

## MONITORAMENTO DA COLHEITA MECANIZADA DE CANA-DE-AÇÚCAR POR MEIO DE RUN-CHARTS

MURILO APARECIDO VOLTARELLI<sup>1</sup>, GUSTAVO NAVES DOS REIS<sup>2</sup>, ROUVERTSON PEREIRA DA SILVA<sup>3</sup>, CRISTIANO ZERBATO<sup>4</sup>, MARCELO TUFFAILE CASSIA<sup>5</sup>

<sup>1</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>2</sup> Dr. Eng. Agrônomo, Univ Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Rural, Jaboticabal – SP.

<sup>3</sup> Prof. Dr. Eng. Agrícola, Univ Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Rural, Jaboticabal – SP. email: [rouverson@fcav.unesp.br](mailto:rouverson@fcav.unesp.br)

<sup>4</sup> Doutorando, Msc. Eng. Agrônomo, Univ Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Rural, Jaboticabal – SP. e-mail: [cristianozerbato@hotmail.com](mailto:cristianozerbato@hotmail.com)

<sup>5</sup> Doutorando, Msc. Eng. Agrônomo, Univ Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Rural, Jaboticabal – SP. e-mail: [marcelocassia@gmail.com](mailto:marcelocassia@gmail.com)

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

**RESUMO:** A colheita mecanizada da cana-de-açúcar tem relevância em todo o processo produtivo da cultura, inclusive na qualidade do produto final entregue para o processamento na usina. Neste contexto, objetivou-se neste trabalho avaliar as perdas decorrentes do processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua, por meio o controle estatístico do processo (CEP). O experimento foi conduzido em área de ARGISSOLO AMARELO, localizada no município de Arez – RN, sob dois tipos manejos do solo, no sistema convencional de preparo. O delineamento estatístico utilizado foi inteiramente casualizado, sendo os tratamentos constituídos por AR+GM (arado de aivecas + grade média) e GP+GM (grade pesada + grade média), com 50 repetições, utilizando-se uma malha amostral de 27 x 33 m. Os indicadores de qualidade relacionados aos tipos de perdas avaliados foram: reboło repicado, toco, pedaço solto, pedaço fixo e lascas. O preparo do solo com AR+GM não apresenta padrões de não aleatoriedade. O preparo do solo com AR+GP apresenta padrões de tendência e agrupamento, para as perdas tipo pedaço solto e fixo, respectivamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** controle estatístico de processo, microrrelevo do solo, padrões de aleatoriedade.

## MONITORING OF HARVESTING OF SUGARCANE THROUGH RUN-CHARTS

**ABSTRACT:** The mechanized harvesting of sugarcane has relevance in the whole production process of culture, including the quality of the final product delivered to the processing plant. In this context, this work aimed to evaluate the losses from mechanical harvesting of raw sugar cane, through the statistical process control (SPC) process. The experiment was conducted in ultisol YELLOW area, located in the municipality of Arez - RN under two management types of soil in the conventional tillage system. The experimental design was completely randomized, with treatments consisting of moldboard plow and medium grade and heavy harrow + grade average, with 50 repetitions, using a sampling grid of 27 x 33 m. Quality indicators related to the types of losses were: Peaked grinding stump, loose piece, fixed piece and chips. Soil tillage with moldboard plow and medium grade has no standards no randomness. Soil tillage with heavy harrow + grade average presents trend patterns and grouping, for losses piece loose and fixed type respectively.

**KEYWORDS:** statistical control process, soil microrelief, patterns of randomness.

**INTRODUÇÃO:** A colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua pode incrementar maior participação econômica nos estados que a produzem, apresentando certas vantagens e desvantagens sobre a colheita semi-mecanizada. Dentre as vantagens destacam-se: menor agressão ao meio ambiente, maior acúmulo de material orgânico sobre o solo, redução do quadro de funcionários e produção de bioenergia com o recolhimento da palha (TAGHIJARA et al., 2011). As desvantagens estão relacionadas principalmente a redução na qualidade da matéria-prima (impurezas), necessidade de mão-de-obra especializada, e por fim a ocorrência de perdas quali-quantitativas de matéria prima (SILVA et al., 2008).

O funcionamento do mecanismo de corte basal das colhedoras de cana-de-açúcar atua cortando os colmos em sua base, pelo impacto de múltiplas lâminas montadas em dois discos rotativos. No corte por impacto a força predominante é normal ao perfil da lâmina e causa enormes danos na soqueira e no colmo da cana-de-açúcar colhida (MELLO, 2005), podendo por fim, afetar os níveis de perdas decorrente da operação de colheita, e tal fato se agrava se houver danificações no facão picador ao não fracionar os colmos no tamanho desejado.

