

## AVALIAÇÃO DA COLHEITA MECANIZADA DE CAFÉ POR MEIO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS (CEP)

Rodrigo Elias B. Almeida Dias<sup>1</sup>; Fabio Moreira da Silva<sup>2</sup>; João Paulo Barreto Cunha<sup>3</sup>; Rogner Carvalho Avelar<sup>4</sup>;  
Fernando Costa Fernandes<sup>5</sup>; Milena Christy Santos<sup>6</sup>; Vanessa Castro Figueiredo<sup>7</sup>.

<sup>1</sup> Mestrando em Eng. Agrícola, Universidade Federal de Lavras- UFLA, Lavras-MG, rodrigoodias@hotmail.com;

<sup>2</sup> Prof. Associado do Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras – MG, famsilva@deg.ufla.br

<sup>3</sup> Doutorando em Eng. Agrícola, Universidade Federal de Lavras- UFLA, Lavras-MG, bcunha\_2@hotmail.com;

<sup>4</sup> Doutorando em Fitotecnia, Universidade Federal de Lavras- UFLA, Lavras-MG, avelarcafe@yahoo.com.br

<sup>5</sup> Bolsista de Iniciação Científica PIBIC/EPAMIG/FAPEMIG, fernando.cf@bol.com.br

<sup>6</sup> Bolsista de Iniciação Científica BIC/EPAMIG/FAPEMIG, milenachristysantos@hotmail.com

<sup>7</sup> Doutoranda em Eng. Agrícola, Universidade Federal de Lavras- UFLA, Lavras-MG, vcfigueiredo@hotmail.com

**RESUMO:** Comparativamente a outras culturas, a colheita do café é mais difícil de ser executada, em razão do formato da planta, desuniformidade de maturação e do elevado teor de água dos frutos, o que prejudica a mecanização das operações. Dessa forma, o processo de colheita é a etapas final de um processo produtivo, e as perdas devem ser mantidas dentro de padrões aceitáveis. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficiência da colheita mecanizada do café por meio do controle estatístico de processo (CEP). O estudo foi realizado no município de Lavras, onde foram amostrados 10 pontos de um mesmo talhão, selecionados sequencialmente ao início da colheita. Em cada ponto foram avaliadas as variáveis desfolha, eficiência de derriça, eficiência de colheita e perdas de frutos caídos no solo. Com base nos dados obtidos é possível concluir que a utilização das cartas de controle foi eficiente na identificação dos pontos fora de controle e na avaliação da qualidade do processo de colheita. As variáveis avaliadas mostraram-se controladas exceto a desfolha, porém todas apresentaram valores dentro de limites aceitáveis encontrados na literatura. É possível verificar a relação direta entre a eficiência de colheita com a variável perda de café no chão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Carta de controle, colhedora, *Coffee Arabica*, eficiência de colheita.

## EVALUATION OF MECHANIZED COFFEE HARVESTING THROUGH STATISTICAL PROCESS CONTROL (SPC)

**ABSTRACT:** Compared to other crops, the coffee harvest is more difficult to perform, due to the shape of the plant, uneven ripening and high water content of the fruit, which undermines the mechanization of operations. Thus, the harvesting process is the final stages of a production process, and losses should be kept within acceptable standards. The objective of this study was to evaluate aims to evaluate the efficiency of coffee mechanical harvesting through statistical process control (SPC). The study was conducted in Lavras, where we sampled 10 of the same plot points, sequentially selected to start the harvest. At each point variables were evaluated leaf loss, seed dropping efficiencies, harvest efficiency and loss of fallen fruit on the ground. Based on the data obtained it can be concluded that the use of control charts was efficient in identifying points out of control and quality assessment of the harvesting process. The variables evaluated showed up except controlled leaf losses, however all had values within limits you accept in the literature. It is possible to verify the direct relationship between the harvest efficiency with the coffee berry that fell on the ground.

**KEY WORDS:** Control charts, harvest, *Coffee Arabica*, harvest efficiency.

## INTRODUÇÃO

O uso da mecanização agrícola nas diversas operações de campo é uma das grandes ferramentas que impulsionou o aumento da produção mundial onde, segundo Barbosa et al. (2005) o sistema de colheita mecanizada apresenta menor custo operacional e melhor qualidade dos frutos na cultura cafeeira, comparativamente ao sistema de colheita manual. Comparativamente a outras culturas, a colheita do café é mais difícil de ser executada, em razão do formato da planta, desuniformidade de maturação e do elevado teor de água dos frutos, o que prejudica a mecanização das operações. Dessa forma a operação de colheita do café deve ser efetuada o mais rápido possível, o que implicará melhor qualidade do produto e redução de perdas, aumentando os lucros do cafeicultor (SILVA et al. 2003).

