



SIMULAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE CAMPO DA COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp.*)

Neisvaldo Barbosa Santos¹, Diego Soriano Cavalcante², Haroldo Carlos Fernandes³ & Casimiro Dias Gadanha Júnior⁴

RESUMO: A cultura da cana-de-açúcar no Brasil destinada ao setor sucroalcooleiro tem grande importância econômica para o País, sendo este o maior produtor de açúcar e álcool do mundo. As máquinas que constituem o sistema de colheita mecanizado dessa matéria-prima são consideradas pelas usinas como as mais dispendiosas. O objetivo do trabalho foi avaliar o impacto causado pela eficiência de campo no custo de produção. Para realizar tal objetivo a campo, optou-se por utilizar o modelo computacional denominado “*ColheCana*”, desenvolvido e validado em planilha eletrônica, do *Excel*[®] e em linguagem de programação pelo *Visual Basic*[®]. Ao início, foram determinadas as eficiências de campo para obter o custo de produção do sistema de colheita mecanizado. As máquinas utilizadas foram uma colhedora de cana de uma linha e outra de duas linhas e que possuem potência de 251 kW (342 cv). O trator agrícola tem potência de 162 kW (220 cv) e, o transbordo com duas unidades, cada uma com capacidade de carga de 13 t. O aumento da eficiência de campo diminui o custo de produção, no entanto, nas elevadas eficiências é necessário altos investimentos gerenciais para os meios de execução.

PALAVRAS-CHAVE: Mecanização agrícola, sistema de colheita, gerencial.

SUGARCANE (*Saccharum spp.*) MECHANIZED HARVEST FIELD EFFICIENCY SIMULATION

ABSTRACT: In Brazil is the top-ranked producer of sugar and alcohol globally and the sugarcane cultivation intended to supply the ethanol sector has a great economic importance to the country. The machines that comprise the sugarcane raw material mechanized harvesting system are considered the most expensive component in sugar and ethanol production. This study aimed to evaluate the impact on the production cost caused by machinery field efficiency. For this, we chose the “*ColheCana*” computer model that was developed and validated in an *Excel*[®] spreadsheet with *Visual Basic*[®] programming language. Initially, field efficiencies were determined to obtain the production cost using the mechanized harvesting system. The machines utilized were a sugarcane harvester in single line and other in two lines, both with power of 251 kW (342 cv). The tractor had a power of 162 kW (220 cv) and a wagon of two units, each one with 13 t load capacity. Higher field efficiencies reduces production cost, but requires high managerial investment to execute the activities.

KEYWORDS: Agricultural mechanization, harvest system, management.

¹ Engenheiro Agrônomo, Professor Assistente, UFPI/Bom Jesus-PI, neisvaldo@gmail.com;

² Engenheiro Agrícola, USINA CEVASA/Franca-SP, diego_soriano@cevasa.com.br;

³ Engenheiro Agrícola e Ambiental, Professor Adjunto, UFV/Viçosa-MG, haroldoufv@gmail.com;

⁴ Engenheiro Agrônomo, Professor Doutor, ESALQ/USP/Piracicaba-SP, cdgadanh@usp.br

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar no Brasil destinada à agroindústria do açúcar e do álcool tem uma área e produção total estimada para a safra 2012-2013 de 8,48 milhões de hectares e 588,91 milhões de toneladas, respectivamente CONAB (2013).

A colheita dessa matéria-prima vêm passando por mudanças, que se dão pelo sistema semi-mecanizado para o mecanizado, e isso se justifica pelo protocolo agro ambiental assinado por lideranças do setor canavieiro, com o objetivo de finalizar a queima dos canaviais em áreas mecanizáveis até 2014 e em áreas não mecanizáveis até 2017 (SEVERO e CARDOSO, 2009); (CENBIO, 2008).

Com a mudança gradativa que ocorre para o sistema de colheita mecanizado, se faz pensar em melhores meios de execução para com esse sistema, de forma que a operação possa ser realizada com a maior eficiência de campo. Magalhães et al., (2008) ao utilizarem um sincronizador para colhedora e transbordo em canavial com a variedade SP 80-1816, em espaçamento de cultivo de 1,5 m, com produtividade média de 79,8 t.ha⁻¹, obtiveram uma redução na perda de rebolo, aumentando a EFC das máquinas.

