

# AVALIAÇÃO DO EFEITO DA FREQUÊNCIA E AMPLITUDE DE VIBRAÇÃO SOBRE A EFICIÊNCIA DE DERRIÇA DOS FRUTOS DO CAFEIEIRO

Fábio Lúcio dos SANTOS<sup>1</sup>, E-mail: ffabiolss@yahoo.com.br; Daniel M. QUEIROZ<sup>2</sup>; Francisco A. C. PINTO<sup>2</sup>; Nerilson T. SANTOS<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Professor da Universidade Estadual de Maringá e estudante de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFV; <sup>2</sup>Professores do Depto. de Engenharia Agrícola da UFV; <sup>3</sup>Professor do Depto. de Informática da UFV.

## Resumo:

A colheita é uma das operações mais importantes nos sistemas de produção de café devido ao seu elevado custo e ao impacto que tem na qualidade do produto final. Para reduzir os custos de produção, tem-se buscado formas de mecanizar essa operação. As máquinas de colheita de café geralmente derrçam os frutos por meio de vibração mecânica e impacto. Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de se estudar o efeito da amplitude e frequência de vibração sobre a eficiência de derriça dos frutos de café. Para isso, ensaios usando uma máquina vibradora eletromagnética foram realizados em laboratório. Foram testadas amplitudes na faixa de 7,50 a 15,00 mm e frequências na faixa de 13,33 a 26,67 Hz. Os testes foram conduzidos utilizando-se ramos das variedades Catuaí Vermelho e Mundo Novo. A partir da análise dos resultados verificou-se que a eficiência de derriça dos frutos está diretamente relacionada à aceleração imposta aos frutos durante o procedimento de derriça. As frequências entre 23,33 e 26,67Hz e amplitudes variando entre 12,5 e 15,00 mm proporcionaram uma maior eficiência de derriça dos frutos cereja para ambas as variedades estudadas. A eficiência de derriça por vibração na variedade Mundo Novo foi superior à da variedade Catuaí Vermelho para os intervalos de frequência e amplitudes avaliados.

**Palavras-chave:** café; colheita; eficiência de derriça; estágio de maturação

## *COFFEE HARVEST EFFICIENCY AS A FUNCTION OF THE FREQUENCY AND AMPLITUDE OF VIBRATION*

### Abstract:

Harvesting is one of the most important operations in coffee production systems. This operation has a high cost and has impact on the final quality of the product. To reduce production cost the producers are looking for ways to mechanize this operation. The harvesting machines generally detach the fruits from the coffee plant by using vibration and/or impact. The objective of this work was to study the effect of the amplitude and frequency of vibration in the efficiency of coffee fruit harvesting. Vibration tests of coffee branches were performed in laboratory by using an electromagnetic shaker. The tests were done using amplitudes in the range of 7.50 to 15.00 mm and frequencies in the range of 13.33 to 26.67 Hz. Coffee branches of two varieties were used, the Catuaí and Mundo Novo varieties. It was verified that the harvesting efficiency is directly related to the acceleration reached by the fruits during the harvesting process. The use of frequencies of 23.33 and 26.67 Hz and amplitudes of 12.50 and 15.00 resulted in the highest harvesting efficiency of ripen coffee cherries for both varieties. However, the efficiency of harvesting for Mundo Novo variety was higher than for Catuaí variety in the frequency and amplitude ranges used in this work.

**Key words:** coffee; harvesting; harvesting efficiency; ripeness stage.

## Introdução

A operação mais onerosa relacionada à produção do café é a colheita, devido ao fato de a mesma exigir um grande contingente de mão-de-obra e por estar relacionada ao índice de qualidade elevado exigido para a comercialização do produto (CORTEZ, 2001; FILGUEIRAS, 2001).

A colheita mecânica de frutos tem despertado o interesse de engenheiros e de pesquisadores durante anos. Muitos fatores influenciam o sucesso de tal processo de mecanização, destacando-se a grande variabilidade existente entre as culturas, a qual pode ser representada pela estrutura, forma e tamanho das árvores relativas a cada cultura (SRIVASTAVA *et al.*, 1996). Segundo SOUZA (2004), a dificuldade encontrada na colheita dos frutos do cafeeiro, deve-se ao fato da arquitetura da planta, desuniformidade de maturação e o elevado teor de umidade.

A colheita mecanizada de frutos de café tem sido realizada de forma eficiente por meio de vibrações mecânicas. Assim, o conhecimento do comportamento dinâmico desses sistemas é fundamental para o sucesso de tal procedimento. Dentre as principais características dinâmicas destacam-se a frequência e a amplitude de vibração a que os frutos de café são submetidos.