Segundo Ortiz-Canavate (1996) a utilização da vibração têm-se revelado eficiente método de colheita de diversos produtos agrícolas, tais como: azeitona, citros e nozes. As máquinas propostas para a colheita do café, independentemente de seu tamanho, utilizam esse método como princípio de derriça, tendo-se revelado um procedimento eficiente durante a operação de colheita.

Uma ferramenta que vem permitindo uma melhor compreensão das operações mecanizadas, principalmente o processo de colheita, é o controle estatístico de processo (CEP) devido aos bons resultados obtidos. De acordo com Toledo et al. (2008), essa ferramenta busca a melhoria do processo pela redução da variabilidade, porém não existe processo ausente de variabilidade, assim a solução é manter o processo dentro de padrões de estabilidade (SILVA et al., 2013). Dentro deste contexto, o presente estudo visa avaliar a eficiência da colheita mecanizada do café por meio do controle estatístico de processo (CEP).

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na fazenda Ouro Verde, em um Latossolo Vermelho Distrófico, localizada no município de Lavras, Sul do Estado de Minas Gerais, nas coordenadas geográficas médias 21°16'57" de latitude Sul e 45°06'16" de longitude oeste de Greenwich. A área experimental possui 1,0 ha cultivado com café (*Coffea arabica* L.) cultivar Catuai 15, sendo a lavoura implantada em 2004 no espaçamento 3,6 metros entre linhas e 0,6 metros entre plantas.

Para a colheita mecanizada do café, foi utilizada a colhedora Jacto modelo "K3", onde os ensaios foram realizados no sentido de deslocamento da máquina, com uma velocidade de deslocamento de 900 m h<sup>-1</sup> e 15,83 Hz de vibração, possibilitando a colheita plena nos frutos de café presentes nas plantas.

No momento do ensaio o índice de maturação dos frutos apresentava em média de 2,4% de verde, 30,4% de cereja e 67,2% de secos na planta. A quantidade de café colhido em cada ponto observado foi medida em volume (L planta<sup>-1</sup>). A eficiência de colheita foi determinada dividindo-se o volume de café colhido em cada passada pela carga pendente do cafeeiro, sendo essa uma porcentagem da carga total. Para a determinação das perdas de colheita e desfolha, o chão sob a copa de cinco plantas de cada ponto observado foi forrado. A desfolha foi quantificada em massa de folhas e ramos (kg planta<sup>-1</sup>), e a quantidade de café caído no chão foi medida em volume (L planta<sup>-1</sup>), sendo considerada perda de colheita (SOUZA, 2011).

Utilizando-se estatística descritiva permitiu-se a visualização geral do comportamento de dados. Dessa forma, foram calculados a média aritmética, a mediana, valor máximo e mínimo, desvio padrão e os coeficientes de variação (C.V), assimetria (cs) e curtose (ck). A averiguação da normalidade dos dados obtidos foi realizada pelo teste Anderson - Darling, sendo utilizadas como métodos estatísticos as cartas de controle para cada variável. Dessa forma, as cartas apresentam como linha central a média geral e a amplitude média, respectivamente, e limites superior e inferior de controle, definidos como LSC e LIC, calculados com base no desvio-padrão das variáveis (para LSC= 3σ e para LIC= - 3σ, quando maior que zero).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 fornece os parâmetros da análise descritiva dos dados obtidos. Os dados indicam que ocorreu alta variabilidade dos valores encontrados para as variáveis desfolha, repasse e perdas, uma vez que a variabilidade de um atributo está diretamente relacionada conforme a magnitude do seu coeficiente de variação (FREDDI et al., 2006). De acordo com os dados as variáveis apresentaram distribuição normal exceto a desfolha que apresentou distribuição assimétrica e coeficientes de curtose e assimetria positivos, o que vem a explicar uma maioria de valores abaixo da média. Outro fato explicado pelo coeficiente de curtose positivo, e que nas variáveis analisadas, o mesmo permite demonstrar que os valores de perdas de café caídos no chão tendem a se concentrar em torno da média.