Viator et al., (2006) ensaiaram uma colhedora protótipo de cana utilizando a variedade LCP85-384, cultivada em fileiras de cultivo de 1,8 m e com a velocidade do extrator primário de 650 rpm, constataram uma menor perda total de cana, aumentando a eficiência com o equipamento. Neves et al., (2006) avaliaram as perdas invisíveis de cana na colheita mecanizada e concluíram que as perdas foram significativas com as variedades ensaiadas.

Em trabalho realizado por Carvalho Filho (2000), o desempenho econômico e operacional em colhedoras de cana crua, foi constatado que a velocidade de operação e a eficiência de campo foram significantes no estudo, sendo que a velocidade de 1,5 m.s⁻¹ foi a que melhor correspondeu aos resultados de desempenho econômico. Segundo CENICAÑA (1997) que realizou um ensaio com as colhedoras de cana Austoft 7700 e Cameco CHT 2500 nas velocidades de operação de 0,55 e 0,27 m.s⁻¹, foram obtidas eficiência de 43 e 46% respectivamente.

Ripoli et al., (2001) ao realizarem a colheita de cana crua em velocidade de 1,49 m.s⁻¹, constaram que a operação de colheita obteve o melhor desempenho econômico com valores oscilando de 0,66 a 3,82 US\$.t⁻¹ de cana colhida com uma eficiência de campo de 60%. Yadav et al., (2002) realizaram um estudo com a variedade Co 86032 em duas localidades, com produtividade média de 136,22 e 125,02 t.ha⁻¹, em velocidades de operação de 1,23 e 1,13 m.s⁻¹ e obtiveram uma eficiência de 44,44 e 39,35%, respectivamente.

Carvalho Filho (2000) expressa que a velocidade de operação e a eficiência de campo são variáveis de grande influência no desempenho operacional e econômico da colheita mecanizada de cana. Já Mercante et al., (2010) desenvolveram um modelo computacional para avaliar o desempenho operacional e econômico de diferentes tipos de maquinaria e definiram a eficiência por meio de dados publicados. Couto et al., (2012) desenvolveram um modelo em programação linear para selecionar formas de pulverização agrícola em cana, sendo a eficiência também estimada por dados secundários.

Para Baio et al., (2004), que desenvolveram um modelo em programação linear para pulverizadores, a eficiência de campo é um fator de extrema importância para a capacidade de campo operacional e custo do equipamento, pois é ela que compreende os tempos perdidos nas manobras de cabeceira, reabastecimento e outros. Devido à relevância da eficiência objetiva-se com o presente trabalho avaliar o impacto causado pela eficiência de campo no custo de produção do sistema de colheita mecanizado de cana-de-açúcar.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia adotada foi a modelagem computacional devido a dificuldade de realizar tal tarefa em condições de campo, assim, optou-se por utilizar o modelo computacional denominado “*ColheCana*”, desenvolvido e validado em planilha eletrônica, do *Excel*[®] e em linguagem de programação pelo *Visual Basic*[®]. O modelo foi desenvolvido considerando as características básicas de produção do sistema de colheita mecanizado de cana-de-açúcar. A validação ocorreu por meio do comparativo de dados gerados nas simulações, com dados primários (brutos) e secundários (bibliografia).

O funcionamento básico do “*ColheCana*” é apresentado pelo fluxograma da Figura 1, desenvolvido de acordo com os caracteres propostos por OAKLAND (2007). O modelo inicia (1)³ o seu funcionamento com a entrada de dados referentes a cultura (2): área, produtividade média e espaçamento de cultivo. Na sequência pela entrada de dados referentes às características técnicas/operacionais dos equipamentos (3): número de linhas, velocidade de trabalho, perdas na colheita e eficiência de campo. A associação dos dados referentes à cultura e as características técnicas/operacionais, determinam o desempenho operacional da colhedora/transbordo (4): capacidade de campo operacional, de produção e quantidade de cana colhida.