SOUZA (2004) realizou um estudo relativo ao efeito das frequências de excitação e amplitudes de vibração considerando diferentes comprimentos de ramos do cafeeiro e estádios de maturação. Os resultados mostraram a importância do estudo e compreensão destes parâmetros para o procedimento de derriça dos frutos do cafeeiro.

Portanto, para a otimização de projetos de máquinas destinadas à colheita do café, é necessário o conhecimento prévio de detalhes relativos às propriedades mecânicas, geométricas e dinâmicas dos frutos e da árvore (CIRO, 2001).

Desta forma, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estudar o efeito da frequência e amplitude de excitação sobre a eficiência de derriça dos frutos cereja de café para as variedades Catuaí Vermelho e Mundo Novo.

## Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Projetos de Máquinas e Visão Artificial (PROVISAGRO) do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. Os ramos de café empregados nos testes de derriça foram obtidos em uma área experimental, localizada no campus da Universidade Federal de Viçosa.

Para a realização dos ensaios de vibração foi utilizada uma instrumentação produzida pela LDS (*Ling Dynamic Systems*), a qual possibilitou estudar o procedimento de derriça dos frutos do cafeeiro. O sistema foi composto por um gerador de sinais COMET<sub>USB</sub> da marca Dactron, um amplificador PA100E-CE e uma máquina vibradora modelo V – 406 fabricado pela LDS. A máquina vibradora possui uma faixa dinâmica de trabalho de 5 Hz a 9 kHz, com carga máxima de 198 N. O deslocamento máximo da base móvel é de 17,6 mm (pico-a-pico), com aceleração máxima de 100 vezes a aceleração da gravidade. Outra importante característica do sistema, é que a máquina vibradora foi montada em um berço metálico, o que possibilitou a realização de ensaios de vibrações nos sentidos longitudinal e transversal aos ramos plagiotrópicos.

Foram realizados ensaios visando determinar a eficiência de derriça, a partir da avaliação de fatores como: frequência, amplitude, direção de excitação e comprimento dos ramos para as variedades Catuaí Vermelho e Mundo Novo. Sendo o tempo de exposição à vibração dos diferentes comprimentos de ramo igual a 15 s. A Tabela 1 especifica os níveis dos fatores avaliados, durante os ensaios laboratoriais.

Tabela 1 – Níveis a serem avaliados nos testes de vibração para determinação da eficiência de derriça

freqüência (ciclos por minuto)	800; 1000; 1200; 1400; 1600
amplitude (mm)	7,5; 10,0; 12,5; 15
direção da excitação	longitudinal ; transversal
comprimento do ramo (cm)	5; 10; 15

Os ramos foram coletados aleatoriamente, tanto para a variedade Catuaí Vermelho quanto para variedade Mundo Novo, e foram cortados nos diferentes comprimentos propostos (Tabela 1). Sendo contado o número de frutos cerejas presentes nos ramos antes e depois de cada ensaio. A eficiência de derriça foi determinada dividindo-se o número de frutos derriçados pelo número total de frutos nos ramos antes da derriça.

Instalou-se um experimento segundo o delineamento inteiramente casualizado com três repetições no esquema fatorial, no qual foram avaliados os efeitos de cinco frequências, quatro amplitudes, duas direções de excitação e três comprimentos de ramos para cada variedade sob a eficiência de derriça, conforme apresentado na Tabela 1.

## Resultados e Discussão

Analisando-se os resultados da análise de variância para a eficiência de derriça, verificou-se que para a variedade Catuaí Vermelho, somente a interação entre os fatores frequência e amplitude foram significativos ao nível de 5%. Para a variedade Mundo Novo foram observadas diferenças significativas entre as interações referentes aos fatores frequência e amplitude e entre os fatores comprimento e direção, conforme apresentado na Tabela 2.

Como a interação entre frequência e amplitude foi significativa, para cada variedade estudada, realizou-se um estudo desses fatores por meio de análises de regressão conforme metodologia de superfície de resposta. Nas Tabelas 2 e 3 são apresentados os resultados para a análise de variância relativas às análises de regressão para as variedades Catuaí Vermelho e Mundo Novo.

