

## COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR MONITORADA POR MEIO DE COMPUTADOR DE BORDO

THIAGO HENRIQUE DOURADO<sup>1</sup>, MARCELO TUFALÉ CASSIA<sup>2</sup>, ARIEL MUNCIO COMPAGNON<sup>3</sup>, ROUVERSON PEREIRA DA SILVA<sup>4</sup>, MATHEUS GUERREIRO CATASSE<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Agrônômica, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal-SP, (16) 3209-2637, thiagohdourado@hotmail.com

<sup>2</sup> Doutorando em Agronomia (Produção Vegetal), Univ. Estadual Paulista, Jaboticabal-SP, marcelocassia@gmail.com

<sup>3</sup> Eng. Agrícola, Professor MSc. Instituto Federal Goiano - Campus Ceres, Rod. 154 Km 03 - Cx. Postal 51, Telefone: (62) 3307-7100, ariel.compagnon@ifgoiano.edu.br

<sup>4</sup> Prof. Adjunto, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal-SP, rouverson@fcav.unesp.br

<sup>5</sup> Graduando em Engenharia Agrônômica, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal-SP, mgc.agro12@gmail.com

Apresentado no  
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014  
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

**RESUMO:** Tecnologias de transmissão de dados e ferramentas de monitoramento de operações mecanizadas auxiliam na detecção de falhas no processo, nos planejamentos de metas e nas tomadas de decisões. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a operação de colheita mecanizada de cana-de-açúcar, por meio de dados coletados por telemetria, utilizando análise exploratória. O trabalho foi realizado durante a colheita da safra 2013/14, monitorando a operação realizada por uma colhedora da John Deere 3520, equipada com o computador de bordo Auteq CBA3200<sup>®</sup>. Foram extraídos relatórios diários das operações, durante o período das 00:00:00 hs do dia 15/05 até às 23:59:59 hs do dia 14/06/2013, que foram agrupados em categorias visando avaliar o desempenho operacional da máquina diariamente. O processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar apresentou boa qualidade operacional, considerando-se as variáveis avaliadas. A colhedora ficou em torno de 60% do tempo realizando operação de colheita, sendo que, dos tempos em que a máquina permaneceu "não-produtiva", as principais causas de paradas foram manutenção e adversidades climáticas.

**PALAVRAS-CHAVE:** telemetria, colhedora de cana-de-açúcar, mecanização agrícola.

### SUGARCANE MECHANIZED HARVESTING MONITORED BY BOARD COMPUTER

**ABSTRACT:** Data transmission technologies and mechanized operations monitoring tools help detecting failure in procedure, goals planning and in decision making. Therefore, the present study aimed to evaluate the operation of sugarcane mechanized harvesting by means of data collected by telemetry using exploratory analysis. The study was made during the 2013/14 harvest, monitoring the operation done by a John Deere 3520 harvester, equipped with an Auteq CBA3200<sup>®</sup> trip computer. There have been extracted daily reports about the operations, since 00h00m00s of May 15th until 23h59m59s of June 14th of 2013. These reports were grouped in categories in order to evaluate the machine's daily operational performance, and analyzed by means of statistic control. The process of mechanical sugarcane harvesting showed good quality operational, considering the evaluated parameters. The harvester was around 60 % of the time performing the harvesting operation, and that, of times that machine remained "non-productive", the main causes of stops were maintenance and climatic adversities.

**KEYWORDS:** telemetry, sugarcane harvesting, agricultural mechanization.

**INTRODUÇÃO:** A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma das culturas de maior importância no Brasil, devido às extensas áreas cultivadas e ao fato de seus produtos (açúcar e etanol) e subprodutos (energia) gerarem uma série de benefícios para a população, como empregos e avanços tecnológicos (LEÃO, 2002).

