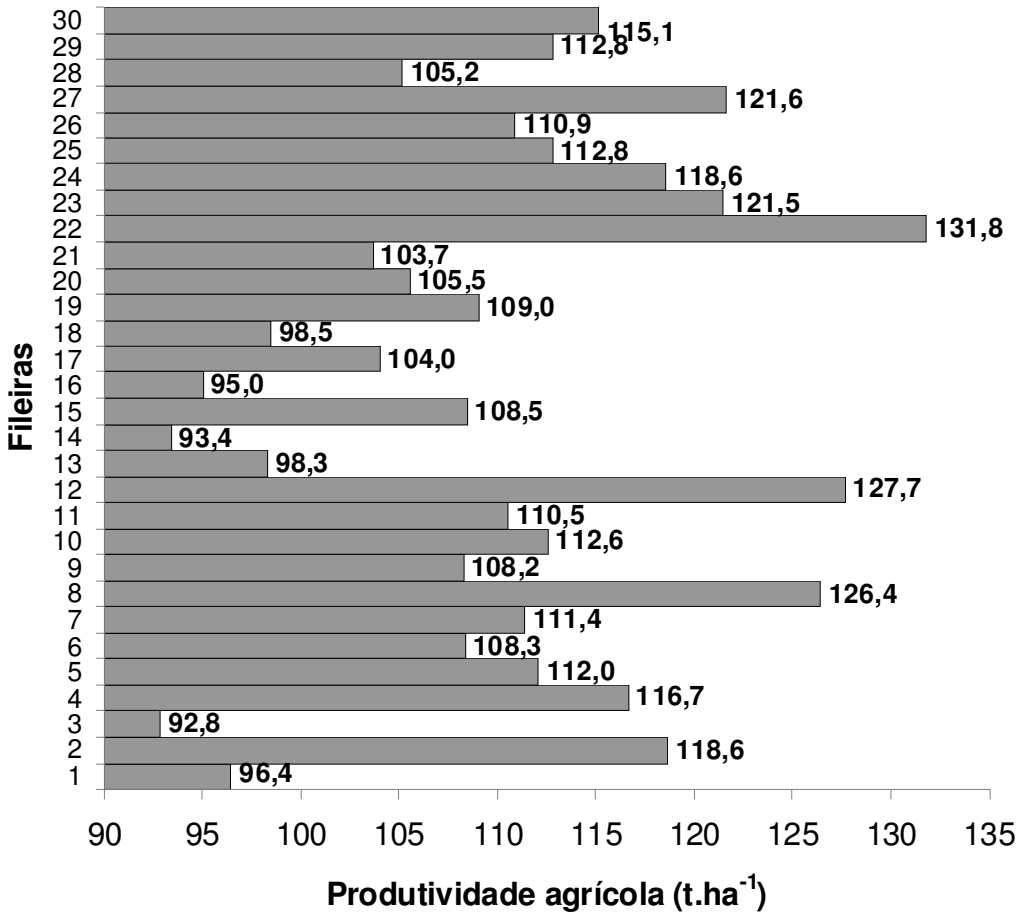


Figura 28 - Variabilidade espacial da produtividade agrícola ($t.ha^{-1}$) de colmos entre todas as repetições efetuadas

4.3 Colmos colhidos (%)

A porcentagem de colmos colhidos para as três máquinas nos dois tratamentos (V1 e V2) são apresentados nas Figuras 29 e 30, respectivamente. As médias das repetições não apresentaram, entre as colhedoras e nem entre os tratamentos,

diferenças estatísticas significativas a 5% de significância, ou seja, obtiveram resultados iguais estatisticamente, mostrando que a velocidade de deslocamento e os fatores referentes à colhedora não influenciaram na porcentagem de colmos colhidos. Porém quando avaliadas as médias de cada máquina considerando-se os dois tratamentos, a colhedora Santal apresentou diferença estatística (a 5% de significância) com relação às demais colhedoras apresentando o maior índice de colmos colhidos (Tabela 3 e 4 – apêndice).

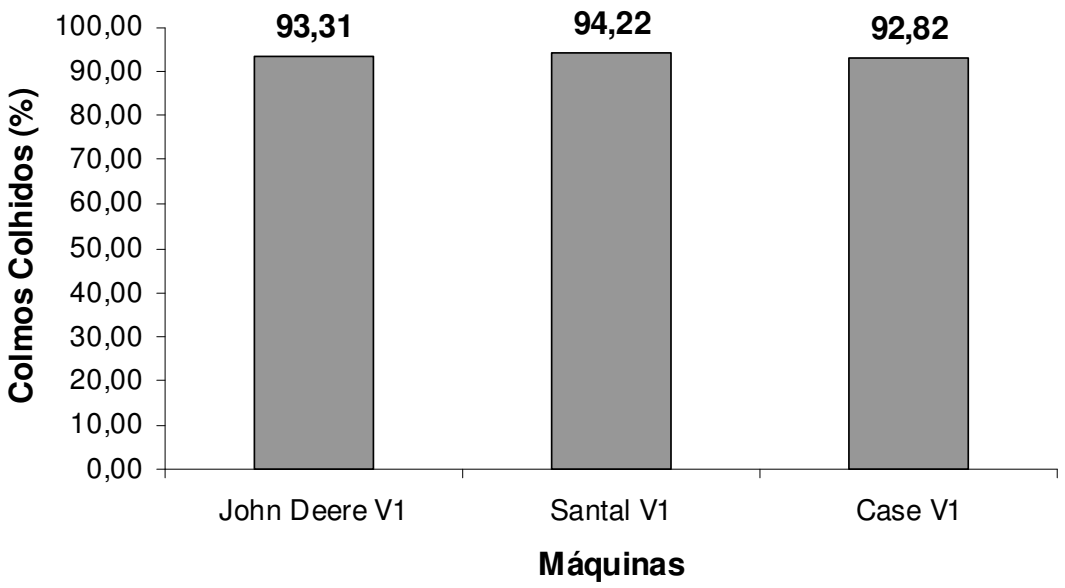


Figura 29 - Médias das repetições para a porcentagem de colmos colhidos para as três máquinas avaliadas no tratamento 1 ($V = 5{,}0 km.h^{-1}$)

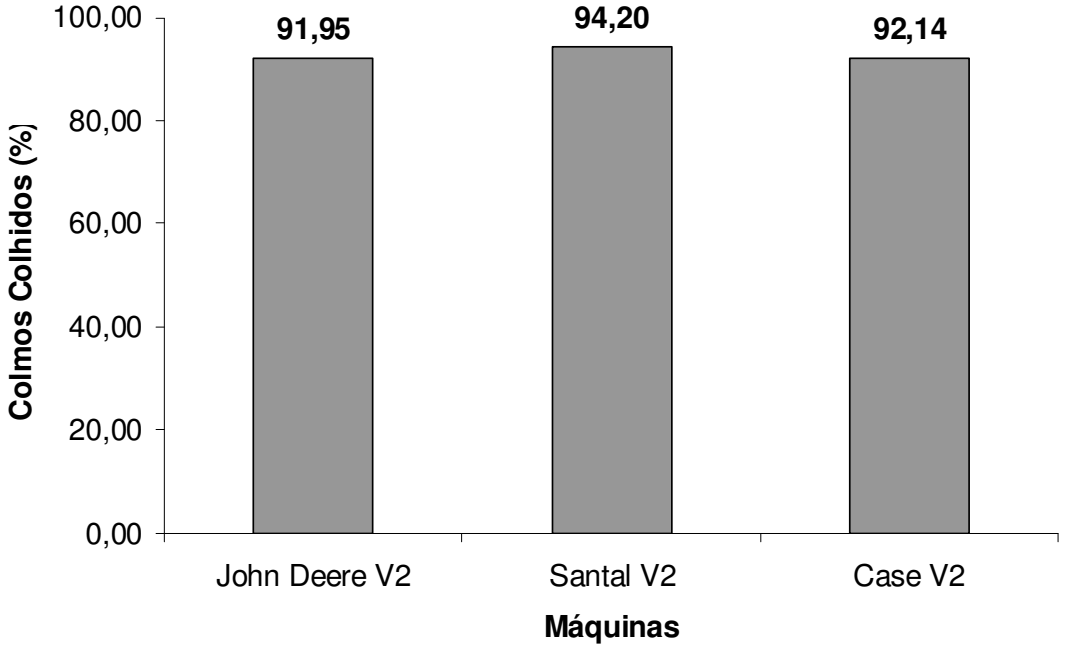


Figura 30 - Médias das repetições para a porcentagem de colmos colhidos para as três máquinas avaliadas no tratamento 2 (V = 7,0 km.h^{-1})

4.4 Eficácia de manipulação (%)

As Figuras 31 e 32 apresentam os resultados obtidos em eficácia de manipulação (Tabela 5 e 6 - apêndice) para cada uma das colhedoras, em cada um dos tratamentos. Para essa variável não houve diferença estatística a 5% de significância entre os tratamentos e entre as máquinas, sendo que os resultados obtidos nesse ensaio são considerados aceitáveis (> 95%).

Os resultados encontrados foram semelhantes aos encontrados por Mialhe & Carraro Neto (1993) de 96,7 e 96,8%, Cenicaña (1997) de 96,35%, por De Léon (2000) entre 93 e 96% e Mazzonetto (2004) entre 87 e 97%.

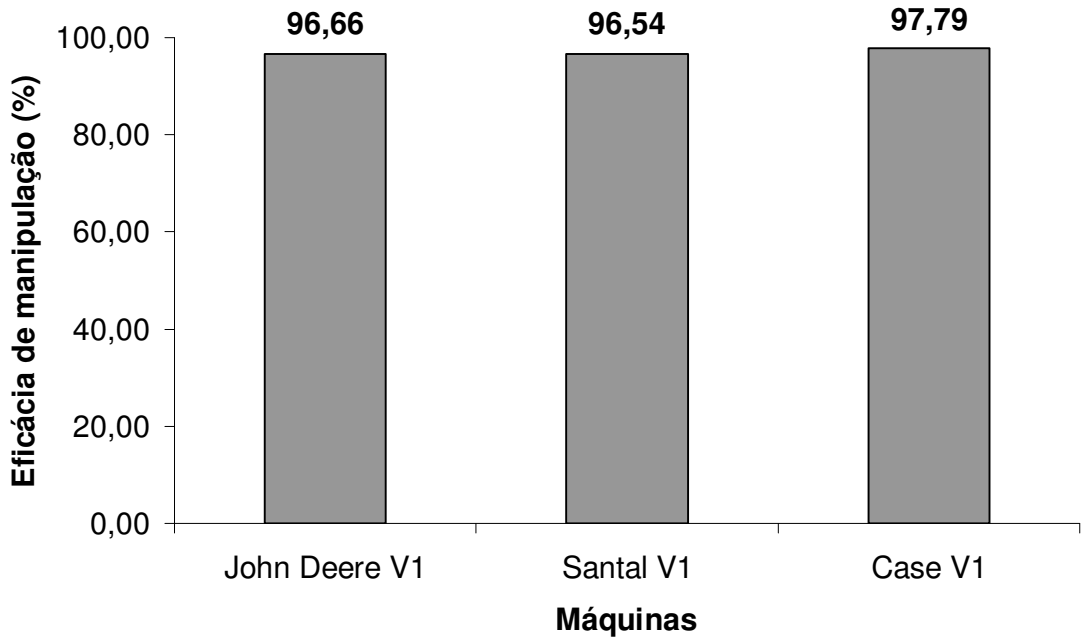


Figura 31 - Médias das repetições para a eficácia de manipulação para as três máquinas avaliadas no tratamento 1 (V = 5,0 km.h^{-1})

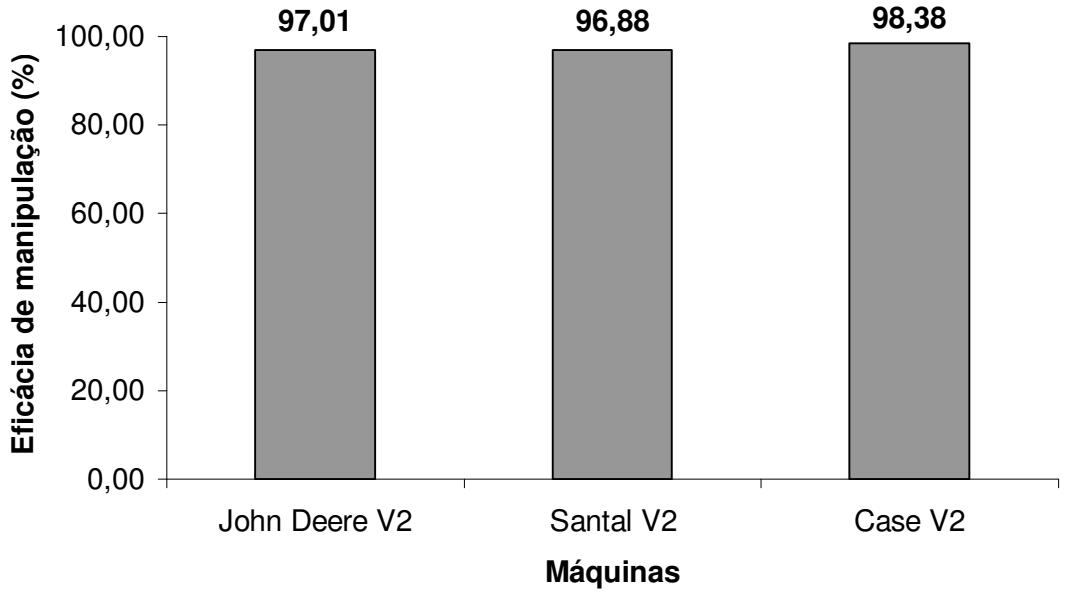


Figura 32 - Médias das repetições para a eficácia de manipulação para as três máquinas avaliadas no tratamento 2 (V = 7,0 km.h^{-1})

4.5 Capacidade efetiva (ha.h^{-1})

Os resultados encontrados para capacidade efetiva de colheita para as três máquinas nos dois tratamentos são apresentados nas Figuras 33 e 34. Para o tratamento 1 não houve diferença estatística a 5% de significância para as máquinas ensaiadas. No entanto, para o tratamento 2, a colhedora John Deere apresentou diferença estatística a 5% de significância quando comparada às demais colhedoras, apresentando capacidade efetiva maior (Tabela 7 e 8 - apêndice). Assim como a variável velocidade de deslocamento para o tratamento 2 foi maior para a colhedora John Deere e diferiu estatisticamente das demais, a capacidade efetiva obteve o mesmo comportamento, mostrando que a velocidade de colheita (km.h^{-1}) está diretamente relacionada com a capacidade efetiva (ha.h^{-1}), ou seja, quanto maior a velocidade, maior a capacidade efetiva. As médias de capacidade efetiva de cada máquina considerando-se os dois tratamentos diferiram estatisticamente (5% de significância), sendo que a colhedora John Deere apresentou o melhor resultado seguida da Santal e depois Case.

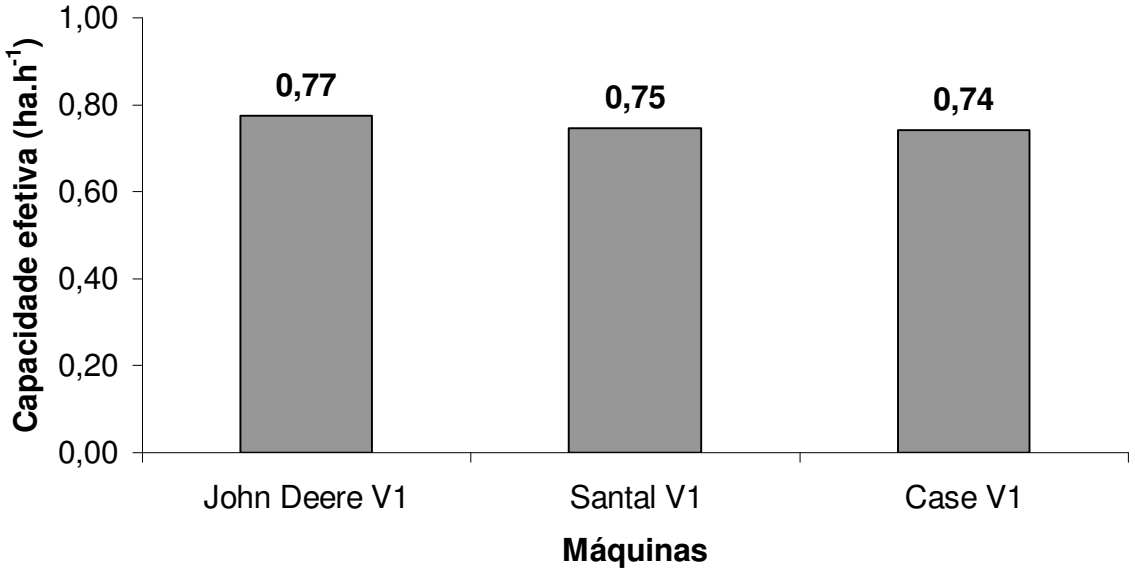


Figura 33 - Médias das repetições para a capacidade efetiva para as três máquinas no tratamento 1 (V = 5,0 km.h^{-1})

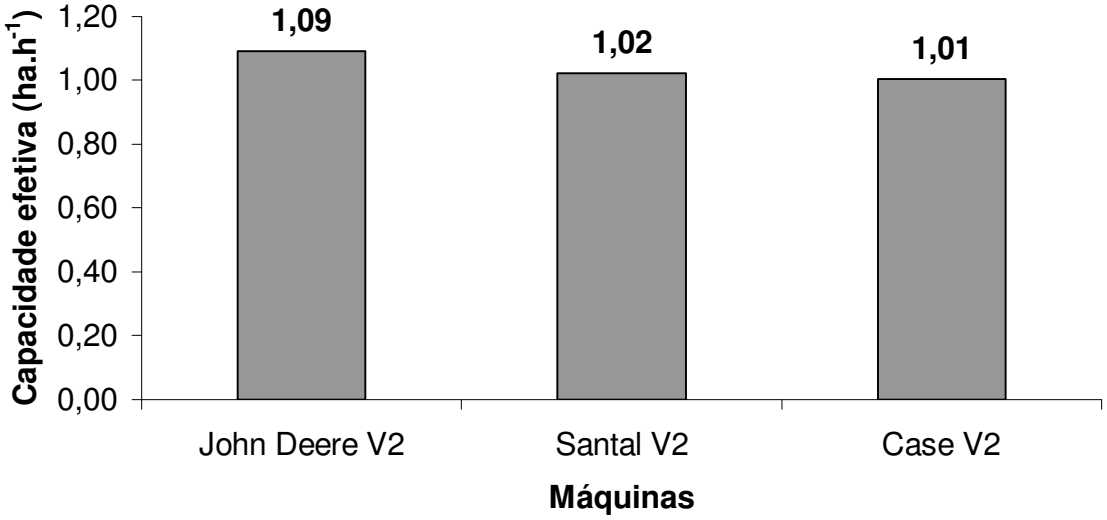


Figura 34 - Médias das repetições para a capacidade efetiva para as três máquinas no tratamento 2 (V = 7,0 km.h^{-1})

4.5.1 Capacidade efetiva bruta de matéria-prima (t.h^{-1})

As Figuras 35 e 36 apresentam os resultados da capacidade efetiva bruta de matéria-prima para as três máquinas nos dois tratamentos, respectivamente. Os dados obtidos no tratamento 1 não apresentaram diferenças significativas a 5% de significância. Porém os resultados encontrados no tratamento 2 mostraram que a máquina Santal obteve um desempenho inferior e diferiu estatisticamente das demais colhedoras a 5% de significância (Tabela 9 e 10 – apêndice).

Os resultados apresentados pelo tratamento 1 estão próximos aos encontrados por Rozeff (1989) que a 5,6 km.h^{-1} obteve 91,6 t.h^{-1}, por De Léon (2000) que a 5,4 km.h^{-1} obteve 93,11 t.h^{-1} e Nery (2000) que a 5,3 km.h^{-1} obteve 87,66 t.h^{-1}. Porém esses resultados estão acima dos encontrados por Romero et. al. (1993) que em ensaios realizados a 5,7 km.h^{-1} obteve 51 a 58 t.h-1, Cenicaña (1997) de 70,7 t.h^{-1}, Furlani Neto (2005) que em canavial de produtividade de 90 t.ha^{-1} colhendo a velocidade de 4,6 km.h^{-1} obteve 57,8 t.h^{-1} e Mazzonetto (2004) que a 6,0 km.h^{-1} atingiu 59,2 t.h^{-1}.