Tabela 2 – Resultado da ANOVA para eficiência de derriça de frutos para a variedade Catuaí considerando frequência e amplitude

Fontes de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio
Regressão	3	47894,16 <sup>**</sup>
falta de ajustamento	16	503,78 <sup>ns</sup>
freqüência, amplitude, freqüência x amplitude	19	1698,49
Erro	240	393,24
Total	359	

\*\* - significativo ao nível de 5% de probabilidade.

ns - não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 3 – Resultado da ANOVA para eficiência de derriça de frutos cerejas para a variedade Mundo Novo considerando frequência e amplitude

Fontes de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio
Regressão	3	80285,34 <sup>**</sup>
falta de ajustamento	16	533,69 <sup>ns</sup>
frequência, amplitude, frequência x amplitude	19	2544,24
Erro	240	311,40
Total	359	

\*\* - significativo ao nível de 5% de probabilidade.

ns – não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

As equações (1) e (2) representam o modelo selecionado por meio das análises de regressão para as variedades Catuaí Vermelho e Mundo Novo, respectivamente. Conforme pode ser observado nas Tabelas 2 e 3, a falta de ajustamento para os modelos avaliados foi não-significativa, sendo que estes foram escolhidos com base no coeficiente de determinação.

$$E_d = 39,422 - 3,031 \cdot F - 7,630 \cdot A + 0,563 \cdot F \cdot A \quad (R^2 = 0,71) \quad (1)$$

$$E_d = 57,535 - 4,673 \cdot F - 9,834 \cdot A + 0,762 \cdot F \cdot A \quad (R^2 = 0,80) \quad (2)$$

em que,

$E_d$  = eficiência de derriça, %;

$A$  = amplitude, mm;

$F$  = frequência, cpm.

Os modelos escolhidos relacionam a eficiência de derriça dos frutos à amplitude e a frequência de excitação. Tais fatores estão associados à aceleração atingida por um sistema submetido à oscilação linear harmônica, uma vez que, em movimentos harmônicos lineares, a aceleração RMS é proporcional ao produto da amplitude pelo quadrado da frequência de vibração.

Nas Figuras 1 e 2 são apresentadas as superfícies de resposta relacionando eficiência de derriça à frequência e amplitude de excitação dos frutos de café, para as variedades Catuaí Vermelho e Mundo Novo.