³ Os números entre parênteses referem-se ao fluxograma da Figura 1.

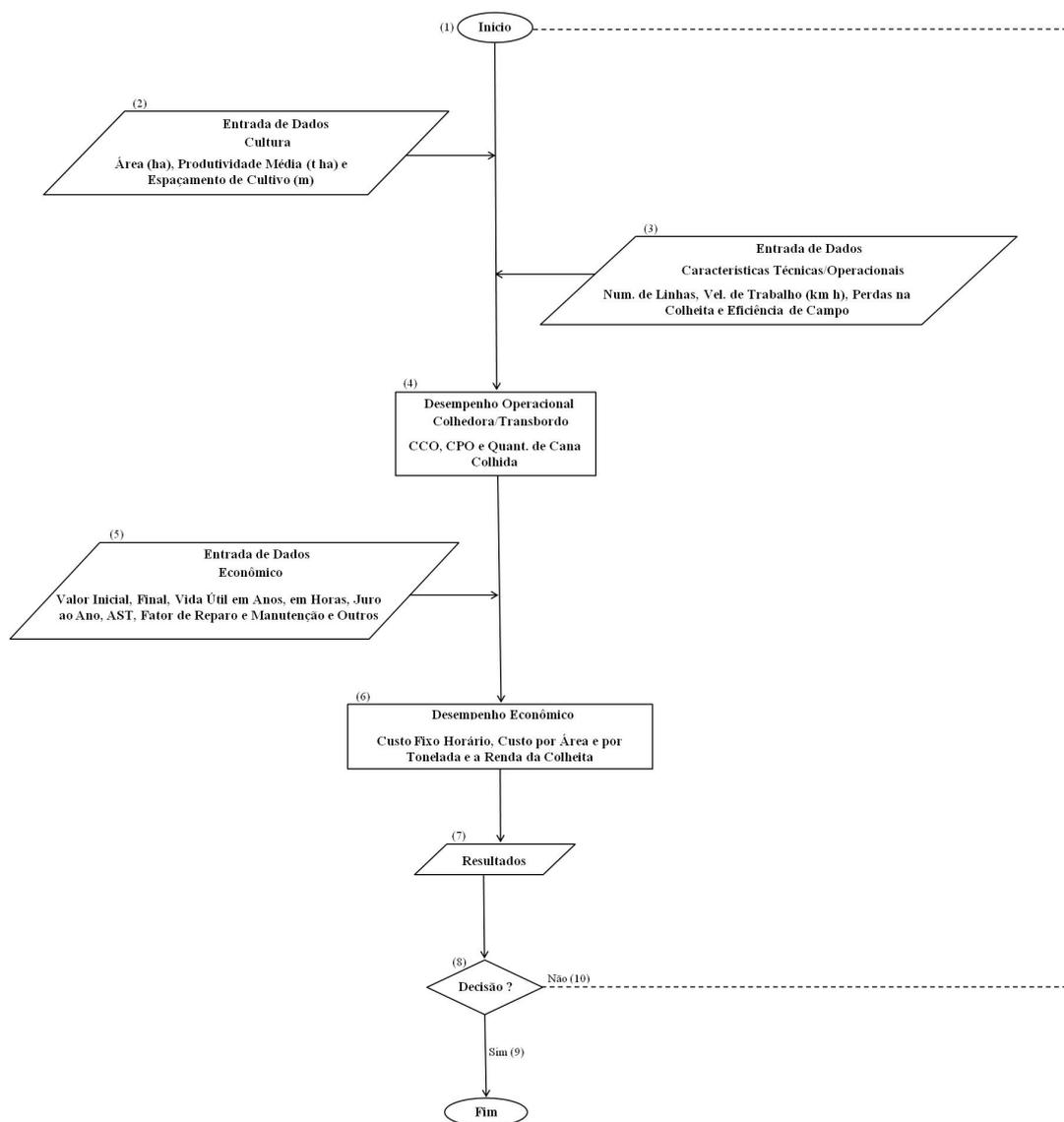


Figura 1 - Fluxograma de funcionamento do “ColheCana”