Para o tratamento 2 os resultados do ensaio estão próximos aos encontrado por Nery (2000) que a 7,68 km.h^{-1} obteve 110,18 t.h^{-1}, aos de De Léon (2000) que trabalhando em velocidades de 7,28 e 8,01 km.h^{-1} atingiu 131,93 e 141,26 t.h^{-1},

respectivamente e aos encontrados por Molina Júnior et al. (2001) que avaliando três colhedoras a 7,66 km.h-1 obteve resultados de 110,19, 131,26 e 141,26 t.h^{-1}.

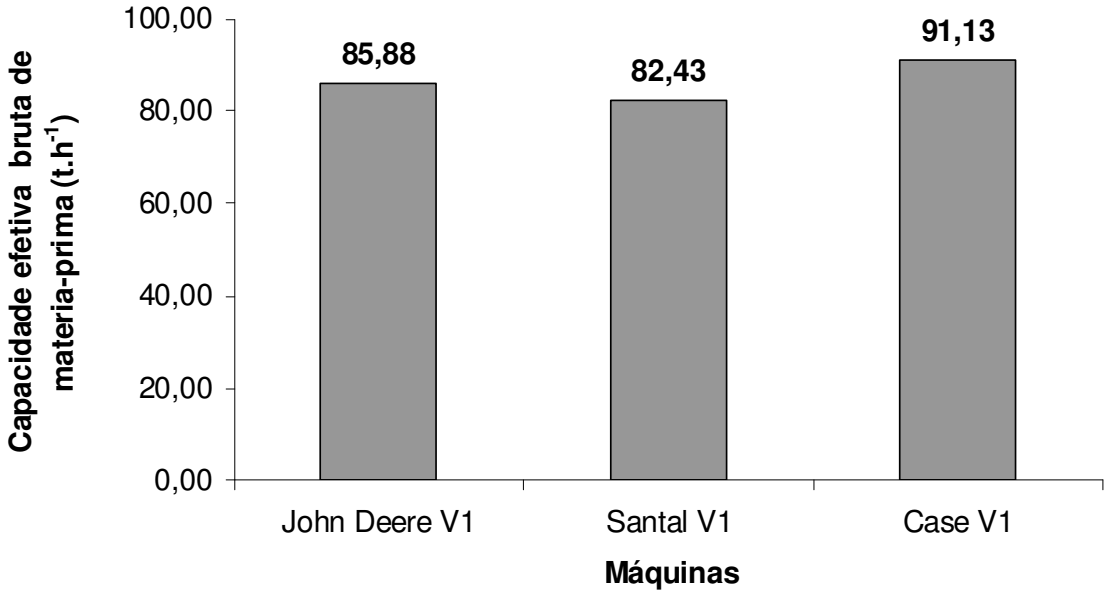


Figura 35 - Médias das repetições para a capacidade efetiva bruta de matéria-prima para as máquinas ano tratamento 1 (V = 5,0 km.h^{-1})

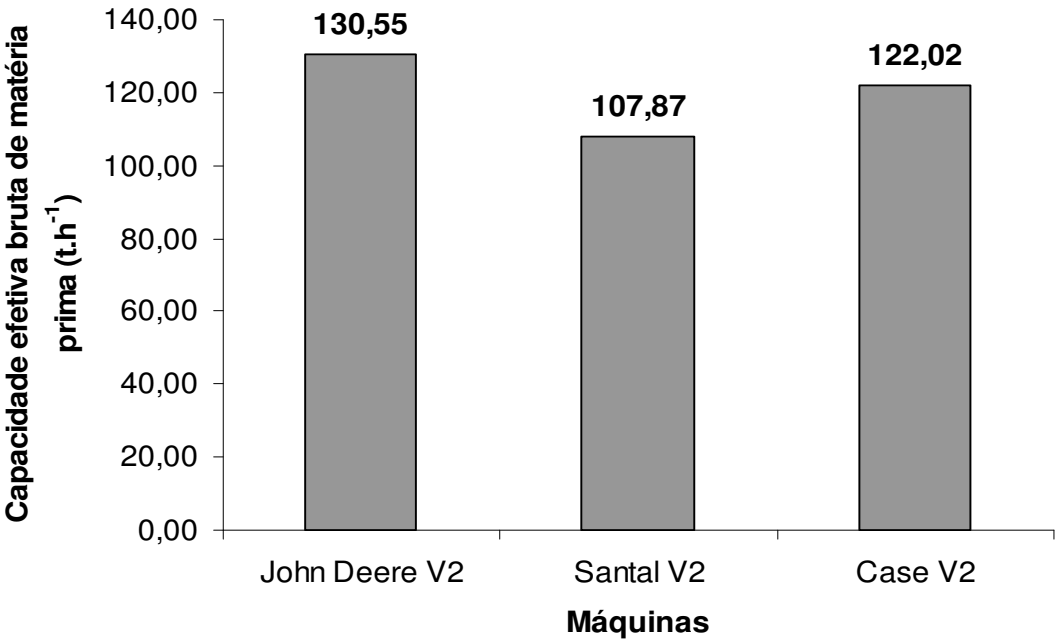


Figura 36 - Médias das repetições para a capacidade efetiva bruta de matéria-prima para as máquinas no tratamento 2 (V = 7,0 km.h^{-1})

4.5.2 Capacidade efetiva bruta de colmos ($t.h^{-1}$)

Os resultados para capacidade efetiva bruta de colmos ($t.h^{-1}$) para as três máquinas e os dois tratamentos (V1 e V2) são apresentados nas figuras 37 e 38, respectivamente. Para essa variável não houve diferença significativa entre as máquinas para o tratamento 1, no entanto, para o tratamento 2, assim como ocorreu com a variável capacidade efetiva bruta de matéria-prima, a máquina Santal apresentou desempenho inferior as demais, mostrando diferença estatística a 5 % de significância (Tabela 11 e 12 - apêndice).

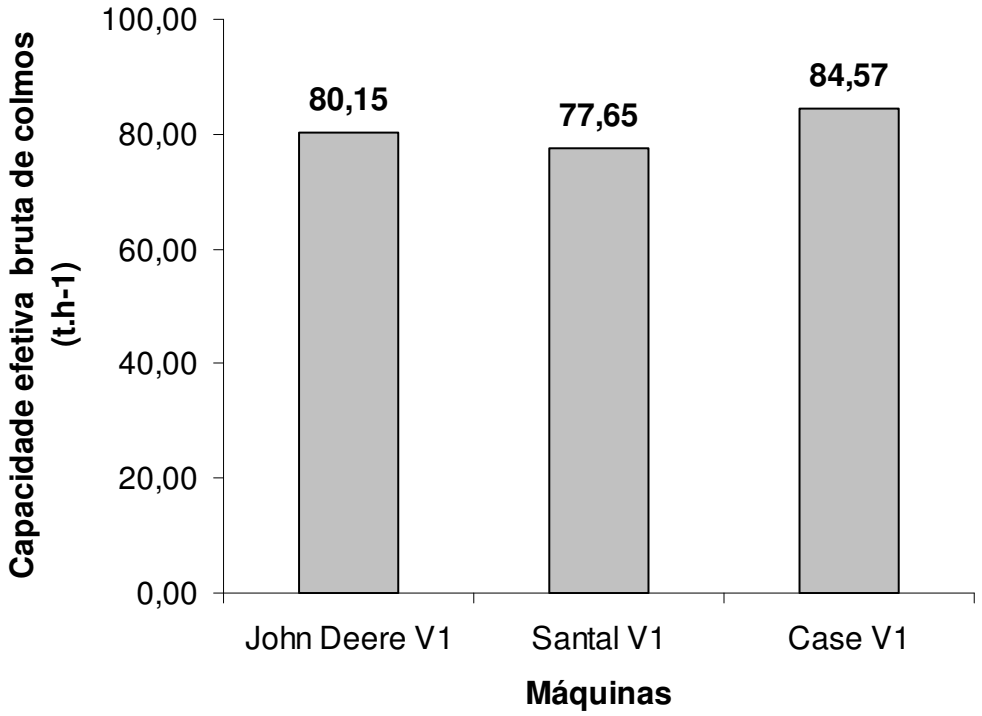


Figura 37 - Médias das repetições para a capacidade efetiva bruta de colmos para as máquinas no tratamento 1 (V = 5,0 $km.h^{-1}$)

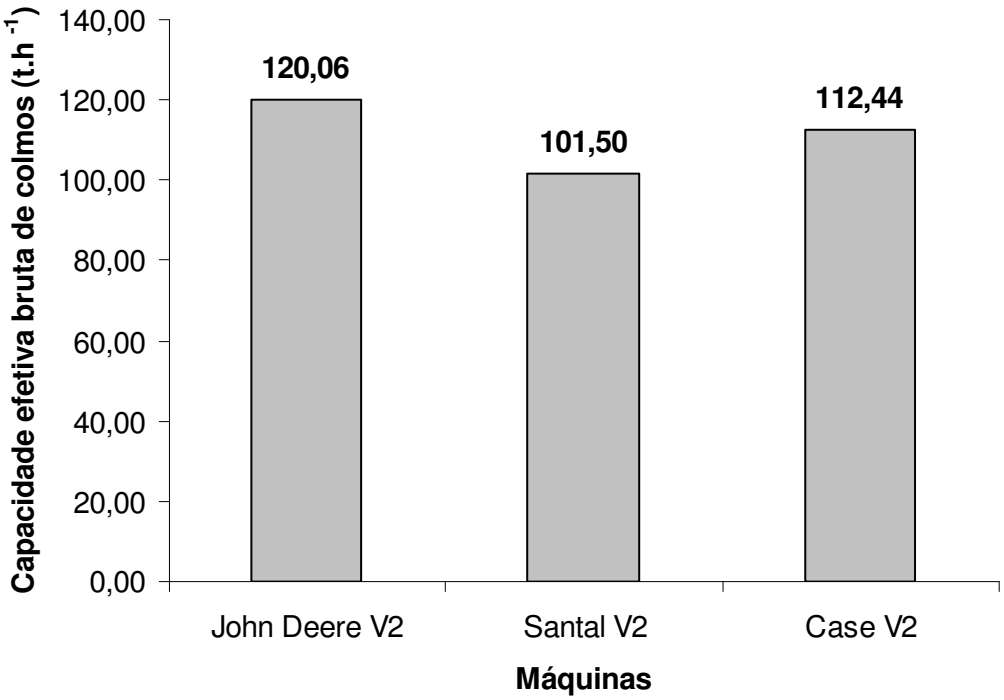


Figura 38 - Médias das repetições para a capacidade efetiva bruta de colmos para as máquinas no tratamento 2 (V = 7,0 km.h^{-1})

4.5.3 Capacidade efetiva líquida de colmos (t.h^{-1})

São apresentados nas Figuras 39 e 40 os resultados da média das repetições das três máquinas nos dois tratamentos (Tabelas 13 e 14 - apêndice). Para o tratamento 1 não houve diferença estatística a 5% de significância entre as capacidades efetivas líquidas de colmos nas colhedoras avaliadas. No tratamento 2 a colhedora Santal apresentou o menor valor para essa variável e novamente, assim como para as demais capacidades efetivas, diferiu estatisticamente das demais colhedoras.

Os dados obtidos nesse ensaio para o tratamento 1 são semelhantes aos encontrados por Nery (2000) que a 5,27 km.h^{-1} atingiu capacidade efetiva líquida de 79,01 t.h^{-1}, porém foram inferiores aos do ensaio de De Léon (2000) que a 5,4 km.h^{-1} obteve resultados entre 88,45 a 94,51 t.h^{-1} e superiores aos encontrados por Mazzonetto (2004) que a 6,0 km.h^{-1} obteve 52,83 t.h^{-1}. Para o tratamento 2 os

resultados são semelhantes aos encontrados por Nery (2000) que a 7,68 km.h^{-1} atingiu 100,34 t.h^{-1} e inferiores aos de De Léon (2000) que a 7,28 km.h^{-1} obteve 133,53 t.h^{-1}.

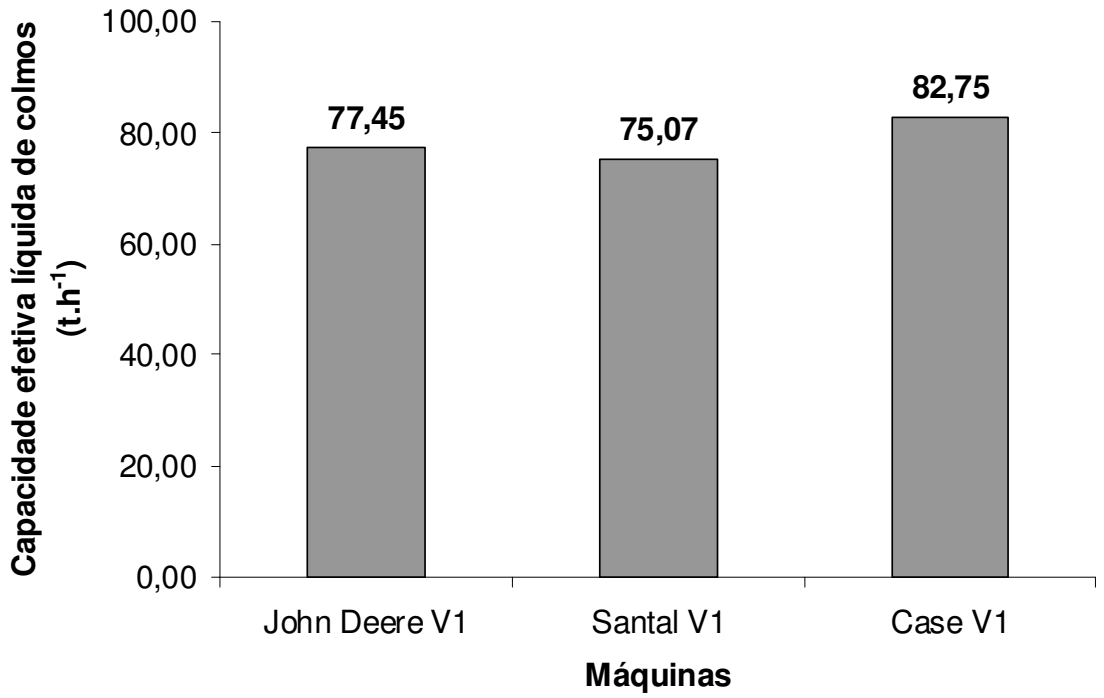


Figura 39 - Médias das repetições para a capacidade efetiva líquida de colmos para as três máquinas no tratamento 1 (V = 5,0 km.h^{-1})

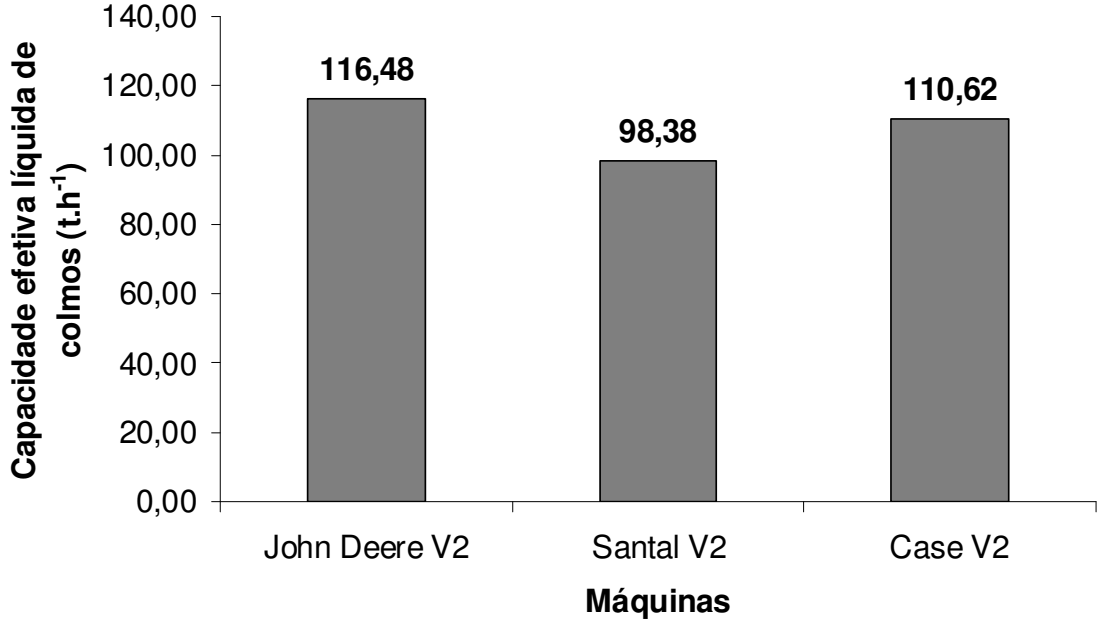


Figura 40 - Médias das repetições para a capacidade efetiva liquida de colmos para as três máquinas no tratamento 2 (V = 7,0 km.h^{-1})

4.6 Qualidade de matéria-prima

Como conceito do setor sucroalcooleiro, a qualidade de matéria-prima é função, entre outros fatores, da quantidade de matéria estranha vegetal e mineral nela contida (RIPOLI, 2010).

4.6.1 Matéria estranha mineral

4.6.1.1 Matéria estranha mineral (%).

Para a variável quantidade de matéria estranha mineral em porcentagem (Figuras 41 e 42), não houve diferença estatística a 5% de significância entre as máquinas em cada tratamento, no entanto quando comparadas as médias das máquinas considerando-se os dois tratamentos, a colhedora John Deere diferiu significativamente com relação à Case, apresentando menor índice de matéria estranha mineral. A colhedora Santal não diferiu das demais máquinas (Tabelas 15 e 16 – apêndice). Apesar das porcentagens terem apresentado valores bastante distintos. 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 valores obtidos nesse ensaio estão dentro dos níveis aceitáveis pelas usinas que está entre 0,7 e 1% de matéria estranha mineral,

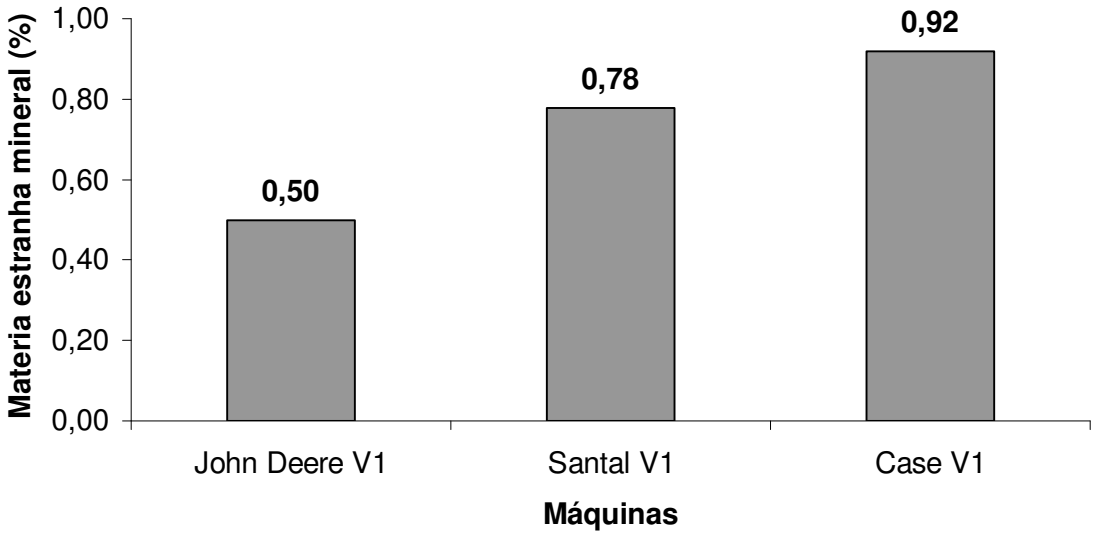


Figura 41 - Médias das repetições para a porcentagem de matéria entranha mineral para as três máquinas no tratamento 1 (V = 5,0 km.h^{-1})

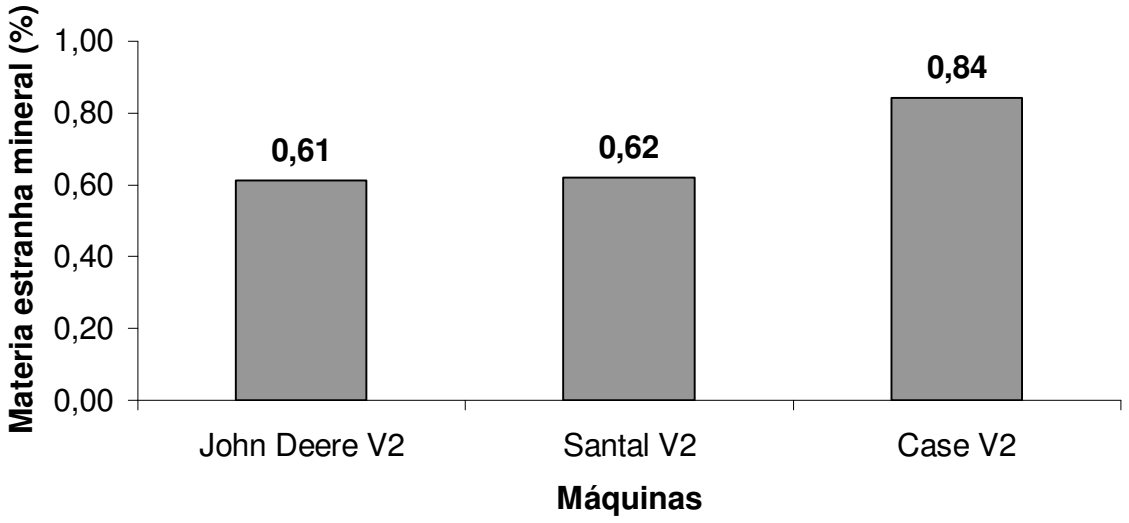


Figura 42 - Médias das repetições para a porcentagem de matéria entranha mineral para as três máquinas no tratamento 2 (V = 7,0 km.h^{-1})

4.6.1.2 Matéria estranha mineral ($t.ha^{-1}$)

A quantidade de matéria estranha mineral em toneladas por hectare para os dois tratamentos são apresentadas nas Figuras 43 e 44. Assim como os valores encontrados para essa variável em porcentagem, a única diferença estatística encontrada, ao nível de significância de 5%, foi nas médias das máquinas considerando-se os dois tratamentos, entre as máquinas John Deere e Case, na qual a colhedora da Case apresentou maiores índices de matéria estranha mineral ($t.ha^{-1}$). As demais interações não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre máquinas dentro dos tratamentos (Tabelas 17 e 18 – apêndice).