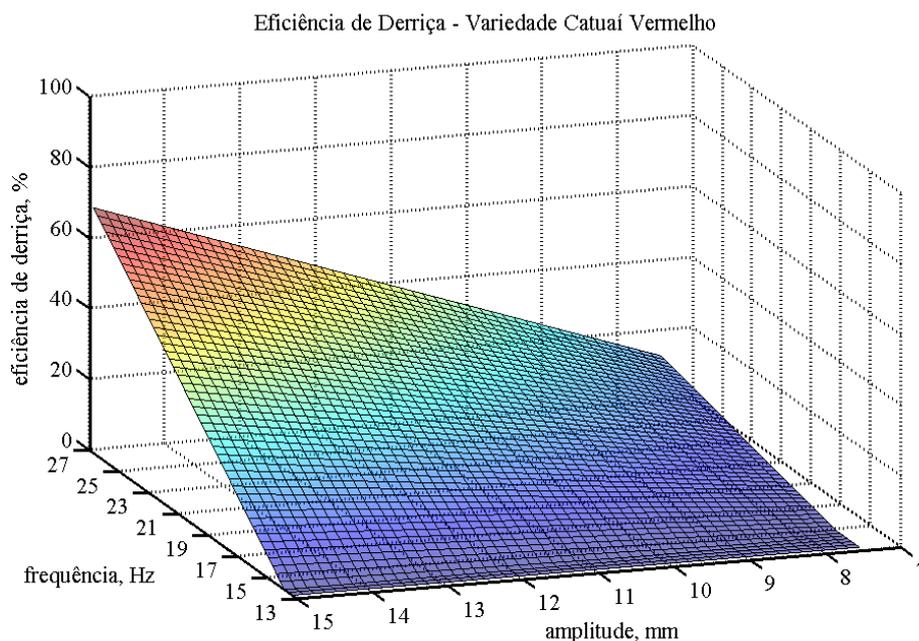


Figura 1 – Superfície de resposta para variedade Catuaí Vermelho

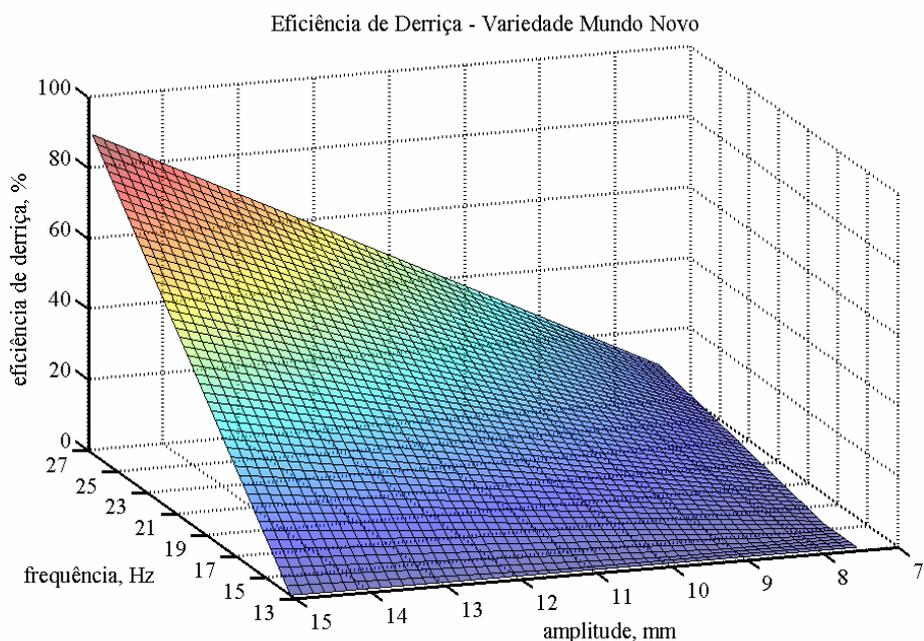


Figura 2 – Superfície de resposta para variedade Mundo Novo

Pode-se observar, para ambas variedades, que os melhores resultados de derrça foram obtidos para freqüência entre 23,33 e 26,67 Hz e para amplitudes variando entre 12,5 e 15,0 mm.

Nas figuras 3 e 4 são apresentados os cortes nas superfícies de resposta, os quais evidenciam a influência da freqüência e da amplitude de excitação na eficiência de derrça. Desta forma, verificou-se que a eficiência de derrça aumentou quando valores de freqüência e amplitude mais elevados foram empregados, o que pode ser atribuído ao aumento de energia utilizada no processo de derrça quando esses fatores são aumentados.

Entretanto, foi observado que a eficiência de derrça obtida foi maior nos testes realizados com a variedade Mundo Novo, o que pode ser atribuído à distribuição menos compacta e adensada dos frutos nos ramos plagiotrópicos desta variedade em relação à variedade Catuaí Vermelho.

