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

**Colheita mecanizada de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) sem
queima prévia: análise de parâmetros de desempenho efetivo**

Evandro Chaves dos Santos

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

**Piracicaba
2012**

Evandro Chaves dos Santos
Bacharel em Administração

**Colheita mecanizada de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) sem queima prévia:
análise de parâmetros de desempenho efetivo**

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

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

**Piracicaba
2012**

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

Santos, Evandro Chaves dos

Colheita mecanizada de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) sem queima prévia:
análise de parâmetros de desempenho efetivo / Evandro Chaves dos Santos. -
Piracicaba, 2012.
142 p: il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2012.

1. Cana-de-açúcar 2. Colhedoras 3. Colheita 4. Desempenho efetivo 5. Ensaios
6. Mecanização agrícola I. Título

CDD 633.61
S237c

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

DEDICATÓRIA

À **DEUS**, por me guiar em mais esta jornada.

Aos meus pais, **NORMA SUELY CHAVES DOS SANTOS** e **JORGE DOS SANTOS**, meu eterno amor, gratidão e reconhecimento por todo o esforço que fizeram durante toda a minha vida e pelos valores e princípios transmitidos.

À minha querida irmã **SIMONE CHAVES DOS SANTOS**, pelo carinho e apoio em todos os momentos de minha vida.

Aos meus queridos sobrinhos **LEONARDO DOS SANTOS DAPÓLITO** e **MATEUS DOS SANTOS DAPÓLITO**, pela alegria e amizade, e ao meu cunhado, **LUIS FERNANDO**, por todo o apoio e companheirismo.

À minha namorada, **THIEZA MICHELE RICORDI**, pela compreensão nos momentos de ausência e por todo o suporte e incentivo à conclusão deste trabalho.

À **TOMAZ CAETANO CANNAVAM RIPOLI**, pessoa a qual tenho o privilégio de poder conviver, amar e respeitar como um segundo “pai”, pelo exemplo de vida, incentivo, orientação e amizade incondicional, não só na realização deste trabalho, mas em todos os momentos.

Ao amigo **PAULO DE TARSO NEVES**, por todos os ensinamentos e experiências transmitidas.

À **CASIMIRO DIAS GADANHA JÚNIOR**, pela amizade, apoio, conhecimento e conselhos concedidos.

Aos demais familiares e amigos que sempre me apoiaram e contribuíram para minha formação pessoal.

AGRADECIMENTOS

Aos professores: Sônia Maria de Stefano Piedade, Casimiro Dias Gadanha Júnior, Walter Francisco Molina Júnior e Edgar Gomes Ferreira de Beauclair, pelos ensinamentos e contribuições neste estudo.

Aos docentes do Departamento de Engenharia de Biossistemas da ESALQ/USP pelos ensinamentos transmitidos.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Biossistemas da ESALQ/USP, em nome de Fernanda, Teresinha, e em especial, ao amigo Áureo Santana de Oliveira pela ajuda na conclusão deste estudo.

Às bibliotecárias da ESALQ/USP, Silvia Maria Zinsly e Eliana Maria Garcia, pelo auxílio, revisão e afável amizade.

À secretaria de pós-graduação do Departamento de Engenharia de Biossistemas da ESALQ/USP, em nome de Davilmar Collevatti.

Aos amigos da ESALQ: Franz Arthur Pavlu, Gilda Brasil Camargo Cardoso, Hudson de Souza Nardi, Neisvaldo Barbosa, João Conrado Schmidt Júnior, Marlon de Souza, Mateus Marrafon Nicolosi, e a todos com as quais tive o privilégio da convivência e troca de experiências.

Ao amigo Sérgio Antônio do Nascimento, pela amizade e por todas as oportunidades concedidas.

Ao amigo Adriano Marcel de Souza, pela compreensão e apoio na conclusão deste estudo.

À Usina Iracema, em particular a Juliano Fernandes da Silva, Marlon de Souza, Ivan Barcellos Dalri, e a todos os operadores do setor de Colheita Mecanizada, pela oportunidade do convívio e ensinamentos transmitidos.

“I refuse to walk away from the fight.
Is my nature, to go right to the end”

Ayrton Senna

SUMÁRIO

RESUMO.....	13
ABSTRACT	15
LISTA DE FIGURAS	17
LISTA DE TABELAS	23
1 INTRODUÇÃO	25
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
2.1 Cultura da cana-de-açúcar	27
2.2 A importância da cana-de-açúcar na economia brasileira e mundial	28
2.3 Colheita de cana-de-açúcar	34
2.3.1 Colheita mecanizada de cana-de-açúcar	37
2.4 Qualidade da matéria-prima	40
2.4.1 Matéria estranha na matéria-prima	41
2.5 Perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar.....	41
2.6 Porte de canavial.....	42
2.7 Capacidade de colheita.....	43
2.7.1 Capacidade efetiva.....	44
2.8 Eficácia de manipulação.....	45
2.9 Cisalhamento de rebolos na colheita mecanizada	45
2.10 Desempenho operacional de colhedoras de cana-de-açúcar	45
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	57
3.1 Material.....	57
3.1.1 Máquinas utilizadas	57
3.1.2 Equipamentos e Instrumentos de campo	59
3.1.3 Instrumentos de laboratório.....	60
3.2 Métodos.....	61
3.2.1 Tratamentos e critérios das amostragens	61
3.2.2 Caracterização da área	62
3.2.2.1 Determinação da área amostral	62
3.2.2.2 Idade e grau de maturação da cultura.....	63
3.2.2.3 Porte do canavial.....	63
3.2.2.4 Umidade do solo	63
3.2.2.5 Granulometria e classe textural do solo	63

3.2.3.1 Mensuração da velocidade operacional.....	64
3.2.3.2 Determinação de perdas visíveis de matéria-prima no campo	65
3.2.3.3 Determinação de qualidade de matéria-prima colhida e quantidade de rebolos colhidos.....	68
3.2.3.4 Determinação de frequência e comprimento de rebolos.....	71
3.2.3.5 Índice de cisalhamento dos rebolos (%)	72
3.2.3.6 Determinação da quantidade de matéria-prima colhida para cada repetição, ou produtividade agrícola de matéria-prima colhida	74
3.2.3.7 Capacidade de Colheita.....	77
3.2.3.7.1 Capacidade efetiva	77
3.2.3.7.2 Capacidade efetiva líquida ou calculada	77
3.2.3.7.3 Capacidade efetiva bruta	78
3.2.3.8 Eficácia de manipulação	78
3.2.3.9 Índices de matéria estranha na matéria-prima.....	79
3.2.3.9.1 Índice de ponteiros (%)	79
3.2.3.9.2 Índice de folhas e palhas (%).....	80
3.2.3.9.3 Índice de raízes (%)	80
3.2.3.9.4 Índice de matéria estranha vegetal (%)	80
3.2.3.9.5 Índice de matéria estranha mineral (%)	81
3.2.3.9.6 Índice de matéria estranha total (%)	81
3.2.3.10 Consumo de combustível	81
3.2.3.11 Delineamento estatístico.....	82
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	83
4.1 Condições do canavial, teor de água no solo e granulometria	83
4.2 Velocidade efetiva de deslocamento (km h^{-1})	84
4.3 Produtividade agrícola (t ha^{-1}).....	86
4.4 Colmos colhidos (%)	88
4.6 Capacidades efetivas.....	90
4.6.1 Capacidade efetiva (ha h^{-1}).....	90
4.6.2 Capacidade efetiva bruta de matéria-prima (t h^{-1}).....	92
4.6.3 Capacidade efetiva bruta de colmos (t h^{-1})	93
4.6.4 Capacidade efetiva líquida de colmos (t h^{-1}).....	94
4.7 Qualidade da matéria-prima	96
4.7.1 Matéria estranha mineral	96

4.7.1.1 Matéria estranha mineral (%)	96
4.7.1.2 Matéria estranha mineral ($t\ ha^{-1}$)	97
4.7.2 Matéria estranha vegetal	98
4.7.2.1 Matéria estranha vegetal (%)	98
4.7.2.2 Matéria estranha vegetal ($t\ ha^{-1}$).....	100
4.8 Perdas	101
4.8.1 Perdas de rebolos inteiros ($t\ ha^{-1}$)	101
4.8.2 Perdas de pedaços de rebolos ($t\ ha^{-1}$)	102
4.8.3 Perdas de frações de colmos nas soqueiras (toco de soqueira) ($t\ ha^{-1}$).....	104
4.8.4 Perdas de colmos e suas frações ($t\ ha^{-1}$)	105
4.8.5 Perdas totais ($t\ ha^{-1}$ e %).....	106
4.9 Consumos de combustível	108
4.9.1 Consumo de combustível ($L\ h^{-1}$)	108
4.9.2 Consumo de combustível por área ($L\ ha^{-1}$)	109
4.9.3 Consumo de combustível na capacidade efetiva bruta da matéria-prima ($L\ t^{-1}$)	110
4.9.4 Consumo de combustível na capacidade efetiva bruta de colmos ($L\ t^{-1}$)	111
4.9.5 Consumo de combustível na capacidade efetiva líquida de colmos ($L\ t^{-1}$)	113
4.10 Qualidade de cisalhamento e frequência de comprimento de rebolos	114
4.10.1 Qualidade de cisalhamento de rebolos	114
4.10.2 Frequência de comprimento de rebolos	116
5 CONCLUSÕES	119
REFERÊNCIAS.....	121
APÊNDICES.....	127

RESUMO

Colheita mecanizada de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) sem queima prévia: análise de parâmetros de desempenho efetivo

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), tendo processado, de acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 571,4 milhões de toneladas na safra 2011/2012. Analisando-se todas as operações deste processo de produção, a etapa de colheita pode ser considerada uma das mais importantes e determinantes, podendo absorver em média mais de 30% do custo total do setor agrícola de uma usina. A substituição da colheita semimecanizada pela colheita mecanizada possibilita não só a redução destes custos, mas a solução de problemas ligados à escassez de mão-de-obra, bem como às políticas ambientais vigentes que visam à eliminação gradativa da queima do canavial. Sendo assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho efetivo de três modelos de colhedoras fabricadas no país. Os ensaios de campo foram realizados em uma usina da região de Novo Horizonte, Estado de São Paulo, no mês de novembro de 2010. A variedade colhida foi a SP91-1285, de segundo corte, sem queima prévia, com espaçamento de 1,5 m e produtividade agrícola média de 78,89 t ha⁻¹. O canavial foi classificado como de porte ereto, em solo de textura arenosa e declividade de 2%. O delineamento estatístico utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 3X2, sendo avaliados três modelos de colhedoras com duas velocidades de deslocamento diferentes (5,00 km h⁻¹ e 7,00 km h⁻¹) e seis repetições para cada velocidade, totalizando 12 determinações para cada variável analisada e cada repetição correspondendo a aproximadamente 150 m de colheita. A metodologia de ensaio utilizada foi a proposta por Ripoli e Ripoli (2009), por intermédio de determinações das eficácias de manipulação, capacidades efetivas, índices de perdas de matéria-prima, índices de matérias estranhas mineral e vegetal colhidas, consumo de combustível, frequência de comprimento e índice de cisalhamento de rebolos. Foi verificado que o aumento da velocidade proporcionou um aumento significativo na eficácia de manipulação e em todas as capacidades efetivas. Além disso, houve diminuição significativa do índice de perdas totais e nos consumos de combustível, exceto no consumo de combustível por unidade de tempo (L h⁻¹), que não obteve diferenças significativas. Sendo assim, o aumento da velocidade de deslocamento resultou em ganhos no desempenho efetivo.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar; Desempenho efetivo; Ensaios; Colheita mecanizada; Colhedoras

ABSTRACT

Mechanized harvesting of sugarcane (*Saccharum* spp.) without burning: analysis of effective performance parameters

Brazil is the largest sugarcane (*Saccharum* spp.) producer in the world. According to the Ministry of Agriculture, Livestock and Supply, there have been processed 571.4 million tons in 2011/2012. Analyzing all operations in this production process, the stage of harvest can be considered one of the most important and conclusive, and absorbing on average more than 30% of the total cost of the agricultural sector of a sugarcane mill. The replacement of semi-mechanized harvesting by mechanized harvesting not only enables the reduction of production costs, but also solve the problems related to shortage of manpower as well as the existing environmental policies towards the burning of sugarcane. Thus, this study aimed to evaluate the effective performance of three harvesters models manufactured in the country. The field tests were conducted at a sugarcane mill in the region of Novo Horizonte, State of Sao Paulo, in November 2010. The sugarcane variety harvested was the SP91-1285, the second cut, without burning, with 1.5 m spacing between rows with agricultural productivity average of 78.89 t ha⁻¹. The test area has been classified as erect sugarcane, in sandy soil and slope of 2%. The statistic analyses design was entirely randomized with schema factorial 3X2, being evaluated three harvesters models with two different harvesting speeds (5.00 km h⁻¹ and 7.00 km h⁻¹) and six repetitions for each speed, a total of 12 determinations analyzed for each variable and each repetition corresponding to approximately 150 m of harvesting. The testing methodology was that proposed by Ripoli and Ripoli (2009), through measurements of the effectiveness of manipulation, effective capacities, loss rates of raw material, rates of mineral and vegetal impurities harvested, fuel consumption, damage index and length frequency of the billets. It was verified that the increase in speed provided a significant increase in effectiveness of manipulation and all effective capacities. Besides, a significant decrease of the total loss rate and the fuel consumption, except in the fuel consumption per unit time (L h⁻¹) which received no significant differences. Thus, increasing the speed of displacement resulting in gains in effective performance.

Keywords: Sugarcane; Effective performance; Field tests; Mechanized harvesting; Harvester

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processamento de cana-de-açúcar no Brasil	32
Figura 2 - Produção brasileira de etanol e açúcar	33
Figura 3 - Área colhida de cana-de-açúcar no Brasil	34
Figura 4 - Protocolo Agroambiental	36
Figura 5 - Esquema de uma colhedora de cana e seus principais órgãos ativos	39
Figura 6 - Critério para determinação do porte do canavial	43
Figura 7 - Colhedora John Deere 3510	57
Figura 8 - Colhedora Case 7000 ao lado do sistema motomecanizado de transbordo colhendo uma das repetições.....	58
Figura 9 - Colhedora Case modelo 8000 ao lado do sistema motomecanizado de transbordo colhendo uma das repetições	58
Figura 10 - Área utilizada nas avaliações de Campo	62
Figura 11 - Preparação de uma sub amostra	65
Figura 12 - Área pronta para colheita.....	66
Figura 13 - Coleta de perdas.....	67
Figura 14 - Critérios de perdas: a) rebolos inteiros; b) pedaços de rebolos; c) tocos de soqueira; d) colmos e suas frações.....	67
Figura 15 - Estação de determinações.....	68
Figura 16 - Retirada do tambor do transbordo	69
Figura 17 - Pesagem do tambor.....	69
Figura 18 - Material já ensacado e pronto para ser enviado ao laboratório de análises tecnológicas da usina.....	70
Figura 19 - Eliminando o material pesado.....	71
Figura 20 - Determinação da frequência no tamanho de rebolos.....	72
Figura 21 - Rebolo com o cisalhamento perfeito em uma das extremidades.....	73
Figura 22 - Rebolo com o cisalhamento ruim em uma das extremidades.....	73
Figura 23 - Transbordamento da massa de colmos colhida sobre o transbordo estático, utilizado como estação de pesagem da matéria-prima colhida	74
Figura 24 - Displays das várias células de carga utilizadas	75
Figura 25 - Células de carga utilizadas no transbordo e para pesagem do apoio do cabeçalho do transbordo, evitando assim erros de transferência de carga entre o transbordo e o trator.....	76

Figura 26 - Esquema teórico de transferência de peso	76
Figura 27 - Instalação do fluxômetro no motor da colhedora.....	82
Figura 28 - Canavial de porte ereto, conforme definido	83
Figura 29 - Médias obtidas das umidades de solo e seus respectivos desvios padrão (DP) e coeficientes de variação (CV).....	84
Figura 30 - Médias das velocidades efetivas de deslocamento obtidas nos ensaios para o tratamento 1 ($V_1 = 5,00 \text{ km h}^{-1}$)	85
Figura 31 - Médias das velocidades efetivas de deslocamento obtidas nos ensaios para o tratamento 2 ($V_2 = 7,00 \text{ km h}^{-1}$)	85
Figura 32 - Variabilidade espacial da produtividade agrícola (t ha^{-1}) de colmos nas repetições realizadas	87
Figura 33 - Médias dos percentuais de colmos colhidos para as três máquinas avaliadas no tratamento 1 ($V_1 = 5,0 \text{ km h}^{-1}$)	88
Figura 34 - Médias dos percentuais de colmos colhidos para as três máquinas avaliadas no tratamento 2 ($V_2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$)	88
Figura 35 - Médias das eficácias de manipulação para as três máquinas avaliadas no tratamento 1 ($V_1 = 5,0 \text{ km h}^{-1}$)	89
Figura 36 - Médias das eficácias de manipulação para as três máquinas avaliadas no tratamento 2 ($V_2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$)	90
Figura 37 - Médias das capacidades efetivas para as três máquinas avaliadas no tratamento 1 ($V_1 = 5,0 \text{ km h}^{-1}$)	91
Figura 38 - Médias das capacidades efetivas para as três máquinas avaliadas no tratamento 2 ($V_2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$)	91
Figura 39 - Médias das capacidades efetivas brutas de matéria-prima para as máquinas avaliadas no tratamento 1 ($V_1 = 5,0 \text{ km h}^{-1}$)	92
Figura 40 - Médias das capacidades efetivas brutas de matéria-prima para as máquinas avaliadas no tratamento 2 ($V_2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$)	93
Figura 41 - Médias das capacidades efetivas brutas de colmos para as máquinas avaliadas no tratamento 1 ($V_1 = 5,0 \text{ km h}^{-1}$)	93
Figura 42 - Médias das capacidades efetivas brutas de colmos para as máquinas avaliadas no tratamento 2 ($V_2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$)	94
Figura 43 - Médias das capacidades efetivas líquidas de colmos para as máquinas avaliadas no tratamento 1 ($V_1 = 5,0 \text{ km h}^{-1}$)	95