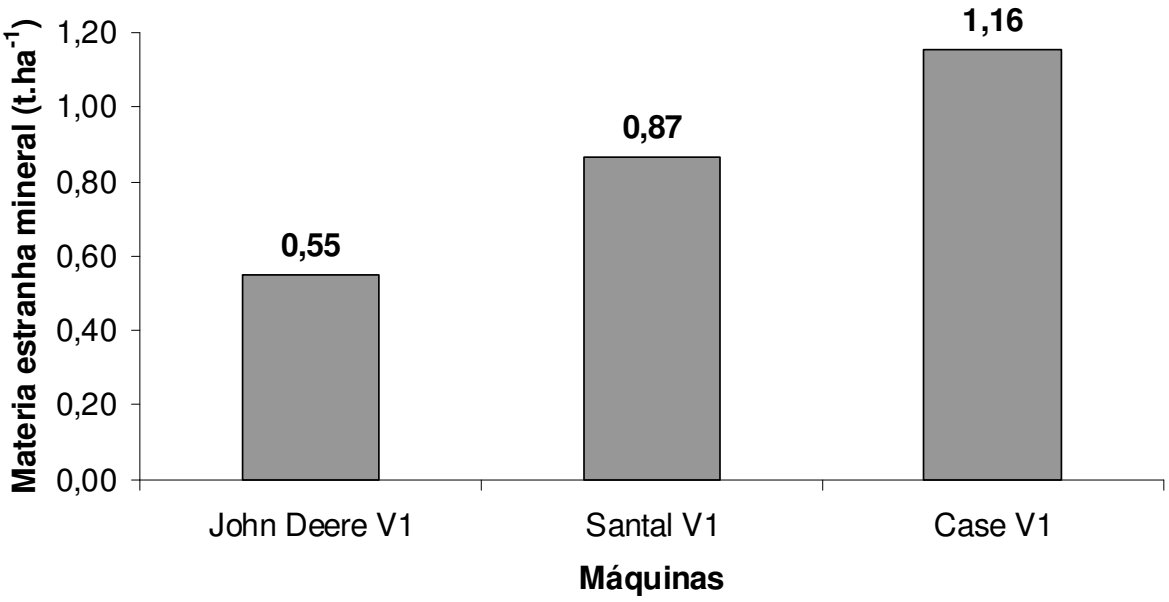


Figura 43 - Médias das repetições para a matéria entranha minerais para as três máquinas no tratamento 1 (V = 5,0 $km.h^{-1}$)

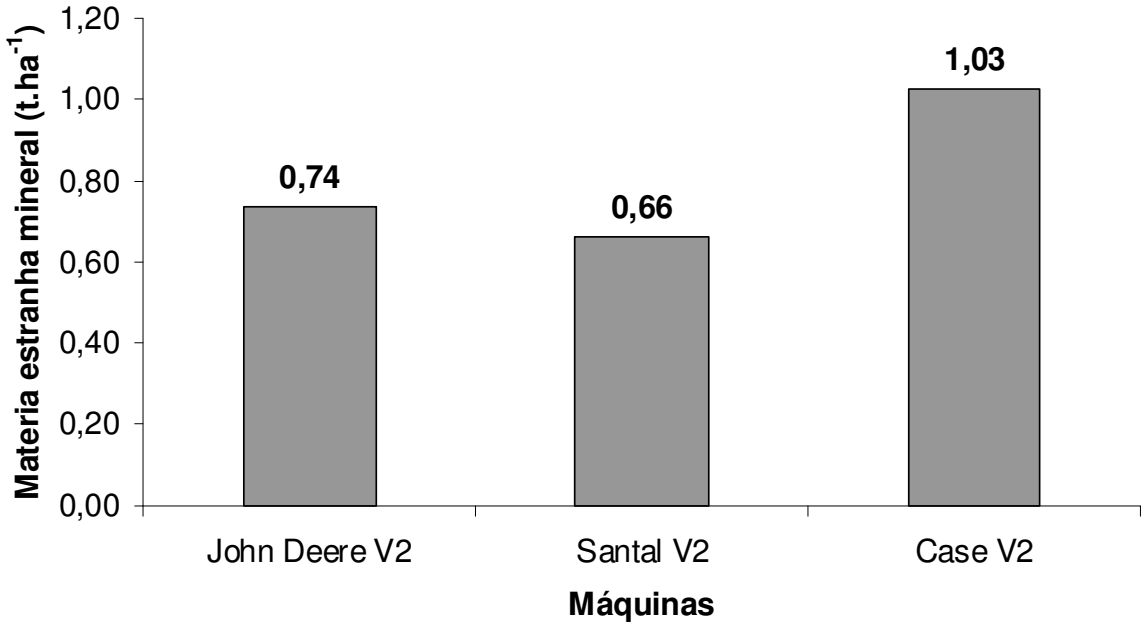


Figura 44 - Médias das repetições para a matéria entranha minerais para as três máquinas no tratamento 2 (V = 7,0 km.h^{-1})

4.6.2 Matéria estranha vegetal

4.6.2.1 Matéria estranha vegetal (%)

Nas Figuras 45 e 46 são apresentados os resultados obtidos para a variável matéria entranha vegetal em porcentagem para as três colhedoras nos dois tratamentos, respectivamente.

Os valores encontrados no ensaio não apresentaram diferenças estatísticas a 5% de significância entre as máquinas nos tratamentos e também entre os tratamentos, mostrando que a velocidade maior, não tem influência sobre esta variável (Tabelas 19 e 20 – apêndice). Porém houve diferença significativa entre a média considerando-se os dois tratamentos para as máquinas Santal e John Deere, sendo que a colhedora Santal obteve o menor índice de matéria estranha vegetal. A colhedora Case não apresentou diferença com as demais.

Os valores encontrados entre 5 a 7,39% de matéria estranha vegetal apresentaram resultados semelhantes aos encontrados por De Léon (2000) entre 5,16 e 7,84% e Molina Júnior et al. (2001) entre 6,17 e 7,58% onde foram ensaiadas velocidades semelhantes e inferiores aos obtidos por Furlani Neto (1995) de 8,1%, Cenicaña (1997) de 8,3%.

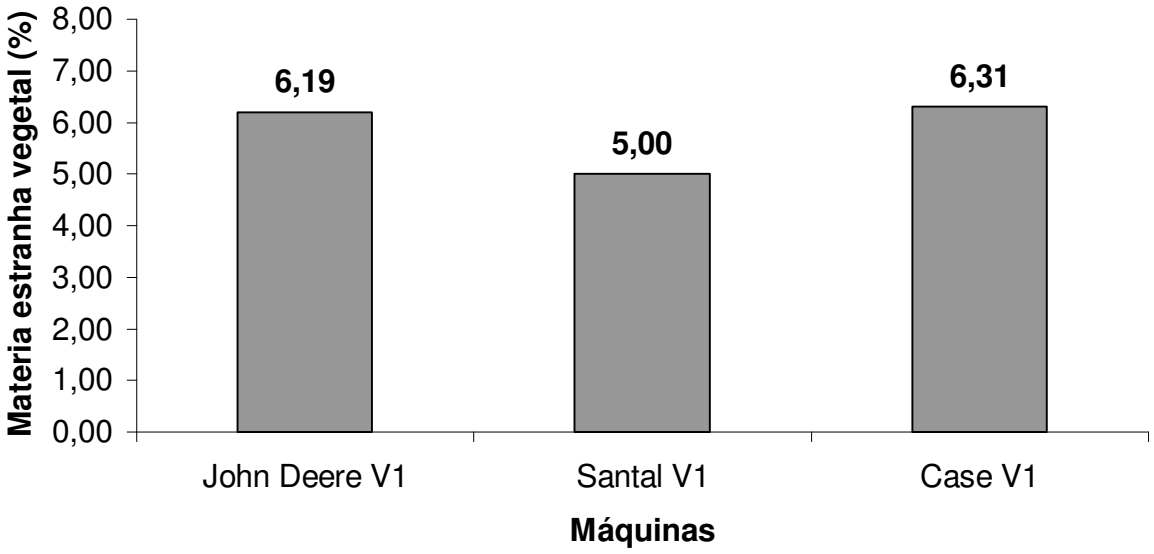


Figura 45 - Médias das repetições para a matéria entranha vegetal para as três máquinas no tratamento 1 (V = 5,0 km.h^{-1})

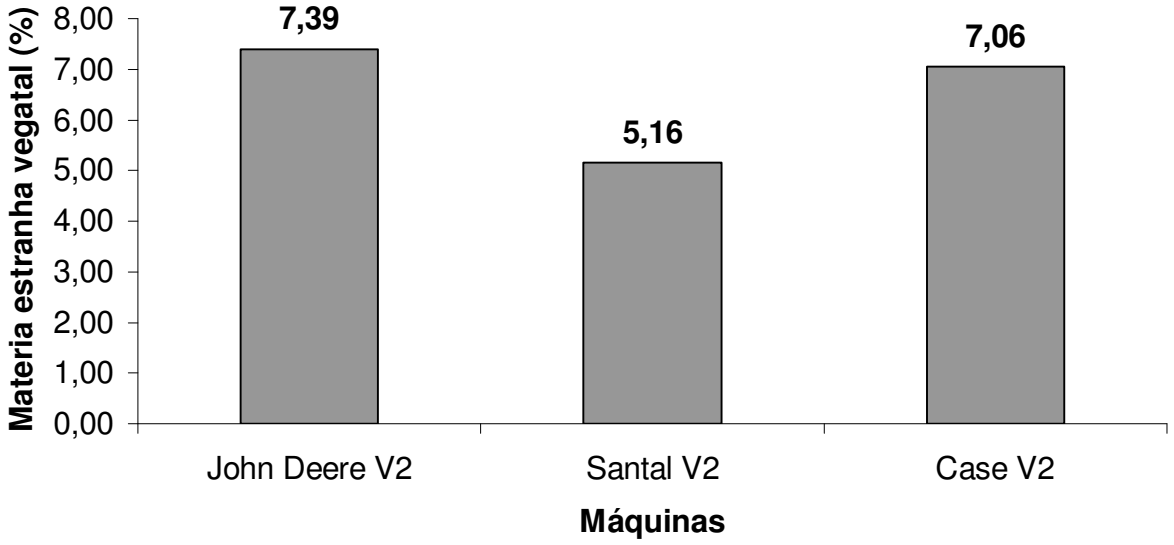


Figura 46 - Médias das repetições para a matéria entranha vegetal para as três máquinas no tratamento 2 (V = 7,0 km.h^{-1})

4.6.2.2 Matéria estranha vegetal (t.ha^{-1})

Os resultados de matéria estranha vegetal representados em t.ha^{-1}, (Figuras 47 e 48) apresentou diferença significativa (5% de significância) apenas no tratamento 2 (V2 = 7,0 km.h^{-1}). Neste tratamento a colhedora Santal obteve índices menores aos das demais máquinas (Tabelas 21 e 22 – apêndice). As médias das máquinas considerando-se os dois tratamentos também diferiram entre a máquina Santal, que novamente obteve menores índices de matéria-estranha vegetal (t.ha^{-1}) em relação às máquinas John Deere e Case, que não apresentaram diferenças entre elas.

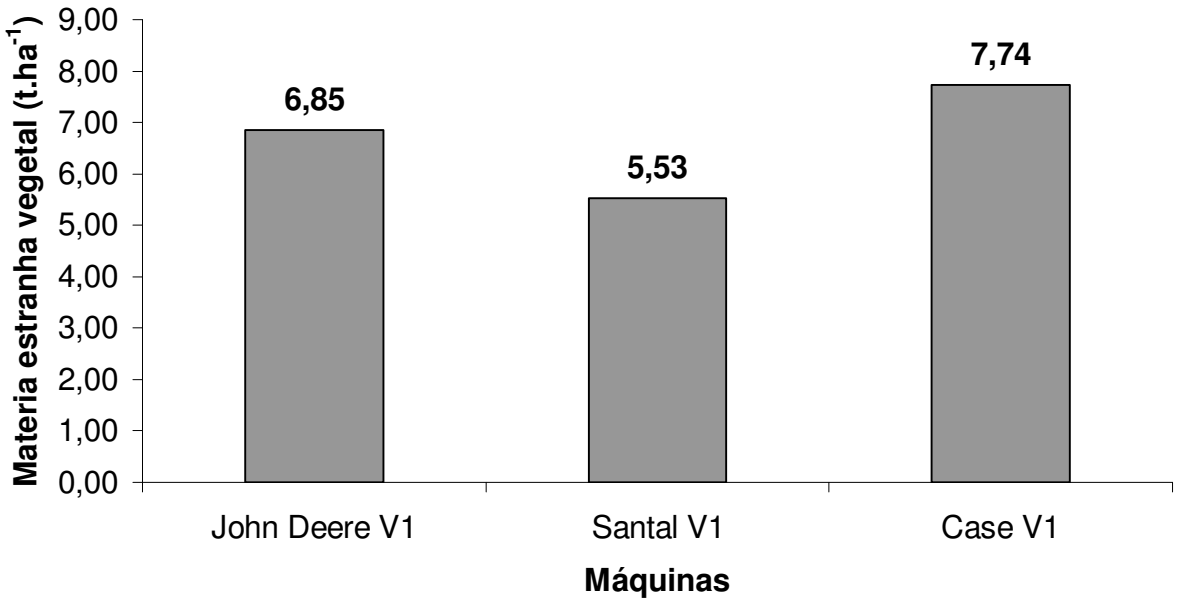


Figura 47 - Médias das repetições para a matéria entranha vegetal para as três máquinas no tratamento 1 (V = 5,0 km.h^{-1})

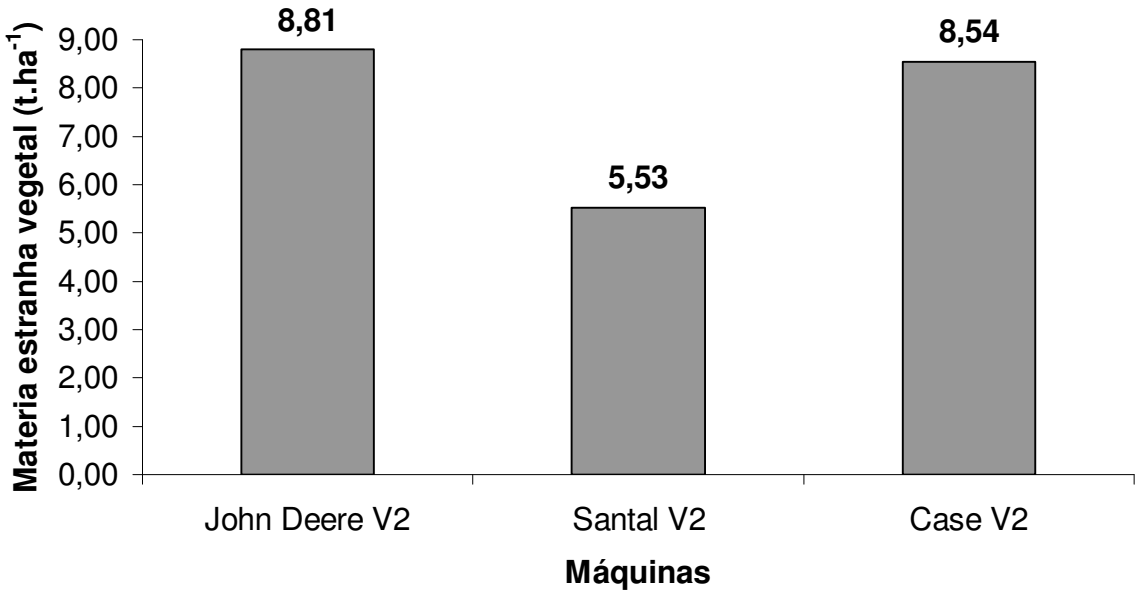


Figura 48 - Médias das repetições para a matéria entranha vegetal para as três máquinas no tratamento 2 (V = 7,0 km.h^{-1})

4.7 Perdas

4.7.1 Perdas de rebolos inteiros (t.ha^{-1})

Os resultados das variações de perdas de rebolos inteiros para todas as colhedoras nos dois tratamentos (V1 e V2) são apresentados nas Figuras 49 e 50, respectivamente. Esses resultados não apresentaram diferenças estatísticas a 5% de significância entre as máquinas nos tratamentos e nem entre os tratamentos, conforme verifica-se nas Tabelas 23 e 24 do apêndice. Porém os resultados obtidos nesse ensaio entre 0,11 a 0,30 t.ha^{-1} foram significativamente menores do que os resultados obtidos por De Léon (2000) em velocidades semelhantes, de 5,4 e 8,0 km.h $^{-1}$ que foram de 1,88 a 2,45 t.ha^{-1} respectivamente e por Molina Júnior et al. (2001) que obteve valores entre 2,19 a 1,30 t.ha^{-1}, para as velocidades de 5,34 e 7,66 km.h $^{-1}$, respectivamente,

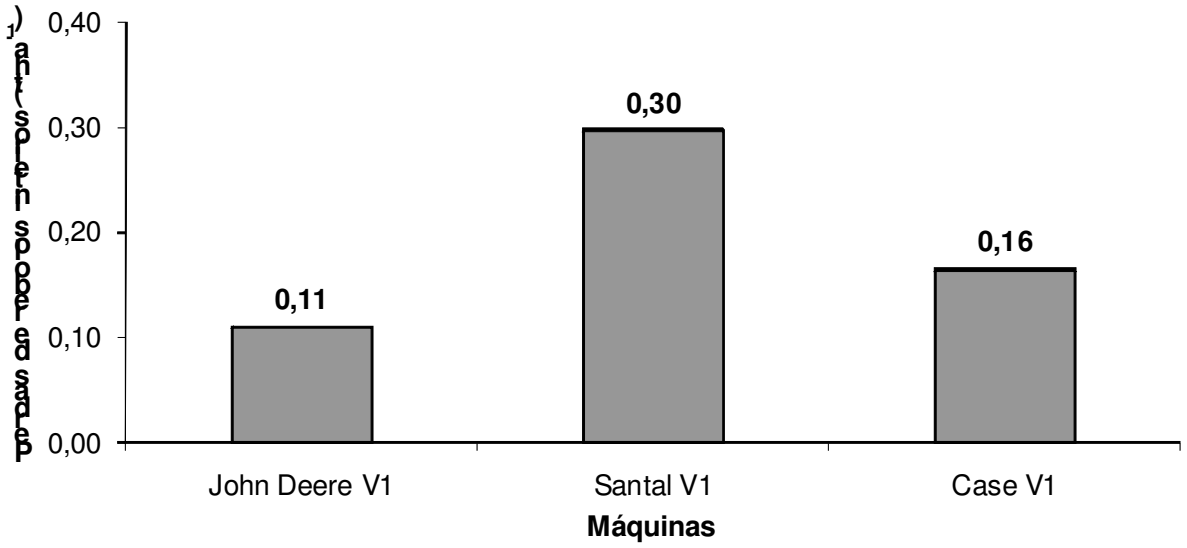


Figura 49 - Médias das repetições para a quantidade de perdas de rebolos inteiros (t.ha^{-1}) para as três máquinas no tratamento 1 (V = 5,0 km.h^{-1})