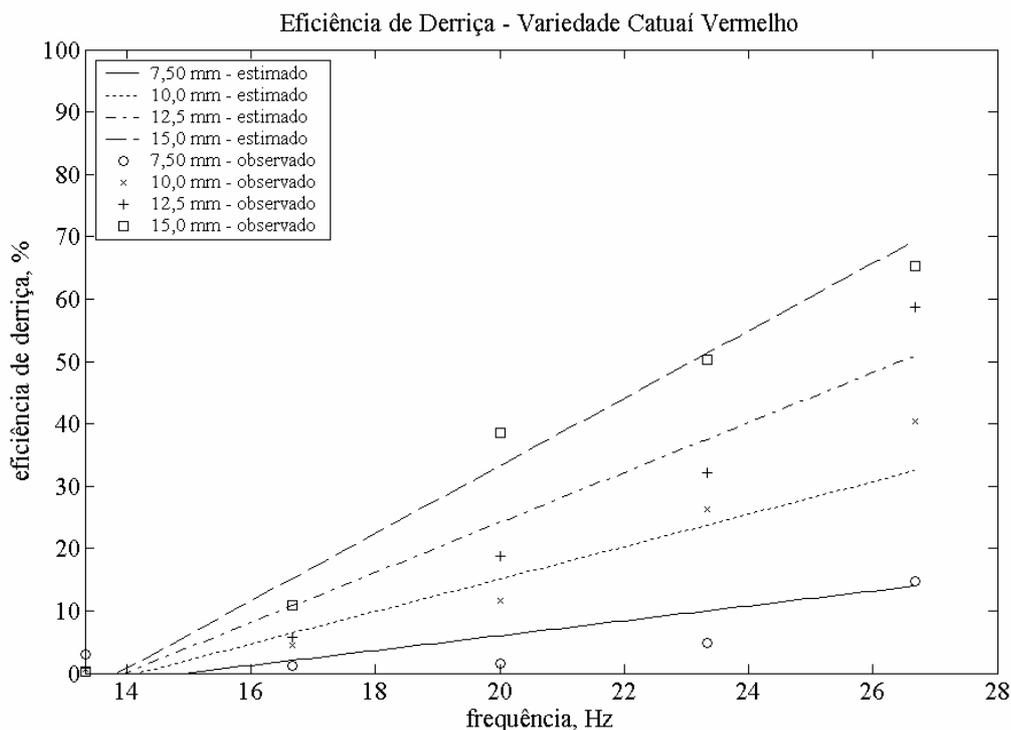


Figura 3 – Eficiência de derrça para a variedade Catuaí Vermelho

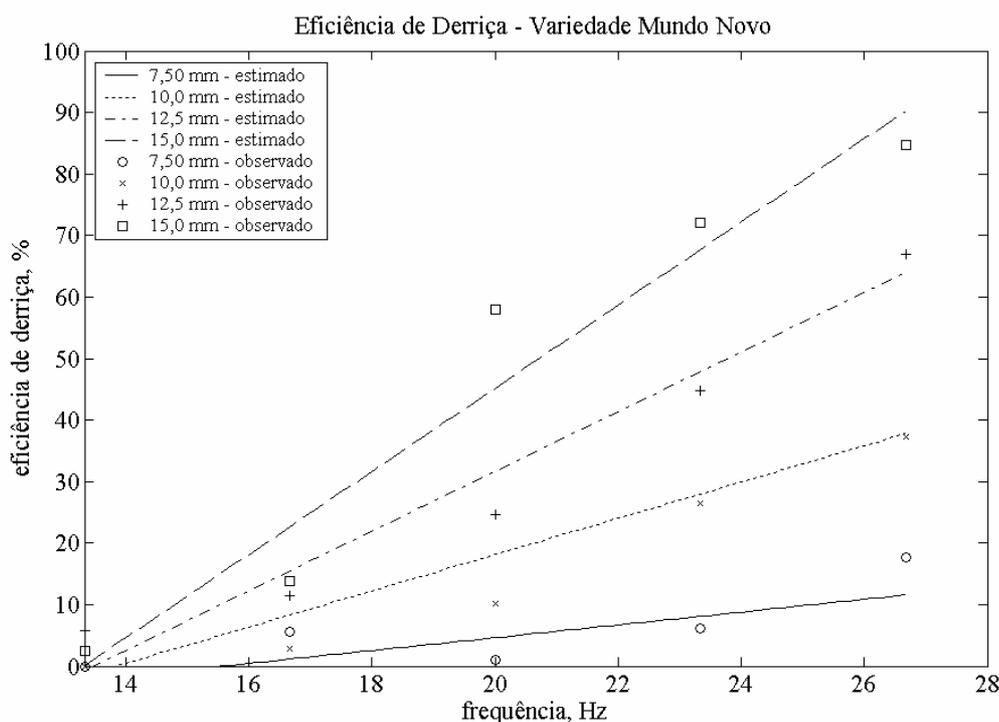


Figura 4 – Eficiência de derrça para a variedade Mundo Novo

### Conclusões

A eficiência de derrça está diretamente relacionada aos fatores frequência e amplitude de excitação, uma vez que a aceleração imposta aos frutos durante o procedimento de derrça relaciona a amplitude e o quadrado da frequência de excitação.

As frequências entre 23,33 e 26,67 Hz e amplitudes variando entre 12,5 e 15,0 mm proporcionaram uma maior eficiência de derrça dos frutos cereja para ambas as variedades estudadas.

A eficiência de derrça na variedade Mundo Novo, por meio vibrações mecânicas, foi superior à da variedade Catuaí Vermelho para os intervalos de frequência e amplitudes avaliados.

### Agradecimentos

Os autores do trabalho agradecem à FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – e ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café pelo apoio financeiro concedido para realização dessa pesquisa.

### Referências Bibliográficas

CIRO, H. J. Coffee harvesting I: Determination of the natural frequencies of the fruit stem system in coffee tress. *Applied Engineering in Agriculture*, St. Joseph, v.17, n.4, p.475-479, 2001.

CORTEZ, J. G. *Efeito de espécies e cultivares e do processamento agrícola e industrial nas características da bebida no café*. Piracicaba, SP: ESALQ. 2001. 71p. Tese de doutorado.

FILGUEIRAS, W. H. *Modelagem da planta de café por elementos finitos para estudos de colheita por vibração*. Viçosa, MG: UFV. 2001. 81p. Dissertação de Mestrado.

SOUZA, C. M. A. *Desenvolvimento e modelagem de sistemas de derrça e de abanação de frutos do cafeeiro*. Viçosa, MG: UFV. 2004. 123p. Tese de Doutorado.

SRIVASTAVA, A. K.; GOERING, C. E.; ROHRBACH, R. P. *Engineering principles of agricultural machines*. Michigan: ASAE. 1996. 601p.