Tabela 1. Análise estatística descritiva para carga pendente (L planta<sup>-1</sup>), desfolha (Kg planta<sup>-1</sup>), eficiência de derriça (%), repasse (%), perdas (%) e eficiência de colheita (%).

| Variável       | Carga pendente<br>(L planta <sup>-1</sup> ) | Desfolha<br>(Kg planta <sup>-1</sup> ) | % Derriça | % Repasse | % Perda  | % Colheita |
|----------------|---|--|-----------|-----------|----------|------------|
| Máximo         | 4,56  | 0,873                                  | 99,02     | 4,405     | 22,03    | 87,27      |
| Mínimo         | 3,64  | 0,463                                  | 95,59     | 0,979     | 11,01    | 74,06      |
| Média          | 4,08  | 0,585                                  | 97,36     | 2,643     | 15,37    | 81,99      |
| Mediana        | 4,08  | 0,545                                  | 97,55     | 2,45      | 14,68    | 82,5       |
| Desvio padrão  | 0,332                                       | 0,126                                  | 1,153     | 1,153     | 3,3      | 4,03       |
| C.V (%)        | 8,13  | 21,44                                  | 1,18      | 43,6      | 21,45    | 4,91       |
| Ck             | -1,29                                       | 2,41                                   | -1,33     | -1,33     | 0,74     | 0,44       |
| Cs             | 0,22  | 1,66                                   | -0,16     | 0,16      | 0,96     | -0,88      |
| <b>Teste *</b> | <b>N</b>                                    | <b>A</b>                               | <b>N</b>  | <b>N</b>  | <b>N</b> | <b>N</b>   |

Ck: coeficiente de curtose; Cs: coeficiente de assimetria; \*N: distribuição de frequência normal pelo teste de Anderson-Darling (p<0,05); A: distribuição assimétrica.

De acordo com a carta de controle representada pela Figura 1, a variável desfolha apresentou-se fora de controle. Verifica-se que a amplitude observada entre os pontos 2-3 ultrapassou o limite superior de controle, indicando uma possível diferença entre as plantas de um ponto avaliado para outro ou a intensidade de vibração, o que faz com que a

interação planta/colhedora sofra se modifique. Dessa forma o ponto 2 atingiu perdas totais superiores ao LSC, indicando assim que causas especiais interferiram no processo.

É possível verificar que em média ( $0,585 \text{ kg planta}^{-1}$ ) os valores obtidos se encontram dentro de valores aceitáveis. Oliveira et al. (2007) avaliando o efeito da vibração das hastes e a velocidade de deslocamento da colhedora obtiveram valores entre  $0,5$  e  $0,7 \text{ kg planta}^{-1}$ , o que corrobora com os obtidos no presente estudo.

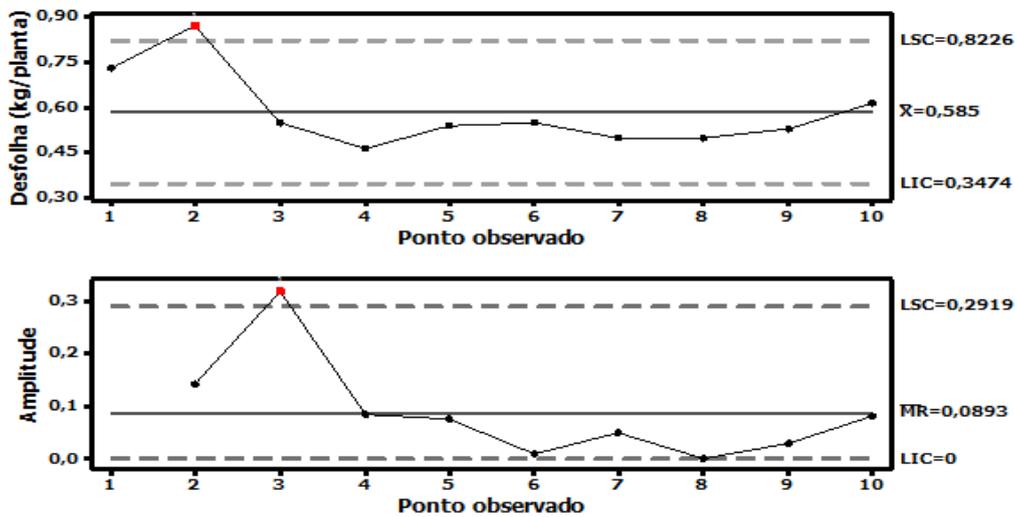


Figura 1. Carta de controle para desfolha (%) e carta de amplitude móvel. LSC: limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. X e R: média.

