



AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO DO OPERADOR À VIBRAÇÃO NA OPERAÇÃO DE GRADAGEM

Viviane Castro dos Santos¹, Leonardo de Almeida Monteiro², Deivielison Ximenes Siqueira Macedo³, Rafaela Paula Melo⁴ & Marília Lessa de Vasconcelos Queiroz⁵

RESUMO: A atividade agrícola brasileira se expandiu muito nos últimos anos e o crescimento desta atividade se deve principalmente pelo uso de novas tecnologias no campo e melhoria e modernização do maquinário agrícola. Objetivou-se avaliar a exposição do operador de tratores agrícolas à vibrações de corpo inteiro na operação de gradagem. O experimento foi realizado sobre área que apresentava relevo plano levemente ondulado, com 10% de umidade preparada anteriormente com operação de aração. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 3, com 10 repetições, sendo duas rotações do motor (1860 e 2200 rpm) que correspondem a rotação mediana e final do motor do trator, de acordo com o fabricante e três velocidades de deslocamento (L3, L4 e H1.), correspondendo respectivamente as velocidades (4,8, 6,8 e 8,8 km h-1). O experimento foi realizado de acordo com as diretrizes determinadas pela NHO – 09 (2013) e o anexo A da norma ISO 5008 (2002). À medida que a velocidade de deslocamento e a rotação do motor aumentaram os valores de aceleração de vibração também aumentaram. Todos os tratamentos avaliados apresentaram valores acima do nível aceitável pela NHO-09, sendo que a rotação de 1860 rpm e a velocidade de 4,8 km.h-1 a condição que apresenta menores valores de aceleração de vibração.

PALAVRAS-CHAVE: trator agrícola, ergonomia, conforto humano, grades agrícolas.

EVALUATION OF THE OPERATOR EXPOSURE TO VIBRATION IN TILLING

ABSTRACT: Brazilian agriculture has expanded greatly in recent years and the growth of this activity is mainly due to the use of new technologies in the field and to improvement and modernization of agricultural machinery. This study aimed to assess the exposure of agricultural tractors operator to the whole body vibration in tilling operation. The experiment was conducted on a flat slightly undulating terrain, with 10% soil humidity, previously prepared with plowing operation. The experimental design was completely randomized in a factorial 2 x 3 with 10 repetitions, two engine speeds (1860 and 2200 rpm) corresponding to medium and ultimate rotations, according to the manufacturer, and three displacement speeds, (L3, L4 and H1) respectively corresponding to 4.8, 6.8 and 8.8 km h-1. The experiment was conducted according to NHO - 09 (2013) and Annex A of ISO 5008 (2002) standards. As the forward speed and engine speed increased, vibration acceleration values also increased. All treatments had values above the acceptable level by the NHO-09, and the rotational speed of 1860 rpm and 4.8 km h-1 resulted on the lowest vibration acceleration.

KEYWORDS: agricultural tractor, ergonomics, human comfort, harrows.

¹, ², ³ e ⁴ Universidade Federal do Ceará. Departamento de Engenharia Agrícola, E-mails: vihcs@live.com; aiveca4@gmail.com; derilsiqueira@hotmail.com; rafaela_2708@hotmail.com; marilialvqueiroz@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

A atividade agrícola brasileira se expandiu muito nos últimos anos e o crescimento desta atividade se deve principalmente pelo uso de novas tecnologias no campo e melhoria e modernização do maquinário agrícola (Santos, 2014).

O uso de tratores na atividade agrícola é imprescindível para o incremento de produtividade das atividades no campo, já que esta máquina proporciona rapidez na execução das atividades, maior eficiência no uso dos recursos e redução dos custos de produção.

Segundo Ribas et al. (2014) apesar de os tratores favorecerem o aumento na produtividade, o seu uso pode ser danoso ao operador de máquinas agrícolas, que muitas vezes as operam por muitas horas seguidas diariamente. O operador de tratores agrícolas é submetido a uma jornada de trabalho em torno de 8h diárias, com isso, o conforto e a segurança são de fundamental importância.

Nem sempre os tratores agrícolas fornecem todo o conforto necessário aos operadores, por isso os estudos ergonômicos destes equipamentos são importantes para prevenir doenças relacionadas ao trabalho.