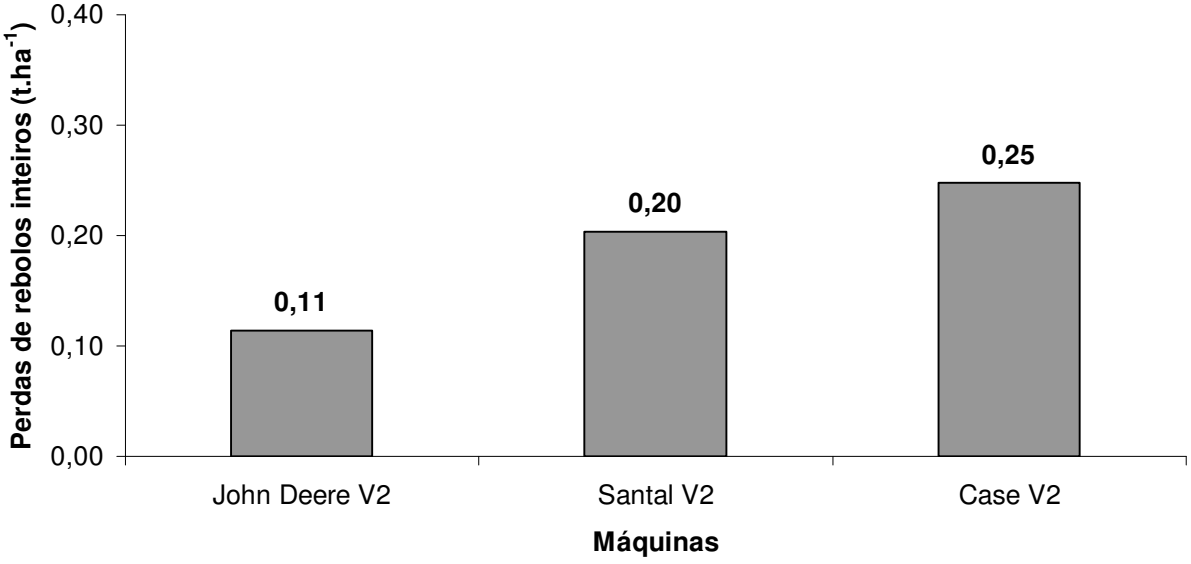


Figura 50 - Médias das repetições para a quantidade de perdas de rebolos inteiros ($t.ha^{-1}$) para as três máquinas no tratamento 2 (V = 7,0 $km.h^{-1}$)

.

4.7.2 Perdas de pedaços de rebolos ($t.ha^{-1}$)

Para a variável perdas de pedaços de rebolos não houve diferença estatística a 5% de significância entre as máquinas e entre os tratamentos, ou seja, tanto as características funcionais da colhedoras quanto o aumento da velocidade de deslocamento não tiveram influência no nível de perdas de pedaços de rebolos (Tabela 25 e 26 - apêndice). Os resultados são apresentados nas Figuras 51 e 52.

Comparando-se os resultados obtidos no ensaio com os dados obtidos por Molina Júnior et al. (2001) de 5,4 $t.ha^{-1}$,para velocidades semelhantes de colheita, observa-se que os resultados do ensaio realizado são menores. Porém, quando comparados com os resultados apresentados por De Léon (2000), que obteve perdas de pedaços de rebolos de 1,5 e 1,7 $t.ha^{-1}$, para as velocidades de 5,37 e 7,28 $km.h^{-1}$, respectivamente, observa-se que os valores obtidos no ensaio estão muito próximos aos obtidos por esse autor.

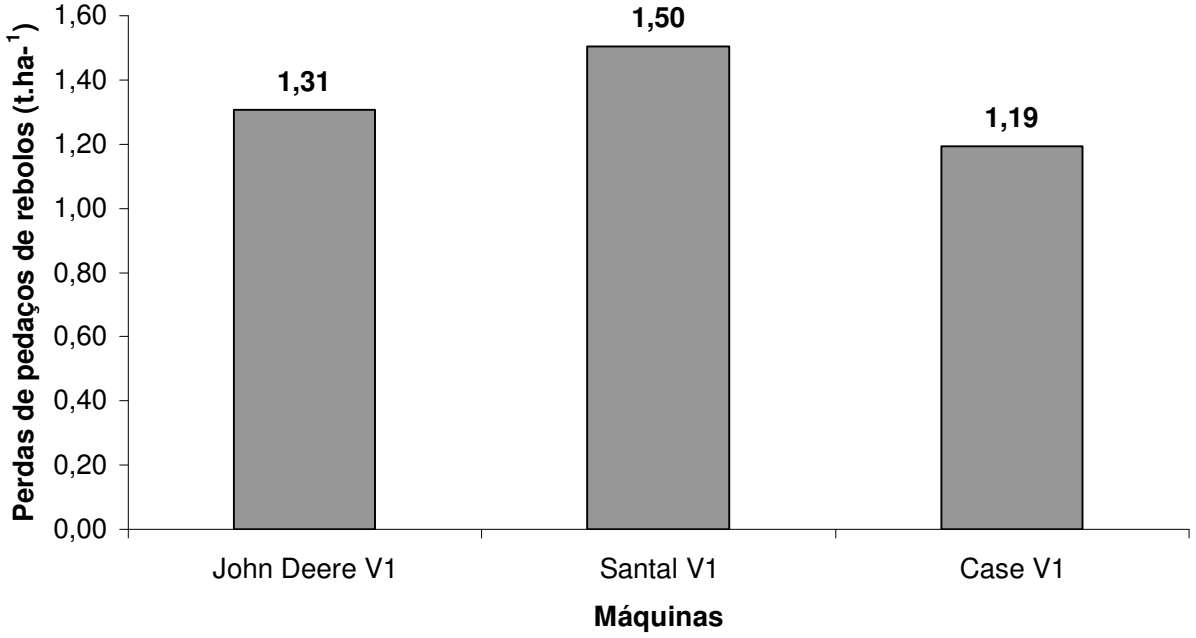


Figura 51 - Médias das repetições para a quantidade de perdas de rebolos inteiros ($t.ha^{-1}$) para as três máquinas no tratamento 1 ($V = 5,0\ km.h^{-1}$)

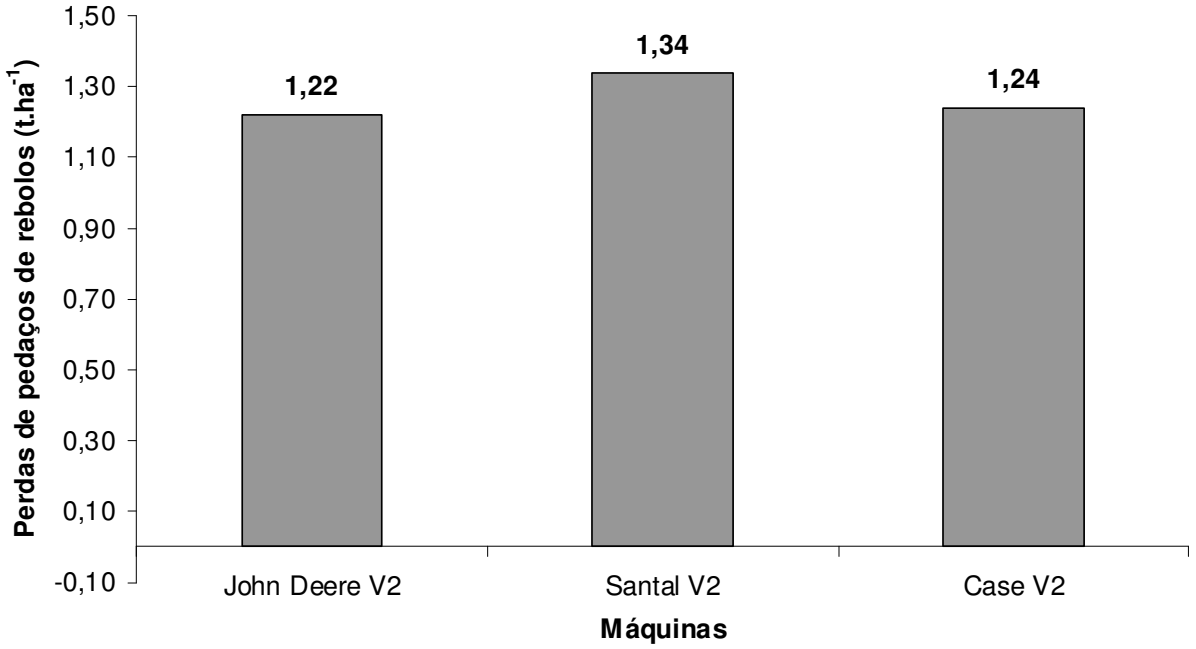


Figura 52 Médias das repetições para a quantidade de perdas de rebolos inteiros ($t.ha^{-1}$) para as três máquinas no tratamento 2 ($V = 7,0\ km.h^{-1}$)

4.7.3 Perdas de colmos e suas frações ($t.ha^{-1}$)

Para os resultados de perdas de colmos e suas frações também não houve diferenças estatísticas a 5% de significância entre as máquinas, no entanto houve diferença entre os tratamentos. No tratamento 2, ou seja, na velocidade de colheita superior, o nível de perdas foi menor (Tabelas 27 e 28 - apêndices). Os resultados obtidos nesse ensaio são apresentados nas Figuras 53 e 54 e são semelhantes aos obtidos por De Léon (2000) que variaram entre 0,0 e 0,58 $t.ha^{-1}$ para uma das máquinas e 0,36 e 1,04 $t.ha^{-1}$ para a outra colhedora avaliada. Molina Júnior et al. (2001) também obteve resultados semelhantes para a velocidade de 5,34 $km.h^{-1}$ com perdas de colmos e suas frações de 0,79 $t.ha^{-1}$,porém no mesmo ensaio na velocidade de colheita de 7,66 $km.h^{-1}$ as perdas aumentaram significativamente para 1,87 $t.ha^{-1}$.

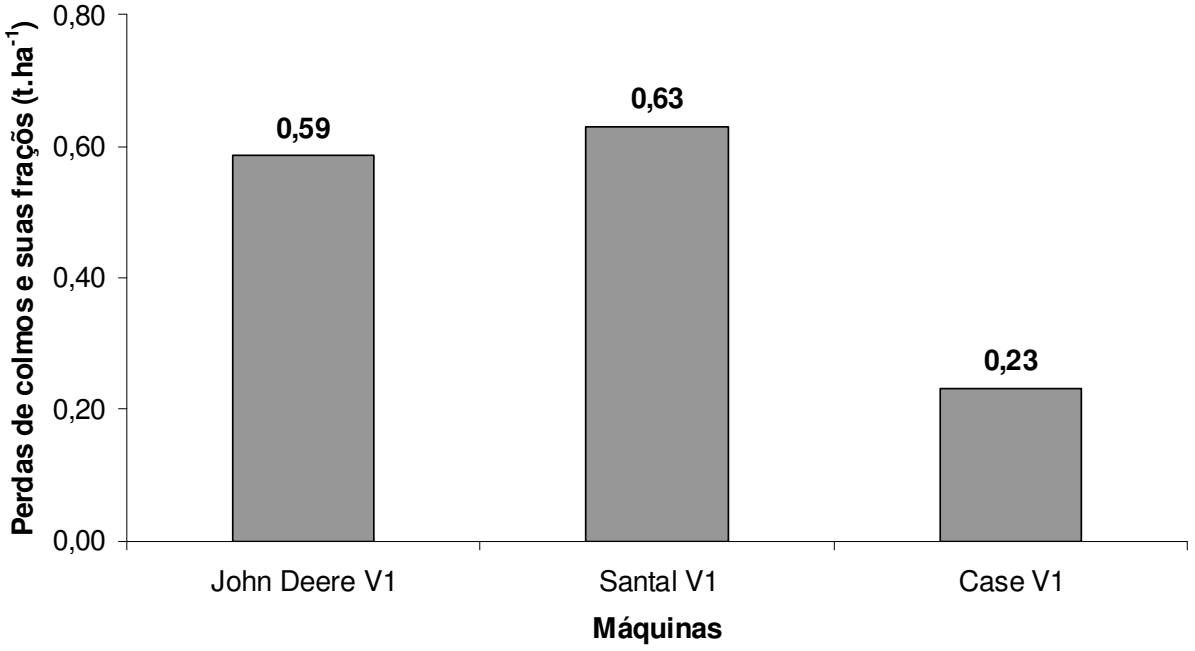


Figura 53 - Médias das repetições para a quantidade de perdas de colmos e suas frações para ($t.ha^{-1}$) as três máquinas no tratamento 1 (V = 5,0 $km.h^{-1}$)

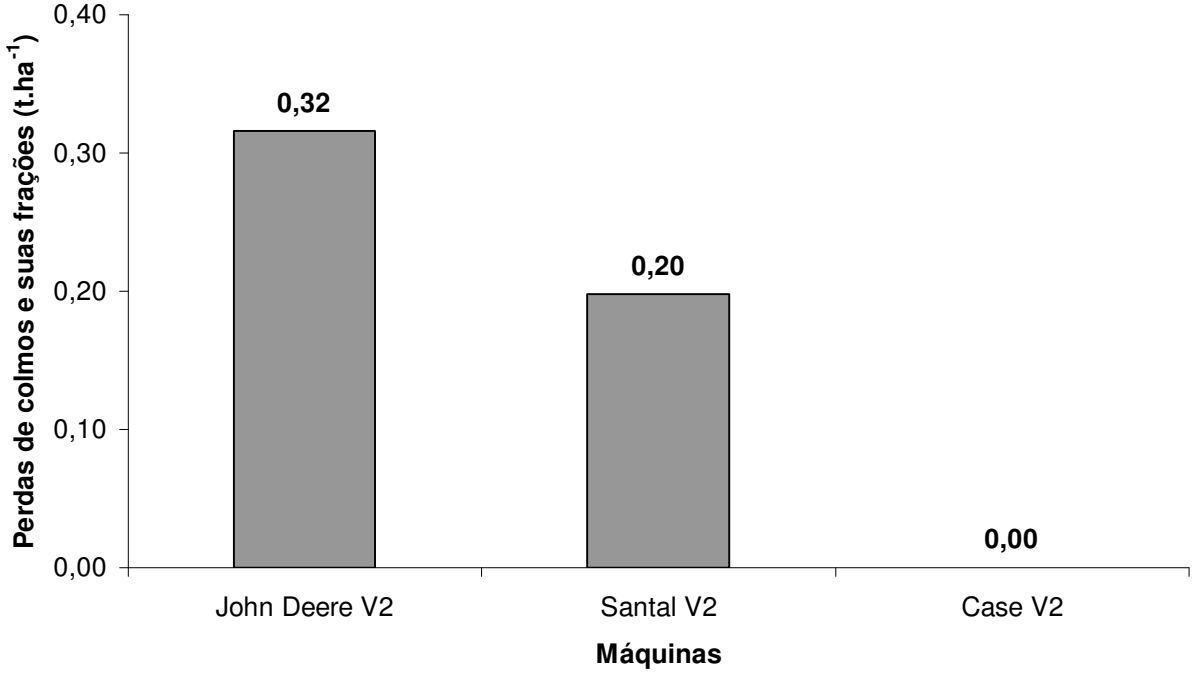


Figura 54 - Médias das repetições para a quantidade de perdas de colmos e suas frações ($t.ha^{-1}$) para as três máquinas no tratamento 2 ($V = 7,0\ km.h^{-1}$)

4.7.4 Perdas de frações de colmos nas soqueiras (toco de soqueira) ($t.ha^{-1}$)

Os valores determinados para perdas de frações de colmos nas soqueiras, comumente conhecido como toco de soqueira ou toco soca para os tratamentos 1 e 2 (Figuras 55 e 56), assim como os demais índices de perdas, não apresentaram diferenças estatisticas significativas (5% de significância) entre as máquinas, nos tratamentos e entre os tratamentos, contudo, houve diferença significativa entre as médias (considerando-se os dois tratamentos) das colhedoras John Deere e Case sendo esta última a que obteve o menor valor. A colhedora Santal apresentou resultados iguais as demais máquinas (Tabela 29 e 30 - apêndice). Os índices encontrados nesse ensaio foram inferiores aos encontrados por Molina Júnior et al. (2001) entre 1,94 e 3,68 $t.ha^{-1}$ e por De Léon (2000) que para a velocidade de 5,4 $km.h^{-1}$, atingiu níveis entre 2,1 e 2,97 $t.ha^{-1}$, entretanto os valores encontrados nesse ensaio foram semelhantes aos obtidos pelo segundo autor nas velocidades acima de 7,0 $km.h^{-1}$ que foram de 1,04 e 1,62 $t.ha^{-1}$ para as duas colhedoras avaliadas.

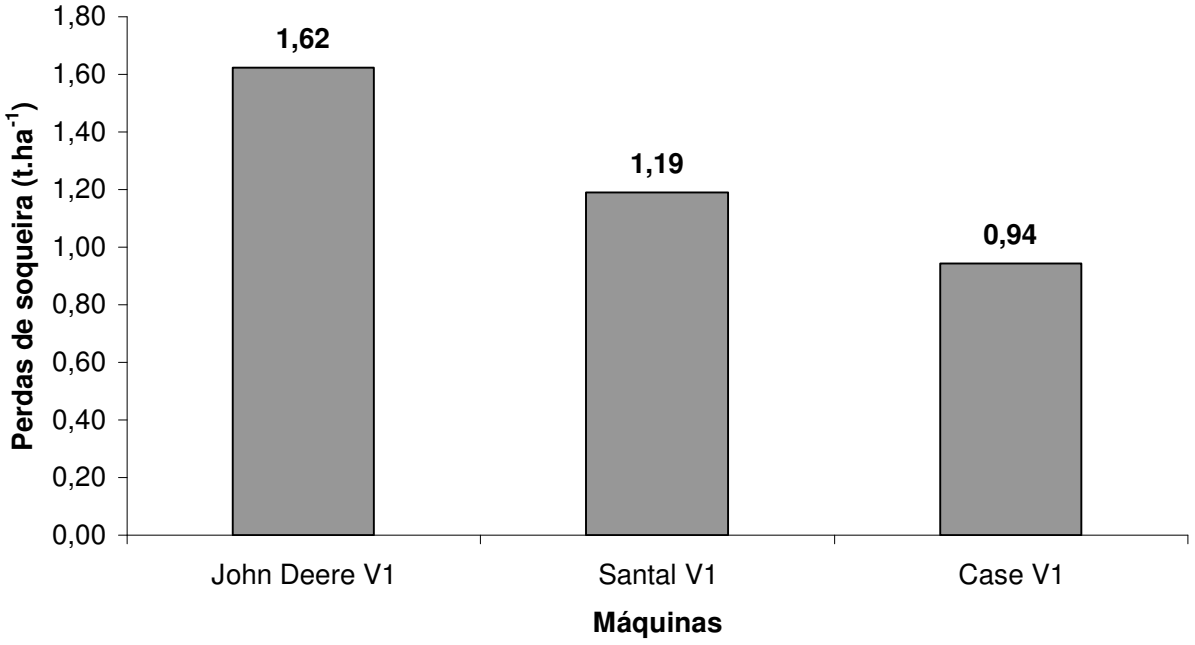


Figura 55 - Médias das repetições para a quantidade de perdas de colmos nas soqueiras ($t.ha^{-1}$) para as três máquinas no tratamento 1 ($V = 5,0\ km.h^{-1}$)

.