Figura 44 - Médias das capacidades efetivas líquidas de colmos para as máquinas avaliadas no tratamento 2 ($V_2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$)	95
Figura 45 - Médias das porcentagens de matéria estranha mineral para as máquinas avaliadas no tratamento 1 ($V_1 = 5,0 \text{ km h}^{-1}$)	96
Figura 46 - Médias das porcentagens de matéria estranha mineral para as máquinas avaliadas no tratamento 2 ($V_2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$)	97
Figura 47 - Médias das matérias estranhas minerais para as máquinas avaliadas no tratamento 1 ($V_1 = 5,0 \text{ km h}^{-1}$).....	98
Figura 48 - Médias das matérias estranhas minerais para as máquinas avaliadas no tratamento 2 ($V_2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$).....	98
Figura 49 - Médias das porcentagens da matéria estranha vegetal para as máquinas avaliadas no tratamento 1 ($V_1 = 5,0 \text{ km h}^{-1}$)	99
Figura 50 - Médias das porcentagens da matéria estranha vegetal para as máquinas avaliadas no tratamento 2 ($V_2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$)	99
Figura 51 - Médias das matérias estranhas vegetais para as máquinas avaliadas no tratamento 1 ($V_1 = 5,0 \text{ km h}^{-1}$).....	100
Figura 52 - Médias das matérias estranhas vegetais para as máquinas avaliadas no tratamento 2 ($V_2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$).....	101
Figura 53 - Médias das perdas de rebolos inteiros para as máquinas avaliadas no tratamento 1 ($V_1 = 5,0 \text{ km h}^{-1}$).....	102
Figura 54 - Médias das perdas de rebolos inteiros para as máquinas avaliadas no tratamento 2 ($V_2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$).....	102
Figura 55 - Médias das perdas de pedaços de rebolos para as máquinas avaliadas no tratamento 1 ($V_1 = 5,0 \text{ km h}^{-1}$).....	103
Figura 56 - Médias das perdas de pedaços de rebolos para as máquinas avaliadas no tratamento 2 ($V_2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$).....	103
Figura 57 - Médias das perdas de frações de colmos nas soqueiras para as máquinas avaliadas no tratamento 1 ($V_1 = 5,0 \text{ km h}^{-1}$)	104
Figura 58 - Médias das perdas de frações de colmos nas soqueiras para as máquinas avaliadas no tratamento 2 ($V_2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$)	105
Figura 59 - Médias das perdas de colmos e suas frações para as máquinas avaliadas no tratamento 1 ($V_1 = 5,0 \text{ km h}^{-1}$)	106
Figura 60 - Médias das perdas de colmos e suas frações para as máquinas avaliadas no tratamento 2 ($V_2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$)	106

Figura 61 - Médias das perdas totais para as máquinas avaliadas no tratamento 1 ($V_1 = 5,0 \text{ km h}^{-1}$)	107
Figura 62 - Médias das perdas totais para as máquinas avaliadas no tratamento 2 ($V_2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$)	107
Figura 63 - Médias dos consumos de combustível para as máquinas avaliadas no tratamento 1 ($V_1 = 5,0 \text{ km h}^{-1}$)	108
Figura 64 - Médias dos consumos de combustível para as máquinas avaliadas no tratamento 2 ($V_2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$)	109
Figura 65 - Médias dos consumos de combustível por área para as máquinas avaliadas no tratamento 1 ($V_1 = 5,0 \text{ km h}^{-1}$)	109
Figura 66 - Médias dos consumos de combustível por área para as máquinas avaliadas no tratamento 2 ($V_2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$)	110
Figura 67 - Médias dos consumos de combustível na capacidade efetiva bruta de matéria-prima para as máquinas avaliadas no tratamento 1 ($V_1 = 5,0 \text{ km h}^{-1}$)	111
Figura 68 - Médias dos consumos de combustível na capacidade efetiva bruta de matéria-prima para as máquinas avaliadas no tratamento 2 ($V_2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$)	111
Figura 69 - Médias dos consumos de combustível na capacidade efetiva bruta de colmos para as máquinas no tratamento 1 ($V_1 = 5,0 \text{ km h}^{-1}$)	112
Figura 70 - Médias dos consumos de combustível na capacidade efetiva bruta de colmos para as máquinas no tratamento 2 ($V_2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$)	112
Figura 71 - Médias dos consumos de combustível na capacidade efetiva líquida de colmos para as máquinas avaliadas no tratamento 1 ($V_1 = 5,0 \text{ km h}^{-1}$)	113
Figura 72 - Médias dos consumos de combustível na capacidade efetiva líquida de colmos para as máquinas avaliadas no tratamento 2 ($V_2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$)	114
Figura 73 - Qualidade de cisalhamento dos rebolos (%) proporcionados pela colhedora John Deere nos dois tratamentos	115
Figura 74 - Qualidade de cisalhamento dos rebolos (%) proporcionados pela colhedora Case 7000 nos dois tratamentos.....	115
Figura 75 - Qualidade de cisalhamento dos rebolos (%) proporcionados pela colhedora Case 8000 nos dois tratamentos.....	115

Figura 76 - Frequência de distribuição de tamanho dos rebolos (%) obtidos pela colhedora John Deere nos dois tratamentos	117
Figura 77 - Frequência de distribuição de tamanho dos rebolos (%) obtidos pela colhedora Case 7000 nos dois tratamentos	117
Figura 78 - Frequência de distribuição de tamanho dos rebolos (%) obtidos pela colhedora Case 8000 nos dois tratamentos	117

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Licenciamento anual de veículos novos no Brasil por tipo de combustível	30
Tabela 2 - Exportações brasileiras totais de açúcar	31
Tabela 3 - Exportações brasileiras de açúcar para o continente americano	32
Tabela 4 - Parâmetros de desempenho das colhedoras Cameco CHT 2500 e Austoft 7700	46
Tabela 5 - Desempenho operacional de duas colhedoras em cana crua em quatro velocidades de deslocamento	47
Tabela 6 - Resultados de colheita em cana crua em quatro velocidades de deslocamento	48
Tabela 7 - Eficácia de manipulação e capacidade efetiva líquida para colhedora Brastoft em quatro velocidades de deslocamento diferentes	49
Tabela 8 - Desempenho efetivo de três colhedoras em cana-de-açúcar sem queima prévia	49
Tabela 9 - Resultados de desempenho operacional de colhedoras de cana em quatro velocidades de deslocamento	50
Tabela 10 - Desempenho operacional da colhedora Cameco CHT 2500 em cana crua	51
Tabela 11 - Desempenho operacional de colhedoras Santal Amazônia em duas variedades de cana sem queima prévia	51
Tabela 12 - Resultados de desempenho operacional de colhedora em cana crua em quatro velocidades de deslocamento	52
Tabela 13 - Médias das capacidades efetivas para as três máquinas nas quatro velocidades de deslocamento	53
Tabela 14 - Resultados de índice de cisalhamento e comprimento de rebolos na colheita de cana crua em quatro velocidades de deslocamento	53
Tabela 15 - Ensaio comparativo entre três colhedoras avaliando o índice de cisalhamento e comprimento de rebolos	54
Tabela 16 - Índice de cisalhamento e comprimento de rebolos da colhedora Cameco CHT 2500	54

Tabela 17 - Ensaio comparativo entre o protótipo Massey Fergusson 405 e a colhedora Austoft 7000 avaliando índice de cisalhamento e comprimento de rebolos	55
Tabela 18 - Algumas características das máquinas utilizadas no presente estudo ..	59
Tabela 19 - Tratamentos e suas respectivas repetições.....	62
Tabela 20 - Porcentagens de rebolos perfeitos obtidos pelas máquinas estudadas, nas respectivas velocidades (V1 e V2 = velocidades)	116
Tabela 21 - Intervalo de comprimento de rebolos com maiores porcentagens de frequência	118

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2012a), o Brasil processou cerca de 571,4 milhões de toneladas na safra 2011/2012, fazendo com que o país seja o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, ocupando aproximadamente oito milhões de hectares.

A crescente demanda por cana-de-açúcar, alavancada pelo crescente consumo de etanol e açúcar, não só do mercado interno, mas também do externo, além da alta competitividade de preços dos produtos faz com que o setor agrícola busque maior eficiência por meio do emprego de novas tecnologias, investindo assim em equipamentos que proporcionem níveis de perdas cada vez menores e consequentemente maiores lucratividades.

O setor sucroalcooleiro nacional é referência para os demais países produtores. Conforme o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento a cana-de-açúcar é produzida em quase todo o país, sendo 60% no estado de São Paulo. As demais zonas produtoras são Paraná, triângulo mineiro, zona da mata nordestina, e Centro-Oeste (BRASIL, 2012b), todos estes com consideráveis registros de estimativa de crescimento para a safra 2012/2013.

Líder mundial na produção de etanol de cana-de-açúcar, o Brasil possui tecnologia de produção e disponibilidade de terras cultiváveis para o plantio da cana, sem prejuízos das outras culturas.

Analisando-se todas as operações do processo de produção da cana-de-açúcar, a etapa da colheita pode ser considerada uma das mais importantes e determinantes. Estando diretamente ligada a qualidade do produto entregue às usinas, tal operação pode absorver, em média, mais de 30% do custo total do setor agrícola de uma unidade produtora (DIAS DE MORAES, 2007).

Atualmente, em torno de 65% de toda a área de cultivo de cana-de-açúcar no estado de São Paulo (UNICA, 2012c), é colhida de forma mecanizada, com ou sem queima prévia para limpeza do canavial. A crescente substituição da colheita semimecanizada pela mecanizada, está possibilitando às usinas a redução deste custo de produção, sendo uma tendência inquestionável, se considerarmos as expansões dos novos canaviais, a escassez de mão-de-obra, bem como as políticas ambientais vigentes (leis ambientais, e em especial o Protocolo Agroambiental, com adesão em nível de 90% das usinas paulistas).

O principal objetivo deste trabalho foi determinar os desempenhos efetivos de três modelos de colhedoras fabricadas no país e utilizadas em operações de colheita mecanizada.

Sendo assim, as hipóteses levantadas no presente estudo foram de que os indicadores de desempenho (percentual de colmos colhidos, eficácia de manipulação, capacidades efetivas, qualidade da matéria-prima, níveis de perdas, consumos de combustível), antes facilmente prejudicados por conta do aumento da velocidade de deslocamento das colhedoras, atualmente mantêm-se em níveis estáveis, proporcionando um menor consumo por unidade de área e tonelada colhida, bem como um incremento nas capacidades efetivas de colheita.

Por fim, caso comprove-se o aumento ou a manutenção dos índices de desempenho efetivo das colhedoras, frente ao aumento de velocidade de colheita, pode-se afirmar que isto renderá ganhos em desempenho efetivo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste tópico será realizado o levantamento dos fundamentos teóricos acerca da cultura da cana-de-açúcar, a importância da cana-de-açúcar na economia brasileira e mundial, colheita de cana-de-açúcar, porte de canavial, parâmetros de desempenho de colhedoras e outras questões pertinentes.

2.1 Cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é originária da Nova-Guiné (Oceania) e foi levada para o sul da Ásia, onde foi usada, de início, principalmente em forma de xarope. A primeira evidência do açúcar em sua forma sólida, data do século V, na Pérsia. Na América, Colombo levou as primeiras mudas para São Domingos em 1493. No Brasil, há indícios de que o cultivo da cana-de-açúcar seja anterior à época dos descobrimentos, mas seu desenvolvimento se deu posteriormente, com a criação de engenhos e plantações com mudas trazidas pelos portugueses (MOZAMBINI et al., 2006).

De acordo com Câmara (1998) a cana-de-açúcar é da família *Poaceae*, gênero *Saccharum*, que produz colmos, com fibras e ricos em açúcar. Na parte aérea é constituída por caule, folhas e, dependendo do ambiente, flores. Os caules são colmos, subdivididos em nós e entrenós. A parte subterrânea é formada pelo sistema radicular fasciculado, com intensa ramificação.

Conforme a FAO (Food and Agriculture Organization) o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, seguido por Índia, China, Tailândia, México e Paquistão, sendo que a soma do total produzido por todos estes países é praticamente equivalente à produção brasileira (FAO, 2012). A cultura ocupa pouco mais de oito milhões de hectares no território nacional. As regiões onde predominam o cultivo são Sudeste, Centro-Oeste, Sul e Nordeste.

2.2 A importância da cana-de-açúcar na economia brasileira e mundial

Segundo Barbosa e Silveira (2006) o cultivo da cana-de-açúcar é considerado uma das primeiras atividades de importância nacional, ocupando posição de destaque na economia brasileira.

A cana-de-açúcar desempenha um papel de extrema importância para a economia do Brasil, com a produção de açúcar e etanol para o mercado interno e externo, fornecendo matéria-prima para indústria de transformação, química, além de subprodutos utilizados na geração de energia, alimentação animal e fertilizante (MILAN, 1999).

Conforme Caputo et al. (2008) a importância da cana-de-açúcar é decorrente de sua vasta utilidade, podendo ser empregada in natura, sob a forma de forragem para alimentação animal, ou como matéria-prima para a fabricação de melado, cachaça, rapadura e principalmente açúcar e etanol. Seus resíduos também possuem grande importância econômica, o bagaço pode ser queimado nas caldeiras e servir como combustível e a vinhaça ser transformada em adubo.

Com o desenvolvimento tecnológico a produção de açúcar, etanol anidro, etanol hidratado, geração de energia elétrica a partir da biomassa, plástico biodegradável (polihidroxibutirato), além de resíduos industriais utilizados no campo como insumos de fertilização, contribuem para o desenvolvimento econômico brasileiro (RIPOLI; RIPOLI; CASAGRANDE, 2007).

Figueiredo (2010) salientou que a evolução do setor sucroalcooleiro brasileiro iniciou-se na década de 60, impulsionada por um momento muito favorável de alta de preços do açúcar no mercado internacional, atingindo vertiginosamente cotações históricas de mais de mil dólares por tonelada. Com os preços vantajosos e o aumento da demanda de açúcar, que levaram à extinção das cotas de exportação dos países produtores no mercado internacional, e com os recursos decorrentes desse aumento de preços foi criado o Fundo Pró-Açúcar em 1973, que financiou a modernização das usinas de açúcar, tendo como principais novidades novas moendas e outras alterações no processo de fabricação do açúcar. Na área agrícola, as criações da Coopercucar (Cooperativa de Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo), atualmente denominada Copersucar S.A. e Planalsucar (Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-Açúcar) fortaleceram as ações de campo e promoveram o desenvolvimento tecnológico, com inovações

significativas. A criação de novas variedades pelos programas de melhoramento genético e de outras inovações ao sistema de produção contribuíram para um grande salto de desenvolvimento.

Em 1973, por ocasião do primeiro choque de petróleo, o Brasil importava 79% de suas necessidades internas de petróleo e a expressiva elevação dos preços desse produto foi responsável pelo acentuado desembolso de divisas com a importação, levando o governo brasileiro a lançar o Proálcool em 1975, como o fim de estimular o aumento da oferta de etanol, a partir de uma biomassa renovável, e substituir parte do petróleo importado (FIGUEIREDO, 2010).

O Proálcool foi lançado com linhas de crédito em condições extremamente favoráveis para as áreas industrial e agrícola, estimulando a produção de cana e a ampliação das usinas pela implantação de destilarias (DINARDO-MIRANDA; VASCONCELOS; LANDELL, 2010). A produção de cana, que era de 68 milhões de toneladas moídas, passou para 223 milhões na safra de 1990/1991, compatibilizando o desenvolvimento da cultura da cana para fins energéticos e promovendo a modernização e o desenvolvimento em todo o país (UNICA, 2012a).

No fim dos anos 80 houve uma estagnação da produção nacional de etanol, resposta à política de preços praticada pelo governo, que desestimulou a produção de etanol, gerando um desabastecimento do mercado nacional. O Governo considerou a possibilidade de abandonar o programa e o consumidor perdeu a confiança em ter um veículo movido a etanol (PUERTO RICO, 2007).

Tais fatores por um lado desestimularam a expansão e a renovação dos canaviais, e por outro, levaram os produtores a desviar a matéria-prima da produção de etanol para a de açúcar, visando principalmente à exportação (RODRIGUES; ORTIZ, 2006).

Nas últimas décadas o forte interesse mundial por fontes de energia renováveis, e que causem menor impacto ao ambiente, fez com que a produção do etanol para fins combustíveis fosse alavancada.

Para o Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA, 2012), o consumo de etanol deverá mais que dobrar em dez anos. Estima-se que aumentará para 32,7 bilhões de litros em 2015 contra os 16 bilhões de litros em 2005. Isso ocorrerá devido ao fato de que os veículos movidos a etanol correspondem a 88% das atuais vendas de automóveis novos no Brasil.

Conforme dados da ANFAVEA (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores) o acréscimo dessa produção, além do interesse de outros países por fontes de energia renováveis, é explicado pelo crescente aumento nas vendas de veículos leves movidos a etanol (em especial os movidos à gasolina e/ou etanol), que no ano de 2003 representou 1,3% do total de veículos comercializados, atingindo 88,3% do total de veículos leves movidos a etanol comercializados no ano de 2011, conforme Tabela 1 (UNICA, 2012a).

Tabela 1 - Licenciamento anual de veículos novos no Brasil por tipo de combustível

Anos	Automóveis leves			Total	% movidos a etanol
	Gasolina	Etanol	Gasolina e/ou Etanol		
2001	1.412.420	18.335	-	1.430.755	1,3
2002	1.283.963	55.961	-	1.339.924	4,2
2003	1.152.463	36.380	48.178	1.237.021	6,8
2004	1.077.945	50.950	328.379	1.457.274	26,0
2005	697.004	32.357	812.104	1.541.465	54,8
2006	316.561	1.863	1.430.334	1.748.758	81,9
2007	245.660	107	2.003.090	2.248.857	89,1
2008	217.021	84	2.329.247	2.546.352	91,5
2009	221.709	70	2.652.298	2.874.077	92,3
2010	280.704	50	2.876.173	3.156.927	91,1
2011	376.998	51	2.848.071	3.225.120	88,3

Fonte: UNICA (2012a). Elaborada a partir de dados publicados pela Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA).

Em relação ao mercado internacional, Neves e Conejero (2007) salientaram que este vem se abrindo especialmente para o etanol anidro, dadas as políticas governamentais de adição de etanol na gasolina.

Alguns países já aprovaram metas obrigatórias e outros já possuem uma política de autorização da adição. É o caso da União Europeia que, de acordo com a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA, 2012b), estabeleceu o ano de 2020 como prazo final para a redução de 20% das emissões de gases de efeito estufa e o uso de 10% de fontes renováveis no setor de transportes.

De acordo com a União dos Produtores de Bioenergia (UDOP, 2012) o açúcar também registrou crescentes quantidades exportadas, com preços mais vantajosos, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Exportações brasileiras totais de açúcar

Anos	Exportações brasileiras de açúcar		
	Quantidade (t)	Valor (mil US\$)	Preço médio (US\$ t)
2001	11.449.754	2.371.204	207
2002	13.985.621	2.262.790	162
2003	13.520.280	2.297.965	170
2004	17.690.559	3.137.968	177
2005	20.227.518	4.684.357	232
2006	21.603.377	7.771.690	360
2007	22.183.016	6.578.083	297
2008	23.567.415	7.873.074	334
2009	26.940.797	9.715.971	361
2010	29.524.157	13.775.944	467
2011	26.704.765	16.179.892	606
Total	227.397.259	76.648.938	-

Fonte: UDOP (2012). Elaborada a partir de dados da Secretaria de Comércio Exterior (SECEX) e do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC).

Este cenário de crescimento é também evidenciado nas exportações de açúcar para o continente americano que, de acordo com a Secretaria de Comércio Exterior (SECEX) e o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC), no ano de 2008 atingiram 452.620 t. Já em 2011, a quantidade de produto exportada foi de 885.087 t, representando um crescimento de 51%. O acréscimo nas receitas foi mais expressivo, 94%, conforme Tabela 3 (UNICA, 2012a).

Tabela 3 - Exportações brasileiras de açúcar para o continente americano

Anos	Exportações brasileiras de açúcar para o continente americano		
	Quantidade (t)	Valor (mil US\$)	Preço médio (US\$ t)
2008	452.620	140.495	310
2009	504.035	226.226	449
2010	855.876	435.806	509
2011	885.087	529.038	598
Total	2.697.619	1.331.564	-

Fonte: UNICA (2012a). Elaborada a partir de dados da Secretaria de Comércio Exterior (SECEX) e do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC).

Com este cenário extremamente favorável, o processamento de cana no Brasil que foi de 287,8 milhões de toneladas na safra 1996/1997, alcançou 571,4 milhões de toneladas na safra 2011/2012 (Figura 1).

