

## DESEMPENHO DO CONJUNTO TRATOR-PLANTADORA NO PLANTIO DE CANA-DE-AÇÚCAR POR MEIO DE RUN-CHARTS

PEDRO HENRIQUE DE LIMA<sup>1</sup>, MURILO APARECIDO VOLTARELLI<sup>2</sup>, LUIZ ALEXANDRE M. GALLO<sup>3</sup>, GUILHERME OLIVEIRA DO AMARAL<sup>4</sup>, ROUVerson PEREIRA DA SILVA<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Agronomia, Univ Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Rural, Jaboticabal – SP. email: [pedrohenrique-lima@hotmail.com](mailto:pedrohenrique-lima@hotmail.com)

<sup>2</sup> Doutorando, Msc. Eng. Agrônomo, Univ Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Rural, Jaboticabal – SP. e-mail: [murilo\\_voltarelli@hotmail.com](mailto:murilo_voltarelli@hotmail.com)

<sup>3</sup> Graduando em Agronomia, Univ Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Rural, Jaboticabal – SP. email: [luis\\_mgallo@hotmail.com](mailto:luis_mgallo@hotmail.com)

<sup>4</sup> Graduando em Agronomia, Univ Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Rural, Jaboticabal – SP. email: [doamaral.guilherme@gmail.com](mailto:doamaral.guilherme@gmail.com)

<sup>5</sup> Prof. Dr. Eng. Agrícola, Univ Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Rural, Jaboticabal – SP. e-mail: [rouverson@fcav.unesp.br](mailto:rouverson@fcav.unesp.br)

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

**RESUMO:** O plantio mecanizado de cana-de-açúcar está em crescente expansão no Brasil devido à maior operacionalidade e às melhores condições de trabalho proporcionadas aos operadores das máquinas. Neste contexto, objetivou-se avaliar neste trabalho o desempenho do conjunto mecanizado trator-plantadora em dois turnos de operação, por meio do controle estatístico de processo. O plantio mecanizado foi realizado em área agrícola do município de Monte Alto - SP, e o delineamento estatístico utilizado foi inteiramente casualizado, totalizando 80 pontos amostrais (repetições), sendo 40 pontos para a operação diurna e 40 pontos para a operação noturna. Os indicadores de qualidade avaliados para o desempenho do conjunto mecanizado foram: velocidade do conjunto mecanizado, rotação do motor, pressão do óleo do motor, temperatura da água do motor, capacidade de campo efetiva e os consumos horário e efetivo de combustível. O padrão aleatório oscilação não foi encontrado para nenhum dos indicadores de qualidade. A rotação do motor, consumo horário e efetivo de combustível apresentou somente padrões de aleatoriedade, podendo o processo ser considerado livre de causas especiais pela ótica desta ferramenta da qualidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** controle de qualidade, mecanização, turnos de operação.

## PERFORMANCE OF TRACTOR SET-PLANTER IN PLANTING OF SUGAR CANE THROUGH RUN-CHARTS

**ABSTRACT:** The mechanized planting of sugarcane is becoming increasingly widespread in Brazil due to higher operation and better working conditions offered to machine operators. In this context, this work aimed to evaluate performance mechanized tractor-planter in two shift operation, through statistical process control. The mechanized planting was carried out in the agricultural area of the municipality of Monte Alto - SP, and statistical design was completely randomized, totaling 80 sampling points (replicates), 40 points for daytime operation and 40 points for nighttime operation. Quality indicators evaluated for the performance of mechanized set were mechanized set speed, engine speed, engine oil pressure, engine coolant temperature, effective field capacity and consumption time and effective fuel. The random oscillation pattern was not found for any of the quality indicators. The

engine speed, time consumption and effective fuel standards showed only of randomness, the process may be considered free from special causes through the lens of this quality tool.