Um dos quesitos que vem sendo estudados há algum tempo são os problemas causados pela vibração nas máquinas agrícolas, Pinho et al. (2014a) relatam que a vibração propagada através do trator interfere diretamente no operador, que está exposto aos efeitos nocivos da vibração na sua saúde, além de diminuir sua capacidade de trabalho por efeito da fadiga, os autores ainda ressaltam que na área de mecanização agrícola, cada vez mais se torna necessário o estudo das vibrações em tratores agrícolas, pois os resultados experimentais contribuem para o aperfeiçoamento no projeto dessas máquinas e, com isso, melhorar o conforto do operador durante a jornada de trabalho.

De acordo com a NHO-09 (FUNDACENTRO, 2013) diversos cuidados e procedimentos podem ser realizados de forma preventiva para reduzir a exposição à vibração do operador, como, por exemplo, adotar velocidades no uso do trator que apresentem menores valores de aceleração de vibração, evitar superfícies irregulares se possível, e ajustar o assento do trator em relação ao posicionamento e ao peso do usuário.

De acordo com Cunha et al., 2014 a mitigação do problema da vibração está ligada à redução da intensidade do mesmo na fonte e à diminuição do tempo de exposição. Ainda segundo estes autores conhecer a realidade das máquinas atuais em termo de vibração e ruído para planejar a melhor estratégia de combate ao problema. Desta forma este trabalho foi executado com o objetivo de avaliar a exposição do operador de tratores agrícolas à vibrações de corpo inteiro na operação de gradagem.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em área experimental do Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas (LIMA), pertencente a Universidade Federal do Ceará, localizada nas coordenadas geodésicas: latitude 3°44'S e longitude 38°33'W Grm.

O solo da área experimental foi classificado como um Argissolo Vermelho-amarelo, apresentando classe textural franco arenoso, com aproximadamente 82,90% de areia, 10,60% de argila e 6,40% de silte (MELO et al., 2013). O experimento foi realizado sobre área preparada anteriormente com operação de aração, a mesma apresenta relevo plano levemente ondulado, com 10% de umidade, determinada através de 10 amostras de solo indeformadas da camada de 0-20 cm.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 3, com 10 repetições, cada unidade experimental possuía 5,0 m de largura por 60 m de comprimento, totalizando 60 unidades experimentais, sendo duas rotações do motor do trator (R1: 1860 rpm e R2: 2200 rpm) que correspondem a rotação mediana e final do motor segundo o fabricante, e três velocidades de deslocamento (L3, L4 e H1), correspondendo respectivamente as velocidades (V1: 4,8 km.h⁻¹, V2: 6,8 km.h⁻¹ e V3: 8,8 km h⁻¹).

O experimento foi realizado de acordo com as diretrizes determinadas pela NHO – 09 (FUNDACENTRO, 2013), e o anexo A da norma NBR ISO 5008:2015 (ABNT, 2015).

Para a realização do ensaio de vibração de corpo inteiro, foi utilizado um trator Valtra BM 120 com 88,26 kW de potência bruta no motor, 4x2 com tração dianteira auxiliar (TDA), equipado com pneus diagonais, 14.9-24 R1 no eixo dianteiro e no eixo traseiro 18.4-34 R1. O trator foi adequado para relação

peso potência de 55 kg cv⁻¹, com distribuição de 65% no eixo traseiro e 35% no eixo dianteiro, com lastros sólidos e líquidos, pressão de inflação de ar nos pneus de 110 e 124 kPa para os pneus dianteiros e traseiros, respectivamente.

Acoplado ao trator pela barra de tração, foi tracionada uma grade média off-set de 28 discos, marca TATU.

O instrumento utilizado para aquisição de dados foi o medidor de vibração do corpo humano da marca Instrutherm modelo MV-100 conectado a um acelerômetro triaxial para vibrações de corpo inteiro, o qual era fixado no banco do trator próximo ao encosto, onde foram mensurados valores de aceleração de vibração em três eixos x, y e z.

Os parâmetros avaliados foram: valor de dose de vibração resultante (VDVR), valor de aceleração resultante de exposição normalizada (aren), valor de pico máximo resultante (PMXR), aceleração média resultante (AMR).

