

## INTERAÇÃO ENTRE A HASTE DE UMA COLHEDORA E UM RAMO CAFEEIRO UTILIZANDO MODELAGEM COMPUTACIONAL

VICTOR HUGO SILVA SOUZA<sup>1</sup>, RICARDO RODRIGUES MAGALHÃES<sup>2</sup>, ANDRÉ LUIS GONÇALVES COSTA<sup>3</sup>, ALEXANDRE A. R. SANTOS<sup>4</sup>, FÁBIO LÚCIO SANTOS<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Engo Agrônomo, UFLA, 3538295234, victorhssouza@hotmail.com

<sup>2</sup> Doutor, UFLA, Depto de Engenharia, 3538295234, ricardorm@deg.ufla.br

<sup>3</sup> Engo Metalurgista, UFLA, Depto de Engenharia, UFLA, (35) 999491309, algcosta@gmail.com

<sup>4</sup> Engenheiro Mecânico, UFV, 3538295234, alexrezendeufv@gmail.com

<sup>5</sup> Doutor, UFLA, Depto de Engenharia, 3538295234, fabio.santos@deg.ufla.br

Apresentado no

XLVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2018

06, 07 e 08 de agosto de 2018 - Brasília - DF, Brasil

**RESUMO:** No passado, a validação da solução de problemas na indústria agrícola era obtida, quase que em sua totalidade, por meio de testes experimentais. Atualmente, programas comerciais de simulação numérica vêm contribuindo, de maneira significativa, na redução destes testes e, conseqüentemente, reduzindo tempo e custos no desenvolvimento de novos produtos agrícolas. O uso do método dos elementos finitos em mecanização agrícola, o aprimoramento dos modelos existentes, juntamente com a evolução constante dos computadores podem contribuir com a redução do tempo gasto em simulações numéricas, o que é de grande interesse tecnológico e científico. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar a interação entre a haste de uma colhedora e o ramo cafeeiro utilizando testes experimentais e simulações numéricas. Com base no modelo computacional de um ramo plagiótropico do café e de uma haste da colhedora, procedeu-se as simulações dinâmicas em softwares comerciais. Adicionalmente foram realizados testes experimentais a fim de validar os dados das simulações. Como resultados deste trabalho, obtiveram-se deslocamentos, acelerações e tensões de von Mises no ramo em função da vibração da haste, os quais foram coerentes com dados da literatura, o que demonstra a potencialidade do método dos elementos finitos para este tipo de aplicação.

**PALAVRAS-CHAVE:** mecanização; colheita de café; simulações numéricas

## INTERACTION BETWEEN A HARVESTER ROD AND A COFFEE BRANCH USING COMPUTATIONAL MODELING

**ABSTRACT:** In the past, issues validation in agricultural industry was achieved only by experimental tests. Nowadays, numerical simulations through commercial software have contributed significantly to the reduction of tests. **Consequently, it can reduce time and costs** in agricultural products development. The use of finite element method in agricultural mechanization, the improvement of existing models, together with the constant evolution of computers can contribute for the reduction of the time spent in numerical simulations, which is of great technological and scientific interest. In this context, this work is aimed to evaluate the interaction between a rod harvester and a coffee branch through experimental tests and numerical simulations. **Based on a computational model from a plagiotropic** coffee branch and a rod harvester, dynamic simulations were performed in commercial software. In addition, experimental tests were performed in order to validate simulation results. Displacements, accelerations and von Mises stresses in the coffee branch were obtained as result of vibrations from the rod. Results were coherent with literature data, which demonstrates the potentiality of the finite element method for this kind of application

**KEYWORDS:** *mechanization; coffee harvesting; numerical simulations*

## INTRODUÇÃO:

A cafeicultura é uma atividade de extrema importância para o cenário socioeconômico brasileiro e mundial. O Brasil é o maior produtor mundial, com produção estimada em 43,65 milhões de sacas segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2017). Com a evolução da informática e da capacidade de processamento, a análise numérica tornou-se comum até mesmo na cafeicultura (Magalhães *et al.*, 2006; Tinoco *et al.*, 2014). A utilização de programas em novas aplicações, o aprimoramento dos modelos existentes, juntamente com a evolução constante dos computadores podem contribuir para a redução do tempo gasto em simulações numéricas no meio agrícola, o que é de grande interesse tecnológico e científico. O propósito deste trabalho visa à interação entre a haste de uma colhedora e o ramo cafeeiro, utilizando modelagem computacional, via Método dos Elementos Finitos (Zienkiewicz *et al.*, 2005) para a avaliação do comportamento mecânico de ambos.