**KEYWORDS:** Quality control, mechanization, work shifts.

**INTRODUÇÃO:** O sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar é uma operação dependente de fatores como: solo, máquina, operador, qualidade das mudas, dentre outros, e todos estes fatores tem que estarem em condições homogêneas, se possível, para que ocorra a brotação esperada. Neste contexto, destaca-se a importância da utilização da máquina, ou seja, do conjunto trator-plantadora para a realização desta operação, sendo que o monitoramento dos indicadores de qualidade da máquina, no que se refere ao trator se torna essencial para o rendimento e qualidade da operação desempenhada por este conjunto mecanizado. Aliado a expansão do plantio mecanizado de cana-de-açúcar, o uso do controle estatístico nesta operação agrícola é fundamental, pois o mesmo pode nos mostrar uma visão de como o processo está ocorrendo, detectar eventuais falhas e pode ainda indicar possíveis melhorias para a operação com o objetivo de aumentar a qualidade das mesmas. Alguns autores têm feito uso do controle estatístico de processo, utilizando as variáveis avaliadas como indicadores de qualidade, cuja ferramenta para identificar causas não aleatórias decorrentes do processo são, normalmente, as cartas de controle (NORONHA et al., 2011; SILVA et al., 2011; TOLEDO et al., 2008). Diante o exposto, pressupondo-se que o desempenho da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar seja influenciado em função dos turnos de operação diurno e noturno, objetivou-se neste trabalho avaliar o desempenho do conjunto trator-plantadora na operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar, por meio do controle estatístico de processo, utilizando-se como ferramenta as run-charts.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi realizado em área da Fazenda Tijuco, no município de Monte Alto – SP, nas proximidades das coordenadas geodésicas: Latitude 21°16' 42" S e Longitude 48°24'21" O, com altitude média de 620 metros, declividade média de 6% e clima Aw de acordo com a classificação de Köppen. Foram realizadas amostragens do solo para determinação da classe textural, obtendo-se como resultado quantidades de 78% de areia, 6% de silte e 16% de argila, sendo assim classificado como textura média. A variedade de cana-de-açúcar cultivada foi RB83-5054 sendo apta à colheita mecanizada e apropriada a solos com média fertilidade.

Realizou-se o plantio mecanizado de cana-de-açúcar em março de 2012 por meio do conjunto trator-plantadora, composto por um trator da marca John Deere 4 x 2 TDA, modelo 7715 SAE J serie 350 com potência de 134,0 kW (182 cv) no motor a 2.200 rpm, 6 cilindros, com taxa de compressão 17:1, rodados dianteiros 600/65R28 e traseiros 710/70R38, ambos R1W, e uma plantadora de cana picada (acoplada a barra de tração do trator) de 2 fileiras, modelo PTX 7010 com capacidade de seis toneladas de mudas para plantio, largura 3,60 metros, rodados 600/50 22.5, hastes sulcadoras espaçadas a 1,50 m.

A área anteriormente ao plantio mecanizado de cana-de-açúcar continha soja, que após sua colheita foi realizada a operação de plantio de mecanizado sem ocorrer previamente o preparo do solo. A caracterização da quantidade de cobertura vegetal de palha de soja foi realizada pela coleta de dez pontos aleatórios na área, após a operação de colheita, e o valor estimado foi de 938,03 kg ha<sup>-1</sup>. A regulagem da profundidade dos sulcos foi realizada a 30 cm uma vez que a camada do solo de maior resistência se encontrava a 20 cm de profundidade (aproximadamente 3,0 MPa), detectada por meio da resistência mecânica do solo a penetração, com uso de penetrômetro eletrônico. A caracterização do teor de água do solo foi realizada, por meio da coleta de dez amostras aleatórias, na profundidade de 0-15 e 15-30 cm e os valores encontrados foram de 7 e 5%, respectivamente. O trator operou com a bitola ajustada a 2,70 m e na marcha de trabalho 1B.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, e os tratamentos foram constituídos em função do turno de operação das 15 às 23 h, pois neste turno é capaz de se avaliar a operação durante o dia e noite sem a troca de operador. O turno foi dividido em duas partes: as avaliações consideradas das 15h30 às 17h30 foram consideradas no período diurno enquanto que as avaliações realizadas das 19h30 as 21h30 foram consideradas como período noturno. A malha amostral foi constituída de 80 pontos espaçados 50 x 1,50 m entre eles sendo 40 pontos avaliados durante o dia e 40 pontos avaliados durante a noite. As avaliações do desempenho da máquina