Figura 1 - Processamento de cana-de-açúcar no Brasil (Fonte: UNICA, 2012a)

Todos estes fatores relacionados à demanda mundial de açúcar e etanol contribuíram para que a produção brasileira sofre-se um relevante incremento (CONAB, 2012), em relação ao que foi produzido na safra 1996/1997 (14,3 bilhões. L), se comparado com o total de etanol produzido na safra 2011/2012 (22,6 bilhões. L) (UNICA, 2012a), havendo também um relevante aumento na produção de açúcar, sobretudo graças à abertura de novos mercados para exportação do produto brasileiro, conforme Figura 2.

Figura 2 - Produção brasileira de etanol e açúcar (Fonte: UNICA, 2012a)

Na safra 2011/2012 a área colhida foi de 8,4 milhões de hectares (CONAB, 2012), bem maior do que a área colhida na safra 2000/2001, 4,8 milhões de hectares (UNICA, 2012a). A evolução da área total colhida é apresentada na figura 3.

Acompanhando este cenário de crescimento, a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2012) destaca que a expansão estimada para a safra 2012/2013 da área plantada com cana-de-açúcar tem comportamento diferenciado em todo o País. O maior percentual de aumento estimado está na região Sudeste, responsável por 96,38% do total da área nova agregada, acrescentando 357.183 hectares à área existente. Em São Paulo a estimativa de aumento foi de 246.011 hectares e em Minas Gerais 106.640 hectares. Outra região que apresentou crescimento significativo na área de expansão estimada foi a Centro-Oeste, 188.396 hectares, impulsionado principalmente por Goiás pelo plantio de 115.792 hectares, seguido pelo Mato Grosso do Sul, 65.347 hectares. Na região Sul estima-se que o Paraná incremente 50.066 hectares em novas lavouras. O total da área de expansão estimada em todo País deve ficar em 618.056 hectares.

Figura 3 - Área colhida de cana-de-açúcar no Brasil (Fonte: UNICA, 2012a)

2.3 Colheita de cana-de-açúcar

Entre todas as etapas do processo de produção da cultura da cana-de-açúcar, a colheita é um dos processos que geram um grande número de queixas contra o meio ambiente, por ser feita, muitas vezes, por intermédio da queima do canavial. Além disso, com a queima do canavial, o solo permanece descoberto por um período relativamente longo, o que acelera o processo de erosão e prejudica as propriedades físicas do solo.

Conforme Furlani Neto, Ripoli e Villa Nova (1996) a queima prévia do canavial facilita o corte da cana-de-açúcar, contribuindo na eliminação de folhas e palhas. Esta operação atua como um dispositivo de pré-limpeza, aumentando a eficiência das colheitas manual e mecanizada. No caso do corte manual, o fogo inibe a presença de animais peçonhentos, ao mesmo tempo em que reduz o risco de corte causado pelas folhas da cana. Na colheita mecanizada, a eliminação da palha acarreta a diminuição do material trabalhado pela máquina e, conseqüentemente, menores esforços mecânicos e embuchamento (travamento das partes móveis das máquinas pelo acúmulo de material vegetal) nas colhedoras. Contudo, o processo de colheita com queima prévia deverá ser substituído pelo sistema de colheita de cana crua, conforme destacaram Ripoli, Mialhe e Brito (1990), motivado pelos benefícios gerados de ordem técnica, econômica, ambiental e agrônômica. Os

autores relataram que o palhiço (pontas, folhas verdes e palhas) remanescente da colheita de cana crua representa praticamente a mesma quantidade de energia que pode se obter com a produção de etanol em um hectare. Concluíram que a prática da queimada do canavial representa 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, além de diminuir os impactos ambientais e oferecer ao país uma nova matriz energética que pode contribuir para minimização da crise de energia.

De acordo com Ripoli e Villanova (1992) o palhiço representa, em média, 32,5% da biomassa total do canavial. Os autores ainda destacaram algumas vantagens do sistema de cana crua: do ponto de vista agrônomo, quando o palhiço decorrente deste processo permanece sobre o terreno, há os seguintes benefícios: diminuição ou até eliminação do uso de herbicidas; aumento e manutenção do grau de umidade do solo; eficiente mecanismo de controle de erosão; aumento da quantidade de matéria orgânica no solo; redução da população de nematóides nocivos; não eliminação dos inimigos naturais da broca da cana-de-açúcar (praga que ataca os colmos). Sob o ponto de vista industrial, serão obtidos reflexos positivos em termos de menores perdas de sacarose, diminuição dos problemas de tratamento de águas de lavagem e no aproveitamento parcial do palhiço, que associado ao bagaço poderá ser utilizado na cogeração de energia elétrica pelas unidades industriais.

Governos estaduais já aprovaram leis que datam o fim da prática da queima do canavial (Mato Grosso do Sul, Goiás, Paraná e São Paulo). Um exemplo é São Paulo, que no ano de 2002 editou a Lei 11.241/2002 (SÃO PAULO, 2003) que estabeleceu prazos para a erradicação da queima: 2021 para as áreas mecanizáveis e 2031 para as áreas não mecanizáveis. Contudo, a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (ÚNICA, 2012d), representando a indústria paulista produtora de açúcar, etanol e bioeletricidade e o Governo do Estado de São Paulo, assinaram no dia 4 de junho de 2007, o Protocolo Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro. Esse protocolo, de adesão voluntária, estabeleceu uma série de princípios e diretrizes técnicas, de natureza ambiental, a serem observadas pelas indústrias sucroalcooleiras. Entre as diversas diretrizes, se destaca aquela que antecipa os prazos legais para o fim da colheita da cana-de-açúcar com o uso prévio do fogo nas áreas cultivadas pelas

usinas. Assim, o setor paulista se comprometeu a antecipar, em até 14 anos, os referidos prazos, conforme Figura 4.

Figura 4 - Protocolo Agroambiental (Adaptado de UNICA, 2012d)

De acordo com Dias de Moraes (2007) a produtividade da mão-de-obra no corte da cana crua manual cai consideravelmente. Segundo o autor a produtividade que, em cana com queima prévia é em média de seis toneladas por dia por empregado, fica em média de duas toneladas e meia por dia por empregado, quando a cana é cortada sem queima prévia. Concluiu que inviabiliza a adoção desta prática, ou seja, a cana crua só é rentável se colhida mecanizadamente.

Para Braunbeck e Oliveira (2006) nessas condições de corte sem queima prévia, a mão-de-obra fica sujeita a limitações ergonômicas e econômicas severas, e as vantagens comparativas da colheita manual sobre a mecanizada só se mantêm com a redução drástica do pagamento da mão-de-obra. Assim a mecanização total ou parcial representa, atualmente, a única opção para a colheita da cana que atenda simultaneamente aos requisitos ergonômicos dos trabalhadores, de viabilidade econômica do setor e, principalmente, das exigências legais e ambientais, uma vez que somente com o corte mecanizado é possível a colheita sem queima prévia.

2.3.1 Colheita mecanizada de cana-de-açúcar

Em nível internacional, a primeira cortadora autopropelida para cana-de-açúcar foi fabricada em 1906, nos Estados Unidos da América, no estado do Hawaii (RIPOLI; RIPOLI, 2009). Porém, somente em 1937 este país implementou o primeiro programa completo de corte mecânico conjuntamente com equipamentos para separação de terra e pedras, antes de enviar o material às usinas.

Segundo Paranhos (1974), em termos internacionais, o desenvolvimento de estudos e projetos de máquinas para colheita de cana foi motivado por dois principais fatores: à crescente dificuldade e encarecimento da mão-de-obra para o corte manual e ao interesse na obtenção de aumento nos desempenhos das operações de colheita, com seu esperado barateamento. O cenário encontrado na Austrália serve como exemplo, onde segundo Leffingwell (1972) a colheita é processada mecanizadamente em 100% da área cultivada com cana-de-açúcar, não havendo limitação alguma de relevo na região.

Ripoli e Villanova (1992) destacaram que no Brasil o primeiro registro de experimentação de uma máquina para corte de cana é datado de 1956, seguida em 1962, de uma iniciativa pioneira para desenvolvimento de uma cortadora amontoadora por uma empresa na cidade de Piracicaba, estado de São Paulo. A história da mecanização do corte da cana-de-açúcar em escala comercial no Brasil iniciou-se em São Paulo no ano de 1973, por intermédio da empresa Santal Equipamentos S/A¹, mediante a utilização de tecnologia importada para fabricação nacional de colhedoras.

De acordo com Vieira e Simon (2005) o corte mecanizado ganhou espaço no Brasil na década de 1970, quando se desenvolveram as colhedoras que cortam, picam, limpam e carregam a cana em operações integradas. Nessa época, para atender ao PROÁLCOOL, procurava-se tecnificar a cultura canavieira e suprir a carência de mão-de-obra decorrente da grande expansão da lavoura. Porém, pode-se dizer que a mecanização da colheita da cana-de-açúcar ganhou maior impulso a partir da década de 1990. Os benefícios trazidos representaram um avanço significativo para a agroindústria canavieira, assim como a redução de custos e a

¹ A indicação das marcas citadas neste trabalho não significa recomendação de uso pelo autor

possibilidade de aumentar a produtividade do trabalho, fatores que estão contribuindo para a aceleração desse processo.

Gadanha Júnior et al. (1991) enfatizaram que, devido à expansão da cultura canavieira, aliada à evasão da mão-de-obra do campo, a mecanização da operação de colheita no Brasil é considerada uma opção técnica e economicamente viável.

Para Ripoli e Mialhe (1987) o uso racional de máquinas e implementos, como função básica da mecanização agrícola nas empresas rurais, tem por objetivos fundamentais: aumentar a produtividade da mão-de-obra e reduzir os custos operacionais.

Conforme Ripoli e Ripoli (2009) atualmente no Brasil são utilizados três subsistemas distintos de colheita de cana-de-açúcar: manual, semimecanizado e mecanizado. O subsistema manual é aquele onde tanto o corte como o carregamento do material colhido são realizados por mão de obra braçal. O subsistema semimecanizado apresenta o corte manual e o carregamento mecanizado. Por sua vez, o subsistema mecanizado vem a ser aquele onde as operações de corte, carregamento e transporte ocorrem por meio de máquinas.

No subsistema mecanizado (RIPOLI, 1996; PEREIRA e TORREZAN, 2006; GADANHA JÚNIOR et al., 1991), as colhedoras realizam, em sequência, o corte dos ponteiros, o corte basal, fracionam os colmos em rebolos, realizam uma limpeza parcial da matéria estranha (terra, ponteiros, folhas, palhas, outras matérias estranhas minerais e vegetais) por gravidade e/ou por fluxo de ar e descarregam o material diretamente nas unidades de transporte (caminhões, carretas transbordo).

Furlani Neto (1995) destacou que, nesse sistema, as colhedoras (Figura 5) recolhem o material cortado pelo cortador de pontas e corte de base para dentro da máquina onde os colmos são picados em rebolos, sendo a matéria estranha vegetal retirada parcialmente por meio de ventilação ou exaustão, enquanto os colmos picados são conduzidos, por intermédio de taliscas e correntes ou rotores-laçadores, sobre veículos de transporte com carrocerias teladas e/ou fechadas.

Figura 5 - Esquema de uma colhedora de cana e seus principais órgãos ativos (Adaptado de NEVES, 2003)

Segundo Nunes Júnior (2002) 70% da área cultivada com cana-de-açúcar na região Centro-Sul pode ser colhida com o auxílio de colhedoras. Nas regiões Norte, Nordeste e Leste, o índice cai para apenas 30% das áreas.

A tendência, irreversível, nas regiões produtoras do Leste e Meio Oeste brasileiros é o aumento gradativo da colheita da cana picada sem queima prévia. Estima-se que ocorra um aumento anual da ordem de 5% na área colhida mecanizadamente (RIPOLI; RIPOLI, 2009).

Em 2009, o índice de mecanização nos canaviais do estado de São Paulo atingiu 49% (SÃO PAULO, 2009; UNICA, 2010), e de acordo com a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA, 2012c) o estado de São Paulo foi o que mais avançou com a mecanização da colheita nos últimos anos, alcançando na última safra (2011/2012) o índice de 65% de toda cana colhida mecanizadamente.

Para Rodrigues e Saab (2007) a transição do corte manual para mecanizado, não é apenas uma substituição de uma técnica por outra. Em termos agrícolas significa combinar e aperfeiçoar alguns aspectos como: preparo de solo, dimensionamento dos equipamentos, equipe de manutenção e apoio, treinamento da equipe e alterações no transporte e recepção da cana na usina.

Ripoli et al. (2001a) destacaram que a importância da colheita mecanizada da cana-de-açúcar é evidenciada por dois aspectos principais:

tecnologia disponível para substituir o corte manual e o aumento do desempenho das operações de colheita, com a consequente redução de custos.

2.4 Qualidade da matéria-prima

Para Fernandes, Oliveira e Queiroz (1978) a adoção do sistema mecanizado de colheita de cana picada introduz certos inconvenientes, tais como, aumento dos índices de impurezas na carga, que implicam na redução da qualidade tecnológica da matéria-prima fornecida para moagem e perdas de cana no campo.

Segundo Ripoli e Ripoli (2009) durante o trabalho de colheita pela máquina, o material in natura das fileiras de colmos é submetido a um processamento que se inicia pela captação, corte e recolhimento, executados pelos mecanismos de corte e prossegue no interior da máquina, visando separar a matéria-prima industrializável (rebolos de cana, limpos) da matéria estranha mineral (terra, sílica, cinzas) e vegetal (ponteiros, folhas, palhas, raízes). O processamento do material pela colhedora termina quando os rebolos são lançados no veículo de transporte. O aspecto deste processamento que ocorre no trabalho das colhedoras de cana fica adequadamente caracterizado quando abrangem os seguintes enfoques: perdas de matéria-prima industrializável no campo (visíveis e invisíveis); qualidade da limpeza da matéria-prima (no veículo de transporte), no final do processamento; qualidade tecnológica da matéria-prima obtida.

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

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

Ripoli e Ripoli (2009) frisaram que quanto maior for a umidade do solo por ocasião do carregamento ou da colheita mecanizada, maior será a probabilidade de

arraste desse material juntamente com a matéria-prima, aumentando, assim, a quantidade de matéria estranha mineral. Portanto, deve-se realizar tal determinação a fim de que se tenha um referencial a esse respeito.

2.4.1 Matéria estranha na matéria-prima

Matéria estranha pode ser definida como qualquer material que não contribui para a produção de açúcar ou etanol e pode prejudicar a operação da usina, reduzindo o coeficiente de extração, baixando os percentuais de purezas do caldo misto e final, aumentando os requisitos de força e custos de manutenção, proporcionalmente à quantidade de cana processada por uma unidade produtora.

Molina Júnior (2000) definiu matéria estranha total como sendo todo o material que se encontra na matéria-prima, seja mineral (composto eventualmente de terra e pedras) ou orgânico (ponteiros, folhas verdes, palhas, raízes) que não seja colmo de cana-de-açúcar industrializável.

Os índices de matéria estranha são comumente representados pelo teor de matéria estranha que acompanha a matéria-prima industrializável recolhida no veículo de transporte ou de transbordo (RIPOLI; RIPOLI, 2009). Os autores que tratam de ensaios de colhedoras de cana, frequentemente utilizam-se de um parâmetro denominado Índice de Matéria Estranha ou erroneamente, de Índice de Impurezas².

2.5 Perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar

A eficácia dos sistemas de colheita mecanizada de cana-de-açúcar devem levar em consideração não só a quantidade de matéria-prima colhida, mas também a qualidade do trabalho desenvolvido pela máquina (CARVALHO FILHO, 2000).

De acordo com Furlani Neto, Ripoli e Villa Nova (1996) nos sistemas de colheita mecanizada da cana-de-açúcar, uma das variáveis significativas é a

² O termo “impurezas” está 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).

quantidade de matéria-prima não recolhida na operação, o que refletirá em perdas econômicas que podem inviabilizar a utilização das colhedoras. Tais perdas são devidas a fatores da máquina, de manejo, de variedade e de condições de campo (porte do canavial, espaçamento, sistematização do terreno, declividade).

Volpato (2001) destacou que à medida que na área colhida aumentam-se os desníveis, buracos presença de obstáculos como pedras, tocos, também aumentam-se as dificuldades de operação das colhedoras, refletindo em maiores perdas de matéria-prima, aumento nos percentuais de matéria estranha e de manutenção das máquinas.

Ripoli e Ripoli (2009) dividiram as perdas em dois tipos: visíveis e invisíveis. Os autores definiram perdas visíveis como 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. No método direto, demarca-se certa área no terreno, depois de efetuada a colheita, procede-se o recolhimento manual de todas as frações que não foram colhidas (canas inteiras ou em pedaços amassados/estraçalhados, pedaços de cana agregados aos ponteiros, rebolos lançados fora e toco altos deixados por deficiência no corte basal) para posterior pesagem. No método analítico, as perdas são avaliadas confrontando-se a quantidade de matéria-prima industrializável, contida no produto in natura (determinada por amostragem, por meio de corte manual cuidadoso das fileiras de colmos à fileira a ser cortada mecanizadamente), e aquela recolhida no veículo de transporte, determinada por recolhimento manual na carga, vertida sobre uma lona.

Para Reis (2009) as perdas invisíveis resumem-se naquelas impossíveis de serem levantadas diretamente no campo, caracterizadas na forma de caldo, serragem e estilhaços de cana. Basicamente, as perdas invisíveis ocorrem devido à ação de mecanismos rotativos que cortam, picam e limpam a cana-de-açúcar durante o processamento interno nas colhedoras.

2.6 Porte de canavial

De acordo com Ripoli, Furlani Neto e Nova (1996) o porte do canavial discorre sobre a posição relativa e a quantidade em que os colmos se apresentam em

relação ao terreno (podem ser classificados como eretos, acamados ou deitados). Para sua classificação faz-se necessária a utilização de um gabarito com estrutura triangular (Figura 6).

Figura 6 - Critério para determinação do porte do canavial (adaptado de Ripoli, Furlani Neto e Nova, 1996)

2.7 Capacidade de colheita

Capacidade de colheita é 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 e 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.

2.7.1 Capacidade efetiva

Capacidade efetiva é a relação entre uma área (ou uma produção) obtida e o tempo efetivo decorrido na execução de determinada operação mecanizada (RIPOLI, 1996). 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: a) 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; b) 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 à 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.

A quantidade de cana na fileira de plantio é a quantidade de colmos industrializáveis existentes por unidade de comprimento da fileira de colmos colhida pela máquina. Sua magnitude é determinada por três categorias de fatores: a) Fatores varietais: capacidade de perfilhamento, comprimento e diâmetro de colmos, principalmente; b) Fatores ambientais: incluindo os associados ao solo (tipo, fertilidade etc.) e ao clima (temperatura, radiação solar, precipitação pluviométrica); c) Fatores de técnica de produção: abrangendo os relacionados com a forma de plantio (espaçamento, tipo de sulco etc.), de cultivo (adubação, controle de pragas, tratos culturais).

2.8 Eficácia de manipulação

Ripoli e Ripoli (2009) definiram que a Eficácia de Manipulação de colhedoras combinadas (EM%) vem a ser a relação entre a quantidade (T_c) de rebolos de colmos colocados na unidade de transporte e a quantidade (TC) de colmos existentes na fileira de plantio, in natura.