Com relação às variáveis perda de café no chão e repasse, as mesmas apresentaram-se controladas, conforme a Figura 2. Em média o repasse apresentou valor de 2,65%, enquanto para as perdas valores de 15,3 %. De uma maneira geral os valores de perdas encontrados no presente estudo se mostraram bem próximos aos encontrados por outros autores como Silva et al. (2003) e Oliveira et al. (2007) que citam que os limites aceitáveis de perdas é de até 15%. Outro fato interessante acontece quando comparamos os gráficos de repasse e perdas de café no chão com o de eficiência de colheita, onde verificamos que os pontos que mostraram uma melhor eficiência de colheita foram os que apresentaram os maiores valores para as duas variáveis citadas, o que nos permite dizer que as mesmas estão diretamente relacionadas.

A eficiência de colheita apresentou-se controlada com uma média de aproximadamente 82%. O valor obtido pode ser considerado bastante satisfatório para a realização da colheita plena. Os resultados obtidos mostraram-se superiores aos obtidos por Silva et al. (2009) que obtiveram eficiência média de 75%. A tendência de da eficiência de colheita ser maior com a utilização de maiores vibrações e menores velocidades (OLIVEIRA et al., 2007).

Com relação a eficiência de derriça, a mesma trata-se do somatório do café colhido mais o café caído no chão e dividido pela carga pendente, mostrou-se também influenciada pelos fatores inerentes a regulagem das colhedoras. Por se utilizar uma frequência de vibração maior quando se realiza a colheita plena, a mesma possibilita uma maior derriça dos frutos presentes na planta.

Em média o presente estudo apresentou uma eficiência media de 97,3%, valor bastante satisfatório. Cassia et al. (2013) avaliando a qualidade da colheita mecanizada em sistema de plantio circular, obtiveram uma eficiência de derriça média de 63,3% muito abaixo da obtida pelo presente estudo, podendo ser explicada pela diferença de sistema de plantio.

Por outro lado, Sales (2011) verificando a regulagem do freio dos vibradores em duas épocas distintas obteve valores médios de 87% para a primeira época e 96,7% para a segunda, sendo explicado pela maturação avançada dos frutos em relação a primeira passada, o que corrobora os valores encontrados no presente estudo.

