

# MODELAGEM DA PLANTA DE CAFÉ POR ELEMENTOS FINITOS PARA ESTUDOS DE COLHEITA POR VIBRAÇÃO

**FILGUEIRAS**, William Heringer, UNIVALE, e-mail: [williamhf@univale.br](mailto:williamhf@univale.br);

**QUEIROZ**, Daniel Marçal de, UFV, e-mail: [queiroz@mail.ufv.br](mailto:queiroz@mail.ufv.br);

**DIAS**, Gutemberg Pereira, UFV, e-mail: [gpdias@mail.ufv.br](mailto:gpdias@mail.ufv.br);

**DELLA LUCIA**, Ricardo Marius, UFV

**RESUMO:** Com o objetivo de fornecer dados para o desenvolvimento de sistemas de colheita mecânica, esse trabalho consistiu na determinação das características geométricas da planta de café, as quais, juntamente com as propriedades mecânicas da planta, foram utilizadas para simulação do comportamento dinâmico do cafeeiro. O modelo foi desenvolvido utilizando o programa computacional de elementos finitos ANSYS, versão 5.4. As frequências naturais da planta de café variaram de 0,80 a 222,07 Hz, do primeiro ao vigésimo quinto modo de vibração, respectivamente. Desenvolveu-se também um modelo para estudar a frequência natural de um galho com e sem frutos. Observou-se que as frequências naturais para o galho sem frutos é maior do que para o galho com 100% dos frutos. Esse aumento variou de três vezes maior para o primeiro modo de vibração até duas vezes maior para o décimo segundo modo de vibração. Analisando-se os modos de vibração para o galho com 100% dos frutos e para o galho sem frutos, pode-se verificar que a forma pela qual os galhos irão vibrar nas três primeiras frequências naturais é a mesma. Desenvolveu-se também um modelo para estudar o comportamento do sistema talo-fruto. O modelo desenvolvido usando o programa ANSYS para o sistema talo-fruto de café apresentou resultado próximo da solução analítica.

**ABSTRACT:** In order to provide data for the development of mechanical systems of harvesting, this work consisted on the determination of geometric features of the coffee plant. These features, together with mechanical properties of the plant, were used in the simulation of the dynamic behavior of the coffee plant. The model was developed with the aid of the finite element software ANSYS, version 5.4. Natural frequencies of the coffee plant varied from 0.80 Hz to 222.07 Hz, from the first to the twenty-fifth vibration mode, respectively. A model was also developed in order to study the natural frequencies of branches with and without fruits. The latter presented higher natural frequencies when compared to branches with 100% of fruits. This increase varied from three times higher for the first vibration mode to twice as high for the twelfth vibration mode. Analysis of different vibration modes for branches with 100% of fruits and for branches without fruits, demonstrated that the way in which branches will vibrate in the first three natural frequencies are equal. A model for the study of the behavior of the stem-fruit system was also developed. The model developed with the aid of the ANSYS program for the coffee stem-fruit system showed results in agreement with the analytical solution.

**PALAVRAS-CHAVE:** Café – Elementos Finitos – Colheita – Vibração

## INTRODUÇÃO

Embora as máquinas colhedoras de café tenham aparecido somente na década de 80, desde o final da década de 60 e início da década de 70 a colheita mecanizada de produtos por meio de vibração vem sendo estudada por parte dos pesquisadores.

PARCHOMCHUK e COOKE (1971) informam que uma opinião predominante tem sido a de que o desprendimento do fruto ocorre quando as forças inerciais, devido ao movimento do fruto, tornam-se maiores do que a estática (força de tração necessária para causar a remoção).

A análise por elementos finitos (LOGAN, 1992; KNIGHT, 1993) é uma técnica computacional utilizada para análise de tensões e vibrações e para problemas envolvendo transferência de calor, mecânica dos fluidos e outras aplicações.