Nas determinações visando avaliar a Eficácia de Manipulação, Mialhe e Ripoli (1976) preconizaram, pelo menos, a execução de seis repetições para cada tratamento a ser aplicado. Entende-se por repetição o enchimento total, ou parcial, de uma unidade de transporte, o que pode ou não significar a ocorrência um ciclo operacional.

2.9 Cisalhamento de rebolos na colheita mecanizada

No subsistema de colheita mecanizada é desejável que os rebolos sejam obtidos por adequado cisalhamento dos colmos no picador da colhedora (RIPOLI; RIPOLI, 2009). Nesse sentido, algumas máquinas apresentam mecanismos picadores especialmente projetados para reduzir o estraçalhamento dos colmos na região de corte.

Fuelling (1982) destacou que o tamanho ótimo do comprimento dos rebolos fica em torno de 20 a 25 centímetros, podendo assim diminuir sua deterioração, além da diminuição dos índices de matéria estranha, as perdas e o custo com transporte. Rebolos com comprimentos abaixo de 20 cm e acima de 30 cm proporcionam maiores custos, decorrentes do aumento das perdas, matéria estranha, deterioração e transporte da matéria-prima.

2.10 Desempenho operacional de colhedoras de cana-de-açúcar

Desempenho operacional de colhedoras e, em particular, de colhedoras de cana-de-açúcar, segundo, ASAE (1983); Furlani Neto, Fernandes e Mialhe (1977); Mialhe (1974); Mialhe e Ripoli (1976); Witney (1988), que trataram 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.

A caracterização do referido grau de habilitação, segundo Mialhe e Carraro Neto (1993), abrange vários aspectos e que podem ser reunidos nos seguintes grupos: a) Capacidade de colheita; b) Qualidade do processamento do produto; c) Funcionalidade mecânica e d) Ergonomia e segurança.

O Cenicaña (1997) avaliou na Colômbia, o desempenho operacional de duas colhedoras combinadas (Cameco CHT 2500 e Austoft 7700) em operação de colheita de cana-de-açúcar crua, na variedade CC 86-65, em uma área de 4,65 ha, com produtividade média de 147 t ha^{-1} . Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 4. A matéria estranha colhida foi 8,3%, as perdas de matéria-prima, 3,65% e a eficácia de manipulação, 96,35%.

Tabela 4 - Parâmetros de desempenho das colhedoras Cameco CHT 2500 e Austoft 7700

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

Fonte: Cenicaña (2007), adaptada.

Ripoli (1977) avaliou parâmetros de desempenho de três colhedoras de cana-de-açúcar (Santal 115, Toft-Robot 300 e Massey Ferguson 201), em canaviais previamente queimados no Estado de Alagoas, e encontrou os seguintes resultados: eficácia de manipulação que variaram de 71,97% a 94,55%, e capacidade efetiva, que variaram de $37,8 \text{ t h}^{-1}$ a $49,5 \text{ t h}^{-1}$.

De León (2000) estudou duas colhedoras de cana em quatro velocidades diferentes, em um canavial da variedade RB83-5089, com produtividade média de $176,3 \text{ t ha}^{-1}$, em cana crua, e observou que houve aumento na capacidade efetiva bruta e líquida na medida em que se aumentou a velocidade efetiva de colheita, não prejudicando a eficácia de manipulação (Tabela 5).

Tabela 5 - Desempenho operacional de duas colhedoras em cana crua em quatro velocidades de deslocamento

Máquina A					
Velocidades (km h ⁻¹)	Capacidade efetiva líquida (t h ⁻¹)	Capacidade efetiva bruta (t h ⁻¹)	Eficácia manipulação (%)	Perdas totais de matéria- prima (%)	Matéria estranha total (%)
1,68	24,52	26,44	95	7,37	7,57
3,21	56,01	58,76	95	4,79	5,68
5,37	88,46	93,11	95	5,09	6,25
7,28	133,53	141,26	96	3,93	9,31
Máquina B					
Velocidades (km h ⁻¹)	Capacidade efetiva líquida (t h ⁻¹)	Capacidade efetiva bruta (t h ⁻¹)	Eficácia manipulação (%)	Perdas totais de matéria- prima (%)	Matéria estranha total (%)
1,70	26,3	30,64	86	14,13	8,69
3,37	49,61	54,31	91	8,66	6,83
5,40	94,51	102,08	93	7,43	5,16
7,28	124,55	131,93	94	5,55	7,84

Fonte: De León (2000), adaptada.

O autor observou que tanto as perdas totais de matéria-prima, quanto a quantidade de matéria estranha total encontrada na matéria-prima não aumentaram com maiores velocidades de deslocamento. Concluiu que a qualidade tecnológica da matéria-prima também não foi prejudicada.

Nery (2000) avaliou uma colhedora de fabricação nacional, em um canavial da variedade RB83-5089, com produtividade média de 145,39 t ha⁻¹, cultivada em espaçamento de 1,4 m entre fileiras e cana crua, em quatro velocidades de operação, e obteve os seguintes resultados (Tabela 6):

Tabela 6 - Resultados de colheita em cana crua em quatro velocidades de deslocamento

Parâmetros	Resultados			
	1,34 km h ⁻¹	2,66 km h ⁻¹	5,27 km h ⁻¹	7,68 km h ⁻¹
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
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
Matéria estranha vegetal (%)	8,42	10,88	7,19	8,40
Matéria estranha mineral (%)	0,07	0,45	0,08	0,66
Matéria estranha total (%)	8,49	11,33	7,27	9,06
Perdas de colmos e frações (%)	2,11	2,59	0,62	2,64
Perdas de rebolos (%)	0,00	0,00	1,18	0,00
Perdas de frações de rebolos (%)	3,14	3,96	4,16	4,07
Perdas colmos na soqueira (%)	0,85	0,36	3,93	2,10
Perdas totais (%)	6,10	6,91	9,89	8,81
Raízes arrancadas (%)	0,00	0,58	0,08	0,90

Fonte: Nery (2000), adaptada.

O autor ressaltou que houve um aumento na capacidade efetiva bruta, à medida que se elevou a velocidade de deslocamento da colhedora e o consumo de combustível por tonelada de cana colhida diminuiu com o aumento das velocidades. Em relação às perdas totais, o aumento das velocidades de deslocamento não acarretou em elevação dos índices, porém as perdas de rebolos e de frações de colmos tiveram seus resultados prejudicados. O custo da tonelada colhida diminuiu à medida que a velocidade de deslocamento aumentou. Por fim, concluiu que a quantidade de matéria estranha total não aumentou significativamente em decorrência da elevação da velocidade de deslocamento da colhedora.

Ripoli et al. (2001b) avaliaram o desempenho econômico operacional e econômico de colhedoras Brastoft em cana crua e concluíram que maiores velocidades implicaram em maiores capacidades efetivas líquidas, não influenciando no índice de eficácia de manipulação. A Tabela 7 apresenta os resultados encontrados.

Tabela 7 - Eficácia de manipulação e capacidade efetiva líquida para colhedora Brastoft em quatro velocidades de deslocamento diferentes

Parâmetros	V1	V2	V3	V4
Eficácia de manipulação (%)	93	92	89	91
Capacidade efetiva líquida (t h ⁻¹)	15,8	33,6	79	100

Fonte: Ripoli et al. (2001b), adaptada.

Belardo (2010) avaliou três colhedoras comercializadas no Brasil, em um canavial da variedade RB85-5453, em primeiro corte, com a produtividade média de 100 t ha⁻¹, cultivada em espaçamento de 1,5 m entre fileiras e cana crua, em duas velocidades de operação. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Desempenho efetivo de três colhedoras em cana-de-açúcar sem queima prévia

Parâmetros	Colhedoras					
	John Deere 3520		Santal Tandem II		Case 8800	
Velocidades deslocamento (km h ⁻¹)	5,16	7,28	4,98	6,81	4,94	6,71
Colmos colhidos (%)	93,31	91,95	94,22	94,20	92,82	92,14
Eficácia de manipulação (%)	96,66	97,01	96,54	96,88	97,79	98,38
Capacidade efetiva (ha h ⁻¹)	0,77	1,09	0,75	1,02	0,74	1,01
Capacidade efetiva bruta matéria-prima (t h ⁻¹)	85,88	130,55	82,43	107,87	91,13	122,02
Capacidade efetiva bruta colmos (t h ⁻¹)	80,15	120,06	77,65	101,50	84,57	112,44
Capacidade efetiva líquida colmos (t h ⁻¹)	77,45	116,48	75,07	98,38	82,75	110,62
Matéria estranha mineral (%)	0,50	0,61	0,78	0,62	0,92	0,84
Matéria estranha vegetal (%)	6,19	7,39	5,00	5,16	6,31	7,06
Perdas rebolos inteiros (t ha ⁻¹)	0,11	0,11	0,30	0,20	0,16	0,25
Perdas pedaços rebolos (t ha ⁻¹)	1,31	1,22	1,50	1,34	1,19	1,24
Perdas colmos e suas frações (t ha ⁻¹)	0,59	0,32	0,63	0,20	0,23	0,00
Perdas frações colmos soqueira (t ha ⁻¹)	1,62	1,71	1,19	1,43	0,94	0,35
Perdas totais (t ha ⁻¹)	3,63	3,37	3,62	3,17	2,53	1,84
Consumo combustível (L h ⁻¹)	57,27	60,56	53,75	55,60	63,04	64,80
Consumo combustível por área (L ha ⁻¹)	74,03	55,54	72,04	54,43	85,00	64,45

Fonte: Belardo (2010), adaptada.

O aumento da velocidade de deslocamento proporcionou aumento nas capacidades de colheita, sendo que a eficácia de manipulação não apresentou

diferença significativa. Não houve aumento significativo também na quantidade de matéria estranha mineral e vegetal. O autor observou ainda que os níveis de perda na colheita foram iguais em ambos os tratamentos para perda de rebolos inteiros, pedaços de rebolos, perda de frações de colmos nas soqueiras (toco de soqueira) e perdas totais, no entanto, para a variável perdas de colmos e suas frações, nas maiores velocidades, houve diminuição significativa no índice de perdas. E, avaliando-se o consumo de combustível por área ($L\ ha^{-1}$) e por unidade de colheita ($L\ t^{-1}$), o consumo foi significativamente menor nas maiores velocidades.

Carvalho Filho (2000) estudou o desempenho operacional e econômico da colheita mecanizada de cana-de-açúcar, em um canavial da variedade RB 83-5089, sem queima prévia, com produtividade média de $176,26\ t\ ha^{-1}$, em quatro velocidades de operação, e obteve os seguintes resultados (Tabela 9):

Tabela 9 - Resultados de desempenho operacional de colhedoras de cana em quatro velocidades de deslocamento

Parâmetros	Resultados			
Velocidade efetiva ($km\ h^{-1}$)	1,7	3,37	5,39	8,01
Capacidade efetiva bruta ($t\ h^{-1}$)	30,64	54,31	102,08	131,93
Eficácia de manipulação (%)	86	91	93	94
Capacidade efetiva líquida ($t\ h^{-1}$)	26,30	49,61	94,51	124,55
Consumo de combustível ($l\ t^{-1}$)	3,21	1,77	1,04	0,83
Consumo de combustível ($l\ h^{-1}$)	97,35	96,22	103,90	108,45
Matéria estranha vegetal (%)	7,72	6,80	5,04	7,73
Matéria estranha mineral (%)	0,88	0	0	0
Matéria estranha total (%)	8,47	6,80	5,04	7,73

Fonte: Carvalho Filho (2000), adaptada.

Como resultado, o aumento na variável velocidade de deslocamento refletiu no aumento nos índices estudados, excluindo-se as variáveis relacionadas à matéria estranha, que não apresentaram diferenças significativas.

Mazzonetto (2004) avaliou uma colhedora de cana Cameco CHT 2500, em um canavial de produtividade de $124\ t\ ha^{-1}$, na velocidade de $6,00\ km\ h^{-1}$, e obteve os seguintes resultados apresentados na Tabela 10. Concluiu que os valores estavam dentro dos limites aceitáveis.

Tabela 10 - Desempenho operacional da colhedora Cameco CHT 2500 em cana crua

Parâmetros	Colhedora Cameco CHT 2500
Capacidade efetiva bruta matéria-prima ($t\ h^{-1}$)	59,20
Capacidade efetiva bruta colmos ($t\ h^{-1}$)	55,39
Capacidade efetiva líquida matéria-prima ($t\ h^{-1}$)	56,47
Capacidade efetiva líquida colmos ($t\ h^{-1}$)	52,83
Consumo combustível ($L\ t^{-1}$)	1,45
Consumo combustível ($L\ h^{-1}$)	82,75
Eficácia de manipulação (%)	95,31
Perdas totais (%)	4,69
Matéria estranha vegetal (%)	6,30

Fonte: Mazzonetto (2004), adaptada.

Furlani Neto (1995) realizou avaliação de desempenho operacional de colhedoras Santal Amázon em canaviais de duas variedades com e sem queima prévia. A seguir os resultados obtidos para a colheita mecanizada sem queima prévia (Tabela 11):

Tabela 11 - Desempenho operacional de colhedoras Santal Amázon em duas variedades de cana sem queima prévia

Parâmetros	Médias
Velocidade efetiva ($km\ h^{-1}$)	4,7
Capacidade efetiva ($t\ h^{-1}$)	57,8
Matéria estranha vegetal (%)	8,2
Matéria estranha mineral (%)	0,7
Matéria estranha total (%)	8,8
Perdas totais ($t\ ha^{-1}$)	11,3

Fonte: Furlani Neto (1995), adaptada.

Carvalho (2009) avaliou uma colhedora John Deere 3510, em um canavial da variedade RB86-7515, em quarto corte, no espaçamento de 1,40 m entre fileiras e cana crua, de produtividade $94,2\ t\ ha^{-1}$ em quatro velocidades de deslocamento, obteve os seguintes resultados (Tabela 12).

Tabela 12 - Resultados de desempenho operacional de colhedora em cana crua em quatro velocidades de deslocamento

Parâmetros	Resultados			
	3,0 km h ⁻¹	4,5 km h ⁻¹	6,0 km h ⁻¹	8,0 km h ⁻¹
Capacidade efetiva bruta (t h ⁻¹)	41,6	57,9	61,5	93,7
Eficácia de manipulação (%)	97,8	95,7	97,7	96,9
Capacidade efetiva líquida (t h ⁻¹)	40,7	55,5	60,0	90,9
Perdas de lascas (%)	0,20	0,27	0,13	0,29
Perdas de colmos (%)	0,46	0,71	0,22	0,34
Perdas de pedaços (%)	0,06	0,08	0,06	0,11
Perdas de rebolos (%)	0,18	0,10	0,17	0,51
Perdas de colmo ponta (%)	0,07	0,09	0,00	0,01
Perdas toco (%)	1,59	4,08	2,09	3,02
Perdas totais (%)	2,56	5,33	2,67	4,28

Fonte: Carvalho (2009), adaptada.

O autor concluiu que o aumento da velocidade de deslocamento proporcionou o aumento nas capacidades efetiva bruta e líquida, porém sem alteração significativa na eficácia de manipulação. As perdas não foram influenciadas frente ao aumento das velocidades.

Schmidt Junior (2011) avaliou o desempenho de colhedoras de cana-de-açúcar, em um canavial da variedade SP 841431, cana crua em segundo corte, com a produtividade de 85 t ha⁻¹, em três velocidades de deslocamento: 5,7 km h⁻¹, 7,0 km h⁻¹ e 8,5 km h⁻¹, em duas velocidades do exaustor primário (1000 e 1500 rotações por minuto). Os resultados mostraram, para estas condições, que os índices de matéria estranha total apresentaram maiores índices frente ao aumento da velocidade de deslocamento (15,56% na velocidade 8,5 km h⁻¹ e 1500 rotações por minuto do exaustor primário), demonstrando que a rotação do exaustor não influenciou significativamente na quantidade de matéria estranha total colhida. Na maior velocidade ensaiada (8,5 km h⁻¹), a quantidade de perdas totais diferiu significativamente das demais, sendo maior. Houve diminuição significativa no consumo de combustível (L t⁻¹) à medida que a velocidade de deslocamento foi maior (0,52 L t⁻¹ na velocidade 8,5 km h⁻¹).

Molina Júnior (2000) estudou o desempenho operacional de três colhedoras, num canavial da variedade RB 83-5089, de terceiro corte sem queima prévia, em quatro diferentes velocidades, concluiu que em velocidade maiores as máquinas

estudadas apresentaram capacidades efetivas maiores. A máquina T3 obteve desempenho inferior às demais. Os índices de matéria estranha vegetal, matéria estranha mineral, eficácia de manipulação e perdas totais não foram prejudicados face o aumento das velocidades efetivas de deslocamento. A Tabela 13 apresenta as médias das capacidades efetivas.

Tabela 13 - Médias das capacidades efetivas para as três máquinas nas quatro velocidades de deslocamento

Máquinas	Capacidades efetivas ($t\ h^{-1}$)			
	1,57 $km\ h^{-1}$	3,08 $km\ h^{-1}$	5,34 $km\ h^{-1}$	7,66 $km\ h^{-1}$
T1	26,44	58,75	93,11	141,26
T2	30,64	54,31	102,08	131,26
T3	16,30	36,29	87,67	110,19

Fonte: Molina Júnior (2000), adaptada.

Tratando-se de qualidade de corte e cisalhamento de rebolos, Nery (2000) em ensaio realizado com uma colhedora de origem nacional, avaliou o comprimento médio de rebolos e a qualidade de cisalhamento (% de rebolos perfeitos). Os resultados obtidos mostram que o percentual de rebolos perfeitos foi menor para a maior velocidade de deslocamento estudada (Tabela 14).

Tabela 14 - Resultados de índice de cisalhamento e comprimento de rebolos na colheita de cana crua em quatro velocidades de deslocamento

Parâmetros	Resultados			
	1,34 $km\ h^{-1}$	2,66 $km\ h^{-1}$	5,27 $km\ h^{-1}$	7,68 $km\ h^{-1}$
Rebolos perfeitos (%)	80,0	65,8	70,9	35,0
Rebolos danificados 1 lado (%)	20,0	27,8	21,5	40,0
Rebolos danificados 2 lados (%)	0	6,4	7,6	25,0
Comprimento rebolos (cm)	19 a 35	19 a 35	19 a 25	19 a 25

Fonte: Nery (2000), adaptada.

Belardo (2010) avaliou o comprimento médio de rebolos e a qualidade de cisalhamento em três colhedoras, em diferentes velocidades. O comprimento médio dos rebolos variou entre 14 e 22 cm. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 15:

Tabela 15 - Ensaio comparativo entre três colhedoras avaliando o índice de cisalhamento e comprimento de rebolos

Parâmetros	Colhedoras					
	John Deere 3520		Santal Tandem II		Case 8800	
Velocidades deslocamento (km h ⁻¹)	5,16	7,28	4,98	6,81	4,94	6,71
Rebolos perfeitos (%)	82,40	85,60	72,40	84,00	81,20	63,20
Rebolos danificados 1 lado (%)	15,60	12,80	24,40	14,00	16,00	14,80
Rebolos danificados 2 lados (%)	2,40	1,60	3,20	2,00	2,80	2,00
Comprimento rebolos (cm)	14-16	14-16	20-22	20-22	14-16	14-16

Fonte: Belardo (2010), adaptada.

Schmidt Junior (2011) em ensaios para avaliar o desempenho efetivo de colhedoras de cana-de-açúcar em três diferentes velocidades encontrou resultados de índice de cisalhamento (percentual de rebolos perfeitos) entre 88,3% e 93,9%. O comprimento de rebolos variou de 21 cm a 26 cm.