Os resultados de desempenho operacional associado à entrada de dados econômico das máquinas (5) fornece o resultado do cálculo de desempenho econômico do sistema de colheita (6): custo fixo horário; custo por área e tonelada; renda da colheita. Os dados de entrada da parte econômica (5) referem-se a: valor inicial e final; vida útil dos equipamentos; fatores de alojamento, seguro e taxas; reparo e manutenção. Os resultados do modelo (7) possibilitam ao usuário analisar o custo de produção e a renda líquida da colheita mecanizada e decidir (8) quanto à viabilidade (9) ou não. No caso de não ser viável (10), ou o usuário desejar avaliar outro cenário, novos dados devem ser inseridos para uma nova simulação.

Para os equipamentos foram consideradas colhedoras de cana do tipo automotriz, sendo de uma e duas linhas,

ambas com potência de 251 kW (342 cv) e valor inicial estimado de US\$ 410.959,00 e US\$ 593.607,00 respectivamente. O transbordo, sendo duas carretas com capacidade de 13 t, com valor inicial de US\$ 22.831,00 cada, tracionadas por um trator 4x2 TDA de 162 kW (220 cv) no motor, com valor inicial de US\$ 100.457,00.

O desempenho operacional e econômico do “ColheCana” que atende ao objetivo do trabalho está de acordo com Mialhe (1974) e ASABE (2011).

Pela metodologia de Mialhe (1974) calcula-se a capacidade de campo operacional da colhedora (CCOc) (ha.h^{-1}) associando-se ao número de linhas da colhedora (NL), espaçamento de cultivo (ECT) (m), velocidade de operação (VOh) (m.s^{-1}) e eficiência de campo (EFC) (%).

O cálculo que define a capacidade de campo operacional do conjunto trator e transbordo (CCOt) ($\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$) é idêntico ao da colhedora.

A metodologia da ASABE (2011) é para calcular o custo fixo horário da máquina (CFHM) ($\text{US}\$. \text{h}^{-1}$), sendo determinado pela razão entre o custo fixo anual (CFA) e o número de horas trabalhadas por ano (NHPa).

De acordo com a ASABE (2011) calcula-se também o custo horário da máquina (CHM) ($\text{US}\$. \text{h}^{-1}$) que é definido pelo somatório do CFHM ($\text{US}\$. \text{h}^{-1}$) e o custo variável (combustível e reparo e manutenção) do equipamento (CVE) ($\text{US}\$. \text{h}^{-1}$).

De acordo com Mialhe (1974) calcula-se o custo operacional da colhedora ou do conjunto trator e transbordo (CO) ($\text{US}\$. \text{ha}^{-1}$) que é determinado pela razão entre o (CHM) ($\text{US}\$. \text{h}^{-1}$) e a (CCO) ($\text{US}\$. \text{ha}^{-1}$).

Por Mialhe (1974) calcula-se o custo de produção do equipamento (CPE) ($\text{US}\$. \text{t}^{-1}$) que é definido pela razão entre o CHM ($\text{US}\$. \text{h}^{-1}$) e a capacidade de produção operacional (CPO) ($\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$).

A perda total de cana (PTc) (%) é determinada em função da velocidade de operação da colhedora, de acordo com Ripoli (1996).

A renda bruta da colheita (RBC) (US\$) é determinada pela produção de cana (PC), preço da tonelada de cana (PT) ($\text{US}\$. \text{t}^{-1}$) e a diferença na perda total de cana (PTc) (%) decorrente da colheita.

O custo da colheita (CC) (US\$) é definido pela soma do COc ($\text{US}\$. \text{ha}^{-1}$), do COt ($\text{US}\$. \text{ha}^{-1}$) e multiplicado pela área a ser colhida (ACh) (ha).