## MATERIAL E MÉTODOS

A determinação das frequências naturais e dos modos de vibração, no programa ANSYS, é feita com base na solução da equação:  $[M].\{\ddot{u}\} + [K].\{u\} = \{0\}$  em que  $[M]$  é a matriz de massa da estrutura;  $\{\ddot{u}\}$  é o vetor de aceleração dos nós;  $[K]$  é a matriz de rigidez da estrutura; e  $\{u\}$  é o vetor de deslocamento dos nós.

As características geométricas da planta de café foram determinadas tomando-se as seguintes dimensões: diâmetro do tronco; diâmetro inicial e final dos galhos e posição em que se iniciam no tronco; comprimento

dos galhos; ângulo de inclinação dos galhos em relação ao tronco; ângulo medido no plano XZ, determinado tomando-se a projeção do primeiro galho como eixo X; e altura total do cafeeiro.

Desenvolveu-se um programa computacional utilizando a Linguagem Visual Basic, versão 5.0, para leitura das características geométricas do cafeeiro e geração de um arquivo em linguagem APDL (ANSYS Parametric Design Language). Este arquivo serviu de entrada para o programa de elementos finitos ANSYS, versão 5.4.

O modelo foi desenvolvido utilizando-se os elementos PIPE16, para a estrutura da planta de café, e MASS21, para representar as massas de frutos, folhas e subgalhos.

A determinação das frequências naturais e dos modos de vibração dos galhos do cafeeiro foi feita de duas formas, uma para galhos sem frutos e outra para galhos com frutos. Para modelar galhos sem frutos, construiu-se um modelo tridimensional, utilizando-se um elemento sólido na forma de um paralelepípedo de oito nós, denominado SOLID45. Para galhos com frutos, foi utilizada uma malha com elemento unidimensional do tipo PIPE16; os frutos foram adicionados na forma de elementos-massas adicionados aos nós da estrutura.

O sistema talo-fruto foi modelado utilizando-se elementos sólidos na forma de paralelepípedos de 20 nós. O fruto de café foi modelado utilizando-se a forma de um elipsóide, com o talo apresentando forma cilíndrica. Os dados relativos às propriedades mecânicas do sistema talo-fruto foram obtidos a partir de YUNG e FRIDLEY (1974).

Devido à impossibilidade de obtenção de dados experimentais para validação dos modelos desenvolvidos utilizando-se elementos finitos, foram comparadas as frequências naturais obtidas através do modelo de elementos finitos utilizando o programa ANSYS e as obtidas por meio de solução analítica apresentada por JAMES et al. (1989).

Após realizado o trabalho de verificação, utilizou-se o modelo da planta de café e determinou-se a frequência natural e os modos de vibração do cafeeiro. Em seguida, foi feita uma análise de sensibilidade do modelo.

As frequências naturais e os modos de vibração de um galho engastado no tronco foram determinados, para a situação do galho com a massa total de frutos e para o mesmo galho sem fruto.

Determinaram-se as três primeiras frequências naturais e os modos de vibração do sistema pedúnculo-fruto usando-se o modelo desenvolvido utilizando-se o programa computacional ANSYS.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram desenvolvidos três modelos para a determinação das frequências naturais e dos modos de vibração da planta de café. O primeiro para a planta toda, o segundo para analisar o comportamento dos galhos e o terceiro consistiu do sistema pedúnculo-fruto.

A comparação entre as frequências naturais dos galhos de café obtidas utilizando-se o modelo desenvolvido pelo programa computacional ANSYS e a solução analítica apresentada por JAMES et al. (1989) mostrou que o programa ANSYS determinou com precisão as frequências naturais dos galhos de café.

A Figura 1 ilustra o primeiro e o vigésimo quinto modos de vibração da árvore inteira. A maior frequência natural associada ao 25º modo de vibração é devida à forma com que a planta vibra.