Mazzonetto (2004) avaliou uma colhedora de cana Cameco CHT 2500 obteve colmos menores. A maioria deles apresentou tamanhos entre 6 a 10 cm. O índice de cisalhamento foi de 61% (Tabela 16).

Tabela 16 - Índice de cisalhamento e comprimento de rebolos da colhedora Cameco CHT 2500

Parâmetros	Colhedora Cameco CHT 2500
Rebolos perfeitos (%)	61
Rebolos imperfeitos 1 lado (%)	30
Rebolos imperfeitos 2 lados (%)	12
Comprimento rebolos (cm)	6 a 10

Fonte: Mazzonetto (2004), adaptada.

Norris et al. (1998) realizaram estudos para avaliar a qualidade de limpeza e corte de rebolos no protótipo Massey Fergusson 405 e na colhedora Austoft 7000, em diferentes velocidades de deslocamento. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 17 e mostram um percentual de rebolos perfeitos abaixo dos trabalhos citados acima.

Tabela 17 - Ensaio comparativo entre o protótipo Massey Fergusson 405 e a colhedora Austoft 7000 avaliando índice de cisalhamento e comprimento de rebolos

Colhedoras	Velocidades (km h ⁻¹)	Rebolos Perfeitos (%)	Rebolos Danificados 1 lado (%)	Rebolos danificados 2 lados (%)
Austoft 7000	3	41,8	32,5	25,7
	5	36,1	39,0	24,9
	7	32,4	44,1	23,5
Massey Fergusson 405	3	51,2	31,8	17,0
	5	45,8	36,1	18,2
	6,5	42,5	36,8	20,7

Fonte: Norris et al. (1998), adaptada.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

O ensaio foi realizado em uma usina da região de Novo Horizonte, estado de São Paulo. A localização da área de ensaio, segundo a Usina, era denominada: Fazenda 140, Secção 1, Talhão 17. A produtividade agrícola estimada pela usina foi de 100 t ha⁻¹.

A área experimental onde ocorreram os ensaios apresenta as seguintes coordenadas geográficas: LAT: 21° 29' 30" S; LON: 49° 06' 25" W.

3.1.1 Máquinas utilizadas

As colhedoras avaliadas no ensaio foram: John Deere 3510 (Figura 7), Case 7000 (Figura 8) e Case 8000 (Figura 9).

Figura 7 - Colhedora John Deere 3510

Figura 8 - Colhedora Case 7000 ao lado do sistema motomecanizado de transbordo colhendo uma das repetições

Figura 9 - Colhedora Case modelo 8000 ao lado do sistema motomecanizado de transbordo colhendo uma das repetições

A Tabela 18 mostra algumas características das máquinas utilizadas no presente estudo.

Tabela 18 - Algumas características das máquinas utilizadas no presente estudo

Máquinas	John Deere (M1)	Case (M2)	Case (M3)
Ano de Fabricação	2007	2006	2010
Modelo	3510	7000	8000
Horímetro (h)	3.186	10.495	2.110
Rodado	pneus	pneus	pneus
Potência (kw)@rpm	257@2100	246@2100	260@2100
Nº de facas por disco (corte basal)	5	5	5
Nº de facas por rolo (picador)	4	4	4
Nº Exaustores	1	1	2
Rotação de trabalho do exaustor primário (rpm)	1000	1000	1000

Em todas as máquinas estudadas foi utilizado o mesmo operador, com o intuito de se evitar ao máximo possíveis diferenças de manejo e operação destas dentro do canavial.

3.1.2 Equipamentos e Instrumentos de campo

- 03 sistemas motomecanizados de transbordo
- 01 carreta com 3 unidades
- 01 carregadora de cana
- 01 caminhão oficina
- 01 caminhão pipa
- 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 com capacidade máxima de leitura 100 L/h, fundo de escala de 1 mL por pulso.
- Sistema de aquisição de dados, modelo CR10X, marca Campbell de 10 canais.
- Cronômetro digital com 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, facões, estacas de madeira, correntes de ferro, encerados de plástico, cinco baterias 12 v.

3.1.3 Instrumentos de laboratório

Da Usina: triturador; balanças de precisão; mufla; cadinhos.

Da ESALQ-USP:

- Microcomputadores com programas de planilha eletrônica; específico para conversão de dados do CR10 e Estatístico SAS.
 - Balança com capacidade de leitura de 4,9 kg e fundo de escala de 0,001 g.;
- Estufa, peneiras padrão para análise granulométrica de solo, mufla, peneiras granulométricas.

3.2 Métodos

3.2.1 Tratamentos e critérios das amostragens

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

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

M1V1 = Colhedora John Deere 3510 na velocidade efetiva de colheita 1 (padrão) e rotação do exaustor a 1000 rpm.

M1V2 = Colhedora John Deere 3510 na velocidade efetiva de colheita 2 (acima do padrão) e rotação do exaustor a 1000 rpm.

M2V1 = Colhedora Case 7000 na velocidade efetiva de colheita 1 (padrão) e rotação do exaustor a 1000 rpm.

M2V2 = Colhedora Case 7000 na velocidade efetiva de colheita 2 (acima do padrão) e rotação do exaustor a 1000 rpm.

M3V1 = Colhedora Case 8000 na velocidade efetiva de colheita 1 (padrão) e rotação do exaustor a 1000 rpm.

M3V2 = Colhedora Case 8000 na velocidade efetiva de colheita 2 (acima do padrão) e rotação do exaustor a 1000 rpm.

Todos os tratamentos receberam um número de 6 repetições conforme Tabela 19.

Tabela 19 - Tratamentos e suas respectivas repetições

Tratamentos	Número de repetições
M1V1	6
M1V2	6
M2V1	6
M2V2	6
M3V1	6
M3V2	6
Total de repetições	36

3.2.2 Caracterização da área

3.2.2.1 Determinação da área amostral

A área decorrente às repetições foi obtida com fileiras de 150 m de comprimento de colheita, após a eliminação das bordaduras de 25 m, no talhão. Sendo assim, esta área estava satisfatoriamente afastada dos carregadores, com intuito de se atingir uma menor variabilidade espacial entre as fileiras de plantio e a estabilização da velocidade de deslocamento da colhedora (Figura 10).

Figura 10 - Área utilizada nas avaliações de Campo

3.2.2.2 Idade e grau de maturação da cultura

A idade do canavial, em meses, foi obtida por informação do setor competente da unidade agroindustrial. O grau de maturação foi obtido segundo proposto por Stupiello et al. (1971).

3.2.2.3 Porte do canavial

Para a determinação do porte do canavial, foram tomadas 10 áreas ao acaso, onde foi posicionado o gabarito com formato de triângulo retângulo. Em cada amostra foi anotado o número de colmos industrializáveis, em cada condição e contidos na distância (um metro) abrangida pela base do triângulo disposto longitudinalmente na fileira de plantio. De posse da contagem e qualificação dos colmos determinaram-se suas respectivas porcentagens. A condição que apresentou maior porcentagem definiu o porte do canavial.

3.2.2.4 Umidade do solo

Para cada 2 repetições foi tomada 01 amostra de solo, na profundidade de 0-5 cm, nas entre-fileiras, para determinação laboratorial na ESALQ-USP da umidade atual do solo no momento de cada repetição e sua granulometria. Foi utilizado o método de determinação gravimétrico padrão, com base na massa de solo seco em estufa à temperatura de 105 a 110° C, até se obter a massa constante das amostras.

3.2.2.5 Granulometria e classe textural do solo

Utilizando-se das mesmas amostras de solo referidas no item anterior procederam-se estas determinações, partindo-se de uma amostra composta originada da mistura e homogeneização das amostras originais para a obtenção da fração argila. Tudo isso foi realizado com base na metodologia de Steel e 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. Tendo como base os dados obtidos determinou-se a classe textural do solo, conforme Medina (1953), utilizando-se do diagrama triangular do *Soil Survey Staff*.

3.2.3 Desempenho operacional

Foram realizados, para cada uma das máquinas, dois ensaios correspondentes a duas velocidades de deslocamento pré-estabelecidas, com 6 repetições em cada nível de velocidade, totalizando 12 determinações por máquina. Totalizando-se então 36 conjuntos de procedimentos de avaliação de desempenho de campo para as três máquinas. Por fim, as velocidades de referência foram: $V1 = 5,0 \text{ km h}^{-1}$ e $V2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$.

Em relação aos ajustes dos níveis de velocidade, estes foram obtidos por meio de testes preliminares, nos quais as velocidades foram medidas com o uso de GPS para calibração do operador.

3.2.3.1 Mensuração da velocidade operacional

As repetições corresponderam a uma distância de aproximadamente 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 e cada fileira colhida como auxílio de um gabarito de 2 m para verificação da metragem exata de cada repetição. Para esta variável, não foram efetuadas amostragens, mas obtidos os valores efetivamente ocorridos, de cada repetição.

3.2.3.2 Determinação de perdas visíveis de matéria-prima no campo

Para o presente estudo determinou-se somente as perdas visíveis e utilizou-se o método direto, ou seja, por intermédio da coleta e pesagem da matéria-prima remanescente no campo.

Para amostragens de perdas visíveis de matéria-prima, para cada repetição, demarcou-se três sub-amostras de 10 m x 4,5 m (múltiplo do espaçamento de 1,5 m), ou seja, 45 m², procedendo-se a limpeza, de forma manual, de todas as frações que não foram colhidas na ação da máquina (canas inteiras ou em pedaços amassados/estraçalhados, pedaços de cana agregados aos ponteiros, rebolos lançados fora e tocos altos deixados por deficiências no corte basal). Figuras 11 e 12.

Figura 11 - Preparação de uma sub amostra

Figura 12 - Área pronta para colheita

Após a passagem da colhedora na fileira de plantio, o material remanescente além dos restos de colmos das soqueiras das três sub-amostras foi recolhido, ensacado e pesado, separadamente, por tipo, sendo eles: perdas de rebolos inteiros, pedaços de rebolos, frações de colmo na soqueira (toco de soqueira) e colmos e suas frações (maiores que 30 cm) (Figuras 13 e 14).

Figura 13 - Coleta de perdas

Figura 14 - Critérios de perdas: a) rebolos inteiros; b) pedaços de rebolos; c) tocos de soqueira; d) colmos e suas frações

Figura 15 - Estação de determinações

3.2.3.3 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 transbordo que acompanhava a colhedora durante cada repetição servindo de sub-amostras de material colhido para análise tecnológica (Figuras 16 e 17).

Figura 16 - Retirada do tambor do transbordo

Figura 17 - Pesagem do tambor

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 (Figura 18). Sendo assim, a matéria-prima restante no transbordo, era também pesada, para determinação da quantidade de rebolos colhidos e posteriormente feito descarte desse material (Figura 19) e futuro envio para a usina. No laboratório, efetuaram-se as determinações de porcentagem de rebolos, de matéria estranha mineral e matéria estranha vegetal (a somatória das porções de ponteiros, folhas, palhas).

Figura 18 - Material já ensacado e pronto para ser enviado ao laboratório de análises tecnológicas da usina

Figura 19 - Eliminando o material pesado

3.2.3.4 Determinação de frequência e comprimento de rebolos

Para a determinação de frequência e comprimento de rebolos, tomou-se ao acaso 50 rebolos da carga do outro tambor retirado de dentro do transbordo e determinou-se o tamanho de cada um, com precisão de 0,5 cm (Figura 20), obtendo-se, posteriormente, uma poligonal de frequência, com intervalos de 5 ou de 1 cm.

Figura 20 - Determinação da frequência no tamanho de rebolos

3.2.3.5 Índice de cisalhamento dos rebolos (%)

Na avaliação da qualidade do corte foram utilizados os mesmos rebolos referidos no item anterior, realizando-se a inspeção visual e separação dos que apresentaram algum tipo de rachadura, trinca ou esfarelamento nas extremidades. Posteriormente determinou-se a porcentagem em unidades dos rebolos com extremidades danificadas. A classificação dos rebolos para posterior obtenção do índice de cisalhamento acompanhou o seguinte critério: rebolos perfeitos nas duas extremidades; rebolos com uma extremidade ruim e rebolos com as duas extremidades ruins (Figuras 21 e 22).

Figura 21 - Rebolo com o cisalhamento perfeito em uma das extremidades

Figura 22 - Rebolo com o cisalhamento ruim em uma das extremidades

3.2.3.6 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 23 e 24).

Figura 23 - Transbordamento da massa de colmos colhida sobre o transbordo estático, utilizado como estação de pesagem da matéria-prima colhida

Figura 24 - Displays das várias células de carga utilizadas

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 e uma quinta célula de carga no cabeçalho de acoplamento do transbordo ao trator (Figuras 25 e 26).

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 25 - Células de carga utilizadas no transbordo e para pesagem do apoio do cabeçalho do transbordo, evitando assim erros de transferência de carga entre o transbordo e o trator

Figura 26 - Esquema teórico de transferência de peso

Com a produtividade agrícola de matéria-prima colhida mensurada ($t\ ha^{-1}$) por intermédio 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 consequentemente a produtividade agrícola de colmos ($t\ ha^{-1}$), ou seja, a quantidade de colmos colhidos por unidade de área.

3.2.3.7 Capacidade de Colheita

3.2.3.7.1 Capacidade efetiva

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 foi avaliada para as duas velocidades definidas para o ensaio.

3.2.3.7.2 Capacidade efetiva líquida ou calculada³

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

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

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

³ Capacidade efetiva líquida: Trata-se de parâmetro similar ao que Witney (1988) designa como commodity throughput capacity.

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).

3.2.3.7.3 Capacidade efetiva bruta⁴

A Capacidade Efetiva Bruta (CE_b) 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, podendo ser calculada pela equação:

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

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

sendo:

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

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

3.2.3.8 Eficácia de manipulação

Sendo a eficácia de Manipulação de colhedoras (EM%) a relação entre a quantidade (T_c) de rebolos de colmos colocados na unidade de transporte e a

⁴ Capacidade Efetiva Bruta: Equivalente ao que Witney (1988) designa como spot rate of work.

quantidade (TC) de colmos existentes na fileira de plantio, in natura, foi calculada da seguinte forma:

$$EM_t(\%) = \left(\frac{T_c}{TC} \right) \cdot 100 \quad (5)$$

No caso destas máquinas, 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:

$$T_c = TC - P_c \quad (6)$$

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

$$EM(\%) = \left(1 - \frac{P_c}{TC} \right) \cdot 100 \quad (7)$$

3.2.3.9 Índices de matéria estranha na matéria-prima

Para determinação dos índices de matéria estranha na matéria-prima, estes foram subdivididos em:

IMM = Índice de matéria estranha mineral

IMV = Índice de matéria estranha vegetal

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

3.2.3.9.1 Índice de ponteiros (%)

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:

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

3.2.3.9.2 Índice de folhas e palhas (%)

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:

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

3.2.3.9.3 Índice de raízes (%)

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

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

3.2.3.9.4 Índice de matéria estranha vegetal (%)

Este Índice expressa o significado conjunto dos três Índices anteriores e representa a quantidade total de matéria estranha vegetal que acompanha os colmos ou rebolos industrializáveis, na unidade de transporte, ou seja:

$$IV (\%) = IP (\%) + IF (\%) + IR (\%) \quad (11)$$

3.2.3.9.5 Índice de matéria estranha mineral (%)

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:

$$IM(\%) = \left(\frac{t}{C} \right) \cdot 100 \quad (12)$$

3.2.3.9.6 Índice de matéria estranha total (%)

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

$$IT(\%) = IV(\%) + IM(\%) \quad (13)$$

3.2.3.10 Consumo de combustível

A mensuração do consumo foi realizada utilizando-se um 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 os consumos 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})
- litros na capacidade efetiva líquida de colmos (L t^{-1}).

Figura 27 - Instalação do fluxômetro no motor da colhedora

3.2.3.11 Delineamento estatístico

O delineamento estatístico utilizado foi o inteiramente casualizado no esquema fatorial 3X2, sendo três máquinas e duas velocidades de deslocamento com seis repetições para cada velocidade, totalizando 12 determinações para cada variável analisada. A análise estatística foi efetuada pelo sistema de análise estatística SAS (SAS, 2009) onde aplicou-se o teste F, ao nível de significância de 5% de probabilidade, para verificar se as médias apresentaram diferenças estatísticas significativas. Onde houve diferença entre as médias, aplicou-se o teste Tukey para as comparações de médias (BARBIN, 2003).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Condições do canavial, teor de água no solo e granulometria

A variedade de cana-de-açúcar colhida foi a SP91-1285, de segundo corte, com 14 meses de idade, espaçamento entre fileiras de 1,5 m em solo de textura arenosa. De acordo com a metodologia proposta por Ripoli, Furlani Neto e Nova (1996), o canavial foi classificado como ereto (Figura 28), tendo 100% de seus colmos acima do ângulo de 45°. A declividade da área foi de 2% e a colheita ocorreu sem queima prévia.

Figura 28 - Canavial de porte ereto, conforme definido

Com base nas amostragens de solo efetuadas, a Figura 29 apresenta os resultados obtidos de umidade e seus respectivos Coeficientes de Variação e Desvios Padrão.

Figura 29 - Médias obtidas das umidades de solo e seus respectivos desvios padrão (DP) e coeficientes de variação (CV)

Quanto a granulometria, as determinações laboratoriais foram as seguintes: 15,25% de argila, 5,82% de silte e 78,93% de areia, podendo-se afirmar que o solo é arenoso.

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

As Figuras 30 e 31 mostram as médias das repetições das velocidades efetivas de deslocamento (km h^{-1}) para cada máquina, nos dois tratamentos.

As médias das repetições não apresentaram, entre as colhedoras, diferenças estatísticas significativas ao nível de 5%.

Analisando-se as médias dos tratamentos (V1 e V2), foram encontradas diferenças significativas ao nível de 5% (Tabelas 1 e 2 – apêndice).

Figura 30 - Médias das velocidades efetivas de deslocamento obtidas nos ensaios para o tratamento 1 ($V_1 = 5,00 \text{ km h}^{-1}$)

Figura 31 - Médias das velocidades efetivas de deslocamento obtidas nos ensaios para o tratamento 2 ($V_2 = 7,00 \text{ km h}^{-1}$)

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

A Figura 32 representa a variabilidade espacial da produtividade agrícola de colmos nas 36 fileiras que representam as repetições de todos os tratamentos. Pode-se notar a existência de uma grande variação nos resultados. Tal variação deve-se ao fato da enorme variabilidade espacial encontrada em cada metro linear de cada fileira do canavial. Esta variabilidade espacial, segundo Ripoli (2010), está diretamente relacionada com o número de colmos industrializáveis, porte do canavial, comprimento dos 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), ataque de pragas, incidência de doenças, ocorrência de plantas daninhas e aplicações imperfeitas de defensivos agrícolas.

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

A produtividade agrícola média foi de $78,89\ t\ ha^{-1}$ e o talhão onde foram realizadas as determinações foi selecionado pela usina que o considerou como o mais adequado para a colheita mecanizada.