Os dados foram processados no software Noise Studio[®] 6.95. Para avaliação dos dados foi utilizado o programa estatístico SISVAR, sendo os mesmos submetidos à análise de variância pelo teste F, e quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de dose de vibração resultante (VDVR) são apresentados na Tabela 1, a rotação de 2200 rpm obteve maiores valores de VDVR em comparação a rotação de 1860 rpm, apresentando diferença significativa. Quanto às velocidades, ocorreu diferença significativa apenas na velocidade de 8,8 km.h⁻¹, não apresentando diferenças entre 4,8 e 6,8 km.h⁻¹. O que mostra que de acordo com o aumento da rotação do motor e da velocidade de deslocamento ocorre aumento nos valores de dose de vibração resultante.

Tabela 1 - Valores médios de vibração obtidos na operação de gradagem do solo com duas rotações do motor e três velocidades de deslocamento.

Fontes de Variação		VDVR (m.s ^{-1,75})	aren (m.s ⁻²)	PMXR (m.s ⁻²)	AMR (m.s ⁻²)
Rotação (R)	R1	11,11b	0,60b	11,38b	4,13b
	R2	12,42a	0,67a	14,57a	5,91a
Velocidade (V)	V1	10,32b	0,54c	12,23b	4,86c
	V2	10,84b	0,64b	12,89b	5,74b
	V3	14,14a	0,74a	14,62a	6,96a
Valor de F	R	26,12*	5,85*	21,05*	54,13*
	V	86,49*	14,56*	78,99*	64,84*
	R*V	0,82 ^{NS}	2,51 ^{NS}	2,11 ^{NS}	2,10 ^{NS}
DMS	R	0,52	0,06	0,99	0,17
	V	0,76	0,08	1,47	0,72
CV (%)		8,47	17,70	20,06	18,69

Legenda: * (p<0,05); ^{NS} (não significativo). Médias seguidas de mesma letra e sem letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). VDVR: Valor da dose de vibração resultante; aren: aceleração resultante de exposição normalizada; PMXR: Valor de pico máximo resultante; AMR: Aceleração média resultante. R1: 1860 rpm; R2: 2200 rpm; V1: 4,8 km h⁻¹; V2: 6,8 km h⁻¹; V3: 8,8 km h⁻¹.

De acordo com Barceló et al. (2004) o aumento da velocidade e da rotação, associados a um menor atrito do implemento agrícola com o solo, poderão aumentar a magnitude de vibração para o conjunto trator-grade, ou seja, a operação de gradagem em solos arenosos pode intensificar a amplitude de vibração mais do que em solos argilosos e Pinho et al. (2014b) afirmam que o tipo de equipamento agrícola e características do terreno também influenciam nas magnitudes de vibrações.

Segundo a NHO-09 (FUNDACENTRO, 2013) os valores de VDVR devem estar entre 0 e $9,1 \text{ m.s}^{-1,75}$ em condições aceitáveis de trabalho, porém todos os resultados ultrapassaram esses valores, para todas as condições de velocidade e rotação, atingindo a faixa de $9,2$ a $16,4 \text{ m.s}^{-1,75}$, o que mostra que os valores de dose de vibração resultante obtidos estão acima do nível de ação e devem ser adotadas medidas preventivas que venham a reduzir os níveis de exposição do operador.

Os valores de aceleração resultante de exposição normalizada (aren) apresentaram diferenças significativas tanto para as rotações, como para as velocidades, o que mostra que os valores de aren também crescem em função do aumento de velocidade e de rotação do motor. Segundo a NHO-09 (FUNDACENTRO, 2013) os valores aceitáveis de aren são de 0 a $0,5 \text{ m.s}^{-2}$, todos os resultados obtidos apresentam valores maiores, estando na faixa de $0,5$ a $0,9 \text{ m.s}^{-2}$, ou seja, os valores obtidos estão acima do nível de ação e devem ser adotadas medidas preventivas para reduzir os níveis de exposição do operador. Ribas et al. (2014) afirmam que para oito horas de trabalho, valores acima de $0,86 \text{ m.s}^{-2}$ indicam a aparência provável de risco a saúde.

Segundo Solecki (2007) a análise dos valores de pico mínimo e máximo de aceleração de vibração confirmam que ocorre uma grande variação nos valores de vibração ao longo da operação realizada, esses valores de pico elevados ocorrem devido a choques mecânicos induzidos ao assento do operador durante a operação agrícola. Scarlett, Price e Stayner (2007) afirmam, ainda, que a intensidade da vibração está diretamente ligada à operação que está sendo realizada, ou seja, o mesmo trator pode proporcionar diferentes valores de vibração de acordo com o equipamento agrícola e a atividade que está sendo realizada.