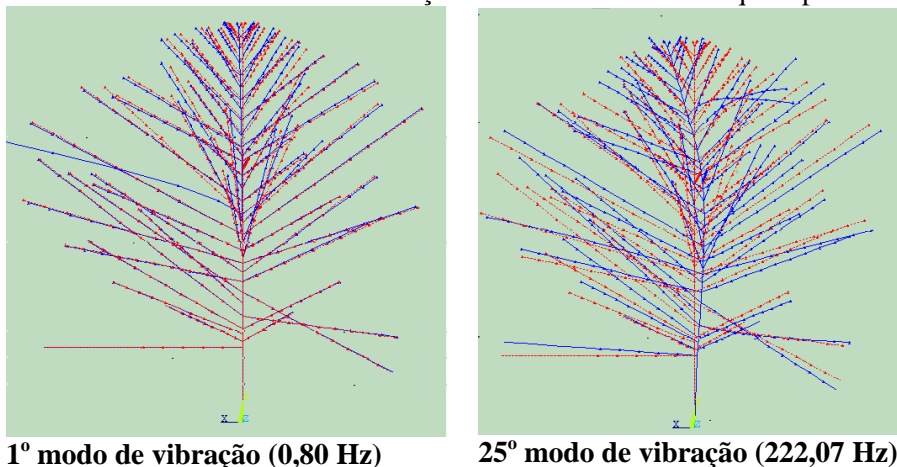


Figura 1 - Esquema mostrando o primeiro e o vigésimo quinto modos de vibração do cafeeiro.

Na Figura 2 é apresentado o terceiro modo de vibração para o galho com 100% dos frutos e para o galho sem frutos. Analisando esta figura, pode-se verificar que a forma pela qual o galho irá vibrar na terceira frequência natural é a mesma. A mesma semelhança é observada para o primeiro e segundo modos de vibração.

Os resultados das frequências naturais obtidas para o sistema pedúnculo-fruto para o café cereja foram de 2,68 Hz, 24,65 Hz e 41,62 Hz para os primeiro, segundo e terceiro modos de vibração, respectivamente. Para o café verdolengo esses valores foram de 4,16 Hz, 40,45 Hz e 60,61 Hz.

Na Figura 3 é apresentado um esquema do primeiro e terceiro modos de vibração do sistema talo fruto: o primeiro representa a flexão de todo o sistema em relação ao ponto de conexão com o galho, e o terceiro modo de vibração está associado ao movimento do fruto em relação ao pedúnculo.

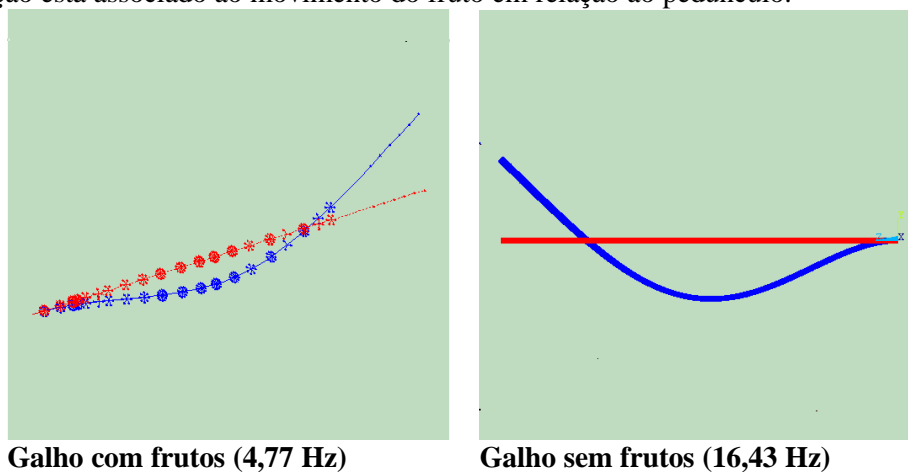


Figura 2 - Terceiro modo de vibração para o galho com 100% dos frutos e o galho sem frutos.