constituíram-se de: velocidade do conjunto mecanizado, rotação do motor, pressão do óleo do motor, temperatura da água do motor, consumo efetivo e horário de combustível e capacidade de campo efetiva e, com exceção desta última variável analisada, as demais foram coletadas por meio do monitor de coluna frontal (Command Center™) encontrado dentro da cabine do trator.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise por meio do controle estatístico de processo, utilizando-se como ferramenta para verificar a aleatoriedade ou não aleatoriedade do processo, nos quais se procura a redução da variabilidade, os gráficos sequenciais (run-charts), que segundo Werkema (2006) é um gráfico de dados ao longo do tempo, utilizado para verificação do processo, permitindo identificar as possíveis presenças de causas especiais de variação, principalmente, quando as cartas de controle são diagnosticadas como estáveis, como todos os pontos dentro dos limites de controle.

De acordo com NHS Scotland (2013), este tipo de gráfico é uma sequência ordenada de dados, com um eixo horizontal centralizado (sendo a mediana mais usada na maioria dos casos). Um gráfico sequencial permite o monitoramento do processo e a identificação do tipo de variação a que o mesmo está submetido ao longo do tempo, pela análise conjunta dos parâmetros sensitivos dos gráficos.

Ainda de acordo com NHS Scotland (2013), o ideal para se criar um gráfico sequencial é que se tenha um mínimo de 15 pontos amostrais, sendo então possível identificar a ocorrência de causas não aleatórias decorrentes do processo e identificar o padrão existente, podendo ser este padrão classificado como tendência (sequência de sucessivos aumentos ou diminuições nas observações), oscilação (existência de um padrão regular está ocorrendo ao longo do tempo), mistura (ausência de pontos próximos à linha central) e agrupamento (grupos de pontos em uma área determinada gráfico sequencial).

A verificação da possível aleatoriedade dos dados foi realizada por meio de um teste semelhante ao de probabilidade a 5% e, uma vez que o p-valor para os padrões for inferior a 0,05, rejeita-se a hipótese nula de não aleatoriedade, em favor da alternativa para o padrão testado (MINITAB, 2007).

A ocorrência destes padrões pode indicar que o processo se encontra próximo a extrapolar os limites de controle, ou seja, torna-se instável, ou até mesmo a sua potencial estabilidade. Vale ressaltar que este teste é unilateral e que o padrão é calculado de um único lado da linha central para tendência e oscilação, sendo que para os padrões de agrupamento e mistura estes são calculados em ambos os lados da linha central.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na Tabela 1 verificam-se os valores padrões de aleatoriedade detectados pela análise dos gráficos sequenciais (por meio dos valores padrões) para os indicadores de qualidade rotação do motor e consumo horário e efetivo de combustível para os turnos diurno e noturno da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar. Tal aleatoriedade ou causas naturais dos valores padrões retratam que para estes indicadores de qualidade, os mesmos não causam ou geram a instabilidade do processo, o que tem como consequência maior segurança na interpretação dos resultados e, posteriormente, no desempenho da qualidade da operação. Por outro lado, os indicadores de qualidade velocidade, pressão do óleo do motor, temperatura da água do motor e a capacidade de campo efetiva apresentaram comportamento não-aleatório ou a ocorrência de padrões detectados ao longo do tempo.

Observa-se ainda que não houve diagnóstico do padrão de oscilação para todas as variáveis de desempenho da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar, podendo indicar que sob a óptica deste resultado, os indicadores de qualidade não sofreram alternância dos valores individuais ao redor da média repetidas vezes, sistematicamente, durante os turnos de operação.

A análise dos gráficos sequenciais pode ser complementada quando utilizada conjuntamente com as cartas de controle de valores individuais, pois a distribuição dos pontos ou repetições ao longo do processo são as mesmas para os dois testes. A diferença entre eles é que o primeiro detecta padrões de não aleatoriedade por meio do teste de probabilidade ( $p < 0,05$ ), em função dos desvios padrão da média e utilizando como base de cálculo (para o valor p) parâmetros estatísticos da distribuição normal, e o segundo, verifica a estabilidade do processo somente em função do desvio-padrão da média.

TABELA 1. Valores padrões de probabilidade dos gráficos sequenciais para o conjunto trator-plantadora no plantio mecanizado de cana-de-açúcar em função dos turnos de operação.