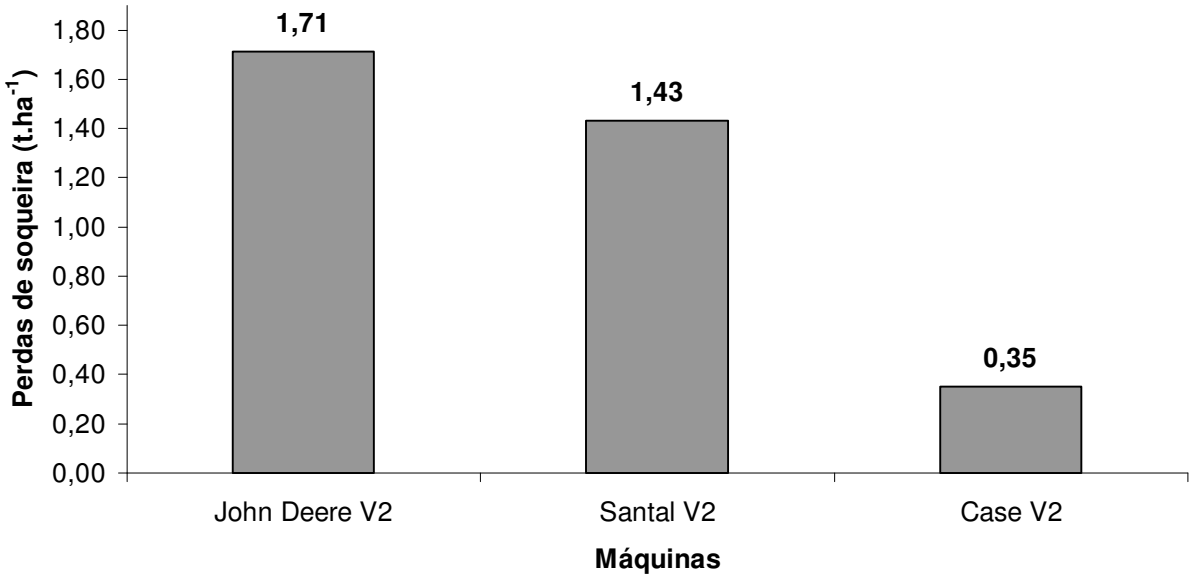


Figura 56 - Médias das repetições para a quantidade de perdas de colmos nas soqueiras ($t.ha^{-1}$) para as três máquinas no tratamento 2 ($V = 7,0 km.h^{-1}$)

4.7.5 - Perdas totais ($t.ha^{-1}$ e %)

Os valores obtidos para as perdas totais em $t.ha^{-1}$ (Figuras 57 e 58), não apresentaram diferenças estatísticas a 5% de significância entre as máquinas e tratamentos (Tabela 31 e 32 - apêndice). Os valores absolutos em $t.ha^{-1}$, quando transformados em porcentagem, representam perdas totais entre 1,5 a 3,2%, ou seja, dentro dos parâmetros aceitáveis pela maioria das usinas que é de no máximo 4 a 5%

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

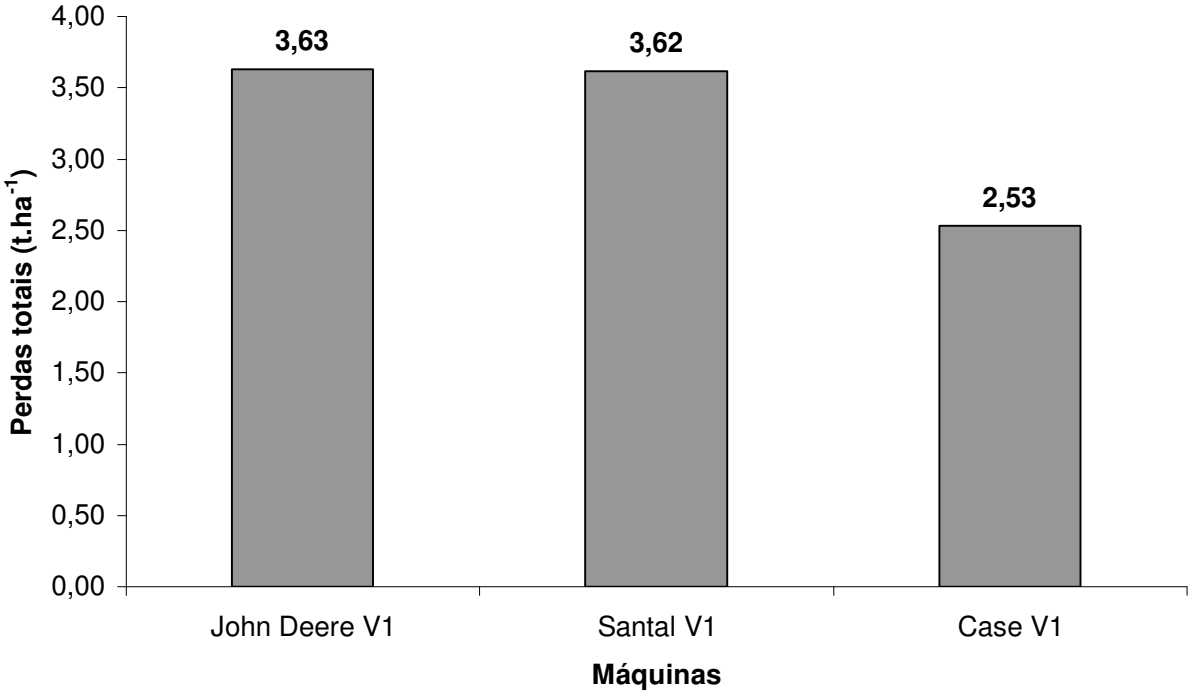


Figura 57 - Médias das repetições para a quantidade de perdas totais ($t.ha^{-1}$) para as três máquinas no tratamento 1 ($V = 5,0\ km.h^{-1}$)

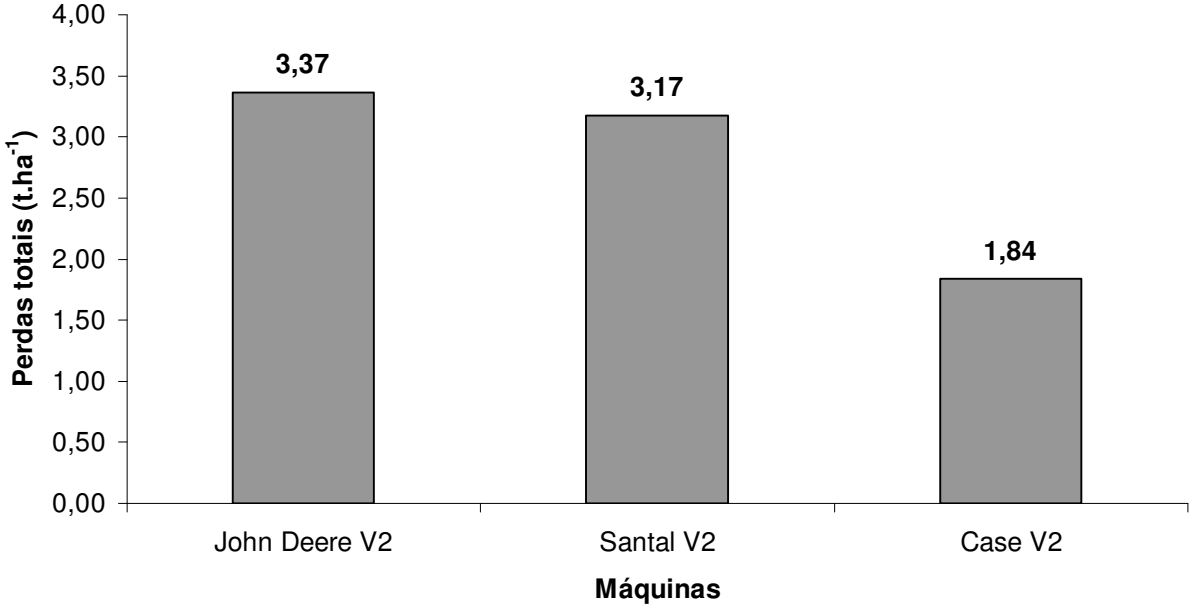


Figura 58 - Médias das repetições para a quantidade de perdas totais ($t.ha^{-1}$) para as três máquinas no tratamento 2 (V = 7,0 $km.h^{-1}$)

4.8 Consumo de combustível ($L.h^{-1}$)

As Figuras 59 e 60 apresentam os consumos de combustível para as três máquinas utilizadas no ensaio nos dois tratamentos. Para essa variável houve diferença estatística a 5% de significância entre todas as colhedoras, nos tratamentos e entre os tratamentos, ou seja, nas duas velocidades de colheita (Tabelas 33 e 34 – apêndice). Nessa variável a colhedora Santal foi a que obteve o menor consumo, seguida da John Deere e Case em ambos os tratamentos.

Os valores apresentados no ensaio são semelhantes 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 $L.h^{-1}$.

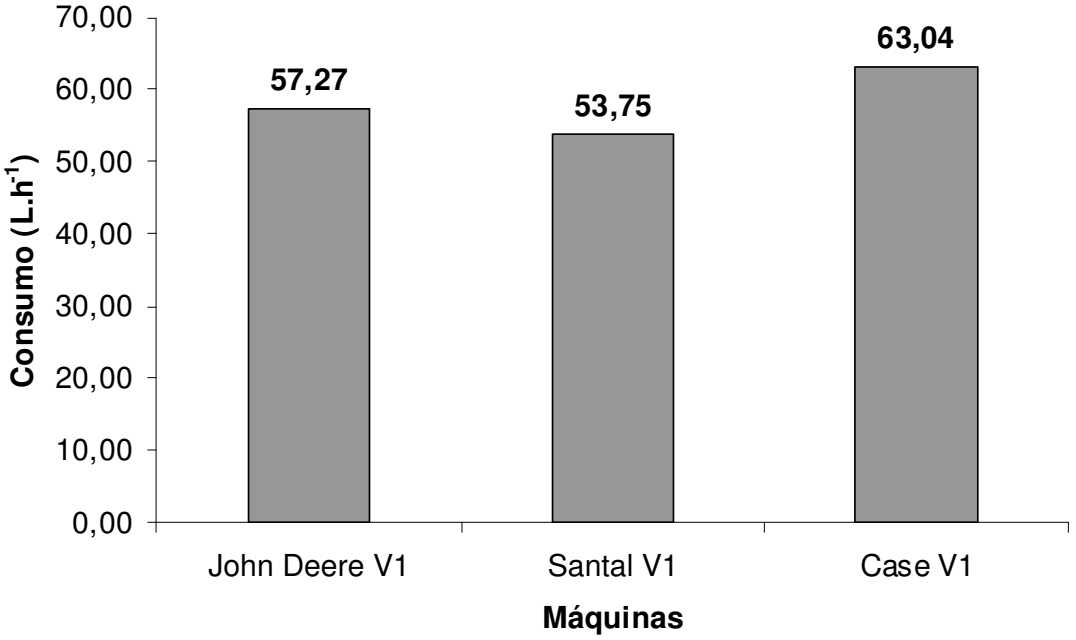


Figura 59 - Médias das repetições para consumo de combustível horário para as três máquinas no tratamento 1 (V = 5,0 km.h^{-1})

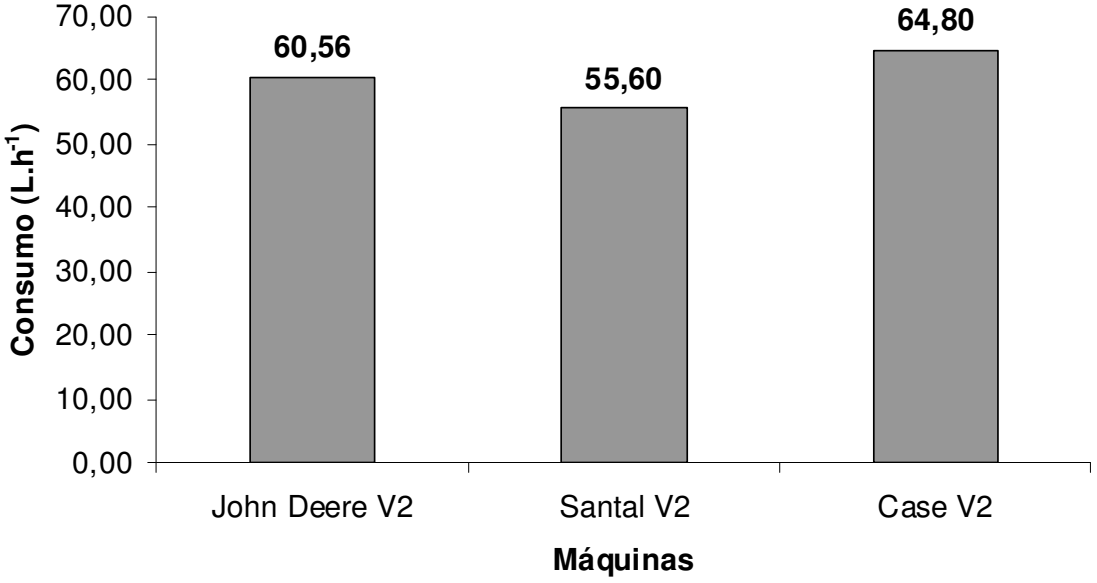


Figura 60 - Médias das repetições para consumo de combustível horário para as três máquinas no tratamento 2 (V = 7,0 km.h^{-1})

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

As Figuras 61 e 62 apresentam os valores obtidos para a variável consumo de combustível por área (L.ha^{-1}) para as três colhedoras nos dois tratamentos. A colhedora Case foi a que apresentou o maior consumo entre todas e com isso houve diferença significativa (5% de significância) com relação a John Deere e Santal, em ambos os tratamentos. (Tabelas 35 e 36 – apêndice). Houve para esta variável diferença estatística entre os dois tratamentos.

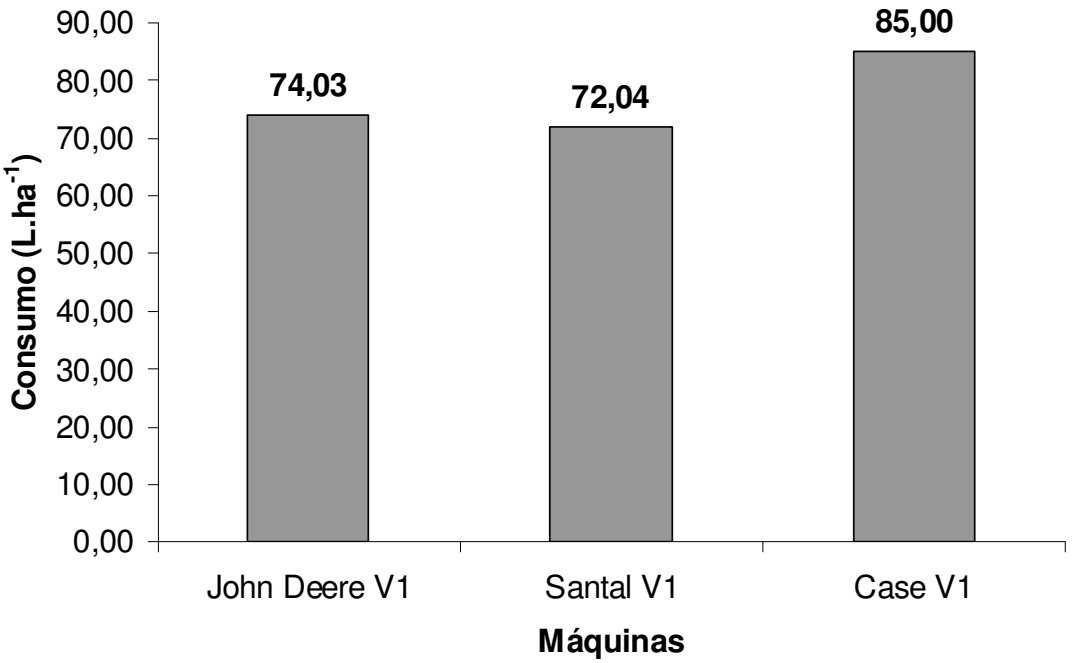


Figura 61 - Médias das repetições para consumo de combustível por área para as três máquinas no tratamento 1 (V = 5,0 km.h^{-1})

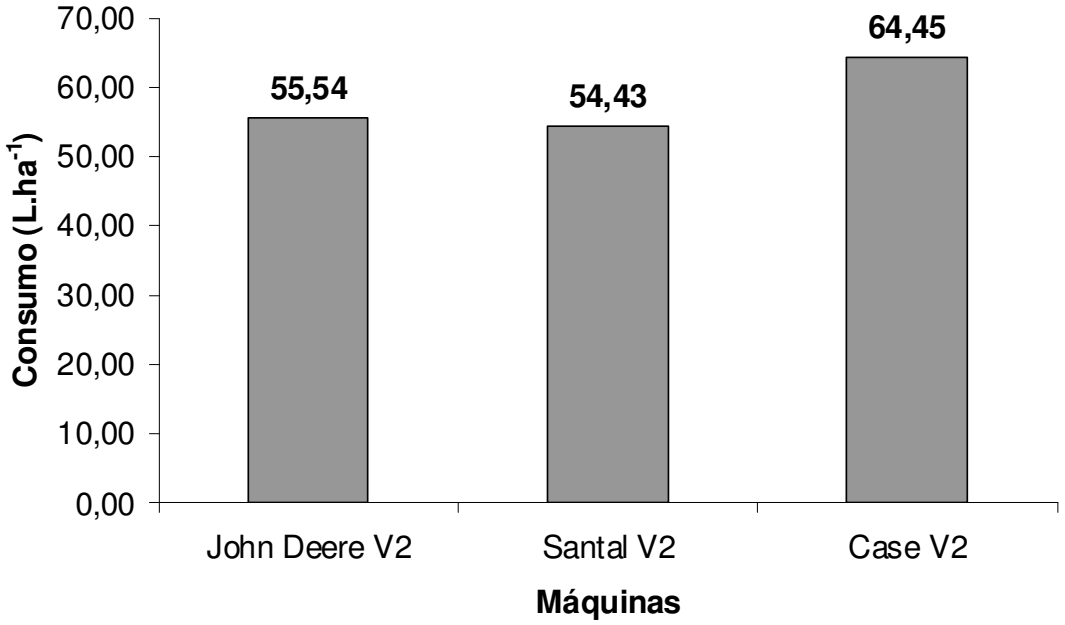


Figura 62 - Médias das repetições para consumo de combustível pro área para as três máquinas no tratamento 2 (V = 7,0 km.h^{-1})

4.8.2 Consumo de combustível na capacidade efetiva bruta de matéria-prima (L.t^{-1})

Nas Figuras 63 e 64 pode-se verificar o consumo de combustível na capacidade efetiva bruta de colheita de matéria-prima para as três colhedoras nos dois tratamentos. Para essa variável não houve diferença estatística (5% de significância) entre as máquinas nos tratamentos e entre as médias de cada máquina considerando-se os dois tratamentos. Entretanto, houve diferença estatística a 5 % de significância quando comparados os dois tratamentos (Tabelas 37 e 38 – apêndice).

Os valores obtidos nesse ensaio são semelhantes aos encontrados por Nery (2000) que avaliando uma colhedora de cana colhendo a 5,3 km.h^{-1} obteve consumo de 0,69 L.t^{-1} e 0,61 L.t^{-1} a 7,68 km.h^{-1}, verificando que com o aumento da velocidade de colheita ocorre diminuição no consumo por tonelada de cana colhida.