Figura 32 - Variabilidade espacial da produtividade agrícola (t ha⁻¹) de colmos nas repetições realizadas

4.4 Colmos colhidos (%)

Os resultados obtidos para a variável colmos colhidos para as três máquinas nas duas velocidades estudadas são apresentados nas Figuras 33 e 34. Não houve diferenças significativas ao nível de 5% entre as médias das repetições das colhedoras na velocidade V1 ($5,00 \text{ km h}^{-1}$). Na velocidade V2 ($7,00 \text{ km h}^{-1}$) a colhedora Case 8000 obteve um desempenho inferior às demais. Analisando-se as médias de cada colhedora, a colhedora Case 8000 também diferiu das demais, para pior. (Tabela 3 e 4 – apêndice).

Figura 33 - Médias dos percentuais de colmos colhidos para as três máquinas avaliadas no tratamento 1 ($V1 = 5,0 \text{ km h}^{-1}$)

Figura 34 - Médias dos percentuais de colmos colhidos para as três máquinas avaliadas no tratamento 2 ($V2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$)

4.5 Eficácia de manipulação (%)

As Figuras 35 e 36 apresentam os resultados obtidos para a variável eficácia de manipulação (%) para cada uma das colhedoras, em cada um dos tratamentos. De acordo com os resultados não houve diferenças significativas ao nível de 5% entre as máquinas. As médias dos tratamentos diferiram, sendo que a eficácia de manipulação foi significativamente maior na maior velocidade V2 (Tabela 5 e 6 - apêndice). Sendo assim, os resultados obtidos neste ensaio são perfeitamente aceitáveis (>95%).

Os valores encontrados para esta variável foram semelhantes aos encontrados por Belardo (2010) que na velocidade de 5,00 km h⁻¹ obteve resultados entre 96,54% e 97,79%, e na velocidade de 7,00 km h⁻¹ obteve resultados entre 96,88% e 98,38%, Mazzonetto (2004) entre 87 e 97% e menores do que os valores encontrados por Schmidt Junior (2011) que na velocidade de 5,7 km h⁻¹ obteve resultados entre 99,47% e 99,66% e na velocidade de 7,00 km h⁻¹ obteve resultados entre 99,58% e 99,63%. Analisando-se as médias de eficácia de manipulação para as duas velocidades estudadas, estas diferiram significativamente ao nível de 5%, sendo que a velocidade V1 obteve uma menor eficácia de manipulação, influenciada pelo índice de perdas totais (2,37 t ha⁻¹ na velocidade de 5,00 km h⁻¹ e 1,82 t ha⁻¹ na velocidade de 7,00 km h⁻¹).

Figura 35 - Médias das eficácias de manipulação para as três máquinas avaliadas no tratamento 1 (V1 = 5,0 km h⁻¹)

Figura 36 - Médias das eficiências de manipulação para as três máquinas avaliadas no tratamento 2 ($V2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$)

4.6 Capacidades efetivas

4.6.1 Capacidade efetiva (ha h^{-1})

Os resultados obtidos para a variável capacidade efetiva de colheita para as três máquinas nas duas velocidades estudadas são apresentados nas Figuras 37 e 38. Na velocidade $V1$ (tratamento 1) e na velocidade $V2$ (tratamento 2) não houve diferenças estatísticas significativas ao nível de 5% para as máquinas estudadas.

Analisando-se as médias dos tratamentos, estes diferiram entre si quanto à capacidade efetiva (Tabelas 7 e 8 – apêndice). Isso mostra que a velocidade de colheita (km h^{-1}) está diretamente relacionada com a capacidade efetiva (ha h^{-1}), em outras palavras, quanto maior a velocidade, maior a capacidade efetiva.

Os valores encontrados para esta variável foram semelhantes aos encontrados por Belardo (2010) que na velocidade de $5,00 \text{ km h}^{-1}$ obteve resultados entre $0,74 \text{ ha h}^{-1}$ e $0,77 \text{ ha h}^{-1}$, e na velocidade de $7,00 \text{ km h}^{-1}$ obteve resultados entre $1,01 \text{ ha h}^{-1}$ e $1,09 \text{ ha h}^{-1}$.

Figura 37 - Médias das capacidades efetivas para as três máquinas avaliadas no tratamento 1 (V1 = 5,0 km h⁻¹)

Figura 38 - Médias das capacidades efetivas para as três máquinas avaliadas no tratamento 2 (V2 = 7,0 km h⁻¹)

4.6.2 Capacidade efetiva bruta de matéria-prima ($t\ h^{-1}$)

As Figuras 39 e 40 apresentam os resultados da capacidade efetiva bruta de matéria-prima ($t\ h^{-1}$) para as três máquinas nos dois tratamentos. Os resultados obtidos, tanto no tratamento 1 quanto no tratamento 2 não apresentaram diferenças significativas a 5% de significância. As médias dos tratamentos diferiram entre si, sendo que o aumento da velocidade proporcionou um aumento deste índice (Tabela 9 e 10 – apêndice).

Os resultados obtidos no tratamento 1 estão abaixo dos encontrados por Belardo (2010) que na velocidade de $5,00\ km\ h^{-1}$ obteve $86,48\ t\ h^{-1}$, por De León (2000) que na velocidade de $5,4\ km\ h^{-1}$ obteve $93,11\ t\ h^{-1}$. Entretanto, estes resultados estão próximos aos encontrados por Furlani Neto (1995) que em canavial de produtividade de $90\ t\ ha^{-1}$ e na velocidade de $4,6\ km\ h^{-1}$ obteve $57,8\ t\ h^{-1}$, e Mazzonetto (2004) que na velocidade de $6,0\ km\ h^{-1}$ obteve $59,2\ t\ h^{-1}$.

Por outro lado, os resultados obtidos no tratamento 2 estão abaixo dos encontrados por Belardo (2010) que na velocidade de $7,00\ km\ h^{-1}$ obteve $120,15\ t\ h^{-1}$ e De León (2000) que na velocidade de $7,28\ km\ h^{-1}$ e $8,01\ km\ h^{-1}$ obteve $131,93\ t\ h^{-1}$ e $141,26\ t\ h^{-1}$, respectivamente.

Figura 39 - Médias das capacidades efetivas brutas de matéria-prima para as máquinas avaliadas no tratamento 1 ($V1 = 5,0\ km\ h^{-1}$)

Figura 40 - Médias das capacidades efetivas brutas de matéria-prima para as máquinas avaliadas no tratamento 2 ($V2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$)

4.6.3 Capacidade efetiva bruta de colmos (t h^{-1})

Os resultados referentes à variável capacidade efetiva bruta de colmos (t h^{-1}) para as três máquinas e os dois tratamentos estão apresentados nas Figuras 41 e 42. As médias das colhedoras dentro de cada tratamento não diferiram, porém as médias dos tratamentos ($V1$ e $V2$) diferiram significativamente, sendo maiores nas maiores velocidades (Tabela 11 e 12 – apêndice). A média da capacidade efetiva bruta de colmos da colhedora Case 8000 foi diferente estatisticamente a 5% de significância das demais, mostrando um desempenho inferior desta colhedora.

Figura 41 - Médias das capacidades efetivas brutas de colmos para as máquinas avaliadas no tratamento 1 ($V1 = 5,0 \text{ km h}^{-1}$)

Figura 42 - Médias das capacidades efetivas brutas de colmos para as máquinas avaliadas no tratamento 2 (V2 = 7,0 km h⁻¹)

4.6.4 Capacidade efetiva líquida de colmos (t h⁻¹)

A seguir, nas Figuras 43 e 44 os resultados de Capacidade efetiva líquida de colmos (t h⁻¹) das três máquinas e dos dois tratamentos estudados. Tanto para o tratamento 1 quanto para o tratamento 2, não houve diferença estatística ao nível de 5% de significância. A média da colhedora Case 8000, diferiu estatisticamente a 5% de significância das demais, tendo o pior desempenho no quesito estudado. Avaliando-se as médias dos tratamentos (V1 e V2), houve diferenças significativas, sendo que o acréscimo da velocidade proporcionou um aumento para este índice (Tabelas 13 e 14 – apêndice).

Os valores referentes ao tratamento 1 são inferiores ao de De León (2000) que a 5,4 km h⁻¹ obteve capacidade efetiva líquida entre 88,45 t h⁻¹ e 94,51 t h⁻¹, Belardo (2010) que na velocidade de 5,0 km h⁻¹ obteve capacidade efetiva líquida entre 77,45 t h⁻¹ e 82,75 t h⁻¹ e semelhantes ao de Mazzonetto (2004) que na velocidade de 6,0 km h⁻¹ obteve 52,83 t h⁻¹.

Para o tratamento 2, os resultados obtidos são inferiores aos encontrados por De León (2000) que na velocidade de 7,28 km h⁻¹ obteve capacidade efetiva líquida de 133,53 t h⁻¹, Belardo (2010) que na velocidade de 7,0 km h⁻¹ obteve entre 98,38 t h⁻¹ e 116,48 t h⁻¹.

Figura 43 - Médias das capacidades efetivas líquidas de colmos para as máquinas avaliadas no tratamento 1 ($V1 = 5,0 \text{ km h}^{-1}$)

Figura 44 - Médias das capacidades efetivas líquidas de colmos para as máquinas avaliadas no tratamento 2 ($V2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$)

4.7 Qualidade da matéria-prima

4.7.1 Matéria estranha mineral

4.7.1.1 Matéria estranha mineral (%)

As médias encontradas para a variável matéria estranha mineral estão apresentadas nas Figuras 45 e 46. No tratamento 1 (V1), não houve diferença estatística a 5% de significância entre as máquinas estudadas. No tratamento 2 (V2) bem com nas médias das colhedoras (Tabelas 15 e 16 – apêndice), a colhedora Case 8000 diferiu estatisticamente a 5% de significância das demais, obtendo um maior percentual de matéria estranha mineral. Os valores obtidos foram semelhantes aos encontrados por Schmidt Junior (2011) com valores percentuais entre 0,29% e 0,41%, e Belardo (2010), com percentuais entre 0,50% e 0,92%, que em seus trabalhos, avaliaram colhedoras com as mesmas características construtivas das máquinas estudadas neste ensaio.

Figura 45 - Médias das porcentagens de matéria estranha mineral para as máquinas avaliadas no tratamento 1 (V1 = 5,0 km h⁻¹)

Figura 46 - Médias das porcentagens de matéria estranha mineral para as máquinas avaliadas no tratamento 2 ($V2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$)

Os valores encontrados para a umidade do solo não influenciaram a porcentagem de matéria estranha mineral arrastada na matéria-prima, nas diferentes máquinas. Sendo assim, os valores obtidos e diferenciados para a variável % de matéria estranha mineral na carga, para cada máquina, foram efeitos da operação e da condição do micro-relevo do talhão.

4.7.1.2 Matéria estranha mineral (t ha^{-1})

Os resultados apresentados para a variável matéria estranha mineral (t ha^{-1}) (Figuras 47 e 48), mostram novamente que no tratamento 1 ($V1$), não houve diferença estatística a 5% de significância entre as máquinas estudadas. No tratamento 2 ($V2$) bem como nas médias das colhedoras, a colhedora Case 8000 diferiu estatisticamente a 5% de significância das demais (Tabela 17 e 18 – apêndice), obtendo um maior percentual de matéria estranha mineral. As médias dos dois tratamentos diferiram estatisticamente entre si a 5% de significância, o que mostra que a diferença na velocidade de deslocamento acarretou em maior quantidade de matéria estranha mineral contida na matéria-prima colhida.

Figura 47 - Médias das matérias estranhas minerais para as máquinas avaliadas no tratamento 1 (V1 = 5,0 km h⁻¹)

Figura 48 - Médias das matérias estranhas minerais para as máquinas avaliadas no tratamento 2 (V2 = 7,0 km h⁻¹)

4.7.2 Matéria estranha vegetal

4.7.2.1 Matéria estranha vegetal (%)

Nas Figuras 49 e 50 são apresentados os resultados obtidos para a variável matéria estranha vegetal (%) para as três colhedoras nos dois tratamentos. Os valores obtidos nos dois tratamentos não apresentaram diferenças estatísticas

significativas ao nível de 5%. De acordo com os resultados das médias das colhedoras (Tabelas 19 e 20 - apêndice), as colhedoras John Deere e Case 8000 diferiram estatisticamente entre si a 5% de significância, sendo que a última obteve o maior percentual de matéria estranha vegetal.

Os resultados obtidos são inferiores aos encontrados por Belardo (2010), que obteve índices entre 5,00% e 7,39%, Schmidt Junior (2011) que obteve percentuais entre 10,08% e 15,21%, e De León (2000), com percentuais entre 5,16% e 7,84%.

Figura 49 - Médias das porcentagens da matéria estranha vegetal para as máquinas avaliadas no tratamento 1 ($V1 = 5,0 \text{ km h}^{-1}$)

Figura 50 - Médias das porcentagens da matéria estranha vegetal para as máquinas avaliadas no tratamento 2 ($V2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$)

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

Nas Figuras 51 e 52 são apresentados os resultados obtidos para a variável matéria estranha vegetal (t ha^{-1}) para as três colhedoras nos dois tratamentos. Os valores obtidos nos dois tratamentos não apresentaram diferenças estatísticas significativas ao nível de 5%. De acordo com os resultados das médias das colhedoras (Tabelas 21 e 22 - apêndice), as colhedoras John Deere e Case 8000 diferiram estatisticamente entre si a 5% de significância, sendo que a última obteve o maior percentual de matéria estranha vegetal. As médias dos dois tratamentos diferiram estatisticamente entre si a 5% de significância, o que mostra que a diferença na velocidade de deslocamento acarretou em maior quantidade de matéria estranha vegetal contida na matéria-prima colhida.

A colhedora Case 8000 difere das demais, pois possui um extrator secundário para auxiliar na limpeza da cana colhida. Porém esta diferente característica, se comparada com as demais máquinas estudadas, não refletiu em melhor resultado no índice de matéria estranha vegetal colhida.

Figura 51 - Médias das matérias estranhas vegetais para as máquinas avaliadas no tratamento 1 ($V1 = 5,0 \text{ km h}^{-1}$)

Figura 52 - Médias das matérias estranhas vegetais para as máquinas avaliadas no tratamento 2 ($V2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$)

4.8 Perdas

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

Nas Figuras 53 e 54 são apresentados os resultados obtidos para a variável perdas de rebolos inteiros (t ha^{-1}) para as três colhedoras nos dois tratamentos. Tanto no tratamento 1 quanto no tratamento 2 a colhedora Case 7000 diferiu estatisticamente a 5% de significância das demais, obtendo o maior (e pior) resultado para esta variável. As médias dos dois tratamentos não obtiveram diferenças significativas a 5% de significância (Tabelas 23 e 24 – apêndice).

Os resultados obtidos neste ensaio foram semelhantes aos obtidos por Belardo (2010), entre 0,11 e 0,30 t ha^{-1} , e inferiores aos obtidos por De León (2000), entre 1,88 e 2,45 t ha^{-1} .

Figura 53 - Médias das perdas de rebolos inteiros para as máquinas avaliadas no tratamento 1 (V1 = 5,0 km h⁻¹)

Figura 54 - Médias das perdas de rebolos inteiros para as máquinas avaliadas no tratamento 2 (V2 = 7,0 km h⁻¹)

4.8.2 Perdas de pedaços de rebolos (t ha⁻¹)

Os resultados apresentados para a variável perdas de pedaços de rebolos (t ha⁻¹) (Figuras 55 e 56), mostram que nos dois tratamentos, a colhedora Case 8000 diferiu estatisticamente a 5% de significância das demais, obtendo o maior (e pior) índice para a variável. As médias dos dois tratamentos não obtiveram diferenças significativas a 5% de significância (Tabelas 25 e 26 – apêndice).

Os resultados obtidos foram inferiores se comparados a De León (2000) que obteve perdas de pedaços de rebolos de 1,5 e 1,7 t ha⁻¹ para as velocidades de 5,37

e $7,28 \text{ km h}^{-1}$, e Belardo (2010) que obteve entre $1,31$ e $1,50 \text{ t ha}^{-1}$ para a velocidade de $5,00 \text{ km h}^{-1}$ e entre $1,22$ e $1,34 \text{ t ha}^{-1}$ para a velocidade de $7,00 \text{ km h}^{-1}$.

Figura 55 - Médias das perdas de pedaços de rebolos para as máquinas avaliadas no tratamento 1 ($V1 = 5,0 \text{ km h}^{-1}$)

Figura 56 - Médias das perdas de pedaços de rebolos para as máquinas avaliadas no tratamento 2 ($V2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$)

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

Nas Figuras 57 e 58 são apresentados os resultados obtidos para a variável frações de colmos nas soqueiras (toco de soqueira) ($t\ ha^{-1}$) para as três colhedoras nos dois tratamentos. No tratamento 1 (V1), a colhedora Case 8000 diferiu estatisticamente a 5% de significância das demais, obtendo o menor índice. No tratamento 2 (V2) não houve diferenças significativas. Nas médias das colhedoras, a colhedora John Deere diferiu estatisticamente a 5% de significância da colhedora Case 8000, sendo que a última obteve o menor (e melhor) índice. As médias dos tratamentos foram significativamente diferentes, sendo que o aumento da velocidade acarretou na diminuição deste índice (Tabela 27 e 28 – apêndice).

Os índices encontrados foram inferiores aos encontrados por De Léon (2000) que na velocidade $5,4\ km\ h^{-1}$ obteve valores entre $2,1$ e $2,97\ t\ ha^{-1}$ e na velocidade acima de $7,00\ km\ h^{-1}$ obteve valores entre $1,04$ e $1,62\ t\ ha^{-1}$, e semelhantes aos valores encontrados por Belardo (2010), que na velocidade de $5,00\ km\ h^{-1}$ obteve valores entre $0,94$ e $1,62\ t\ ha^{-1}$, e na velocidade de $7,00\ km\ h^{-1}$ obteve valores entre $0,35$ e $1,71\ t\ ha^{-1}$.

Figura 57 - Médias das perdas de frações de colmos nas soqueiras para as máquinas avaliadas no tratamento 1 ($V1 = 5,0\ km\ h^{-1}$)

Figura 58 - Médias das perdas de frações de colmos nas soqueiras para as máquinas avaliadas no tratamento 2 ($V_2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$)

4.8.4 Perdas de colmos e suas frações (t ha^{-1})

Nas Figuras 59 e 60 são apresentados os resultados obtidos para a variável perdas de colmos e suas frações (t ha^{-1}) para as três colhedoras nos dois tratamentos. As três colhedoras diferiram estatisticamente a 5% de significância, sendo que a colhedora Case 8000 obteve o menor índice para a variável analisada. As médias dos dois tratamentos não diferiram estatisticamente a 5% de significância (Tabela 29 e 30 - apêndice).

Os valores encontrados foram semelhantes aos valores encontrados por Belardo (2010), que na velocidade de $5,00 \text{ km h}^{-1}$ obteve valores entre $0,23$ e $0,63 \text{ t ha}^{-1}$, e na velocidade de $7,00 \text{ km h}^{-1}$ obteve valores entre $0,00$ e $0,32 \text{ t ha}^{-1}$ e por De Léon (2000) que variaram entre $0,00$ e $0,58 \text{ t ha}^{-1}$.