Indicadores de qualidade	Tratamentos	Padrões			
		A**	M	T	O
Velocidade (km h <sup>-1</sup> )	Diurno	1,00 <sup>ns</sup>	0,00*	0,00*	0,99 <sup>ns</sup>
	Noturno	0,60 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	0,00*	0,99 <sup>ns</sup>
Rotação do motor (rpm)	Diurno	0,91 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>ns</sup>
	Noturno	0,76 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,84 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>
Pressão do óleo do motor (kPa)	Diurno	0,00*	1,00 <sup>ns</sup>	0,00*	0,99 <sup>ns</sup>
	Noturno	0,69 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>
Temperatura da água do motor (°C)	Diurno	0,00*	1,00 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,90 <sup>ns</sup>
	Noturno	0,00*	1,00 <sup>ns</sup>	0,00*	0,99 <sup>ns</sup>
Capacidade de campo efetiva (ha h <sup>-1</sup> )	Diurno	1,00 <sup>ns</sup>	0,00*	0,00*	0,99 <sup>ns</sup>
	Noturno	0,60 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	0,00*	0,99 <sup>ns</sup>
Consumo horário de combustível (L ha <sup>-1</sup> )	Diurno	0,73 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>ns</sup>
	Noturno	0,73 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>
Consumo efetivo de combustível (L ha <sup>-1</sup> )	Diurno	0,73 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>
	Noturno	0,50 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>

\*\*A – Agrupamento; M – Mistura; T – Tendência; O – Oscilação. \*valores padrões de não aleatoriedade detectados pelo teste de probabilidade a  $p < 0,05$ ; <sup>ns</sup>valores padrões de aleatoriedade detectados pelo teste de probabilidade a  $p > 0,05$ .

Portanto, os indicadores de qualidade que não apresentaram padrão (ões) de aleatoriedade, ou seja, podem ser considerados sob influência de causas internas atuantes do próprio processo, na qual estes devem ser monitoradas com certa frequência para a possível detecção e eliminação de causas especiais.

**CONCLUSÕES:** O padrão aleatório oscilação não foi encontrado para nenhum dos indicadores de qualidade. A rotação do motor, consumo horário e efetivo de combustível apresentou somente padrões de aleatoriedade, podendo o processo ser considerado aleatório pela ótica desta ferramenta da qualidade. O uso dos valores padrões, proporcionados pelas run-charts, permitem visualizar o comportamento dos dados ao longo do processo do desempenho do conjunto mecanizado no plantio de cana-de-açúcar e tal interpretação dos resultados pode alterar, dar continuidade ou melhorar a qualidade da operação.

## REFERÊNCIAS

- MINITAB. MINITAB Release 16: Meet MINITAB 16. MINITAB StatGuide; MINITAB Help. [S.l.]: Minitab., 2007.
- National Healthcare Services Scotland. NHS. Statistical process control: tutorial guide monitoring quality in healthcare. Disponível em: [http://www.indicators.scot.nhs.uk/SPC/Statistical\\_Process\\_Control\\_Tutorial\\_Guide\\_V5.pdf](http://www.indicators.scot.nhs.uk/SPC/Statistical_Process_Control_Tutorial_Guide_V5.pdf) Acesso em: 30 maio 2013.
- Noronha, R. H. F.; Silva, R. P.; Chioderoli, C. A.; Santos, E. P.; Cassia, M. T. Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada diurna e noturna de cana-de-açúcar. Revista Bragantia, v. 70, p. 1-8, 2011.
- Silva, R. P.; Ferreira, I. C.; Cassia, M. T.. Perdas na colheita mecanizada de algodão. Scientia Agropecuária, v. 1, p. 7-12, 2011.
- Toledo, A.; Tabile, R. A.; Silva, R. P.; Furlani, C. E. A.; Magalhães, S. C.; COSTA, B. C. Caracterização das perdas e distribuição de cobertura vegetal em colheita mecanizada de soja. Eng. Agrícola, v.28, n.4, p.710-719, out./dez. 2008.
- Werkema, C. Lean seis sigma: Introdução às ferramentas do Lean Manufacturing. Belo Horizonte: Werkema, 2006. p. 20-120.