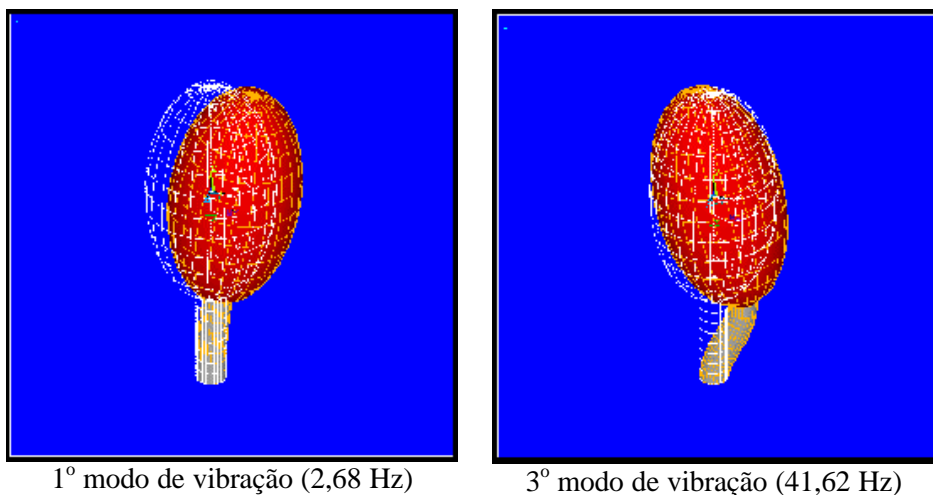


Figura 3 - Esquema mostrando o primeiro e o terceiro modos de vibração do sistema talo-fruto.

## CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos utilizando o programa computacional de elementos finitos ANSYS, versão 5.4, pode-se concluir que:

As frequências naturais para o galho sem frutos é maior que para o galho com 100% dos frutos. Esse aumento variou de três vezes maior para o primeiro modo de vibração até duas vezes maior para o décimo segundo modo de vibração.

Os modos de vibração para o galho com 100% dos frutos e para o galho sem frutos, são os mesmos nas três primeiras frequências naturais.

O modelo desenvolvido usando o programa ANSYS, para o sistema pedúnculo-fruto de café, apresentou resultados próximos aos da solução analítica.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- JAMES, M. L., SMITH, J. C., WOLFORD, J. C., WHALEY, P. W. **Vibration of mechanical and structural systems**. New York, EUA: Harper & Row Publishers. 1989.
- KNIGHT, C. E. **The finite element method in mechanical design**. Boston, EUA: PWS-KENT Publishing Company. 1993.
- LOGAN, D. L. **A first course in the finite element method**. Boston, EUA: PWS-KENT Publishing Company. 1992.
- PARCHOMCHUK, P., COOKE, J. R. **Vibratory fruit harvesting: an experimental analysis of fruit-stem dynamics**. St. Joseph: ASAE. 1971. (Paper n. 71-650).
- YUNG, C., FRIDLEY, R. B. **Computer analysis of fruit detachment during tree shaking**. St. Joseph: ASAE. 1974 (Paper n. 74-3009).

## **AVISO**

ESTA PUBLICAÇÃO PODE SER ADQUIRIDA NOS  
SEGUINTE ENDEREÇOS:

### **FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES**

Edifício Sede, s/nº. - Campus Universitário da UFV  
Viçosa - MG  
Cep: 36571-000  
Tels: (31) 3891-3204 / 3899-2485  
Fax : (31) 3891-3911

### **EMBRAPA CAFÉ**

Parque Estação Biológica - PqEB - Av. W3 Norte (Final)  
Edifício Sede da Embrapa - sala 321  
Brasília - DF  
Cep: 70770-901  
Tel: (61) 448-4378  
Fax: (61) 448-4425