Figura 59 - Médias das perdas de colmos e suas frações para as máquinas avaliadas no tratamento 1 (V1 = 5,0 km h⁻¹)

Figura 60 - Médias das perdas de colmos e suas frações para as máquinas avaliadas no tratamento 2 (V2 = 7,0 km h⁻¹)

4.8.5 Perdas totais (t ha⁻¹ e %)

Nas Figuras 61 e 62 são apresentados os resultados obtidos para a variável perdas totais (t ha⁻¹ e %) para as três colhedoras nos dois tratamentos. As médias dos tratamentos (V1 e V2) diferiram estatisticamente ao nível de 5% de significância, sendo que na velocidade V2 (7,00 km h⁻¹) as perdas foram significativamente menores (Tabela 31 e 32 – apêndice). Considerando-se os resultados obtidos pelas colhedoras, dentro das velocidades estudadas, não houve diferenças estatísticas a 5% de significância. Os valores absolutos em t ha⁻¹, quando transformados em

porcentagem, representaram perdas totais entre 1,24 a 2,72%, ou seja, dentro dos parâmetros aceitáveis pela maioria das usinas que é de no máximo 4 a 4,5%.

Os resultados obtidos nesta variável são inferiores aos apresentados por De Léon (2000), que obteve resultados entre 3,93 e 7,43%, Mazzonetto (2004) que obteve entre 3,5 e 4,5%, semelhantes aos apresentados por Belardo (2010) que na velocidade de 5,00 km h⁻¹ obteve resultados entre 2,53 e 3,63 t ha⁻¹ e na velocidade de 7,00 km h⁻¹ obteve resultados entre 1,84 e 3,37 t ha⁻¹ e superiores aos apresentados por Schmidt Junior (2011) que na velocidade de 5,7 km h⁻¹ obteve resultados entre 0,24 e 0,39 t ha⁻¹ e na velocidade de 7,00 km h⁻¹ obteve resultados entre 0,27 e 0,32 t ha⁻¹.

Figura 61 - Médias das perdas totais para as máquinas avaliadas no tratamento 1 (V1 = 5,0 km h⁻¹)

Figura 62 - Médias das perdas totais para as máquinas avaliadas no tratamento 2 (V2 = 7,0 km h⁻¹)

4.9 Consumos de combustível

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

Nas Figuras 63 e 64 são apresentados os resultados obtidos referentes ao consumo de combustível ($L h^{-1}$) para as três colhedoras nos dois tratamentos. As três colhedoras diferiram estatisticamente a 5% de significância. Não houve diferença estatística a 5% de significância entre as médias das velocidades (Tabelas 33 e 34 – apêndice). A colhedora John Deere obteve o menor consumo nos dois tratamentos, seguida da Case 8000 e da colhedora Case 7000.

Os valores obtidos foram semelhantes aos obtidos por Belardo (2010), que para a velocidade de $5,00 km h^{-1}$ obteve um consumo entre $53,75$ e $63,04 L h^{-1}$, e para a velocidade de $7,00 km h^{-1}$ obteve um consumo entre $55,60$ e $64,80 L h^{-1}$ e Schmidt Junior (2011) que para velocidade de $5,7 km h^{-1}$ obteve um consumo entre $50,30$ e $50,67 L h^{-1}$, e para a velocidade de $7,00 km h^{-1}$ obteve um consumo entre $53,79$ e $54,82 L h^{-1}$.

Figura 63 - Médias dos consumos de combustível para as máquinas avaliadas no tratamento 1 ($V1 = 5,0 km h^{-1}$)

Figura 64 - Médias dos consumos de combustível para as máquinas avaliadas no tratamento 2 (V2 = 7,0 km h⁻¹)

4.9.2 Consumo de combustível por área (L ha⁻¹)

Os resultados apresentados para a variável consumo de combustível (L ha⁻¹) (Figuras 65 e 66), mostram que no tratamento 1, as colhedoras diferiram estatisticamente entre si a 5% de significância. No tratamento 2, a colhedora Case 7000 diferiu estatisticamente a 5% de significância das demais, obtendo o maior consumo por área colhida. As médias dos tratamentos (V1 e V2) diferiram estatisticamente entre si a 5% de significância (Tabela 35 e 36 – apêndice).

Figura 65 - Médias dos consumos de combustível por área para as máquinas avaliadas no tratamento 1 (V1 = 5,0 km h⁻¹)

Figura 66 - Médias dos consumos de combustível por área para as máquinas avaliadas no tratamento 2 ($V_2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$)

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

Os resultados apresentados para a variável consumo de combustível na capacidade efetiva bruta de matéria-prima (L t^{-1}) (Figuras 67 e 68), mostram que no tratamento 1, as colhedoras diferiram estatisticamente entre si a 5% de significância (Tabela 37 e 38 – apêndice). No tratamento 2, a colhedora Case 8000 diferiu (para pior) das demais a 5% de significância. Considerando as médias das colhedoras, a colhedora John Deere diferiu estatisticamente a 5% de significância das demais, obtendo o menor consumo. Além disso, as médias dos tratamentos também diferiram estatisticamente (a 5% de significância), proporcionando, com o aumento da velocidade de colheita, a diminuição do consumo por tonelada de cana colhida (Tabelas 38 e 39 – apêndice).

Os resultados obtidos foram superiores aos encontrados por Belardo (2010) que obteve para a velocidade de $5,00 \text{ km h}^{-1}$ valores entre $0,66$ e $0,70 \text{ L t}^{-1}$ e para velocidade de $7,00 \text{ km h}^{-1}$ valores entre $0,47$ e $0,53 \text{ L t}^{-1}$.

Figura 67 - Médias dos consumos de combustível na capacidade efetiva bruta de matéria-prima para as máquinas avaliadas no tratamento 1 ($V1 = 5,0 \text{ km h}^{-1}$)

Figura 68 - Médias dos consumos de combustível na capacidade efetiva bruta de matéria-prima para as máquinas avaliadas no tratamento 2 ($V2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$)

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

Os valores referentes ao consumo na capacidade efetiva bruta de colmos (L t^{-1}) para os dois tratamentos são apresentados nas Figuras 69 e 70. No tratamento 1 houve diferença estatística a 5% de significância entre todas as colhedoras estudadas. No tratamento 2 somente a colhedora Case 8000 diferiu estatisticamente a 5% de significância das demais, obtendo um consumo maior. As médias das colhedoras mostraram que somente a colhedora John Deere diferiu estatisticamente (a 5% de significância), obtendo menor consumo (Tabela 39 e 40 –

apêndice). As médias dos tratamentos diferiram estatisticamente a 5% de significância, o que reforça o fato de que o aumento da velocidade de deslocamento propiciou um menor consumo de combustível por tonelada colhida.

Os valores encontrados para esta variável foram superiores aos valores encontrados por Belardo (2010) que para a velocidade de $5,00 \text{ km h}^{-1}$ obteve valores entre $0,70$ e $0,75 \text{ L t}^{-1}$ e para a velocidade de $7,00 \text{ km h}^{-1}$ obteve valores entre $0,51$ e $0,58 \text{ L t}^{-1}$.

Figura 69 - Médias dos consumos de combustível na capacidade efetiva bruta de colmos para as máquinas no tratamento 1 (V1 = $5,0 \text{ km h}^{-1}$)

Figura 70 - Médias dos consumos de combustível na capacidade efetiva bruta de colmos para as máquinas no tratamento 2 (V2 = $7,0 \text{ km h}^{-1}$)

4.9.5 Consumo de combustível na capacidade efetiva líquida de colmos ($L\ t^{-1}$)

Nas Figuras 71 e 72 são apresentados os resultados obtidos para a variável Consumo de combustível na capacidade efetiva líquida de colmos ($L\ t^{-1}$) para as três colhedoras nos dois tratamentos. No tratamento 1 houve diferença estatística a 5% de significância entre todas as colhedoras estudadas, sendo que a colhedora John Deere obteve um consumo inferior as demais. No tratamento 2 somente a colhedora Case 8000 diferiu estatisticamente a 5% de significância das demais, obtendo um consumo maior. As médias das colhedoras mostraram que somente a colhedora John Deere diferiu estatisticamente (a 5% de significância), obtendo menor consumo (Tabela 41 e 42 – apêndice). As médias dos tratamentos diferiram estatisticamente a 5% de significância, o que confirma o fato de que o aumento da velocidade de deslocamento proporcionou um menor consumo de combustível por tonelada colhida.

Os valores encontrados para esta variável foram superiores aos valores encontrados por Belardo (2010) que para a velocidade de $5,00\ km\ h^{-1}$ obteve valores entre $0,73$ e $0,77\ L\ t^{-1}$ e para a velocidade de $7,00\ km\ h^{-1}$ obteve valores entre $0,52$ e $0,59\ L\ t^{-1}$.

Figura 71 - Médias dos consumos de combustível na capacidade efetiva líquida de colmos para as máquinas avaliadas no tratamento 1 ($V1 = 5,0\ km\ h^{-1}$)

Figura 72 - Médias dos consumos de combustível na capacidade efetiva líquida de colmos para as máquinas avaliadas no tratamento 2 ($V2 = 7,0 \text{ km h}^{-1}$)

4.10 Qualidade de cisalhamento e frequência de comprimento de rebolos

4.10.1 Qualidade de cisalhamento de rebolos

Em todos os tratamentos, a qualidade de cisalhamento de rebolos apresenta valores muito próximos entre si. Com exceção do tratamento Case 8000 V1, a qualidade no cisalhamento foi mantida, mesmo com o aumento da velocidade de deslocamento das colhedoras estudadas. As Figuras 73 a 75 apresentam os resultados obtidos nesta variável. Estes resultados são função do grau de afiação das lâminas do corte de base e do síncrono (picador), das características de projeto do síncrono e do teor de fibra da variedade de cana colhida.

Figura 73 - Qualidade de cisalhamento dos rebolos (%) proporcionados pela colhedora John Deere nos dois tratamentos

Figura 74 - Qualidade de cisalhamento dos rebolos (%) proporcionados pela colhedora Case 7000 nos dois tratamentos

Figura 75 - Qualidade de cisalhamento dos rebolos (%) proporcionados pela colhedora Case 8000 nos dois tratamentos

A Tabela 20 mostra a porcentagem de rebolos perfeitos, elaborada mediante da extração dos dados das Figuras 73 a 75.

Os valores obtidos para a porcentagem de colmos perfeitos foram inferiores aos obtidos por Belardo (2010) que para a velocidade de 5,00 km h⁻¹ obteve valores entre 72,4% e 82,4% e para a velocidade 7,00 km h⁻¹ obteve valores entre 63,2% e 85,3%, por Schmidt Junior (2011) que para a velocidade de 5,70 km h⁻¹ obteve valores entre 88,3% e 92,8% para a velocidade 7,00 km h⁻¹ obteve valores entre 90,0 e 93,9%, porém próximos a Mazzonetto (2004) que obteve valores de 60% e Nery (2000) que para a velocidade 5,00 km h⁻¹ atingiu 35% e para a velocidade 7,00 km h⁻¹, 70,9%.

Tabela 20 - Porcentagens de rebolos perfeitos obtidos pelas máquinas estudadas, nas respectivas velocidades (V1 e V2 = velocidades)

Tratamentos	% rebolos perfeitos
M1V1 (John Deere)	56,00
M1V2 (John Deere)	53,67
M2V1 (Case 7000)	55,85
M2V2 (Case 7000)	55,99
M3V1 (Case 8000)	45,13
M3V2 (Case 8000)	59,43

4.10.2 Frequência de comprimento de rebolos

As Figuras 76 a 78 apresentam a frequência de comprimento de rebolos para os tratamentos. Nesta variável as colhedoras John Deere e Case 7000 apresentaram uma maior frequência de comprimento de rebolos no intervalo de 20 a 23 cm, e a colhedora Case 8000 apresentou uma maior frequência de comprimento de rebolos no intervalo de 16 a 19 cm. Com o aumento da velocidade, as colhedoras John Deere e Case 7000 obtiveram uma melhora no resultado e as frequências elevaram-se a 69,18% e 65% respectivamente. Na colhedora Case 8000, diferentemente das outras, houve uma redução de 2,25% na maior frequência com a elevação da velocidade.

Figura 76 - Frequência de distribuição de tamanho dos rebolos (%) obtidos pela colhedora John Deere nos dois tratamentos

Figura 77 - Frequência de distribuição de tamanho dos rebolos (%) obtidos pela colhedora Case 7000 nos dois tratamentos

Figura 78 - Frequência de distribuição de tamanho dos rebolos (%) obtidos pela colhedora Case 8000 nos dois tratamentos

As variações encontradas nas frequências de maiores porcentagens entre as máquinas são provenientes de possíveis regulagens realizadas nas colhedoras, características de fabricação dos rolos picadores sincronizados e principalmente pelo número de facas do picador.

Rebolos menores levam a maiores densidades de carga, consequentemente, com maiores perdas invisíveis. Rebolos maiores proporcionam menores densidades de carga, mas menores perdas invisíveis.

Com base nas Figuras 76 a 78 elaborou-se a Tabela 21 onde são apresentados os intervalos de comprimento de rebolos com maiores frequências e suas respectivas porcentagens.

Tabela 21 - Intervalo de comprimento de rebolos com maiores porcentagens de frequência

Tratamentos	Intervalos de comprimento (cm)	Frequência (%)
M1V1 (John Deere)	20-23	60,30
M1V2 (John Deere)	20-23	69,18
M2V1 (Case 7000)	20-23	53,51
M2V2 (Case 7000)	20-23	65,00
M3V1 (Case 8000)	16-19	56,86
M3V2 (Case 8000)	16-19	54,61

Os resultados obtidos foram próximos aos encontrados por Belardo (2010), que avaliou três colhedoras em duas velocidades de operação (5 km h^{-1} e 7 km h^{-1}) e obteve frequência de comprimentos entre 14 e 22 cm para ambas as velocidades ensaiadas, por Nery (2000), que avaliou uma colhedora em quatro velocidades de operação ($1,5 \text{ km h}^{-1}$, $3,0 \text{ km h}^{-1}$, $5,0 \text{ km h}^{-1}$ e $7,0 \text{ km h}^{-1}$), obteve frequência de comprimentos entre 19 e 35 cm e por Schmidt Junior (2011), que obteve valores entre 21 e 26 cm, avaliou duas colhedoras, uma delas em duas velocidades de operação ($5,7 \text{ km h}^{-1}$ e $7,00 \text{ km h}^{-1}$) e duas diferentes rotações do exaustor primário (1.500 e 1.000 rotações por minuto), e a outra na velocidade de $8,5 \text{ km h}^{-1}$ somente em 1.500 rotações por minuto do exaustor primário.

Os resultados encontrados estão próximos aos recomendados por Fuelling (1982). Para o autor o tamanho ótimo do comprimento dos rebolos ficam em torno de 20 a 25 centímetros.

5 CONCLUSÕES

Os dois tratamentos (V1 e V2) diferiram quanto às velocidades efetivas de deslocamento.

Houve aumento significativo na capacidade efetiva, capacidade efetiva bruta da matéria-prima, capacidade efetiva bruta de colmos e capacidade efetiva líquida de colmos, mediante o aumento da velocidade efetiva de colheita.

Os tratamentos diferiram quanto a eficácia de manipulação, sendo que na maior velocidade este índice foi significativamente maior.

O aumento da velocidade de deslocamento proporcionou uma diminuição no consumo de combustível por área ($L\ ha^{-1}$), consumo de combustível na capacidade efetiva bruta da matéria prima ($L\ t^{-1}$), consumo de combustível na capacidade efetiva bruta de colmos ($L\ t^{-1}$) e consumo de combustível na capacidade efetiva líquida de colmos ($L\ t^{-1}$). O consumo de combustível por unidade de tempo ($L\ h^{-1}$) não apresentou diferenças.

Os tratamentos diferiram quanto à quantidade de matéria estranha mineral ($\%$ e $t\ ha^{-1}$) e a quantidade de matéria estranha vegetal ($t\ ha^{-1}$), sendo que estes índices aumentaram com o acréscimo da velocidade. O aumento destes índices fez com que os tratamentos diferissem quanto ao percentual de colmo colhidos, assim, na maior velocidade este índice foi significativamente menor. Os tratamentos não diferiram quanto ao percentual de matéria estranha vegetal.

O aumento da velocidade não alterou os índices de perdas de rebolos inteiros, perdas de pedaços de rebolos e perdas de colmos e suas frações. Nas maiores velocidades os tratamentos diferiram quanto as perdas de colmos nas soqueiras e as perdas totais, sendo significativamente menores.

REFERÊNCIAS

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

BARBIN, D. **Planejamento e análise estatística de experimentos agronômicos**. Arapongas: Editora Midas, 2003. 194p.

BARBOSA, M.H.P.; SILVEIRA, L.C.I. Cana-de-açúcar: variedades, estabelecimento e manejo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DE PASTAGEM, 3., 2006, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. p. 245-276.

BELARDO, G.C. **Avaliação de desempenho efetivo de três colhedoras em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) sem queima**. 2010. 136p. Dissertação (Mestrado em Máquinas em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Estatísticas da Produção Sucroalcooleira**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso: 08 maio 2012a.

_____, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Cana-de-açúcar: saiba mais**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar/saiba-mais>>. Acesso em: 02 jul. 2012b.

BRAUNBECK, O.A.; OLIVEIRA, J.T.A. Colheita de cana-de-açúcar com auxílio mecânico. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 300-308, jan./abr. 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v26n1/30121.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2012.

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

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

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

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

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Levantamento de safras**. Disponível

em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=&Pagina_objcmsconteudos=1#A_objcmsconteudos>. Acesso em: 09 jul. 2012.

DE LÉON, M.J. **Avaliação de desempenho operacional de duas colhedoras de cana (*Saccharum spp*) crua**. 2000. 111p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

DIAS de MORAES, M.A.F.; Indicadores do mercado de trabalho do sistema agroindustrial da cana-de-açúcar do Brasil no período 1992-2005. **Estudo Econômico**, São Paulo, v. 37, n. 4, p. 875-902, out./dez. 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ee/v37n4/a07v37n4.pdf>>. Acesso em 04 jan. 2011.

DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2010. 882 p.

FAO. **FAO Stats**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx#ancor>>. Acesso em: 15 jul. 2012.

FERNANDES, A.C.; OLIVEIRA, E.R.; QUEIROZ, L. Sugarcane trash measurements in Brazil. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 16., 1977. São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: The Executive Committee of The ISSCT Congress, 1978. v. 2, p. 1963-1973.

FIGUEIREDO, P. As mudanças de Grande Impacto no Setor Sucroalcooleiro. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2010. p. 40.

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

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

FURLANI NETO, V.L.; RIPOLI, T.C.C.; VILLA NOVA, N.A. Colheita mecânica: perdas de matéria-prima em canaviais com e sem queima prévia. **STAB. Álcool, Açúcar e Subprodutos**. Piracicaba, v.14, n. 6, p. 19-23, jul./ago. 1996.

GADANHA JÚNIOR, C.D.; MOLIN, J.P.; COELHO, J.L.D.; YAHN, C.H.; TOMIMORI, S.M.A.W. **Máquinas e implementos agrícolas do Brasil**. São Paulo: Manole, 1991. 468p.

INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERAÇÃO PARA A AGRICULTURA. **Publicações**. Disponível em: <http://www.iica.org.br/Docs/Publicacoes/Agronegocio/N13_Portugues.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2012.

LEFFINGWELL, R.J. **Experimental station committee**: update report on mechanical harvester now in production. Local: Editora, 1972. 447p.

MAZZONETTO, A.W. **Colheita integral de cana (*Saccharum spp*) crua, análise de desempenho operacional**. 2004. 88p. 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. 301p.

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

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

MILAN, M. Fatores críticos no sistema de produção de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 18, n. 4, p. 100-109, jun. 1999.