A maioria dos equipamentos produzidos hoje inclui um microprocessador com funções de controle e monitoramento, assim, por meio da telemetria torna-se possível o monitoramento de máquinas agrícolas usadas no plantio, cultivo e colheita, de modo a resolver esses problemas e reduzir substancialmente os custos operacionais. A eficiência da solução de telemetria aumenta ainda mais dependendo do tipo de informação enviada entre as máquinas. A detecção das razões do mau funcionamento de uma determinada máquina, por exemplo, permite que sejam enviados os profissionais mais adequados para solucionar os defeitos específicos, ou seja, o sistema é capaz de fazer uma auto diagnose (SILVA et al., 2011).

Além disso, sistemas de telemetria auxiliam na redução de índices referentes ao mau funcionamento das máquinas e, conseqüentemente, a perda de produção. Além da redução de custos e aumento de eficiência, as aplicações de telemetria também auxiliam no desenvolvimento do uso da tecnologia de informação, ajudando as empresas a atenderem as necessidades dos clientes, a oferecerem melhores serviços e a se comunicarem com os outros setores da indústria, empregando princípios de qualidade e otimização do processo.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a operação de colheita mecanizada de cana-de-açúcar, por meio de dados coletados por telemetria, utilizando análise exploratória.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Os dados do trabalho foram coletados no Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola – LAMMA, do Departamento de Engenharia Rural, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal – FCAV/UNESP, durante a colheita da safra 2013/14 de cana-de-açúcar, obtidos do sistema de monitoramento de operações agrícolas Auteq®, desenvolvido e aplicado principalmente em máquinas e equipamentos agrícolas da marca John Deere. Foi monitorada a operação de colheita mecanizada de cana-de-açúcar realizada por uma colhedora John Deere 3520. O monitoramento da colhedora é realizado por um computador de bordo Auteq CBA3200®, que combina o conceito de “caixa preta”, onde monitora entradas analógicas e digitais de pontos da máquina; à uma interface com o operador/motorista, possibilitando o mesmo realizar apontamentos que possam viabilizar a extração de relatórios gerenciais de: Operações produtivas, Ocorrência de eventos, Velocidade e RPM, Motor ocioso, Paradas, Ordens de Serviços, entre outros.

A colhedora monitorada se encontrava operando em áreas produtivas de cana-de-açúcar pertencentes a uma usina sucroenergética da região de Catanduva, estado de São Paulo, próximas das coordenadas 21°16' S e 49°02' O. As áreas colhidas durante o período foram cultivadas principalmente com a variedade RB85-5336, sobre solos de textura médio-argiloso e relevo plano a suavemente ondulado. Em função da variabilidade nas condições da cultura para colheita, as regulagens e tomadas de decisão dos parâmetros de colheita eram de inteira responsabilidade dos operadores e/ou técnicos da empresa.

Para o desenvolvimento do trabalho foram extraídos relatórios diários de operação e eventos, durante o período das 00:00:00 hs do dia 15 de maio às 23:59:59 do dia 14 de junho de 2013. Os relatórios diários traziam as informações de duração de cada categoria de operação ou evento, sendo divididas nas categorias apresentadas na Figura 1.

Cód	Descrição	Cód.	Descrição
000006	troca de turno	000048	colheita cana crua fraca
000011	abastecimento	000049	colheita cana crua media
000012	lavando	000071	colheita cana crua fraca ii
000016	manutenção diária	000103	transporte no prancha
000017	parada para refeição	000104	troca de faquinha
000019	manutenção mecânica	000108	usina quebrada
000024	manutenção elétrica	000111	transporte rodando
000031	parado por chuva	000118	aguardando transbordo
000033	falta de operador		

FIGURA 1. Modelo de relatório diário das operações ou eventos.

