

AVALIAÇÃO ESPECTRAL E QUANTITATIVA DAS VIBRAÇÕES NO POSTO DE OPERAÇÃO DE UM TRATOR AGRÍCOLA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE E DA FORÇA DE TRACÇÃO

MARCONI RIBEIRO FURTADO JÚNIOR¹, ANDERSON CANDIDO DA SILVA², HAROLDO CARLOS FERNANDES³, PAULO ROBERTO FORASTIERE⁴, DANIEL MARIANO LEITE⁵

¹ Eng.º Agrônomo, Universidade Federal de Viçosa, (31) 3899 – 3461, marconi.furtado@gmail.com

² Eng.º Agrônomo, Universidade Federal de Viçosa, (31) 3899 – 1860, andersoncandido@hotmail.com

³ Eng.º Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, (31) 3899 – 1883, haroldo@ufv

⁴ Eng.º Agrônomo, Universidade Federal de Viçosa, (31) 3899 – 1860, pauloforastiere@gmail.com

⁵ Lic. Ciências Agrícolas, Universidade Federal do Vale São Francisco, (87) 9663 – 3003, dm.leite@hotmail.com

Apresentado no

XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015

13 a 17 de setembro de 2015 – São Pedro – SP, Brasil

RESUMO: A vibração exógena é um fator prejudicial ao corpo humano em uma série de situações relacionadas ao trabalho com máquinas, principalmente quando esta vibração é próxima da frequência natural de determinadas partes do corpo humano, em detrimento do fenômeno de ressonância. Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da velocidade e da força de tração nas características das vibrações incidentes no posto de operação de um trator agrícola. Os tratamentos constituíram-se da combinação entre três velocidades (1,07; 1,27 e 1,77 m s⁻¹) e três forças de tração (8,83; 11,36 e 15,50 kN), sendo utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. O trabalho foi executado em pista de concreto, com 40 m de comprimento. As vibrações foram monitoradas através de dois acelerômetros uniaxiais, posicionados ortogonalmente (sentido vertical e longitudinal do trator) na base do posto de operação. Os níveis de vibração na base do posto de operação não foram influenciados pelos tratamentos aplicados. A análise espectral evidenciou que, para ambos os sentidos, os níveis de vibração foram maiores na faixa de 2 a 4 Hz de frequência, o que é considerado prejudicial para os joelhos do operador em detrimento do fenômeno de ressonância.

PALAVRAS-CHAVE: Aceleração, máquinas agrícolas, saúde.

SPECTRAL AND QUANTITATIVE EVALUATION OF VIBRATIONS IN THE OPERATOR STATION OF AN AGRICULTURAL TRACTOR IN TERMS OF SPEED AND TRACTION FORCE

ABSTRACT: Exogenous vibration is a prejudicial factor to the human body in many situations related with the work with machines, mainly when this vibration is close to the natural frequency of some part of human body, in function of resonance phenomenon. Aimed with this work evaluate the effect of the speed and the traction force in the vibration characteristics incidents on post of operation of a farm tractor. The treatments consisted of combination of three velocities (1.07; 1.27 and 1.77 m s⁻¹) and three traction forces (8.83; 11.36 and 15.50 kN), being used the completely randomized design, with four replications. The work was executed in concrete track, with 40 m of length. The vibration was monitored by two uniaxial accelerometers, positioned orthogonally, positioned orthogonally (vertical and longitudinal sense of the tractor) on the base of post of operation. The vibrations levels on the operator seat base weren't influenced by the applied treatments. Spectral analysis showed that, for both directions, vibration levels were higher in the range from 2 to 4 Hz frequency, which is considered harmful to the knees of the operator to the detriment of the resonance phenomenon.

KEYWORDS: Acceleration, agricultural machines, health.