A renda líquida da colheita (RLC) (US\$) é determinada como sendo a diferença entre a RBC (US\$) e o CC (US\$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os resultados foi considerada uma Usina Fictícia, com uma área própria de 22.000 ha, produtividade média de $80 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, velocidade de operação das colhedoras de uma e duas linhas sendo de $1,38$ e $1,11 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (recomendações técnicas), perda de cana de 4,18 e 3,34%, espaçamento entre fileiras de cultivo do tipo simples de 1,5 m e duplo alternado de 2,5 m, respectivamente. O preço estimado da tonelada de cana entregue no campo (e não na Usina) de $24,22 \text{ US}\$. \text{t}^{-1}$ de acordo com a UDOP (2012) e uma eficiência de campo referência de 80%.

Na Figura 2 é apresentado o custo de produção do sistema de colheita mecanizado de cana que é constituído pela colhedora, trator agrícola e transbordo. Observa-se na figura que o custo de produção com as

máquinas de uma e duas linhas diminui à medida que se aumenta a eficiência de campo, pois o aumento dela eleva a capacidade operacional do sistema de colheita mecanizado.

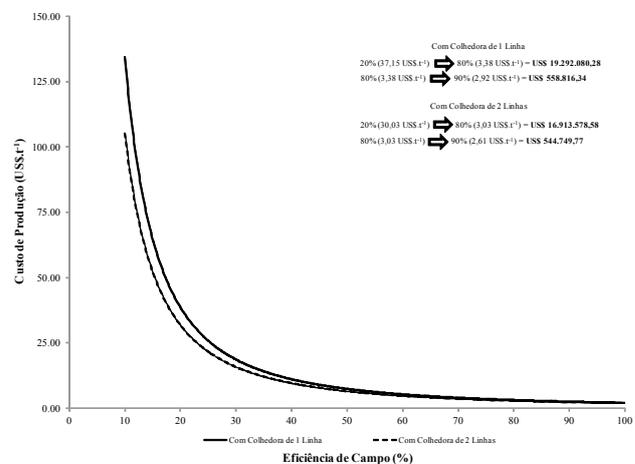


Figura 2 - Custo de produção do sistema de colheita mecanizado com colhedora de uma e duas linhas em função da eficiência de campo.

Uma eficiência de campo bem inferior a de referência (80%), tanto para o sistema de colheita mecanizado com colhedora de uma ou duas linhas, implica em um custo por tonelada colhida praticamente proibitivo. Por exemplo, colhendo-se com máquina de uma e duas linhas em uma eficiência de 20% o custo por tonelada corresponde a 37,15 e 30,03 $\text{US}\$. \text{t}^{-1}$, enquanto que para a eficiência de referência 80% foi 3,38 e 3,03 $\text{US}\$. \text{t}^{-1}$, uma diferença de 33,77 e 27,00 $\text{US}\$. \text{t}^{-1}$, respectivamente. Elevando a eficiência do sistema de colheita mecanizado de 20% para 80% com colhedora de uma e duas linhas, representa um ganho na renda líquida da colheita de $\text{US}\$ 19.292.080,28$ e $\text{US}\$ 16.913.578,58$ respectivamente.

Nery (2000) realizou um ensaio de colheita mecanizada de cana em velocidade de operação de $1,38 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, em espaçamento de cultivo de 1,4 m, nas eficiências de campo de 45, 55, 65 e 75% e obteve custos de produção de 0,64, 0,55, 0,37 e 0,30 $\text{US}\$. \text{t}^{-1}$, respectivamente. Carvalho Filho (2000) realizou o mesmo ensaio de Nery (2000), sendo idênticas as características operacionais, com a velocidade de trabalho de $1,38 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, as eficiências de 45, 55, 65 e 75%, resultando em custos de produção de 1,19, 1,03, 0,91 e 0,83 $\text{US}\$. \text{t}^{-1}$, respectivamente.

Aumentar a eficiência de campo do sistema de colheita mecanizado de 80% para 90%, utilizando máquina de uma e duas linhas, representa um ganho de 0,46 e 0,42 $\text{US}\$. \text{t}^{-1}$ e um ganho na renda líquida da colheita de $\text{US}\$ 558.816,34$ e $\text{US}\$ 544.749,77$ respectivamente. No entanto, acima de 80% para ambos os tipos de máquinas, os ganhos na redução de custo são pequenos e é

importante analisar se os investimentos necessários para se obter esses ganhos são viáveis.