Os apontamentos acima descritos foram agrupados em categorias visando avaliar o desempenho operacional da colhedora diariamente, conforme a metodologia descrita por Milan (2011). As novas categorias criadas visando avaliar o desempenho operacional da operação de colheita foram:

1. Operação de colheita - cód. 0048 / 0049 / 0071
2. Deslocamento/Translado - cód. 0103 / 0111
3. Parada para manutenção - cód. 0011 / 0012 / 0016 / 0019 / 0024 / 0104
4. Parada pelo operador - cód. 0006 / 0017 / 0033
5. Parada climática - cód. 0031
6. Parada por outros motivos - cód. 0108 / 0118

As categorias criadas, separam as atividades realizadas pela colhedora diariamente em percentual do tempo total (24 hs), sendo desejável que a colhedora permaneça o maior tempo possível na atividade 1 (em operação) e assim, as demais são causas justifiquem os tempos “não-produtivos” da máquina, sendo estes passíveis de investigação principalmente com técnicas de controle estatístico.

Os resultados foram analisados estatisticamente com o auxílio do programa Minitab® 16, passando por análise exploratória (estatística descritiva) para verificar a normalidade dos dados, bem como a variabilidade e a ocorrência de dados discrepantes.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na Tabela 1 são apresentados os parâmetros de medida de posição e tendência central (média e mediana), medida de dispersão (amplitude, desvio padrão), e os coeficientes de variação, de assimetria e de curtose para as variáveis monitoradas da operação de colheita mecanizada durante o período avaliado.

Observa-se para todas as variáveis que os valores de média e mediana encontraram-se bastante distintos entre si, o que aponta para a alta dispersão dos dados fora da posição central, ou seja, a dispersão entre estes valores mostra que o valor médio de cada uma das variáveis difere do valor da amostra, que separa a mesma em dois grupos iguais (PIMENTEL-GOMES e GARCIA, 2002). Estes resultados se confirmam ao observar os parâmetros de dispersão dos dados, com valores muito elevados de amplitude e desvio padrão, até mesmo superando a média dos dados, o que aponta para uma elevada variabilidade dos dados. Este fato se confirma pelos valores observados de coeficiente de variação em que, exceto para “Operação de colheita”, se encontraram classificados como alto a muito alto (NORONHA et al., 2011).

TABELA 1. Parâmetros de estatística descritiva para as variáveis monitoradas na operação de colheita mecanizada de cana-de-açúcar

Atividade	Média	Mediana	A	$\sigma$	CV	Cs	Ck	RJ
1. Operação de colheita	59,56	70,28	84,92	27,34	45,90	-1,44	0,71	0,867 <sup>A</sup>
2. Deslocam. / translado	2,55	1,10	13,33	3,66	143,58	1,96	3,12	0,873 <sup>A</sup>
3. Parada manutenção	22,36	19,09	99,68	20,23	90,45	2,37	7,03	0,870 <sup>A</sup>
4. Parada operador	4,83	3,64	21,47	5,45	112,78	1,13	1,13	0,953 <sup>A</sup>
5. Parada climática	10,08	0,00	61,75	19,89	197,39	1,70	1,43	0,996 <sup>N</sup>
6. Outros	0,62	0,00	8,80	1,69	274,57	4,18	19,31	0,738 <sup>N</sup>

A: amplitude;  $\sigma$ : desvio padrão; CV: coef. variação; Cs: coef. assimetria; Ck: coef. curtose; RJ: teste de normalidade de Ryan-Joiner (similar Shapiro-Wilk) – <sup>N</sup>: distribuição normal. <sup>A</sup>: distribuição assimétrica.

Entretanto, autores como SILVA et al. (2008) ressaltam que a alta variabilidade dos dados é fato comum ao se analisar operações mecanizadas a campo, sendo normalmente encontrados estes índices de coeficientes de variação. Vale ressaltar ainda que, tratando-se de operações em culturas altamente intensivas como a cana-de-açúcar, ao se monitorar operações que se estendem dia e noite, a mesma se torna mais susceptível à interferências de causas não-comuns ao processo (VOLTARELLI et al., 2013).