INTRODUÇÃO:

O advento e a consolidação do processo de mecanização agrícola proporcionaram alterações no sistema de trabalho das fazendas do Brasil e do mundo. Atividades que antigamente demandavam

muita mão-de-obra e tempo para execução, hoje são executadas por máquinas modernas e ágeis, com elevado rendimento operacional e custo proporcionalmente inferior ao do trabalho braçal. Apesar das vantagens advindas da utilização de máquinas na agricultura, alguns aspectos devem ser observados, principalmente aqueles relacionados à nova condição ergonômica do operador no trabalho com tais máquinas. Os tratores agrícolas mais simples são desprovidos de amortecedores nos eixos de sustentação, sendo a absorção de impactos realizada pelos pneus e por amortecedores simples associados ao assento do operador (CUONG et al., 2013). A plataforma do posto de operação do trator transfere vibrações ao operador, sendo este tipo de transmissão denominado de vibrações de corpo inteiro. As vibrações de corpo inteiro, dependendo da sua intensidade e duração, podem gerar desconforto e em alguns casos danos à saúde do operador (BOVENZI E BETTA, 1994; VAN ENGELEN et al., 2012; CILOGLU et al., 2015). As vibrações podem também causar danos a determinados componentes de tratores e máquinas agrícolas, devido ao fenômeno de ressonância, passível de ocorrer quando a vibração exógena tem a mesma frequência que a natural do componente mecânico (ESFANDIARI et al., 2013; KAVEH e ZOLGHADR, 2015). Em detrimento dos vários aspectos relacionados às vibrações mecânicas, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da velocidade de operação e da força de tração desenvolvida pelo trator nas características das vibrações incidentes no posto de operação.

MATERIAL E MÉTODOS:

O experimento foi conduzido no Laboratório de Mecanização Agrícola (LMA) do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizada no município de Viçosa, Minas Gerais. Foram analisadas as características da vibração incidente na base do posto de operação do trator John Deere, modelo 5705, 4x2 com tração dianteira auxiliar (TDA) e potência de 62,56 kW (85 cv) no motor a 2250 rpm.

O trator estava equipado com pneus radiais 12.4 – 24 no eixo dianteiro e 18.4 – 30 no eixo traseiro, ambos da linha Optitrac da Goodyear. Os tratamentos constituíram-se da combinação entre três velocidades teóricas de operação (1,07; 1,27 e 1,77 m s⁻¹) e três forças de tração (8,83; 11,36 e 15,50 kN), sendo utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. O trabalho foi executado em pista de concreto, com 40 m de comprimento. A força de tração foi variada através da alteração das marchas de um trator lastro (marca Valtra Valmet, modelo 800), atrelada ao trator testado por meio de um cabo de aço.

A força de tração foi monitorada por meio de uma célula de carga da marca Alfa Instrumentos, com capacidade para 50 kN. As vibrações na base do posto de operação do trator foram monitoradas através de dois acelerômetros uniaxiais posicionados perpendicularmente entre si, sendo um no sentido longitudinal e o outro no vertical. Os acelerômetros utilizados eram da marca PCB[®], com faixa de operação de 1 a 4000 Hz e sensibilidade de 100 mV g⁻¹. A velocidade real de deslocamento foi monitorada por um radar de efeito Doppler da marca Dickey John[®], modelo Radar II, fixado ao chassi do trator. A instrumentação utilizada no experimento foi conectada a um sistema de aquisição de dados da marca Hottinger Baldwin Messtechnik[®] (HBM), modelo Spider 8, sendo utilizada uma taxa de aquisição de 50 dados por segundo (50 Hz).