## MATERIAL E MÉTODOS:

O *software* utilizado para a modelagem do ramo cafeeiro e da haste da colhedora foi o Solidworks®. Para a modelagem do ramo cafeeiro, foi realizado uma adaptação do modelo utilizado em Carvalho *et al.* (2016), reduzindo a geometria completa para somente um ramo plagiotrópico. Isso foi necessária para simplificar o modelo, com o objetivo de analisar localmente a dinâmica da interação da haste do sistema de colheita com o ramo cafeeiro durante o processo de colheita por vibração, e, também para diminuir o custo computacional utilizado nas simulações. Para a modelagem da haste da colhedora, foi utilizada uma geometria de 570 mm de comprimento e 13 mm de diâmetro. Após a modelagem e aperfeiçoamento das geometrias, foi realizado o posicionamento dos dois modelos (haste e ramo) para fins de avaliação da interação entre as partes envolvidas via simulação computacional (Figura 1).



FIGURA 1. Geometria final do ramo de café e da haste da colhedora.

O *software* utilizado para as simulações foi o *Ansys Mechanical*®. As propriedades mecânicas da haste da colhedora foram adotadas levando-se em consideração a biblioteca existente no Ansys. O material utilizado foi fibra de vidro (Epoxy E Glass Wet). As propriedades mecânicas utilizadas para o ramo de café foram as mesmas encontradas no trabalho de Carvalho *et al.* (2016), levando-se em consideração um material elástico, linear e isotrópico, para fins de simplificação. Os valores para a densidade, coeficiente de poisson e módulo de elasticidade foram de 607 kg.m<sup>-3</sup>, 0,37 e 2041,5 MPa, respectivamente. As condições de contato entre as duas geometrias (haste e ramo) também foram estabelecidas no *Ansys*, considerando um contato sem fricção, sem que ocorra a penetração dos corpos. As malhas foram geradas no próprio *software*, sendo gerados 10440 nodes e 6195 elementos para a geometria do ramo, considerando elementos tetraédricos de 4 mm. A malha da haste da colhedora apresentou forma hexaédrica, conforme apresentado na Figura 2. As condições de entrada foram: aceleração da gravidade (9,81 m.s<sup>-2</sup>) e um deslocamento na base da vareta de modo a reproduzir o movimento da vareta realizado nos experimentos. A Equação 1 representa o deslocamento adotado na base da haste para as simulações, sendo que a frequência e a amplitude foram os mesmos valores utilizados nos experimentos.

$$d(t) = 2,5 * \cos(30,8 * t) \quad (1)$$

em que,

$d(t)$  é o valor do deslocamento simulado (mm) ao longo do tempo, 2,5 é o valor da amplitude (mm), 30,8 é o valor da frequência de vibração (Hz) e  $t$  representa o tempo (s).

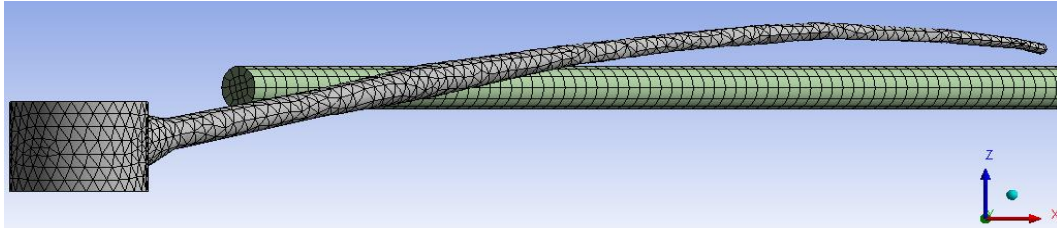


FIGURA 2: Malha do ramo cafeeiro e da haste da colhedora.

No intuito de validar as simulações numéricas, foram coletados 10 ramos plagiotrópicos de café, cultivar Catuaí Vermelho, variedade IAC 144. Foram retiradas as folhas das amostras, frutos e o comprimento do ramo foi reduzido a 350 mm. Foi amostrado também a haste da colhedora, em Fibra de Vidro e Resina Epoxi. Como fonte vibratória, foi utilizada uma colhedora portátil Stihl Ka 85 R, com motor 2 tempos à gasolina, 25,4 cilindradas (cm<sup>3</sup>) e 0,95 / 1,3 de potência (kW), adaptados para receber a haste da colhedora. No ramo cafeeiro, foi instalado um acelerômetro, para medir a aceleração no local a uma taxa de aquisição de 600 Hz. O ramo do café foi fixado em um mandril, a haste vibratória da colhedora foi colocada em contato com o ramo do café e a frequência da aceleração da máquina foi mantida constante em todas as análises (Figura 3). Após a aquisição dos dados, foi realizado o processamento dos sinais, avaliando o período e a frequência da vibração no ramo de café. Foi verificado também o cálculo do valor quadrático médio (RMS) para acelerações em todas as amostras dos ramos de café. A partir daí, verificou-se o deslocamento dos ramos amostrados por meio da Equação 2.

$$x(t) = \iint a(t) dt \quad (2)$$

em que,

$x(t)$  é o valor do deslocamento experimental (mm),  $a$  é o valor da aceleração (g) e  $t$  é o tempo (s).



FIGURA 3: Esquema da parte experimental.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Com base nos dados experimentais e nos modelos computacionais do ramo cafeeiro e da haste de derriça, foram obtidos os resultados de deslocamento e aceleração, conforme Tabela 1.