Diante o exposto, pressupondo que o sistema de manejo do solo possa influenciar a quantidade das perdas decorrente da colheita mecanizada de cana-de-açúcar, objetivou-se neste trabalho monitorar as perdas ao longo do tempo durante a colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua em dois manejos do solo, por meio do controle estatístico de processo.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi realizado em área agrícola da Usina Estivas S.A., localizada no município de Arez - RN, cujas coordenadas geográficas estão definidas entre as latitudes 06°00' e 06°30' S e longitudes 35°05' e 35°25' O e, com altitude média de 115 m, apresentando clima As (tropical úmido), de acordo com a classificação de Köppen. O solo da área experimental foi classificado como ARGISSELO AMARELO com textura média-arenosa, com relevo suave-ondulado (EMBRAPA, 1997).

Os dois tipos de manejo do solo foram preparados pelo método convencional, em função das diferentes máquinas e implemento utilizados, sendo elas: uma aração seguida de uma gradagem média (AR+GM); foi utilizado um arado de aivecas, constituído de quatro aivecas lisas, largura de corte de 1,6 m, profundidade de corte de 50 cm, altura do chassi de 68 cm e massa total de 964 kg, sendo a grade média do tipo de dupla ação, “*off-set*”, com 44 discos de 66 cm (26”), largura de corte de 4,8 m e massa total de 3.266 kg; e uma gradagem pesada seguida de uma gradagem média (GP+GM); a grade pesada foi do tipo de dupla ação em “*tandem*”, com 18 discos de 81,3 cm (32”), largura de corte de 2,4 m e massa total de 3.352 kg, seguida da grade de discos média descrita anteriormente.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, sendo os tratamentos definidos por 2 manejos do solo: arado de aivecas + grade média (AR+GM) e grade pesada + grade média (GP+GM) totalizando 100 repetições, sendo 50 repetições ou pontos amostrais para cada sistema de manejo do solo. A variedade de cana-de-açúcar colhida foi a RB 92-579. O porte do canavial foi quantificado e classificado para ambos os tratamentos com maior porcentagem de colmos eretos segundo a classificação de Rípoli (1996).

A colheita mecanizada de cana-de-açúcar, primeiro corte, foi realizada, no período diurno da operação, em setembro de 2008, por uma colhedora de marca CASE IH, modelo A7000, com 16.000 horas de uso, com potência no motor de 248 kW (332 cv) a 2.100 rpm. A velocidade média de trabalho da colhedora foi de 7 km h<sup>-1</sup>. A caracterização da produtividade das áreas experimentais foi fornecida pela unidade produtora, na qual se constituíram de 85,77 e 86,69 Mg ha<sup>-1</sup> para os tratamentos AR+GM e GP+GM, respectivamente. As facas, de troca rápida, do corte basal possuíram zero horas de utilização, ou seja, eram totalmente novas. As avaliações dos tipos de perdas: reboleto repicado, toco, pedaço solto, pedaço fixo e lascas foram determinadas de acordo com a metodologia descrita por Reis (2009).

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), o ideal para se criar um gráfico sequencial (Figura 1) 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).

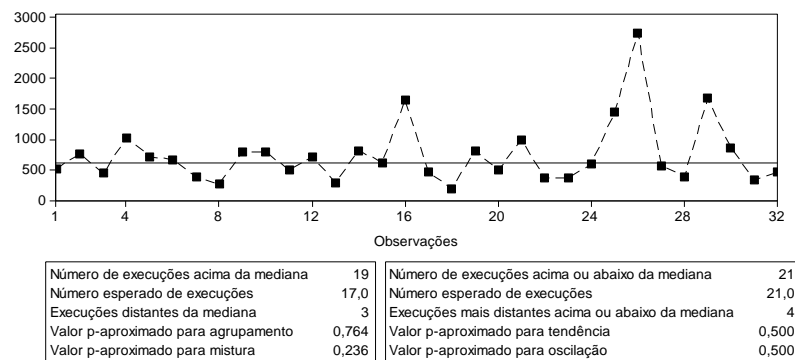


FIGURA 1. Modelo de gráfico sequencial para detectar padrões não-aleatórios.

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. 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.

**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 referentes aos tipos de perdas durante a colheita mecanizada de cana-de-açúcar influenciada pelo manejo do solo no preparo inicial do talhão.

Tal aleatoriedade ou causas naturais encontradas para o manejo do solo por AR+GM (arado de aivecas + grade média) dos valores padrões retratam que para estes indicadores de qualidade, os mesmos podem não causar ou gerar 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 pedaço fixo e solto, no tratamento GP+GM (grade pesada + grade média), apresentaram comportamento não-aleatório causados pela ocorrência de padrões de agrupamento e tendência detectados ao longo do tempo.