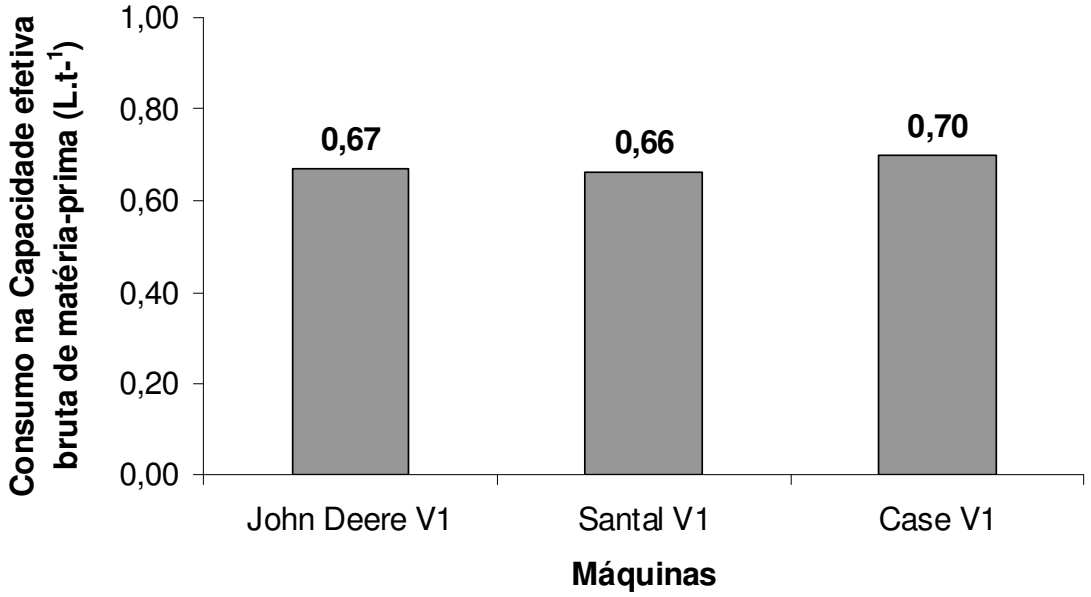


Figura 63 - Médias das repetições para consumo de combustível na capacidade efetiva bruta de matéria-prima para as três máquinas no tratamento 1 (V = 5,0 km.h^{-1})

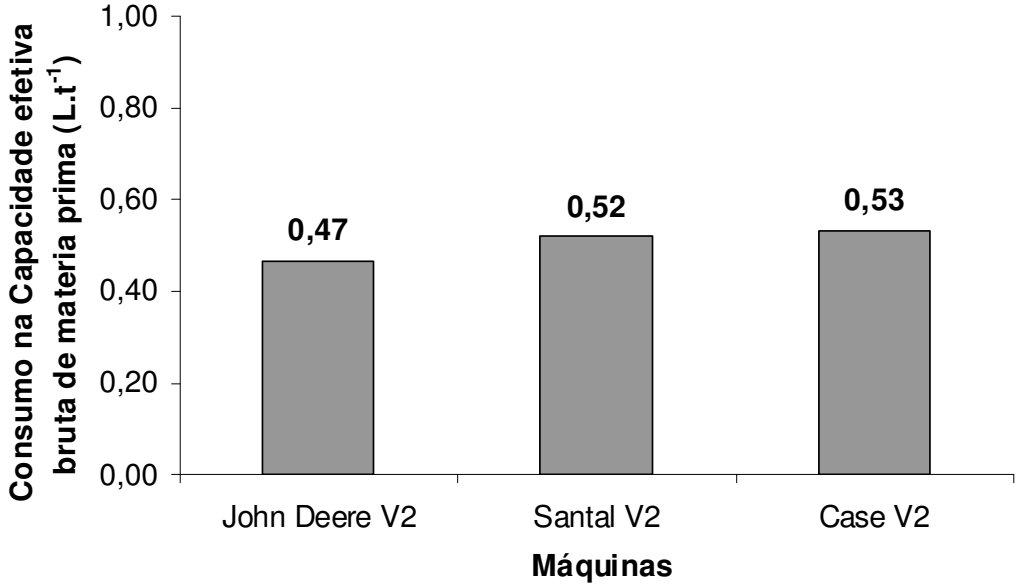


Figura 64 - Médias das repetições para consumo de combustível na capacidade efetiva bruta de matéria-prima para as três máquinas no tratamento 2 (V = 7,0 km.h^{-1})

4.8.3 Consumo de combustível na capacidade efetiva bruta de colmos ($L.t^{-1}$)

Os valores referentes ao consumo na capacidade efetiva bruta de colmos para os dois tratamentos são apresentados nas Figuras 65 e 66. Para esses valores não houve diferença significativa (5% de significância) entre as máquinas nos dois tratamentos e entre as médias de cada colhedora considerando-se os dois tratamentos. No entanto, houve diferença estatística significativa entre os tratamentos (Tabelas 39 e 40 – apêndice), confirmando novamente que o aumento na velocidade de deslocamento, leva a um menor consumo de combustível por tonelada colhida.

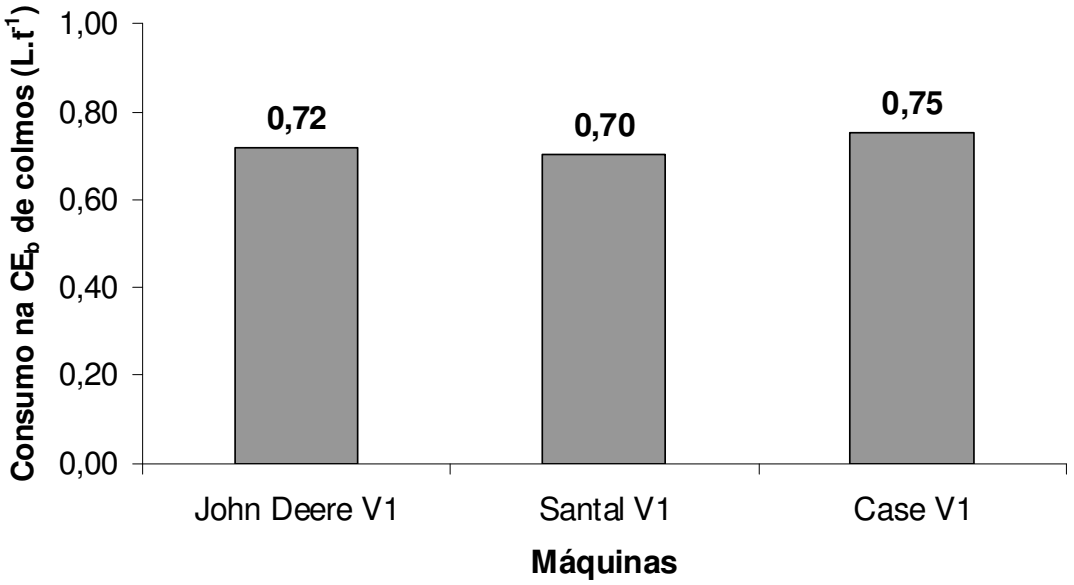


Figura 65 - Médias das repetições para consumo de combustível na capacidade efetiva bruta de colmos para as três máquinas no tratamento 1 (V = 5,0 $km.h^{-1}$)

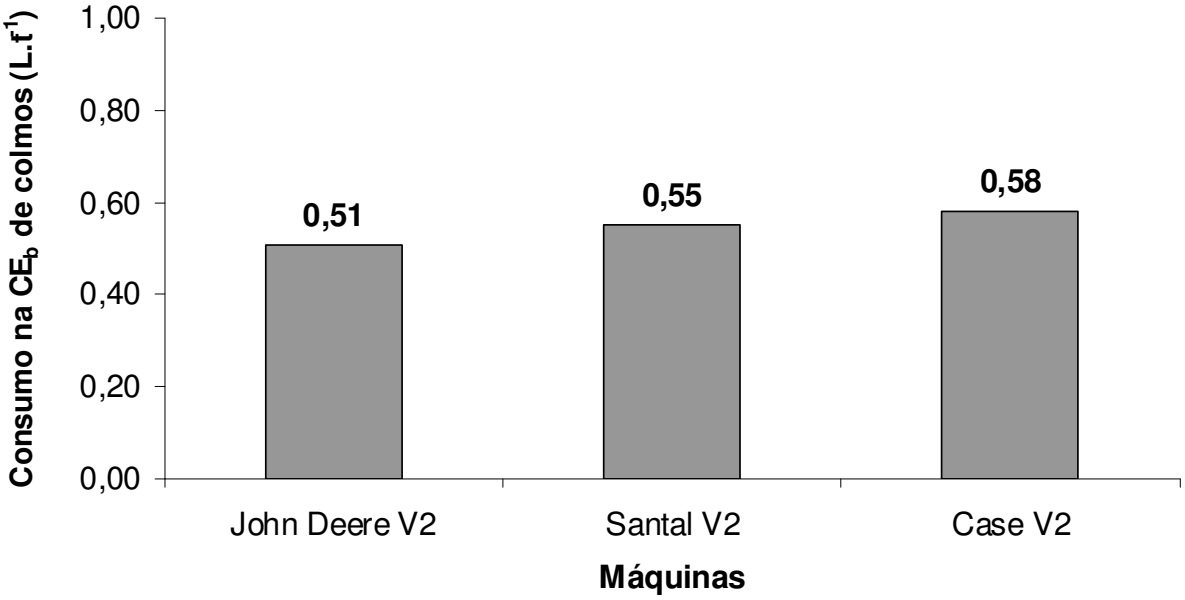


Figura 66 - Médias das repetições para consumo de combustível na capacidade efetiva bruta de colmos para as três máquinas no tratamento 2 (V = 7,0 km.h^{-1})

4.8.4 Consumo de combustível na capacidade efetiva líquida de colmos (L.t^{-1})

Da mesma forma que as demais variáveis referentes a consumo por tonelada, não houve diferença significativa (5% de significância) entre as máquinas em cada tratamentos e entre as médias de cada colhedora para os dois tratamentos, porém houve diferença significativa entre os tratamentos (Tabelas 41 e 42 – apêndice).

Os valores referentes às médias de consumo das três colhedoras em cada um dos tratamentos são apresentados nas Figuras 67 e 68.

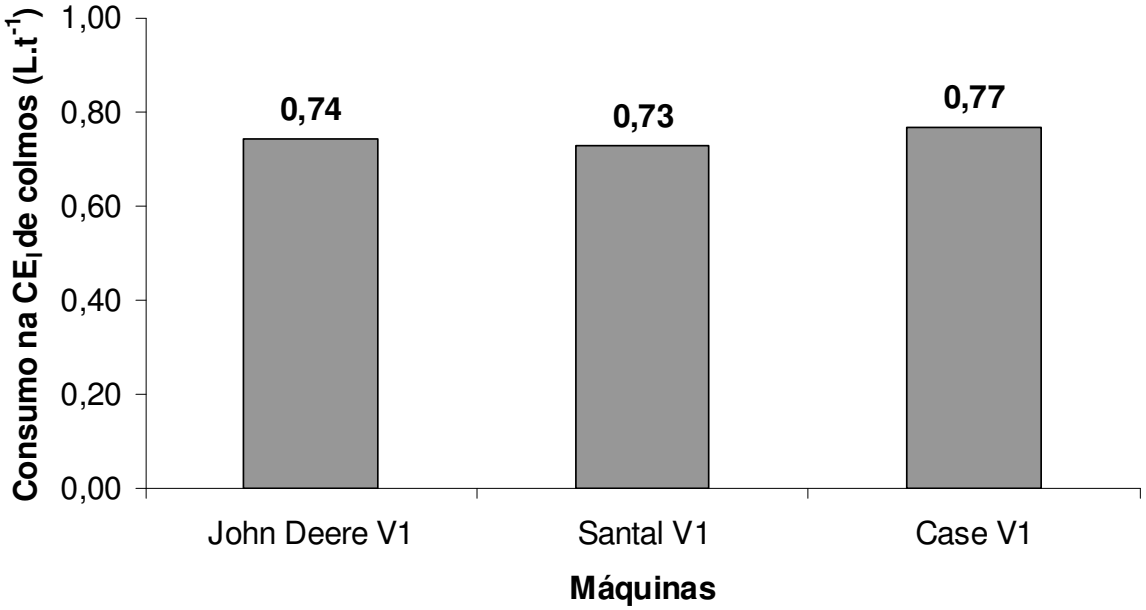


Figura 67 - Médias das repetições para consumo de combustível na capacidade efetiva líquida de colmos para as três máquinas no tratamento 1 (V = 5,0 km.h^{-1})

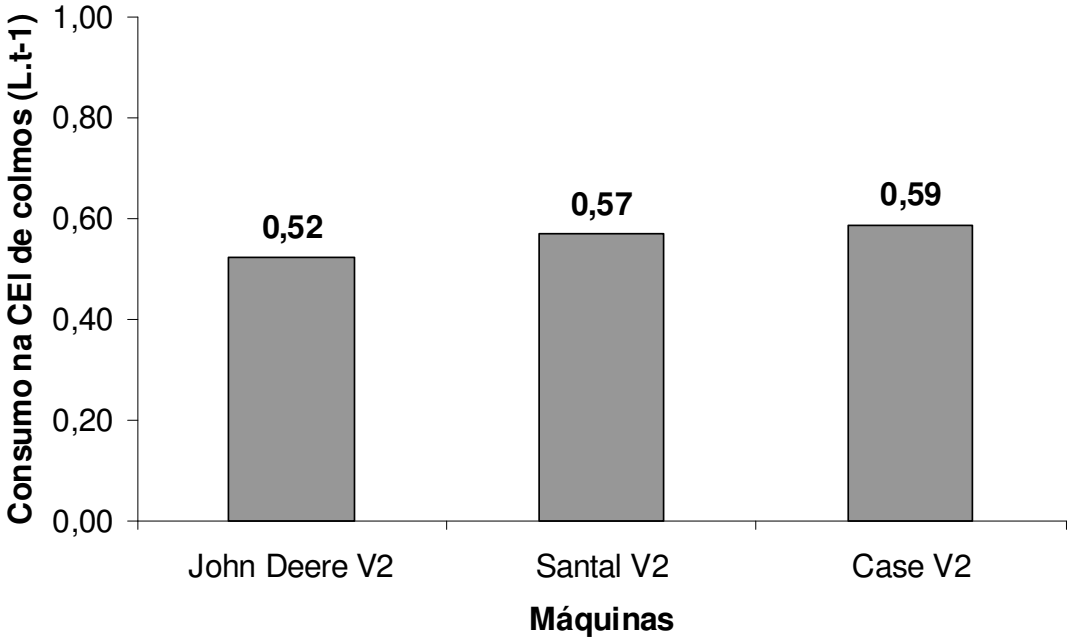


Figura 68 - Médias das repetições para consumo de combustível na capacidade efetiva líquida de colmos para as três máquinas no tratamento 2 (V = 7,0 km.h^{-1})

4.9 Freqüência de comprimento e índice de cisalhamento de rebolos

As Figuras 69, 70 e 71 apresentam os valores percentuais determinados para a qualidade de cisalhamento dos rebolos. Os resultados obtidos foram em função do grau de afiação das lâminas do corte de base e do síncrono (picador), das características de projeto do síncrono e, em menor influência, do teor de fibra da variedade de cana colhida.

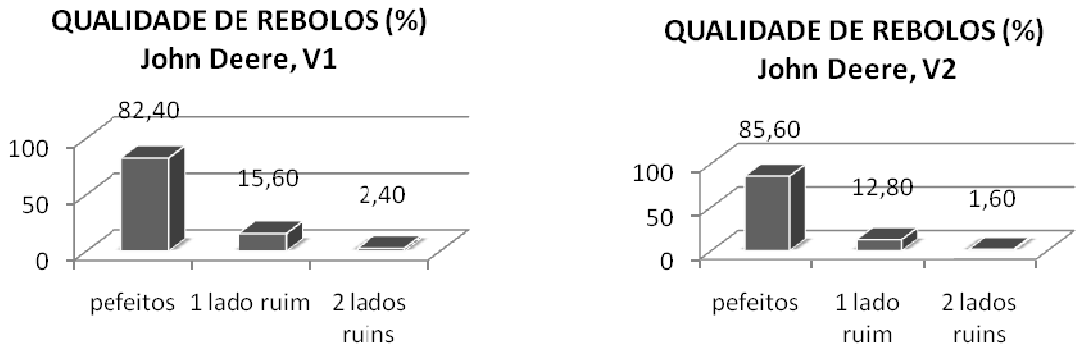


Figura 69 - Qualidade de cisalhamento (%) dos rebolos obtidos pela colhedora John Deere nos dois tratamentos

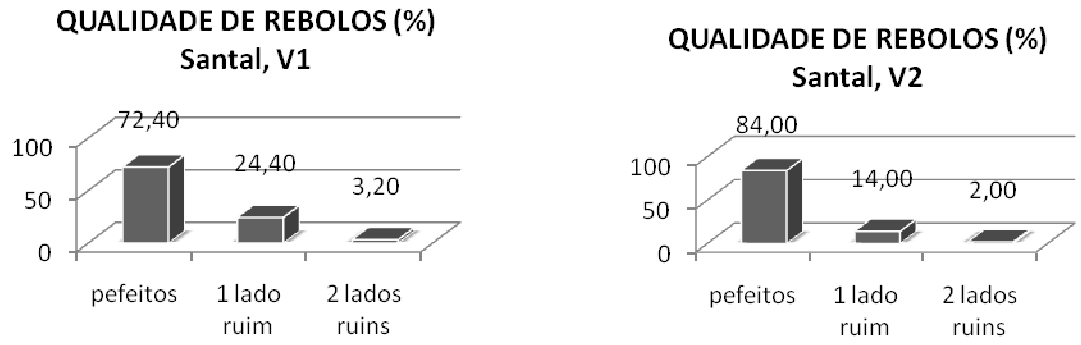
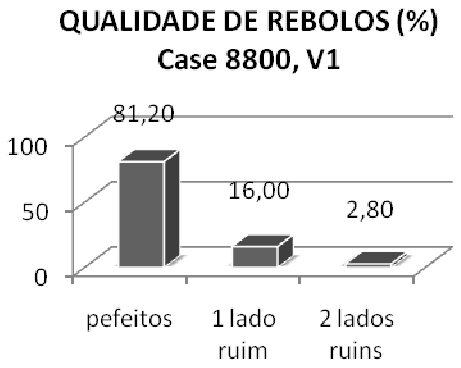


Figura 70 - Qualidade de cisalhamento (%) dos rebolos obtidos pela colhedora Santal nos dois tratamentos



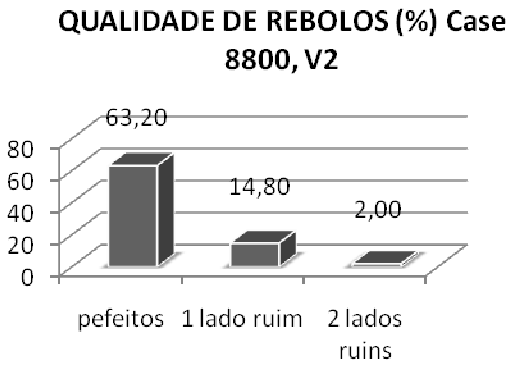


Figura 71 - Qualidade de cisalhamento (%) dos rebolos obtidos pela colhedora Case nos dois tratamentos

Com os dados de porcentagem de rebolos perfeitos extraídos das Figuras 69, 70 e 71 elaborou-se a Tabela 13. Observa-se que, com exceção do tratamento Santal V1, os demais apresentaram valores bastante próximos entre si, mantendo a qualidade de cisalhamento mesmo com o aumento da velocidade de colheita. 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 Léon (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.

Tabela 13 - Porcentagens de rebolos perfeitos para das máquinas e velocidades de deslocamento estudadas. V1 e V2 = velocidades

Máquinas	% rebolos perfeitos
John Deere V1	82,4
John Deere V2	85,6
Santal V1	72,4
Santal V2	84
Case 8800 V1	81,2
Case 8800 V2	83,2

As Figuras 72 a 77 apresentam a distribuição de freqüência de tamanho de rebolos nos 10 tratamentos efetuados com 50 rebolos por repetição.

As variações encontradas nas freqüências de maiores porcentagens entre os tratamentos são 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. Com rebolos menores, ocorre o inverso.