Os valores de pico máximo de aceleração de vibração resultante apresentaram diferenças entre rotações e velocidades, sendo que $4,8$ e $6,8 \text{ km.h}^{-1}$ não diferiram estatisticamente, os valores encontrados foram menores que os de Ribas et al. (2014) que variaram de $14,4$ a $20,79 \text{ m.s}^{-2}$, analisando os valores de pico nos eixos x, y e z.

Segundo Pinho et al. (2014a) os altos valores de pico obtidos, ocorrem principalmente pelo fato do trator estar acoplado a grade, formando um sistema único, o que intensificará os esforços do mesmo, gerando aumento da magnitude das vibrações.

Os valores de aceleração média resultante diferiram estatisticamente tanto para as rotações, quanto para as velocidades, não apresentando diferença entre as velocidades $4,8$ e $6,8 \text{ km.h}^{-1}$, os valores encontrados foram inferiores aos encontrados por Solecki (2007) que avaliando diversas operações agrícolas obteve valores de até $22,1 \text{ m.s}^{-2}$.

4 CONCLUSÃO

Todos os tratamentos avaliados apresentaram valores acima do nível de ação conforme NHO-09, o que indica que a exposição a vibração pode gerar problemas de saúde aos operadores, sendo que a rotação de 1860 rpm e a velocidade de $4,8 \text{ km.h}^{-1}$ foi a condição que apresenta menores valores de vibração para as condições estudadas.

À medida que a velocidade de deslocamento e a rotação do motor aumentaram os valores de aceleração de vibração também aumentaram.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 5008: Tratores agrícolas de rodas e máquinas de campo - Medição da vibração transmitida ao corpo inteiro do operador. 18 p. 2015.

BARCELÓ, L. E.; ARAUCANÁ, M.; HILBERT, J. A. Efecto de diferentes presiones de inflado y regulaciones de lasiento sobre las vibraciones de cuerpo entero em tractores agrícolas. Buenos Aires: Instituto de Ingenieria Rural Inta Castelar, 2004. 10p.

DA CUNHA, J. P. A. R.; DUARTE, M. A. V.; Souza, C. M. A. Vibração e ruído emitidos por dois tratores agrícolas. Arica: **Idesia**, v. 30, p.25-34, 2012.

FUNDACENTRO. **Norma de higiene ocupacional (NHO-09): avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro: procedimento técnico**. São Paulo: Fundacentro, 2013.

MELO, R. P.; ALBIERO, D.; MONTEIRO, L. A.; SOUZA, F. H.; SILVA, J. G. Qualidade na distribuição de sementes de milho em semeadoras em um solo cearense. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, p.94-101, 2013.

PINHO, M. S.; SCHLOSSER, J. F.; FRANTZ, U. G.; FARIAS, M. S.; UHRY, D.; RIBAS, R. L. Acelerações eficazes na interface assento-operador de um trator. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, p.1797-1803, 2014 a.

PINHO, M. S.; SCHLOSSER, J. F.; FRANTZ, U. G. RODRIGUES, F. A.; FERREIRA, P. S. Efetividade de um coxim de cabina do trator agrícola na atenuação das vibrações. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 45, p.461-468, 2014 b.

RIBAS, R. L.; SCHLOSSER, J. F.; FRANTZ, U. G.; FARIAS, M. S.; RODRIGUES, F. A. Exposição humana à vibrações de corpo inteiro em um trator agrícola com pneus radiais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, p.1589-1595, 2014.

SANTOS, H. F. Modernização da Agricultura e Relação Campo-Cidade: Uma Análise A Partir do Agronegócio Cafeeiro no Município De Alfenas – MG. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 15, n. 51, p. 154–171, 2014.

SCARLETT, A. J.; PRICE, J. S.; STAYNER, R. M. Whole body vibration: evaluation of emission and exposure levels arising from agricultural tractors. **Journal of Terramechanics**, Oxford, v. 44, n. 1, p. 65-73, 2007.

SOLECKI, L. Preliminary recognition of whole body vibration risk in private farmers' working environment. **Annals of Agricultural and Environmental Medicine**, Lublin, v. 14, p. 299-304, 2007.