Os dados obtidos foram estudados por meio de regressão linear múltipla e os modelos selecionados com base do coeficiente de determinação (r²) e na significância dos coeficientes da regressão, utilizando-se o teste t. Posteriormente os dados foram convertidos para o domínio da frequência, onde se analisou a característica espectral das vibrações na base do posto de operação obtida no experimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A força de tração e a velocidade operacional apresentaram efeito linear e positivo nos níveis de aceleração longitudinal na base do posto de operação. O incremento de 1 m s⁻¹ na velocidade operacional corresponde ao acréscimo de 0,1792 m s⁻² na aceleração (vibração) longitudinal, enquanto que o acréscimo de 1 kN na força de tração corresponde a um aumento de 0,0124 m s⁻². A velocidade operacional apresentou efeito linear e positivo na aceleração no sentido vertical, sendo que o aumento de 1 m s⁻¹ nesse parâmetro ocasionou a elevação da aceleração em 0,2098 m s⁻². Nas vibrações verticais a força de tração apresentou efeito não significativo. A Figura 1 (A e B) apresentam as

superfícies de resposta e as equações ajustadas para descrever o comportamento das vibrações (longitudinal e vertical) em função da velocidade operacional e da força de tração.

$$A_L = 0,1792^* V + 0,0124^* F_T \quad (r^2 = 0,90)$$

$$A_V = 0,2098^* V - 0,0002^{ns} F_T \quad (r^2 = 0,73)$$

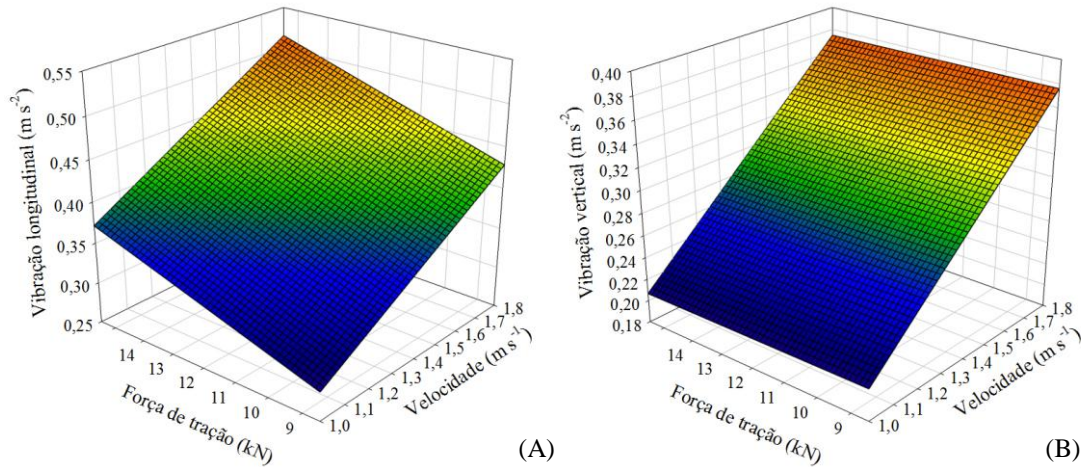


Figura 1. Superfícies de resposta e equações ajustadas para descrever as vibrações no sentido longitudinal (A) e no vertical (B), em função da velocidade (V , em $m s^{-1}$) e da força de tração (F_T , em kN). * : f Significativo e ^{ns} : não significativo, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

A velocidade contribui para o aumento das vibrações, em ambos os sentidos, devido à presença de garras nos pneus do trator, conforme relatado por Rabbani et al. (2011). A demanda de tração pode condicionar maiores níveis de vibração em detrimento da instabilidade causada pela patinagem das rodas motrizes do trator. A Figura 2 apresenta o espectro de frequência característico das vibrações no sentido longitudinal e vertical encontrados no presente trabalho, onde é possível identificar que os maiores picos de vibração ocorreram na faixa compreendida entre 2 e 4 Hz, em ambos os sentidos avaliados. De acordo com Brüel e Kjaer (2002), a frequência das pernas dobradas é próxima a 2 Hz, o que torna os resultados encontrados preocupantes devido à possíveis problemas decorrentes do fenômeno de ressonância.