MOLINA JÚNIOR, W.F. **Proposta de metodologia descritiva para ensaio padronizado de colhedoras de cana-de-açúcar (*saccharum, spp*)**. 2000, 140p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

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

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

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

NEVES, M.F.; CONEJERO, M.A.; Sistema agroindustrial da cana: cenários e agenda estratégica. **Economia Aplicada**, São Paulo, v. 11, n. 4, p. 587-604, out./dez. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-80502007000400007&script=sci_arttext>. Acesso em: 24 jun. 2012.

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

NUNES JÚNIOR, D. Colheita mecanizada: a evolução nos últimos sete anos. In: SEMINÁRIO SOBRE MECANIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 4., 2002, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: IDEA, 2002. 1 CD-ROM

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

PARANHOS, S.B. **Colheita mecânica de cana-de-açúcar**. In: SEMINÁRIO AGRONÔMICO DE PINHAL, 4., 1974, Espírito Santo do Pinhal, Pinhal: Fundação Pinhalense de Ensino, Faculdade de Agronomia, 1974. 10p.

PEREIRA, L.L.; TORREZAN, H.F. Colheita mecanizada da cana-de-açúcar. In: SEGATO S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. (Org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. p.333-334.

PUERTO RICO, J.A. **Programa de biocombustíveis no Brasil e na Colômbia: uma análise da implantação resultados e perspectivas**. 2007. 210p. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

REIS, G.N.; **Perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua em função do desgaste das facas do corte de base**. 2009. 73p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2009.

RIPOLI, T.C.C. **Avaliação de alguns parâmetros de desempenho de três colhedoras de cana-de-açúcar**. 1977. 91 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1977.

_____. Ensaio & certificação de máquinas para colheita de cana-de-açúcar. In: MIALHE, L.G. (Ed.) **Máquinas Agrícolas: ensaios & certificações**. Piracicaba: FEALQ, 1996. cap. 13, p. 635-672.

açúcar. **STAB. Álcool, Açúcar e Subprodutos**. Piracicaba, v. 5, n. 3, p. 27-37, jan./fev. 1987.

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

RIPOLI, T.C.C.; MIALHE, L.G.; Colheita manual vs. colheita mecanizada da cana-de-açúcar. In: RIPOLI T.C.C.; CARVALHO FILHO, S.M.; MOLINA JÚNIOR, W.F.; RIPOLI, M.L.C. Desempenho econômico de colhedora, em cana crua. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 12, único, 2001a.

RIPOLI, T.C.C.; VILLANOVA, N.A. A colheita mecanizada da cana-de-açúcar: novos desafios. **STAB. Álcool, Açúcar e Subprodutos**, Piracicaba, v. 11, n. 1, p. 28 -31, set./out. 1992.

RIPOLI, T.C.C.; MIALHE, L.G.; BRITO, J.O. Queima de canavial: o desperdício não mais admissível! **Álcool & Açúcar**, São Paulo, v. 10, n. 54, p. 18, jul./ago. 1990.

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 JÚNIOR, 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, Sacramento, 2001b. p. 718 – 726.

RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C.; CASAGRANDE, D.V.; IDE, B.Y. **Plantio de cana-de-açúcar**: Estado da arte. 2. ed. Piracicaba: T.C.C. Ripoli, 2007. 198p.

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: 23 abr. 2011.

RODRIGUES, E.B.; SAAB, O.J.G.A. Avaliação técnico-econômica da colheita manual e mecanizada da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) na região de Bandeirantes – Pr. Semina. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 4, p. 581-588, out./dez. 2007. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/viewFile/2889/2447>>. Acesso em: 11 dez. 2010.

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 47.700, de 11 de março de 2003. Regulamenta a Lei nº 11.241, de 19 de setembro de 2002, que dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas. **Diário Oficial do Estado**, São Paulo, 12 mar. 2003.

_____. Secretaria de Meio Ambiente de São Paulo. **Colheita mecanizada da cana-de-açúcar é realidade em aproximadamente 50% do estado**. São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/vernoticia.php?id=472>>. Acesso em: 10 dez. 2009.

SAS INSTITUTE. **SAS 9.2**. Cary: SAS Institute Inc., 2009.

SCHMIDT JUNIOR, J.C. **Avaliação de desempenho efetivo de colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 2011. 110p. Dissertação (Mestrado em Máquinas em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

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

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. 72p.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Dados e cotações**. Disponível em <<http://www.unicadata.com.br>>. Acesso em: 03 mai. 2012a.

_____. **Notícias**. Etanol brasileiro pode ajudar Europa a atingir metas sustentáveis. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/noticias/show.asp?nwsCode={75C06A16-8C33-4E54-B74A-F722AC70CF5A}>>. Acesso em: 05 jul. 2012b.

_____. **Notícias**. “Capital mundial do etanol” é o Brasil, diz presidente de associação americana de varejistas de combustíveis. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/noticias/show.asp?nwsCode={3631E66C-78C2-4689-A698-C3F47D059546}>>. Acesso em: 11 jul. 2012c.

_____. **Notícias**. Cresce a mecanização na colheita de cana-de-açúcar em São Paulo. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/noticias>>. Acesso em: 11 ago. 2010.

_____. **Sustentabilidade**: protocolo agroambiental. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/content/show.asp?cntCode={BEE106FF-D0D5-4264-B1B3-7E0C7D4031D6}>>. Acesso em: 29 mar. 2012d.

UNIÃO DOS PRODUTORES DE BIOENERGIA. **Estatísticas**. Disponível em: <http://www.udop.com.br/index.php?item=comercio_exterior>. Acesso em: 01 jul. 2012.

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

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

VOLPATO, J.L.M. **Otimização de um cortador de base flutuante para seguimento do perfil de solo em colhedoras de cana-de-açúcar**. 2001. 204p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

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

APÊNDICES

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

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	Valor F
Máquina	2	0,0818	4,07*
Velocidade	1	29,7570	1481,80*
Máquina X Velocidade	2	0,0258	1,29 ns
Resíduo	30	0,0201	
Total	35		
CV (%)	2,28		

* 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
M1 (John Deere)	5,34 bA	7,06 aA	6,20 AB
M2 (Case 7000)	5,21 bA	7,04 aA	6,12 B
M3 (case 8000)	5,33 bA	7,24 aA	6,29 A
Médias	5,29 b	7,11 a	

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

Tabela 3 – Análise da variância para variável produtividade agrícola de colmos colhidos (%)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	Valor F
Máquina	2	15,0245	10,11*
Velocidade	1	9,4044	6,33*
Máquina X Velocidade	2	2,4879	1,67 ns
Resíduo	30	1,4865	
Total	35		
CV (%)	1,28		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns – Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 4 – Teste de Tukey para variável produtividade agrícola de colmos colhidos (%)

Produtividade agrícola da colmos colhidos (%)			
	V1	V2	Médias
M1 (John Deere)	96,62 aA	96,07 aA	96,34 A
M2 (Case 7000)	96,13 aA	95,69 aA	95,91 A
M3 (case 8000)	95,26 aA	93,19 aB	94,23 B
Médias	96,00 a	94,98 b	

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

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

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	Valor F
Máquina	2	2,1910	2,92 ns
Velocidade	1	5,9536	7,95*
Máquina X Velocidade	2	0,6203	0,83 ns
Resíduo	30	0,7492	
Total	35		
CV (%)	0,89		

* 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 (EM) (%)			
	V1	V2	Médias
M1 (John Deere)	96,50 aA	97,54 aA	97,02 A
M2 (Case 7000)	97,25 aA	98,36 aA	97,80 A
M3 (case 8000)	96,98 aA	97,27 aA	97,12 A
Médias	96,91 b	97,72 a	

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

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

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	Valor F
Máquina	2	0,0019	4,09*
Velocidade	1	0,6698	1473,92*
Máquina X Velocidade	2	0,0006	1,28 ns
Resíduo	30	0,0005	
Total	35		
CV (%)	2,29		

* 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
M1 (John Deere)	0,80 bA	1,06 aA	0,93 AB
M2 (Case 7000)	0,78 bA	1,05 aA	0,92 B
M3 (case 8000)	0,80 bA	1,09 aA	0,94 A
Médias	0,79 b	1,07 a	

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

Tabela 9 – Análise da variância para variável capacidade efetiva bruta na matéria-prima (t h^{-1})

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	Valor F
Máquina	2	152,3636	5,37*
Velocidade	1	6998,1590	246,82*
Máquina X Velocidade	2	108,7351	3,84*
Resíduo	30	28,3532	
Total	35		
CV (%)	7,17		

* 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 na matéria-prima ($t\ h^{-1}$)

Capacidade efetiva bruta na matéria-prima ($t\ h^{-1}$)			
	V1	V2	Médias
M1 (John Deere)	63,05 bA	86,36 aA	74,70 AB
M2 (Case 7000)	60,20 bA	94,91 aA	77,55 A
M3 (case 8000)	57,66 bA	83,29 aA	70,47 B
Médias	60,30 b	88,19 a	

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

Tabela 11 – Análise da variância para variável capacidade efetiva bruta em colmos ($t\ h^{-1}$)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	Valor F
Máquina	2	207,0306	7,90*
Velocidade	1	6037,8080	230,33*
Máquina X Velocidade	2	112,7093	4,30*
Resíduo	30	26,2137	
Total	35		
CV (%)	7,23		

* 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 em colmos ($t\ h^{-1}$)

Capacidade efetiva bruta em colmos ($t\ h^{-1}$)			
	V1	V2	Médias
M1 (John Deere)	60,93 bA	82,96 aA	71,94 A
M2 (Case 7000)	57,86 bA	90,83 aA	74,34 A
M3 (case 8000)	54,91 bA	77,61 aA	66,26 B
Médias	57,90 b	83,80 a	

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

Tabela 13 – Análise da variância para variável capacidade efetiva líquida em colmos ($t\ h^{-1}$)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	Valor F
Máquina	2	219,5535	8,05*
Velocidade	1	5997,4699	219,77*
Máquina X Velocidade	2	117,9058	4,32*
Resíduo	30	27,2898	
Total	35		
CV (%)	7,57		

* 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 em colmos ($t\ h^{-1}$)

Capacidade efetiva líquida em colmos ($t\ h^{-1}$)			
	V1	V2	Médias
M1 (John Deere)	58,78 bA	80,95 aA	69,87 A
M2 (Case 7000)	56,28 bA	89,34 aA	72,81 A
M3 (case 8000)	53,27 bA	75,50 aA	64,38 B
Médias	56,11 b	81,93 a	

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	3,5465	8,79*
Velocidade	1	3,7378	9,26*
Máquina X Velocidade	2	1,8650	4,62*
Resíduo	30	0,4034	
Total	35		
CV (%)	97,72		

* 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
M1 (John Deere)	0,32 aA	0,63 aB	0,48 B
M2 (Case 7000)	0,18 aA	0,25 aB	0,21 B
M3 (case 8000)	0,49 bA	2,03 aA	1,26 A
Médias	0,33 b	0,97 a	

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	2,0431	7,98*
Velocidade	1	2,4492	9,56*
Máquina X Velocidade	2	1,1217	4,38*
Resíduo	30	0,2562	
Total	35		
CV (%)	99,51		

* 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
M1 (John Deere)	0,25 aA	0,50 aB	0,37 B
M2 (Case 7000)	0,14 aA	0,23 aB	0,18 B
M3 (case 8000)	0,36 bA	1,58 aA	0,97 A
Médias	0,25 b	0,77 a	

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

Tabela 19 – Análise da variância para variável matéria estranha vegetal (%)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	Valor F
Máquina	2	5,3573	6,80*
Velocidade	1	1,2731	1,62 ns
Máquina X Velocidade	2	0,0615	0,08 ns
Resíduo	30	0,7883	
Total	35		
CV (%)	23,02		

* 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
M1 (John Deere)	3,06 aA	3,30 aA	3,18 B
M2 (Case 7000)	3,70 aA	4,06 aA	3,88 AB
M3 (case 8000)	4,25 aA	4,78 aA	4,52 A
Médias	3,67 a	4,05 a	

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

Tabela 21 – Análise variância para variável matéria estranha vegetal (t ha⁻¹)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	Valor F
Máquina	2	1,7736	3,46*
Velocidade	1	2,6678	5,20*
Máquina X Velocidade	2	0,2041	0,40 ns
Resíduo	30	0,5130	
Total	35		
CV (%)	23,17		

* 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
M1 (John Deere)	2,52 aA	2,79 aA	2,65 B
M2 (Case 7000)	2,85 aA	3,64 aA	3,24 AB
M3 (case 8000)	3,09 aA	3,67 aA	3,38 A
Médias	2,82 b	3,36 a	

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

Tabela 23 – Análise da variância para variável perdas rebolos inteiros ($t\ ha^{-1}$)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	Valor F
Máquina	2	0,0289	20,48*
Velocidade	1	0,0002	0,16 ns
Máquina X Velocidade	2	0,0021	1,49 ns
Resíduo	30	0,0014	
Total	35		
CV (%)	54,34		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns – Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 24 – Teste de Tukey para variável perdas de rebolos inteiros ($t\ ha^{-1}$)

Perda de rebolos inteiros ($t\ ha^{-1}$)			
	V1	V2	Médias
M1 (John Deere)	0,06 aB	0,03 aB	0,04 B
M2 (Case 7000)	0,13 aA	0,12 aA	0,13 A
M3 (case 8000)	0,03 aB	0,05 aB	0,04 B
Médias	0,07 a	0,07 a	

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

Tabela 25 – Análise da variância para variável pedaços de rebolos (t ha⁻¹)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	Valor F
Máquina	2	5,0391	120,29*
Velocidade	1	0,0278	0,66 ns
Máquina X Velocidade	2	0,0192	0,46 ns
Resíduo	30	0,0419	
Total	35		
CV (%)	19,05		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns – Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 26 – Teste de Tukey para variável pedaços de rebolos (t ha⁻¹)

Pedaços de rebolos (t ha ⁻¹)			
	V1	V2	Médias
M1 (John Deere)	0,78 aB	0,65 aB	0,72 B
M2 (Case 7000)	0,67 aB	0,70 aB	0,69 B
M3 (case 8000)	1,86 aA	1,79 aA	1,82 A
Médias	1,10 a	1,05 a	

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

Tabela 27 – Análise da variância para variável perdas de frações de colmos nas soqueiras (toco de soqueira) (t ha⁻¹)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	Valor F
Máquina	2	2,2197	5,86*
Velocidade	1	1,7424	4,60*
Máquina X Velocidade	2	0,3313	0,87 ns
Resíduo	30	0,3789	
Total	35		
CV (%)	93,58		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns – Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 28 – Teste de Tukey para variável perdas de frações de colmos nas soqueiras (toco de soqueira) ($t\ ha^{-1}$)

Perdas de frações de colmos nas soqueiras ($t\ ha^{-1}$)			
	V1	V2	Médias
M1 (John Deere)	1,33 aA	0,68 aA	1,01 A
M2 (Case 7000)	1,10 aA	0,48 aA	0,79 AB
M3 (case 8000)	0,21 aB	0,15 aA	0,18 B
Médias	0,88 a	0,44 b	

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

Tabela 29 – Análise da variância para variável perdas de colmos e suas frações ($t\ ha^{-1}$)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	Valor F
Máquina	2	1,5937	154,53*
Velocidade	1	0,0256	2,48 ns
Máquina X Velocidade	2	0,0074	0,72 ns
Resíduo	30	0,0103	
Total	35		
CV (%)	34,75		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns – Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 30 – Teste de Tukey para variável perdas de colmos e suas frações ($t\ ha^{-1}$)

Perdas de colmos e suas frações ($t\ ha^{-1}$)			
	V1	V2	Médias
M1 (John Deere)	0,76 aA	0,65 aA	0,71 A
M2 (Case 7000)	0,17 aB	0,14 aB	0,16 B
M3 (case 8000)	0,02 aC	0,01 aC	0,02 C
Médias	0,32 a	0,27 a	

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	1,5413	3,37*
Velocidade	1	2,7556	6,02*
Máquina X Velocidade	2	0,4930	1,08 ns
Resíduo	30	0,4576	
Total	35		
CV (%)	32,33		

* 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
M1 (John Deere)	2,93 aA	2,01 aA	2,47 A
M2 (Case 7000)	2,07 aA	1,44 aA	1,76 B
M3 (case 8000)	2,11 aA	2,00 aA	2,05 AB
Médias	2,37 a	1,82 b	

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

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

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	Valor F
Máquina	2	666,8912	84,86*
Velocidade	1	12,3318	1,57 ns
Máquina X Velocidade	2	12,2304	1,56 ns
Resíduo	30	7,8591	
Total	35		
CV (%)	4,28		

* 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
M1 (John Deere)	55,45 aC	58,86 aC	57,15 C
M2 (Case 7000)	71,20 aA	71,80 aA	71,50 A
M3 (case 8000)	68,09 aB	67,59 aB	67,84 B
Médias	64,91 a	66,08 a	

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

Tabela 35 – Análise da variância para variável consumo de combustível ($L ha^{-1}$)

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	Valor F
Máquina	2	657,5774	35,72*
Velocidade	1	3785,7358	205,67*
Máquina X Velocidade	2	57,8360	3,14 ns
Resíduo	30	18,4070	
Total	35		
CV (%)	5,90		

* 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 ($L ha^{-1}$)

Consumo de combustível ($L ha^{-1}$)			
	V1	V2	Médias
M1 (John Deere)	72,67 aC	57,22 bB	64,94 C
M2 (Case 7000)	91,25 aA	68,07 bA	79,66 A
M3 (case 8000)	85,17 aB	62,25 bB	73,71 B
Médias	83,03 a	62,52 b	

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

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

Causas da Variação	G.L.	Q.M.	Valor F
Máquina	2	0,1681	33,93*
Velocidade	1	0,9933	200,54*
Máquina X Velocidade	2	0,0449	9,07*
Resíduo	30	0,0050	
Total	35		
CV (%)	7,66		

* 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 da matéria-prima ($L\ t^{-1}$)

Consumo combustível capacidade efetiva bruta da matéria-prima ($L\ t^{-1}$)			
	V1	V2	Médias
M1 (John Deere)	0,88 aC	0,69 bB	0,78 B
M2 (Case 7000)	1,19 aB	0,76 bB	0,97 A
M3 (case 8000)	1,19 aA	0,81 bA	1,00 A
Médias	1,08 a	0,75 b	

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

Tabela 39 – Análise da 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	0,2051	40,37*
Velocidade	1	1,0201	200,81*
Máquina X Velocidade	2	0,0487	9,58*
Resíduo	30	0,0051	
Total	35		
CV (%)	7,42		

* 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 na capacidade efetiva bruta de colmos ($L t^{-1}$)			
	V1	V2	Médias
M1 (John Deere)	0,91 aC	0,72 bB	0,81 B
M2 (Case 7000)	1,23 aB	0,79 bB	1,01 A
M3 (case 8000)	1,25 aA	0,87 bA	1,06 A
Médias	1,13 a	0,79 b	

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

Tabela 41 – Análise da 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	0,2120	35,63*
Velocidade	1	1,1095	186,44*
Máquina X Velocidade	2	0,0517	8,69*
Resíduo	30	0,0060	
Total	35		
CV (%)	7,80		

* 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 na capacidade efetiva líquida de colmos ($L t^{-1}$)			
	V1	V2	Médias
M1 (John Deere)	0,94 aC	0,74 bB	0,84 B
M2 (Case 7000)	1,27 aB	0,81 bB	1,04 A
M3 (case 8000)	1,28 aA	0,90 bA	1,09 A
Médias	1,16 a	0,81 b	

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