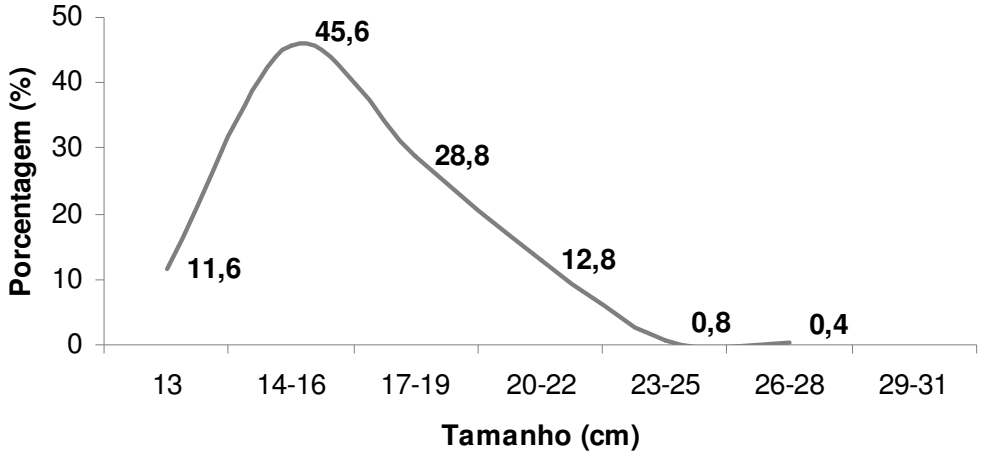


Figura 72 - Freqüência (%) de distribuição de tamanho de rebolos para colhedora John Deere no tratamento 1 (V = 5,0 km.h^{-1})

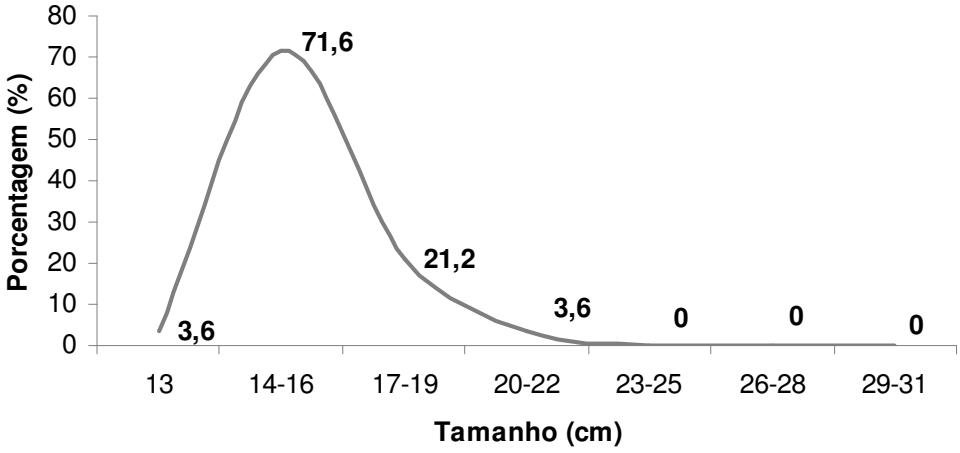


Figura 73 - Freqüência (%) de distribuição de tamanho de rebolos para colhedora John Deere no tratamento 2 (V = 7,0 km.h^{-1})

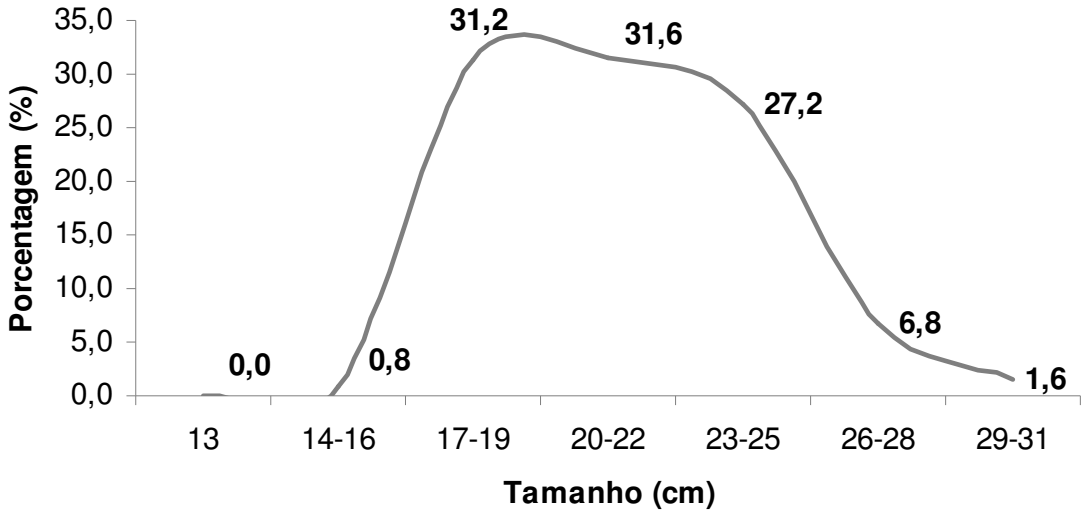


Figura 74 - Freqüência (%) de distribuição de tamanho de rebolos para colhedora Santal no tratamento 1 (V = 5,0 km.h^{-1})

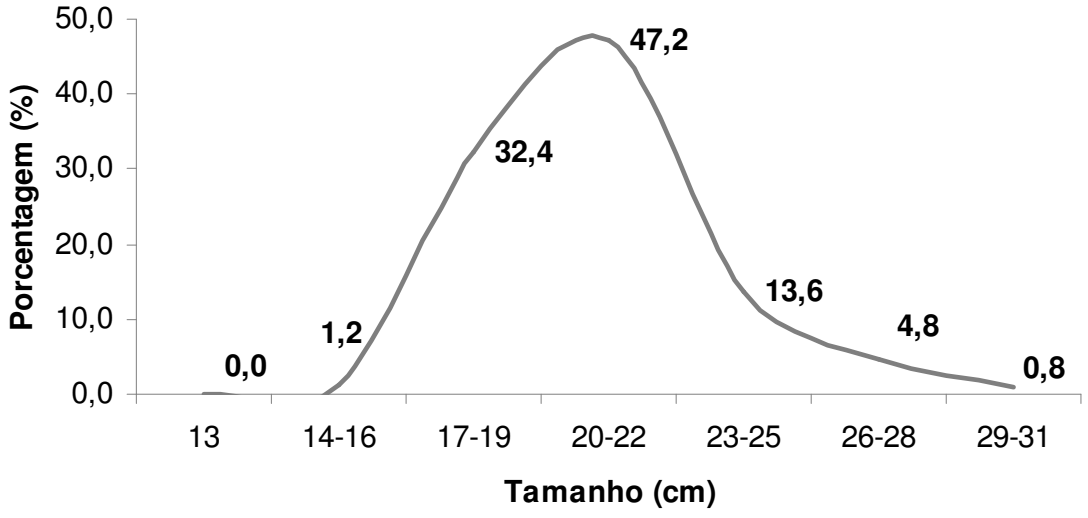


Figura 75 - Freqüência (%) de distribuição de tamanho de rebolos para colhedora Santal no tratamento 2 (V = 7,0 km.h^{-1})

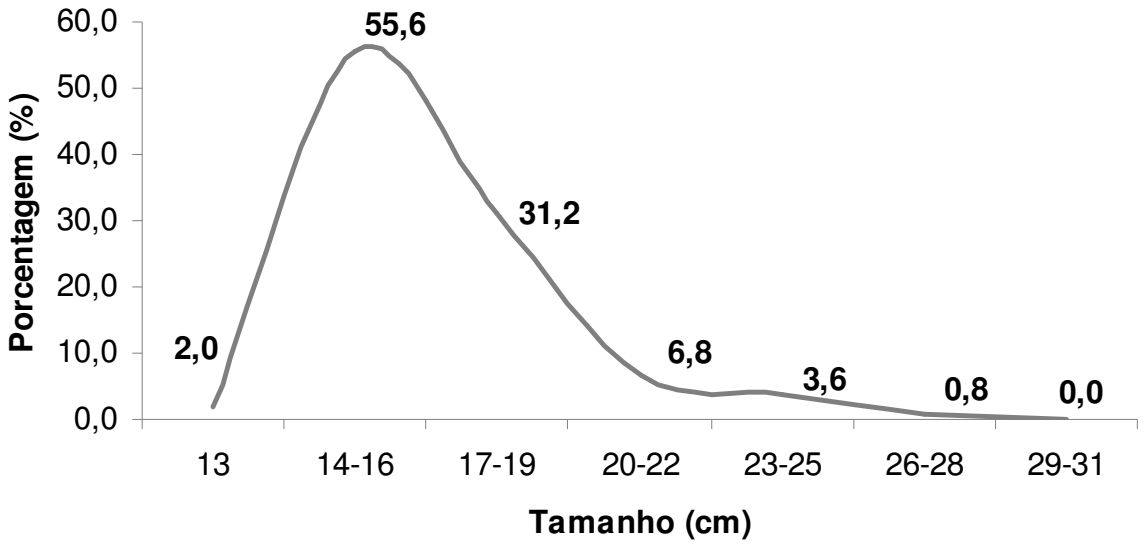


Figura 76 - Freqüência (%) de distribuição de tamanho de rebolos para colhedora Case no tratamento 1 (V = 5,0 km.h^{-1})

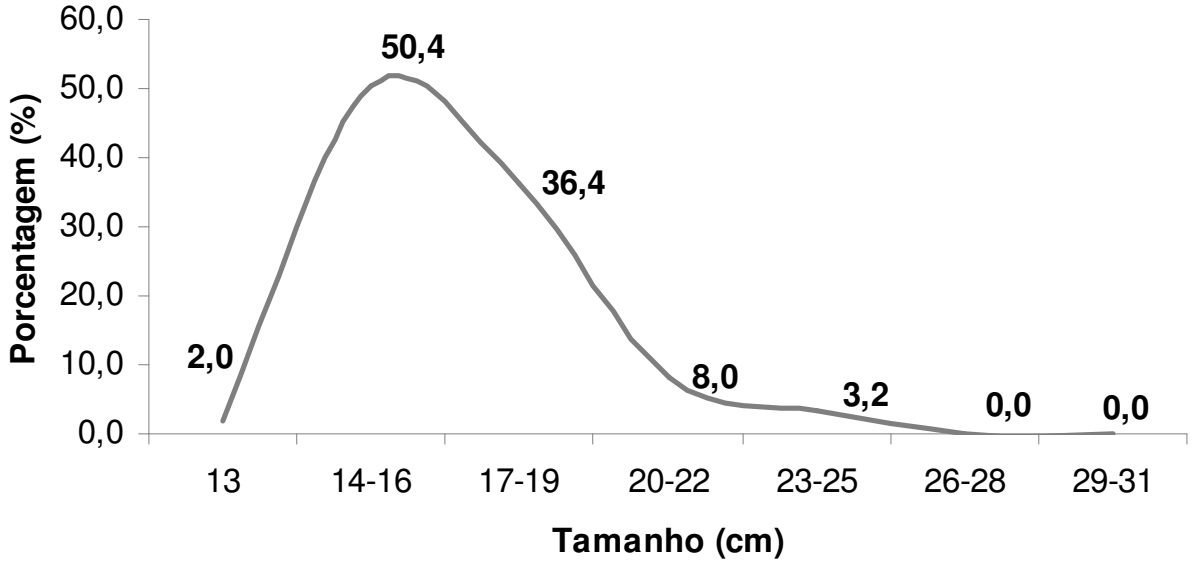


Figura 77 - Freqüência (%) de distribuição de tamanho de rebolos para colhedora Case no tratamento 2 (V = 7,0 km.h^{-1})

Em cada colhedora, mesmo com o aumento da velocidade não houve alteração em seu respectivo intervalo de comprimento de rebolos com maior freqüência. No entanto, a freqüência (%) apresentou comportamento distinto para cada velocidade e máquina. Na máquina John Deere o aumento na velocidade de 5 $km.h^{-1}$ (V1) para 7 $km.h^{-1}$ (V2) provocou uma elevação na maior freqüência de 26%. A máquina Santal a 5 km.h-1 apresentou uma ampla distribuição de freqüência, sendo a maior de apenas 31,6%, contudo a 7 $km.h^{-1}$ (V2) houve uma melhora significativa no resultado e a maior freqüência elevou-se a 47,2%. Na colhedora Case diferentemente das outras se verificou uma redução de 5,2% na maior freqüência com a elevação da velocidade.

Com base nas Figuras 72 a 77 elaborou-se a Tabela 14 onde são apresentados os comprimentos de rebolos com maiores freqüências e suas respectivas porcentagens.

Tabela 14 - Intervalo de comprimento de rebolos com maiores porcentagens de freqüência.

Tratamentos	Intervalos de comprimento (cm)	Freqüência (%)
M1V1 (John Deere)	14-16	45,6
M1V2 (John Deere)	14-16	71,6
M2V1 (Santal)	20-22	31,6
M2V2 (Santal)	20-22	47,2
M3V1 (Case 8800)	14-16	55,6
M3V2 (Case 8800)	14-16	50,4

5 CONCLUSÕES

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

Houve aumento nas capacidades de colheita, sendo elas, capacidade efetiva, capacidade efetiva bruta de matéria-prima, capacidade efetiva bruta de colmos e capacidade efetiva líquida de colmos, com o aumento da velocidade de deslocamento.

Os valores encontrados para as variáveis relacionadas à qualidade de colheita, sendo elas, matéria estranha vegetal e matéria estranha mineral não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos com o aumento da velocidade das colhedoras.

A eficácia de manipulação manteve índices semelhantes entre os tratamentos, para todas as máquinas, não apresentando diferença significativa a 5% de probabilidade.

Os níveis de perdas na colheita foram iguais em ambos os tratamentos para perdas de rebolos inteiros, pedaços de rebolos, perdas de frações de colmos nas soqueiras (toco de soqueira) e perdas totais, no entanto, para a variável perdas de colmos e suas frações, no tratamento 2, houve uma diminuição significativa á 5% de probabilidade, sendo que com o aumento da velocidade, esse índice de perdas foi menor.

Os índices de consumo de combustível apresentaram diferenças estatísticas a 5% de significância para todas as variáveis analisadas para os dois tratamentos. O consumo em litros por unidade de tempo ($L.h^{-1}$), para o tratamento 2, ou seja, na velocidade maior, foi um pouco acima quando comparado com o tratamento 1, porém quando o consumo de combustível foi avaliado em litros por unidade de área ($L.ha^{-1}$) e em litros por unidade de colheita ($L.t^{-1}$), o tratamento 2 obteve consumos menores.

Quando analisado os resultados comparando-se as médias dos dois tratamentos para cada uma das colhedoras conclui-se que:

Para a varíavel eficácia de manipulação, não houve diferença entre as máquinas avaliadas.

Com relação às capacidades efetivas bruta de matéria-prima, capacidade efetiva bruta de colmos e capacidade efetiva líquida de colmos, a colhedora John Deere obteve os melhores índices, sendo que não houve diferença estatística entre essa máquina e a colhedora Case, porém houve diferença significativa com relação à Santal. Já comparando as médias das máquinas Case e Santal não houve diferença significativa entre elas.

Para a variável matéria estranha vegetal, a colhedora Santal apresentou os melhores índices e diferença estatística com relação a John Deere e Case, sendo que entre essas máquinas não houve diferença significativa.

Com relação à matéria estranha mineral, a colhedora John Deere obteve os melhores índices e houve diferença estatística quando comparada com a Case. A colhedora Santal apresentou índices semelhantes e sem diferença estatística aos da John Deere e da Case.

Os índices de perdas de rebolos inteiros, perdas de pedaços de rebolos, perdas de colmos e suas frações e perdas totais não apresentaram diferença estatística significativa entre as máquinas, porém o índice de perdas de frações de colmos nas soqueiras (toco de soqueira) apresentou diferença entre a colhedora Case, com menor índice, e a máquina John Deere. A Santal obteve valores sem diferença significativa quando comparado com as demais colhedoras.

O consumo de combustível por hora ($L.h^{-1}$) foi menor para a máquina Santal, seguido da John Deere e Case, sendo que todas apresentaram diferenças estatísticas entre si. Já o consumo em litros por área ($L.ha^{-1}$), foi menor para a Santal quando comparada com as duas outras máquinas e não houve diferença entre John Deere e Case.

Quando foi avaliado o consumo de combustível nas capacidades efetivas de colheita (bruta de matéria-prima, bruta de colmos e líquida de colmos) não houve diferença estatística entre as máquinas avaliadas.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEEERS. **Yearbook of standards.** St. Joseph, 1983. 835 p. (ASAE-EP, 391).

ANDRADE SILVA, G.M. Cana crua VS cana queimada: restrições técnicas e implicações sociais e econômicas. In: SEMANA DE CANA-DE-AÇÚCAR DE PIRACICABA, 2, Piracicaba, 1997. **Anais**… Piracicaba: STAB, 1997. p. 55-57.

ARRUDA, J.J.A. **História:** moderna e contemporânea. São Paulo: Ática, 1996.472 p.

BOFILL, A.; DÍAZ, J.A.; GUYÓN, L.; MARTÍNEZ, R. Application of mathematical methods to the management of sugar cane enterprises**.** In:_____ **Computer Applications in Food Production and Agricultural Engineering**.IFIP, 1982. p. 175-190.

BRAUNBECK, O.A.; MAGALHÃES, P.S.G. Colheita sustentável com aproveitamento integral da cana. **Visão Agrícola,** Piracicaba, v. 1, n. 1, p. 72-79, jan. 2004.

CALDEIRA, D.S.A. **Palhiço residual de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) colhida mecanicamente (sem queima prévia): manejo, fertilização, influência no perfilhamento e produtividade da cultura**. 2002. 94p. Tese (Doutorado na área de Ciências Agronômicas) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2002.

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

CARVALHO, L.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.

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

CHURCHWARD, E.H.; POULSEN, N.J. In: REVIEW OF HARVEST DEVELOPMENT. 1988. **Proceedings…** Austrália: **.** Australian Society of Sugar Cane Technologist, 1988. p. 1-6.

COELHO, M.F. **Planejamento da qualidade no processo de colheita mecanizada da cana-de-açúcar.** 2009. 77 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

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.

DELGADO, A. A. Os efeitos da queima dos canaviais. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.3, n.6, p. 42-45, jul./ago. 1985.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Perspectivas para o etanol no Brasil**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. Acesso em: 10 set. 2009.

FUELLING, T.G. Sugar cane harvester design. **Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technologists,** Queensland, n.5, p. 131-137, 1982.

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

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

FURLANI NETO, V.L.; RIPOLI, T.C. **Corte, carregamento, transporte e suas implicacoes na colheita de cana-de-açúcar:** resumo bibliográfico (*Saccharum spp,* bibliografia). Piracicaba: Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar, 1975. 80 p.

FURLANI NETO, V.L.; FERNANDES, J.E.; MIALHE, L.G. Ensaio preliminar com colhedora Massey Fergusson 201 – cane comander. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 90, p. 11-15, 1977.

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, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 15, n. 2, p. 18-23, Nov./dez. 1996.

FURLANI NETO, V.L.; MONTEIRO, H.; RIPOLI, T.C.C.; NNOGUEIRA, R.R. Comparative analysis between green cane and burned cane: raw matter quality, cane losses, crop residue and chopper harvest performance. In: CONGRESS OF

INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 20.,1989 São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: ISSCT, 1989. v. 2, p. 1043-1050.

HERRERA, M. de A.; LINARES, S.O. La incidência del rendimiento agrícola em la eficiência de limpeza y las perdidas de la ktp-1 cosechando em verde, **Cuba Azúcar**, v.8, n.2, p. 13-16, jan/mar, 1986.

HUMBERT, R.P. Improving burns with desiccants as an aid to mechanical harvesting proceedings. In: CONGRESS OF INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, São Paulo, 1974. **Proceedings.** São Paulo: ISSCT, 1974 p.821-829.

JANK, M.S. **A Globalização e o Setor Sucroenergético Brasileiro**. Disponível em: <http://www.unica.com.br/opiniao/. Acesso em: 25 abr. 2010.

JORNAL CANA. **Os impressionantes números do setor sucroenergético – safra 2009/10.** Disponível em : <http://www.jornalcana.com.br/Conteudo/Conheca%20o%20Setor.asp>.Acesso em: 18 abr. 2010.

KIRCHHOFF, V.W.J.H. **As queimadas da cana**. São José dos Campos: Transtec Editorial, 1991. 92 p.

LAURE, C.J. Efeitos de queimadas sobre a atmosfera: produção de gases nocivos. In: KIRCHHOFF, V.W.J.H. **As queimadas da cana**. São José dos Campos: Transtec Editorial, 1991. p. 32.

MACEDO, N. **Variedades de cana-de-açúcar**, 2008. Disponível em: <http//www.comciencia.br/comciencia/?section=23hjd=258>. Acesso em: 06 ago. 2009.

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.

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.

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.

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.

MEDINA, H.P.; Classificação granulométrica do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1953, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBCS, 1953

MIALHE, L.G. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres,1974. 301 p.

MIALHE, L.G.; RIPOLI, T.C.C. **Evaluación de cosechadoras automotrices de caña de azúcar**. Caracas: Distribuidora Venezolana de Azúcares, 1976. 326 p.

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).

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Cana-de-Açúcar e Agroenergia: estatísticas**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br>. Acesso em: 20 abr. 2010a.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Projeções do agronegócio Brasil 2009/10 a 2019/20**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br>. Acesso em: 21 abr. 2010b.

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. **Proceedings...** 2001.

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, M.A.F.D. Indicadores do mercado de trabalho do sistema agroindustrial da cana-de-açúcar do Brasil no período1992-2005. **Estudos Econômicos**, São Paulo, v. 37, n. 4, 2007, p.605-619.

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

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

NORRIS, C.P.; DAVIS, R.J.; QUICK, D.J.; MOHOMMAD, Y. An alternative approach to cane harvester design: an initial riview of the Massey Fergusson 405, xxx n. 20, p. 10-16. 1998.