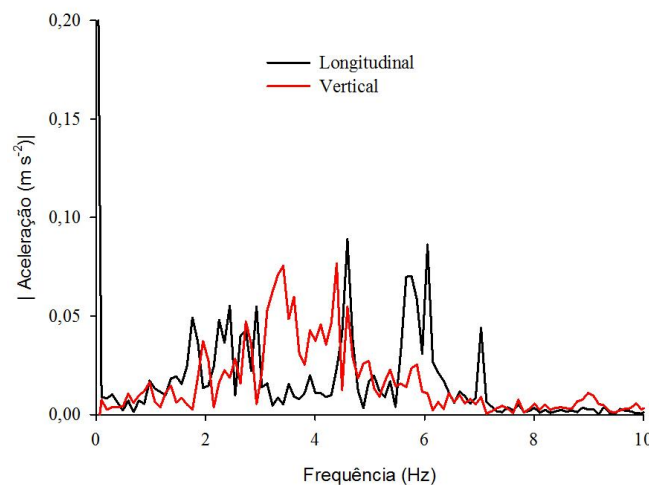


Figura 2. Espectro de frequência característico para os sentidos longitudinal e vertical.

A análise espectral obtida apresenta comportamento semelhante ao obtido por Villibor et al. (2015), ao avaliarem as vibrações nos mesmos sentidos em operação de subsolagem. Os valores de vibração encontrados foram menores que os relatados por esses autores, o que pode ser explicado pela diferença entre os pneus utilizados (radial apresenta maior capacidade de amortecimento) e pela condição de superfície.

CONCLUSÕES:

A velocidade operacional e a força de tração apresentaram efeito significativo na aceleração (vibração) longitudinal. As vibrações no sentido vertical foram pouco influenciadas pela força de tração. As vibrações apresentaram maior amplitude na faixa de 2 a 4 Hz de frequência.

REFERÊNCIAS

BOVENZI, M.; BETTA, A. Low-back disorders in agricultural tractor drivers exposed to whole-body vibration and postural stress. **Applied Ergonomics**, v. 25, n. 4, p. 231-241, 1994. ISSN 0003-6870.

BRÜ & KJA R, , “uman ibration”, echnical Presentation, p.

CILOGLU, H. et al. Assessment of the whole body vibration exposure and the dynamic seat comfort in passenger aircraft. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 45, n. 0, p. 116-123, 2// 2015. ISSN 0169-8141.

CUONG, D. M.; ZHU, S.; ZHU, Y. Effects of tyre inflation pressure and forward speed on vibration of an unsuspended tractor. **Journal of Terramechanics**, v. 50, n. 3, p. 185-198, 6// 2013. ISSN 0022-4898.

ESFANDIARI, A.; BAKHTIARI-NEJAD, F.; RAHAI, A. Theoretical and experimental structural damage diagnosis method using natural frequencies through an improved sensitivity equation. **International Journal of Mechanical Sciences**, v. 70, n. 0, p. 79-89, 5// 2013. ISSN 0020-7403.

KAVEH, A.; ZOLGHADR, A. An improved CSS for damage detection of truss structures using changes in natural frequencies and mode shapes. **Advances in Engineering Software**, v. 80, n. 0, p. 93-100, 2// 2015. ISSN 0965-9978.

RABBANI, M. A. et al. Prediction of the vibration characteristics of half-track tractor considering a three-dimensional dynamic model. **Biosystems Engineering**, v. 110, n. 2, p. 178-188, 2011. ISSN 1537-5110.

VAN ENGELEN, S. J. P. M. et al. Validation of vibration testing for the assessment of the mechanical properties of human lumbar motion segments. **Journal of Biomechanics**, v. 45, n. 10, p. 1753-1758, 2012. ISSN 0021-9290.

VILLIBOR, G. P.; SANTOS, F. L.; FURTADO JÚNIOR, M. R. Mechanical vibrations at the seat base of a tractor during the subsoiling operation. **Revista Agrarian**, v. 8, n. 27, p. 64-73, 2015. ISSN 1984-2538.