Observa-se ainda que não houve diagnóstico do padrão de oscilação e mistura para todas as os indicadores de qualidade da colheita de cana-de-açúcar, independente do sistema de manejo do solo utilizado, podendo indicar que sob a óptica deste resultado, que tais indicadores não sofreram alternância dos valores individuais ao redor da média repetidas vezes, sistematicamente, e não houve uma distribuição binomial, respectivamente, durante a operação.

Segundo Voltarelli (2013) a ocorrência de padrões de não-aleatoriedade decorrente da análise do processo por um período de tempo, tanto em relação ao maquinário utilizado como no aspecto agrônomo durante o plantio mecanizado de cana-de-açúcar, se torna muito difícil de não ocorrer devido ao elevado dinamismo da operação e devido também as interações entre vários fatores como máquina, solo, mão-de-obra, matéria prima, na qual quando se relacionam, as vezes, se tornam difíceis controlar e podem de certa forma diminuir a qualidade da operação. Tal explicação pode ser considerada aceitável para o presente trabalho, pois quando se trata de perdas decorrentes da colheita mecanizada de cana-de-açúcar os níveis de variação são extremamente elevados, sendo esta uma potencial causa para a análise contínua da qualidade no decorrer da operação.

TABELA 1. Valores padrões de probabilidade dos gráficos sequenciais para os indicadores de qualidade (tipo de perdas) avaliados na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em dois manejos do solo.

		<b>Perdas na colheita</b>			
<b>Indicadores de qualidade</b>	<b>Manejo do solo</b>	<b>Padrões de não-aleatoriedade</b>			
		<b>A<sup>*</sup></b>	<b>M</b>	<b>T</b>	<b>O</b>
Rebolo repicado (Mg ha <sup>-1</sup> )	AR+GM	0,12 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>
	GP+GM	0,61 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>
Toco (Mg ha <sup>-1</sup> )	AR+GM	0,06 <sup>ns</sup>	0,95 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>
	GP+GM	0,87 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>ns</sup>
Pedaço solto (Mg ha <sup>-1</sup> )	AR+GM	0,38 <sup>ns</sup>	0,61 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>
	GP+GM	0,39 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>*</sup>	0,95 <sup>ns</sup>
Pedaço fixo (Mg ha <sup>-1</sup> )	AR+GM	0,19 <sup>ns</sup>	0,80 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	0,84 <sup>ns</sup>
	GP+GM	0,04 <sup>*</sup>	0,95 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	0,84 <sup>ns</sup>
Lascas (Pg ha <sup>-1</sup> )	AR+GM	0,80 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>
	GP+GM	0,12 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>

\*A – Agrupamento; M – Mistura; T – Tendência; O – Oscilação; <sup>\*</sup> 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  $p > 0,05$ .

**CONCLUSÕES:** O preparo do solo com AR+GM não apresenta padrões de não aleatoriedade. O preparo do solo com AR+GP apresenta padrões de tendência e agrupamento, para as perdas tipo pedaço solto e fixo, respectivamente.

## REFERÊNCIAS

- Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1997. Manual de métodos e análise de solo. Embrapa, Rio de Janeiro, Brasil. 212 p.
- Mello, R. C. 2005. Influência do formato e velocidade da lâmina nas forças de corte para cana-de-açúcar. *Acta Scientiarum Agronomy* 27: 661-665.
- 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.
- Reis, G. N. Perdas na colheita mecanizada da cana-de-açúcar crua em função do desgaste das facas do corte de base. 2009. 89 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2009.
- Rípoli, T. C. C. 1996. Ensaio e certificação de máquinas para colheita de cana de açúcar. In: Mialhe, L. G. (ed.) Máquinas agrícolas: ensaios & certificação. FEALQ, Piracicaba, Brasil. p. 635-674.
- Silva, R.P., Corrêa, C.F., Cortez, J.W., Furlani, C.E.A. 2008. Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. *Engenharia Agrícola* 28: 292-304.
- Taghijarah, H., Ahmadi, H., Ghahderijani, M., Tavakoli, M. 2011. Shearing characteristics of sugar cane (*Saccharum offi cinarum* L.) stalks as a function of the rate of the applied force. *Australian Journal of Crop Science* 5: 630-634.
- Voltarelli, M. A. Qualidade da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar nos turnos diurno e noturno. 2012. 168 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciência Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.
- Werkema, C. Lean seis sigma: Introdução às ferramentas do Lean Manufacturing. Belo Horizonte: Werkema, 2006. p. 20-120.