TABELA 1- Resultados experimentais e das simulações numéricas

	Deslocamento (z)	Aceleração
Simulações numéricas	0,225 mm	43,34 m.s <sup>-2</sup>
Experimentais	0,293 mm	41,98 m.s <sup>-2</sup>

Nota-se, na Tabela 1, que os resultados encontrados nas simulações numéricas foram próximos aos encontrados na validação experimental. Valores simulados de deslocamento foram aproximadamente 23,2% menores que os resultados experimentais. Já os resultados de aceleração apresentaram valores simulados em média 3,14% maiores que os resultados experimentais.

Com base nos resultados de aceleração e deslocamentos do ramo de café, foram obtidas tensões de Von Mises na ordem de 0,0001 MPa na região próxima à fixação do ramo cafeeiro, tensões de aproximadamente 0,94 MPa na metade do comprimento do ramo e tensões de 2,51 MPa nas proximidades da ponta do ramo, conforme Figura 4.

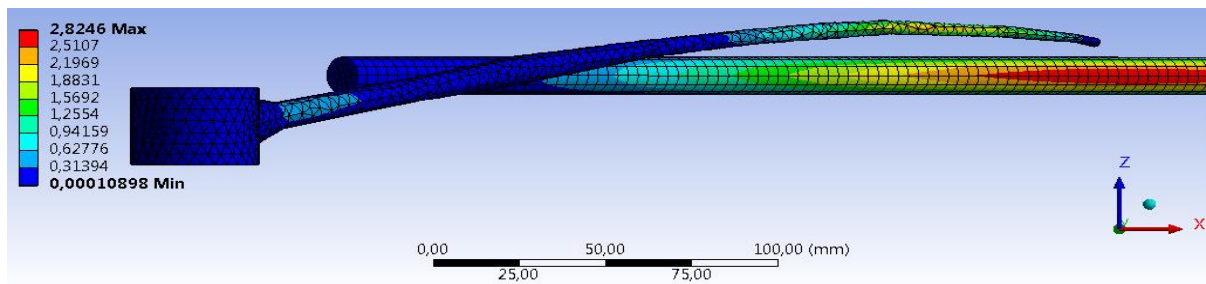


FIGURA 4. Tensões de von Mises

A máxima tensão de von Mises encontrada nas simulações (2,51 MPa) é maior do que a menor tensão média encontrada na região entre os frutos de café e o pedúnculo (2,14 MPa) em simulações realizadas por Santos *et al.* (2015). Isso pode ser considerado um indício de que alguns frutos de café seriam desprendidos do ramo durante a colheita, com base em simulações numéricas. Fato que pode ser considerado como relevante na dinâmica do sistema para o procedimento de colheita.

## CONCLUSÕES:

A metodologia empregada para modelagem das geometrias analisadas foi satisfatória para realizar as simulações, considerando as dificuldades para modelar estruturas biológicas, como o ramo cafeeiro. Testes experimentais foram suficientes para a análise de deslocamento e previsão de aceleração. As simulações de deslocamento e aceleração forneceram resultados que puderam ser comparados com resultados experimentais. Simplificações em termos geométricos e de materiais simulados podem ser consideradas uma deficiência deste trabalho. Apesar disso, os resultados encontrados mostraram-se coerentes com a literatura, podendo contribuir em melhorias no processo de colheita mecanizada do café.

## AGRADECIMENTOS:

CNPQ, CAPES e FAPEMIG3

## REFERÊNCIAS:

- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento, 2017, “Acompanhamento da safra brasileira – Café: primeiro levantamento da safra de 2017 (boletim técnico)” Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
- Magalhães, A.C., Teixeira, M.M., Couto, S.M. and Resende, R.C, “Modelagem de máquina pneumática recolhadora de frutos de café em terreiro usando análise por elementos finitos”, Engenharia Agrícola, Vol. 26, No. 2, pp. 483-492.
- Tinoco, H. A., Ocampo, D. A., Peña, F. M. and Sanz-Uribe J. R., 2014, “Finite element analysis of the fruit-peduncle of *Coffea arábica* L. var. Colombia estimating its geometrical and mechanical properties”, Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 108, No. 1, pp. 17-27.
- Zienkiewicz, O.C., Taylor, R.L. and Zhu, J.Z., 2005, “The finite element method: its basis and fundamentals”. Sixth edition. Elsevier Butterworth – Heinemann, 733p.
- Carvalho, E.A.; Magalhaes, R.R. and Santos, F.L., 2016, “Geometric Modeling of a Coffee Plant for Displacements Prediction. Computers and Electronics in Agriculture”, Vol. 123, pp. 57-63.
- Santos, F.L.; Queiroz, D.M., Valente, D.S.M. and Coelho, A.L.F., 2015, “Simulation of the dynamic behavior of the coffee fruit-stem system using finite element method”, Acta Scientiarum Technology, Vol. 37, No. 1, pp. 11-17.