4 CONCLUSÃO

O aumento da eficiência de campo diminui o custo de produção do sistema de colheita mecanizado e eleva a renda líquida da colheita da Usina.

Para altas eficiências se fazem necessários grandes investimentos gerenciais para os meios de execução e tempos operacionais.

5 REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. Agricultural machinery management data ASAE D497.7. In: _____. **ASABE standards**. St. Joseph, 2011. p. 1-8.
- BAIO, F. H. R. et al. Modelo de programação linear para seleção de pulverizadores agrícolas de barras. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 355-363, maio/ago. 2004.
- CARVALHO FILHO, S. M. **Colheita mecanizada: desempenho operacional e econômico em cana sem queima prévia**. 2000. 108 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Máquinas Agrícolas)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR DE COLÔMBIA. Cali, v. 19, n. 1, p. 7-10. jan./abr. 1997.
- CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA. Projeto diretrizes de políticas públicas para a agroindústria canavieira do Estado de São Paulo. In: WORKSHOP ASPECTOS AMBIENTAIS DA CADEIA DO ETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR, 2008, São Paulo. **Relatório final...** São Paulo: CENBIO, 2008. Disponível em: <http://www.apta.sp.gov.br/cana/anexos/wks_ambiental_relatorio_final.pdf>. Acesso em: 7 dez. 2009.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, quarto levantamento**. Brasília, DF, 2013. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_04_09_10_30_34_boletim_cana_portugues_abril_2013_4o_le.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2013.
- COUTO, R. F.; CUNHA, J. P. B.; REIS, E. F. Modelo de programação linear para seleção de diferentes formas de pulverização agrícola para cana-de-açúcar. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 20, n. 6, p. 529-536, nov./dez. 2012.
- MAGALHÃES, P. S. G.; BALDO, R. F. G.; CERRI, D. G. P. Sistema de sincronismo entre a colhedora de cana-de-açúcar e o veículo de transbordo. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 274-282, abr./jun. 2008.
- MERCANTE, E. et al. Praprag - *software* para planejamento racional de máquinas agrícolas. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 322-333, mar./abr. 2010.
- MIALHE, L. G. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1974. 301 p.
- NERY, M. S. **Desempenhos operacional e econômico de uma colhedora em cana crua**. 2000. 108 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Máquinas Agrícolas)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- NEVES, J. L. M. et al. Avaliação de perdas invisíveis na colheita mecanizada em dois fluxos de massa de cana-de-açúcar. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 787-794, set./dez. 2006.
- OAKLAND, J. **Gerenciamento da qualidade total tqm**. São Paulo: Nobel, 2007. 459 p.
- RÍPOLI, T. C. C. Ensaio & certificação de máquinas para colheita de cana-de-açúcar. In: MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas ensaios & certificação**. Piracicaba: FEALQ, 1996. cap. 13, p. 635-673.
- RÍPOLI, T. C. C. et al. Desempenho econômico de colhedora em cana crua. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 12, p. 1-5, 2001.
- SEVERO, J. R.; CARDOSO, L. Cana-de-açúcar: lei ambiental impõe mecanização da lavoura da cana. Brasília, DF: Confederação Nacional de Agricultura, 2009. Disponível em: <http://www.cna.org.br/site/down_anexo.php?q=E22_20341Mecanizacaodacana.pdf>. Acesso em: 7 dez. 2009.
- UNIÃO DOS PRODUTORES DE BIOENERGIA. Preço cana campo (São Paulo). Araçatuba, 2012. Disponível em: <http://www.udop.com.br/graficos/cana_campo.php>. Acesso em: 15 set. 2012.
- VIATOR, R. P. et al. Sugarcane chopper harvester extractor fan and ground speed effects on yield and quality. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 23, n. 1, p. 31-34, Oct. 2006.
- YADAV, R. N. S. et al. Performance evaluation of sugarcane chopper harvester. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 4, n. 3/4, p. 117-122, 2002.