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

ORLANDO FILHO, J. **A produção da cana 2007**. Disponível em: <http//www.palazo.pro/cana/archives/net>.Acesso em: 06 ago 2009

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; IEUNICAMP, 2006. 119 p. (Projeto MAPA/IICA).

PINTO, L.A.R. Colheita de cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro,** Rio de Janeiro, v.39, n.4, p. 38-51, abr. 1977.

PINTO, L.A.R. Desenvolvimento na colheita de cana-de-açúcar. **Agricultura de Hoje**, Rio de Janeiro, v.2, n.20, p. 305-355, 1976.

RIPOLI, M.L.C.; RIPOLI, T.C.C. Variação da temperatura de queima de canavial. In: SIMPÒSIO DE INICIAÇÂO CIÊNTÌFICA DA USP, 3., 1995, Piracicaba. **Resumos...** Piracicaba: ESALQ, 1995. p. 406.

RIPOLI, T.C.C.; MOLINA JR., W.F.; NOGUEIRA, M.C.S.; MATOS, J.R. Equivalente energético da palhada da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1990, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, Depto. Engenharia Rural, 1990. v. 1, p. 249-262.

RIPOLI, T.C.C.; NERY, M.S.; DE LÉON, M.J.; PIEDADE, S.M.S. Desempenho operacional de uma colhedora em cana crua em função da velocidade de avanço. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.19, n.2, p.199-207, 1999.

RIPOLI, T.C.C. 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. **Utilização do material remanescente da colheita da cana-de-açúcar (*Saccharum ssp*):** equacionamento e balanço energético e econômico. 1991. 150 p. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

RIPOLI, T.C.C. Sistemas de colheita de cana.In:ENCONTRO TÉCNICO BASF DO OESTE PAULISTA, 2., 2010. **Anais...**Jun.2010. 1 CD-ROM.

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.; PARANHOS, S.B. Cana-de-açúcar; colheita. In: PARANHOS, S.B. (Coord.). **Cana-de-açúcar:** cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 517-597.

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

RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C. **Biomassa da cana-de-açúcar**: colheita, energia e ambiente. 2. ed. Piracicaba: Os Autores, 2009. 333 p.

RIPOLI, T.C.C.; FURLANI NETO, V.L.; NOVA, J. Colheita Mecânica: perdas de matéria-prima em canaviais com e sem queima prévia. **STAB. Álcool, Açúcar, e Subprodutos**, Piracicaba, v. 14, n. 10, p. 19-24, jul./ago. 1996.

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. Sacramento 2001 In: ASAE INTERNATIONAL ANNUAL MEETING, 2001, Sacramento. **Proccedings...** Sacramento: ASAE, 2001. p. 718-726p.

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.

ROMANACH, L.M.; CARON, D. Emprego, trabalho, custo e mecanização da colheita da cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**., Piracicaba,v17, n.5, p.25. maio/jun. 1999.

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

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

RUDORFF, B.F.T.; SUGAWARA, L.M.; AGUIAR, D.A.; SILVA, W.F.; GOLTZ, E.; AULICINO, T.L.I.N.; CARVALHO, M.A.; ARENAS-TOLEDO, J.M.; BRANDÃO, D. **Determinação da área cultivada com cana-de-açúcar na região centro-sul por meio de imagens de satélite de sensoriamento remoto - safras 2005/06 a 2008/09**. São José dos Campos: INPE, 2009. 151p. (INPE-15725-RPQ/822).

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.

STEEL, J.G.; BRADIFIELD, R. The significance of size distribution in the clay fraction. In: AMERICAN SOIL SURVEY. **Report bulletin**. Madison, 1934. p. 88-93.

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

STUPIELLO, J.P.; NOVAES, F.V.; DELGADO, A.A.; OLIVEIRA, E.R.; CESAR, M.A.A.; VALSECHI, O. **Elementos de tecnologia do açúcar.** Piracicaba: ESALQ/Depto. Tecnologia Rural, 1971. 72 p.

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

TORQUATO, S.A.; FRONZAGILA, T.; MARTINS,R. **Colheita mecanizada e adequação da tecnologia nas regiões produtoras de cana-de-açúcar**. Disponível em:<http://www.infoteca.cnptia.Embrapa.br>. Acesso em: 15 jul. 2010.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Dados e cotações**. Estatísticas. Disponível em: <http://www.unica.com.br>. Acesso em: 5 mar. 2010.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Notícias**. Cresce a mecanização na colheita de cana-de-açúcar em São Paulo. Disponível em: <http://www.unica.com.br/motícias>. Acesso em: 21 out. 2009a.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Sustentabilidade**. Protocolo Agroambiental. Disponível em: <http://www.unica.com.br>. Acesso em: 21 out. 2009b.

URQUIAGA, S.; RESENDE, A.S.; ALVES, B.J.R.; OLIVEIRA, O.C.; BODDEY,R.M. Queima de cana. **Revista Agrobiologia,** Seropédica, n.5, p.2, abril/1997. p. 17-28.

WITNEY, B. **Choosing and using farm machines**. Harlow: Longman, 1988. 412p.

APÊNDICES

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

Causas da Variação	G.L.	Q.M	Valor F
Máquina	2	0,4368	20,11*
Velocidade	1	26,8401	1235,39*
Máquina x Velocidade	2	0,0845	3,89*
Resíduo	24	0,0217	
Total	29		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns – Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

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

	Velocidade média $km.h^{-1}$		
	V1	V2	Médias
John Deere	5,16a	7,27a	6,21A
Santal	4,97a	6,81b	5,89B
Case	4,94a	6,70b	5,65C
Médias	5,02B	6,94A	
CV (%)	2,489		

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

Tabela 3 - Análise de variância para variável colmos colhidos (%)

Causas da Variação	G.L.	Q.M	Valor F
Máquina	2	9,0595	4,77*
Velocidade	1	3,4822	1,83 ns
Máquina x Velocidade	2	1,0957	0,58 ns
Resíduo	24		
Total	29		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns – Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 4 - Teste de Tukey para variável colmos colhidos (%)

	Colmos colhidos (%)		
	V1	V2	Médias
John Deere	93,30a	91,95a	92,63B
Santal	94,22a	94,19a	94,21A
Case	92,82a	92,14a	92,55B
Médias	93,41A	92,91A	
CV (%)	72,770		

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

Tabela 5 - Análise de variância para variável eficácia de manipulação (%)

Causas da Variação	G.L.	Q.M	Valor F
Máquina	2	5,6000	3,56*
Velocidade	1	1,3568	0.86 ns
Máquina x Velocidade	2	0,0484	0,03 ns
Resíduo	24	1,5716	
Total	29		

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns – Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 6 - Teste de Tukey para variável eficácia de manipulação (%)

	Eficácia de manipulação (%)		
	V1	V2	Médias
John Deere	96,65a	97,01a	96,83A
Santal	96,54a	96,88a	96,71A
Case	97,78a	98,37a	98,02A
Médias	97,04A	97,35A	
CV (%)	1,289		

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

Tabela 7 - Análise de variância para variável capacidade efetiva de colheita ($ha.h^{-1}$)

Causas da Variação	G.L.	Q.M	Valor F
Máquina	2	0,0100	19,73*
Velocidade	1	0,6097	1201,20*
Máquina x Velocidade	2	0,0023	4,64*
Resíduo	24	0,0005	
Total	29		

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns – Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 8 - Teste de Tukey para variável capacidade efetiva de colheita ($ha.h^{-1}$)

	Capacidade efetiva de colheita ($ha.h^{-1}$)		
	V1	V2	Médias
John Deere	0,77a	1,09a	0,93A
Santal	0,74a	1,02b	0,88B
Case	0,74a	1,00b	0,84C
Médias	0,75B	1,04A	
CV (%)	2,537		

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

Tabela 9 - Análise de variância para variável capacidade efetiva bruta de matéria-prima ($t.h^{-1}$)

Causas da Variação	G.L.	Q.M	Valor F
Máquina	2	504,1981	6,46*
Velocidade	1	8383,2767	107,41*
Máquina x Velocidade	2	245,1777	3,14 ns
Resíduo	24	78,045	
Total	29		

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns – Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 10 - Teste de Tukey para variável capacidade efetiva bruta de matéria-prima ($t.h^{-1}$)

Capacidade efetiva bruta de matéria-prima ($t.h^{-1}$)			
	V1	V2	Médias
John Deere	85,87a	130,54a	108,21A
Santal	82,43a	107,86b	95,14B
Case	91,12a	122,02a	103,48AB
Médias	86,76B	120,00A	
CV (%)	8,637		

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

Tabela 11 - Análise de variância para variável capacidade efetiva bruta de colmos ($t.h^{-1}$)

Causas da Variação	G.L.	Q.M	Valor F
Máquina	2	320,7186	4,78*
Velocidade	1	6901,4711	102,93*
Máquina x Velocidade	2	174,1728	2,60 ns
Resíduo	24	67,0525	
Total	29		

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns – Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 12 - Teste de Tukey para variável capacidade efetiva bruta de colmos ($t.h^{-1}$)

Capacidade efetiva bruta de colmos ($t.h^{-1}$)			
	V1	V2	Médias
John Deere	80,15a	120,06a	100,10A
Santal	77,65a	101,50b	89,57B
Case	84,57a	112,44a	95,71AB
Médias	81,02B	111,25A	
CV (%)	8,607		

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

Tabela 13 - Análise de variância para variável capacidade efetiva líquida de colmos ($t.h^{-1}$)

Causas da Variação	G.L.	Q.M	Valor F
Máquina	2	337,9855	4,75*
Velocidade	1	6689,7512	93,92*
Máquina x Velocidade	2	163,1600	2,29 ns
Resíduo	24	71,2265	
Total	29		

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns – Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 14 - Teste de Tukey para variável capacidade efetiva líquida de colmos ($t.h^{-1}$)

Capacidade efetiva líquida de colmos ($t.h^{-1}$)			
	V1	V2	Médias
John Deere	77,45a	116,48a	96,96A
Santal	75,07a	98,38b	86,72B
Case	82,74a	110,62a	93,89AB
Médias	78,69B	108,34A	
CV (%)	9,120		

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

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

Causas da Variação	G.L.	Q.M	Valor F
Máquina	2	0,2597	4,46*
Velocidade	1	0,1033	0,23 ns
Máquina x Velocidade	2	0,0491	0,84 ns
Resíduo	24	0,0582	
Total	29		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns – Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

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

Matéria estranha mineral (%)			
	V1	V2	Médias
John Deere	0,50a	0,61a	0,55B
Santal	0,78a	0,62a	0,70AB
Case	0,92a	0,84a	0,88A
Médias	0,74A	0,68A	
CV (%)	33,7520		

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

Tabela 17 - Análise da variância para variável matéria estranha mineral ($t.ha^{-1}$)

Causas da Variação	G.L.	Q.M	Valor F
Máquina	2	0,5258	4,34*
Velocidade	1	0,0176	0,15 ns
Máquina x Velocidade	2	0,1055	0,87 ns
Resíduo	24	0,1212	
Total	29		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns – Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

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

Matéria estranha mineral ($t.ha^{-1}$)			
	V1	V2	Médias
John Deere	0,55a	0,73a	0,64B
Santal	0,86a	0,66a	0,76AB
Case	1,15a	1,02a	1,10A
Médias	0,87A	0,79A	
CV (%)	41,587		

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

Tabela 19 - Analise de variância para variável matéria estranha vegetal (%)

Causas da Variação	G.L.	Q.M	Valor F
Máquina	2	9,1293	4,77*
Velocidade	1	3,6841	1,93 ns
Máquina x Velocidade	2	0,6742	0,35 ns
Resíduo	24	1,1930	
Total	29		

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns – Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 20. - Teste de Tukey para variável matéria estranha vegetal (%)

	Matéria estranha vegetal (%)		
	V1	V2	Médias
John Deere	6,18a	7,39a	6,78A
Santal	4,99a	5,16a	5,07B
Case	6,30a	7,05a	6,60AB
Médias	5,86A	6,49A	
CV (%)	22,458		

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

Tabela 21 - Análise de variância para variável matéria estranha vegetal ($t.ha^{-1}$)

Causas da Variação	G.L.	Q.M	Valor F
Máquina	2	20,0715	6,99*
Velocidade	1	6,2559	2,18 ns
Máquina x Velocidade	2	2,4308	0,85 ns
Resíduo	24	2,8719	
Total	29		

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns – Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 22 - Teste de Tukey para variável matéria estranha vegetal ($t.ha^{-1}$)

Matéria estranha vegetal ($t.ha^{-1}$)			
	V1	V2	Médias
John Deere	6,84a	8,80a	7,82A
Santal	5,53a	5,53b	5,53B
Case	7,73a	8,53a	8,05A
Médias	6,77A	7,56A	
CV (%)	23,734		

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

Tabela 23 - Análise de variância para a variável perda de rebolo inteiro ($t.ha^{-1}$)

Causas da Variação	G.L.	Q.M	Valor F
Máquina	2	0,0500	2,70 ns
Velocidade	1	0,00004	0,00 ns
Máquina x Velocidade	2	0,0195	1,05 ns
Resíduo	24	0,01849	
Total	29		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns – Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 24 - Teste de Tukey para variável perda de rebolo inteiro ($t.ha^{-1}$)

Perda de rebolo inteiro ($t.ha^{-1}$)			
	V1	V2	Médias
John Deere	0,11a	0,11a	0,11A
Santal	0,29a	0,20a	0,25A
Case	0,16a	0,24a	0,19A
Médias	0,18A	0,18A	
CV (%)	72,770		

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

Tabela 25 - Análise de variância para variável perda de pedaços de rebolos (t.ha-1)

Causas da Variação	G.L.	Q.M	Valor F
Máquina	2	0,1130	1,42 ns
Velocidade	1	0,0338	0,43 ns
Máquina x Velocidade	2	0,0282	0,35 ns
Resíduo	24	0,07974	
Total	29		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns – Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 26 - Teste de Tukey para variável perda pedaços de rebolos ($t.ha^{-1}$)

	Perda de pedaços de rebolo ($t.ha^{-1}$)		
	V1	V2	Médias
John Deere	1,30a	1,22a	1,26A
Santal	1,50a	1,33a	1,42A
Case	1,19a	1,24a	1,21A
Médias	1,32A	1,27A	
CV (%)	110,455		

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

Tabela 27 - Análise da variância para variável perda de colmos e suas frações ($t.ha^{-1}$)

Causas da Variação	G.L.	Q.M	Valor F
Máquina	2	0,6579	2,41 ns
Velocidade	1	0,7115	5,22 *
Máquina x Velocidade	2	0,0554	0,20 ns
Resíduo	24	0,1362	
Total	29		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns – Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 28 - Teste de Tukey para variável perda de colmos e suas frações ($t.ha^{-1}$)

Perda de colmos e suas frações ($t.ha^{-1}$)			
	V1	V2	Médias
John Deere	0,58a	0,31a	0,45A
Santal	0,62a	0,19a	0,41A
Case	0,23a	0,00a	0,13A
Médias	0,46A	0,18B	
CV (%)	110,455		

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

Tabela 29 - Analise da variância para variável perda de frações de colmos nas soqueiras – toco de soqueira ($t.ha^{-1}$)

Causas da Variação	G.L.	Q.M	Valor F
Máquina	2	2,6314	3,66 *
Velocidade	1	0,0550	0,08 ns
Máquina x Velocidade	2	0,4818	0,67 ns
Resíduo	24	0,1362	
Total	29		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns – Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 30 - Teste de Tukey para variável perda de frações de colmos nas soqueiras (toco de soqueira) ($t.ha^{-1}$)

Perda de frações de colmos nas soqueiras ($t.ha^{-1}$)			
	V1	V2	Médias
John Deere	1,62a	1,71a	1,66A
Santal	1,18a	1,43a	1,31AB
Case	0,94a	0,34a	0,70B
Médias	1,23A	1,22A	
CV (%)	69,019		

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

Tabela 31 - Análise da variância para variável perdas totais ($t.ha^{-1}$)

Causas da Variação	G.L.	Q.M	Valor F
Máquina	2	5,1816	3,14 ns
Velocidade	1	1,1624	0,98 ns
Máquina x Velocidade	2	0,1144	0,07 ns
Resíduo	24		
Total	29		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns – Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 32 - Teste de Tukey para variável perdas totais ($t.ha^{-1}$)

	Perdas totais ($t.ha^{-1}$)		
	V1	V2	Médias
John Deere	3,63a	3,36a	3,49A
Santal	3,61a	3,17a	3,39A
Case	2,53a	1,83a	2,25A
Médias	3,12A	2,84A	
CV (%)	42,1496		

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

Tabela 33 - Análise de variância para variável consumo de combustível ($L.h^{-1}$).

Causas da Variação	G.L.	Q.M	Valor F
Máquina	2	209,6992	80,43*
Velocidade	1	39,2753	15,06*
Máquina x Velocidade	2	1,8123	0,70 ns
Resíduo	24	2,6073	
Total	29		

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns – Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 34 - Teste de Tukey para variável consumo de combustível ($L.h^{-1}$)

Consumo de combustível ($L.h^{-1}$).			
	V1	V2	Médias
John Deere	57,27b	60,56b	58,92B
Santal	53,74c	55,60c	54,67A
Case	63,03a	64,80a	63,74C
Médias	58,33B	60,00A	
CV (%)	2,731		

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

Tabela 35 - Análise de variância para variável consumo de combustível por área ($L.ha^{-1}$)

Causas da Variação	G.L.	Q.M	Valor F
Máquina	2	378,4000	52,66*
Velocidade	1	2636,7704	366,95*
Máquina x Velocidade	2	5,5490	0,77 ns
Resíduo	24	7,1855	
Total	29		

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns – Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 36 - Teste de Tukey para variável consumo de combustível por área ($L.ha^{-1}$)

Consumo de combustível por área ($L.ha^{-1}$)			
	V1	V2	Médias
John Deere	74,03b	55,54b	64,78B
Santal	72,03b	54,40b	63,23B
Case	84,99a	64,45a	76,78A
Médias	77,52A	57,69B	
CV (%)	3,9266		

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

Tabela 37 - Análise de variância para variável consumo de combustível na capacidade efetiva bruta de matéria-prima ($L.t^{-1}$)

Causas da Variação	G.L.	Q.M	Valor F
Máquina	2	0,0053	1,33 ns
Velocidade	1	0,2163	53,75*
Máquina x Velocidade	2	0,0023	0,60 ns
Resíduo	24	0,0040	
Total	29		

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns – Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 38 - Teste de Tukey para variável consumo de combustível na capacidade efetiva bruta de matéria-prima ($L.t^{-1}$)

Consumo de combustível capacidade efetiva bruta de matéria-prima ($L.t^{-1}$)			
	V1	V2	Médias
John Deere	0,67a	0,46a	0,56A
Santal	0,66a	0,51a	0,59A
Case	0,69a	0,53a	0,63A
Médias	0,67A	0,50B	
CV (%)	10,634		

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

Tabela 39 - Análise de variância para variável consumo de combustível na capacidade efetiva bruta de colmos ($L.t^{-1}$)

Causas da Variação	G.L.	Q.M	Valor F
Máquina	2	0,0069	1,58 ns
Velocidade	1	0,2382	53,71*
Máquina x Velocidade	2	0,0022	0,52 ns
Resíduo	24	0,0044	
Total	29		

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns – Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 40 - Teste de Tukey para variável consumo de combustível na capacidade efetiva bruta de colmos ($L.t^{-1}$)

Consumo de combustível capacidade efetiva bruta de colmos ($L.t^{-1}$)			
	V1	V2	Médias
John Deere	0,71a	0,50a	0,61A
Santal	0,70a	0,55a	0,62A
Case	0,75a	0,57a	0,68A
Médias	0,72A	0,54B	
CV (%)	10,402		

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

Tabela 41 - Análise de variância para variável consumo de combustível na capacidade efetiva líquida de colmos ($L.t^{-1}$)

Causas da Variação	G.L.	Q.M	Valor F
Máquina	2	0,0051	0,94 ns
Velocidade	1	0,2614	48,06*
Máquina x Velocidade	2	0,0023	0,44 ns
Resíduo	24	0,4188	
Total	29		

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns – Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 42 - Teste de Tukey para variável consumo de combustível na capacidade efetiva líquida de colmos ($L.t^{-1}$)

Consumo de combustível capacidade efetiva líquida de colmos ($L.t^{-1}$)			
	V1	V2	Médias
John Deere	0,74a	0,52a	0,63A
Santal	0,72a	0,56a	0,64A
Case	0,76a	0,58a	0,69A
Médias	0,74A	0,55B	
CV (%)	10,402		

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