Os coeficientes de assimetria e curtose também apresentaram bastante afastados dos valores de referências, apontando também para a alta variabilidade encontrada nos dados monitorados. Os coeficientes de assimetria negativos, como observado para “Operação de colheita”, representam que a

curva de frequência da distribuição dos dados se apresenta mais alongada à direita e os dados concentrados à esquerda; ao passo que os coeficientes positivos encontrados para as demais variáveis apresentam comportamento inverso, alongada à esquerda com os dados concentrados à direita (BONILLA, 1995).

Já os coeficientes de curtose elevados indicam distribuição dos dados leptocúrtica, ou seja, caracterizada por uma curva “alongada”; enquanto que os coeficientes baixos indicam para distribuição platicúrtica, que representa uma curva de distribuição de dados mais “achatada”. Segundo VOLTARELLI et al. (2013), em ambos os casos há menor probabilidade da distribuição dos dados se ajustarem à um modelo de distribuição normal, que foi comprovado pelo teste de Ryan-Joiner (similar a Shapiro-Wilk).

Desta forma, pelo teste de Ryan-Joiner apenas as variáveis “Parada climática” e “Outros”, apesar dos elevados índices de variação, assimetria e curtose, apresentaram distribuição de dados passíveis de ajuste a uma curva normal. As demais variáveis também apresentaram índices de dispersão elevados, mas possuem dados que não são passíveis de ajuste a um modelo de distribuição normal, porém, este fato não inviabiliza o monitoramento destas variáveis pelo controle estatístico e não demanda de transformação (BONILLA, 1995).

Em linhas gerais, observa-se pelos valores médios que a colhedora monitorada, pode ser considerada razoável, com a máquina ficando em torno de 60% do tempo realizando a operação de colheita. Dos tempos em que a máquina permaneceu “não-produtiva”, as principais causas de paradas foram manutenção (22,4%) e adversidades climáticas (10,1%), enquanto as outras causas somaram menos de 10% do tempo.

**CONCLUSÕES:** A maior parte das variáveis apresentaram elevados coeficientes de variação, assimetria e curtose, apresentaram distribuições assimétricas. A eficiência operacional da colhedora foi razoável, sendo os tempos de manutenção os responsáveis pelas maiores paradas.

## REFERÊNCIAS

- BONILLA, J.A. Qualidade total na agricultura: fundamentos e aplicações. Belo Horizonte: Centro de Estudos da Qualidade Total na Agricultura, 1995. 344p.
- LEÃO, R.M. Etanol: energia verde. Piracicaba: Instituto de qualificação Editora, 2002. 255p.
- MILAN, M. Desempenho operacional e econômico de sistemas mecanizados agrícolas. 2011. 26p. Arquivos de aula (Mecânica e Máquinas Motoras) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011. Disponível em: <http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Milan/ler5852/DesCustOp.pdf>. Acesso em 28/11/2013.
- NORONHA, R.H.F.; SILVA, R.P.; TOLEDO, A.; TITOTO, B.; FURLANI, C.E.A. Sulcos avaliados. Revista Cultivar Máquinas. n.103, dez/jan 2011.
- PIMENTEL-GOMES, F; GARCIA, C.H. Estatística Aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. FEALQ, 2002. 309p.
- SILVA, C.B.; MORAES, M.A.F.D.; MOLIN, J.P. Adoption and use of precision agriculture technologies in the sugarcane industry of São Paulo state, Brazil. Precision Agriculture, v.12, n.1, p.67-81, 2011.
- SILVA, R. P.; CORRÊA, C. F.; CORTEZ, J. W.; FURLANI, C. E. A. Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. Engenharia Agrícola, v.28, n.2, p.292-304, 2008.
- VOLTARELLI, M.A.; SILVA, P.S.; ROSALEN, D.L.; ZERBATO, C.; CASSIA, M.T. Quality of performance of the operation of sugarcane mechanized planting in day and night shifts. Australian Journal Crops Science, v.7, n.9, p. 1396-1406, 2013.