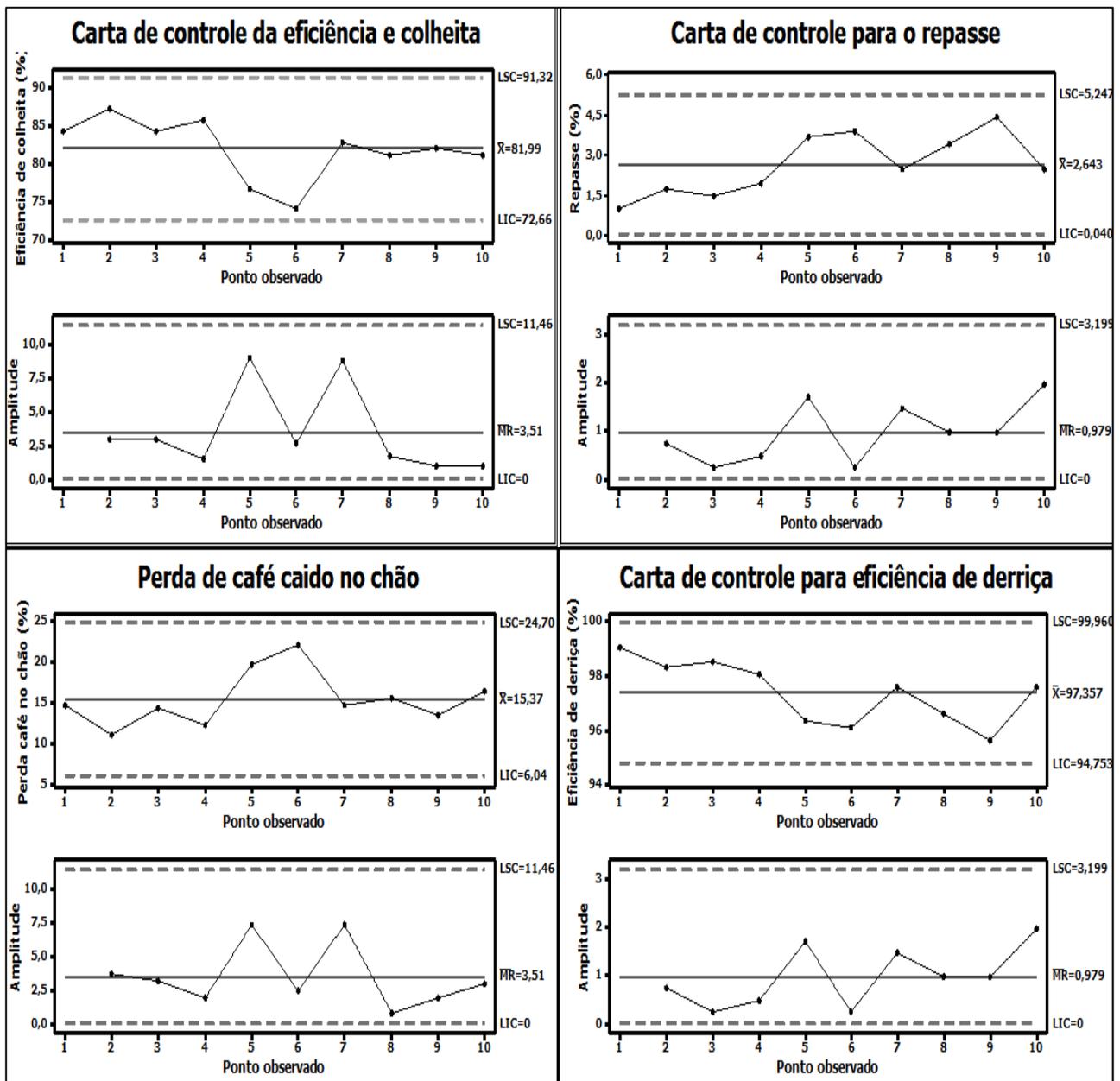


Figura 2. Carta de controle para eficiência de colheita (%), repasse (%), perda de café caído no chão (%) e eficiência de derriça (%) e carta de amplitude móvel. LSC: limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle.  $\bar{X}$  e R: média.

## CONCLUSÕES

1. A utilização das cartas de controle foi eficiente na identificação dos pontos fora de controle e na avaliação da qualidade do processo de colheita mecanizada de café.
2. As variáveis avaliadas mostraram-se controladas exceto a desfolha, porém todas apresentaram valores dentro de limites aceitáveis encontrados na literatura.
3. É possível verificar a relação direta entre a eficiência de colheita com as variáveis perdas de café no chão e repasse.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, J.A.; SALVADOR, N.; SILVA, F. M. Desempenho operacional de derriçadores mecânicos portáteis, em diferentes condições de lavouras cafeeiras. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.9, n.1, p.129-132, 2005.
- CASSIA, M. T. ; SILVA, R. P. DA ; CHIODEROLLI, C. A. ; NORONHA, R. H. F. ; SANTOS, E. P. Quality of mechanized coffee harvesting in circular planting system. *Ciência Rural*, v. 43, p. 28-34, 2013.
- FREDDI, O. S.; CARVALHO, M. P.; VERONESI JÚNIOR, V.; CARVALHO, G. J. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. *Engenharia Agrícola*, v.26, p.113-121, 2006.

- OLIVEIRA, E.; SILVA, F. M.; SALVADOR, N.; FIGUEIREDO, C. A. P. Influência da vibração das hastes e da velocidade de deslocamento da colhedora no processo de colheita mecanizada do café. *Engenharia Agrícola*, v. 27, p. 714-721, 2007.
- ORTIZ-CAÑAVATE, J. Cosecha mecanizada de fruta por el método de vibraciones forzadas. *Revista Ciencias Tecnicas Agropecuarias*, Habana, v.6, n.1, p.76-84, 1996.
- SILVA, F. M. ; SALVADOR, N. ; RODRIGUES, R. F. ; TOURINO, E. de S. Avaliação da colheita do café totalmente mecanizada. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 23, n.2, p. 309-315, 2003.
- SILVA, F. M. ; ARRE, T. J. ; TOURINO, E. S. ; GOMES, T. S. ; ALVES, M. C. ; ALVES, M. C. . Uso do ethrel na colheita mecanizada e seletiva de café arábica (*Coffea arabica* L.). *Coffee Science*, v. 4, p. 178-182, 2009.
- SILVA, R. P.; CASSIA, M. T.; VOLTARELLI, M. A.; COMPAGNON, A. M.; FURLANI, C. E. A. Qualidade da colheita mecanizada de feijão (*Phaseolus vulgaris*) em dois sistemas de preparo do solo. *Ciência Agronômica*, v.44, p. 61-69, 2013.
- SALES, R. S. *Avaliação da regulagem do freio dos vibradores de colhedoras na eficiência de derriça do café*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Lavras- UFLA, 52 p., 2011.
- TOLEDO, A.; TABILE, R. A.; SILVA, R. P.; FURLANI, C. E. A.; MAGALHÃES, S. C.; COSTA, B. O. Caracterização das perdas e distribuição de cobertura vegetal em colheita mecanizada de soja. *Engenharia Agrícola*, v. 28, p. 710-719, 2008.