

AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS PREJUDICIAIS EM ROÇADORAS LATERAIS: VIBRAÇÃO E RUÍDO

**VICTOR M. SCHUTZER¹, MATHEUS M. QUARTAROLI², BENTO RODRIGUES
DE PONTES JUNIOR³, JOÃO EDUARDO G. DOS SANTOS⁴**

¹ Engenheiro Mecânico, Mestrando em Engenharia Mecânica, FEB/UNESP, Bauru – SP, (16)9-9723-0709, victor_schutzer@hotmail.com

² Engenheiro Mecânico, Mestrando em Engenharia Mecânica, FEB/UNESP, Bauru – SP

³ Engenheiro Mecânico, Prof. Doutor no Departamento de Engenharia Mecânica, FEB/UNESP, Bauru – SP

⁴ Engenheiro Agrícola, Prof. Doutor no Departamento de Engenharia Mecânica, FEB/UNESP, Bauru – SP

Apresentado no
XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017
30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil

RESUMO: A utilização de máquinas e equipamentos mecânicos tem se mostrado de grande importância nas atividades desenvolvidas na agroindústria ou até mesmo na agricultura familiar, seja pela praticidade, seja pela vantagem oferecida quando comparada às atividades antes desenvolvidas manualmente ou com utilização de ferramentas de tração animal. Porém, na contramão das vantagens oferecidas pelos maquinários agrícolas, tem-se que a utilização desses equipamentos pode afetar a saúde dos trabalhadores por conta da vibração e do ruído. O presente trabalho teve como objetivo analisar a vibração e o ruído durante a utilização de roçadoras laterais. Para isso, utilizou-se um acelerômetro de três eixos, HVM-100, marca Larson Davis, para mensurar a vibração captada pela mão do operador e um medidor de pressão sonora, marca Instrutherm, modelo DEC-460 para mensurar o ruído. Para análise da vibração, utilizou-se a norma internacional ISO 5349 (2001) e a Diretiva Europeia 2002/44/EC que estabelece limites de exposição à vibração. A análise do ruído foi feita a partir da NR-15 (2014). Os resultados apresentados na pesquisa foram preocupantes já que estão acima do que estabelece a norma para que não haja prejuízo à saúde dos operadores.

PALAVRAS-CHAVE: ergonomia, membros superiores, doenças ocupacionais.

EVALUATION OF HARMFUL PARAMETERS IN LATERAL BRUSHCUTTERS: VIBRATION AND NOISE

ABSTRACT: The use of machines and mechanical equipment has shown to be of great importance in the activities developed in the agro-industry or even in family agriculture, for the practicality and advantage offered when compared to activities previously developed manually or using animal traction tools. However, contrary to the advantages offered by agricultural machinery, it's known that the use of such equipment can affect the health of workers due to vibration and noise. The present work had as objective the analysis of the vibration and the noise during the use of lateral brushcutters. For that, a three-axis accelerometer, Larson Davis brand HVM-100, was used to measure the vibration captured by the operator's hand and a sound pressure gauge, Instrutherm model DEC-460, to measure the noise. For vibration analysis, the international standard ISO 5349 (2001) and the European Directive 2002/44/EC were used, which establish the limits of exposure to vibration. Noise analysis was done based off of NR-15 (2014). The results presented in the research were worrisome, since they are above the norm established so that there isn't harm to the health of the operators.

KEYWORDS: ergonomics, upper members, occupational disease.

INTRODUÇÃO

O cenário nas indústrias e no meio de produção tem mostrado grandes alterações nos últimos anos. Dessa forma, novos desafios têm surgido no que diz respeito à interação entre o ser humano e o meio em que está incluído. A ergonomia é a grande responsável pela correta relação entre homem e as tecnologias presentes no meio, contribuindo, para o desenvolvimento de modernos ambientes de trabalho (IIDA; BUARQUE, 2016). De acordo com Dul e Weerdmeester (2004), a ergonomia contribui para solucionar problemas encontrados no ambiente de trabalho, dentre eles pode-se citar a melhoria da segurança, saúde, conforto e eficiência no trabalho.

Mais especificamente para o presente trabalho, é importante compreender o que é vibração e ruído e seus efeitos para o organismo humano. Conforme Rao (2008), a vibração ou oscilação é o movimento que se repete após um intervalo de tempo. Enquanto que para Baad e Qaimi (2016), a vibração é considerada um distúrbio físico que pode ocorrer em máquinas e automóveis.

Para a vibração transmitida ao corpo humano, tem-se a classificação de Vibração de Corpo Inteiro e Vibração em Mãos e Braços. A Vibração de Corpo Inteiro afeta o corpo humano na frequência de 0,5 a 80Hz e está presente em sistemas de transporte. A Vibração em Mãos e Braços afeta o sistema na faixa de frequência 6,3 a 1250Hz e encontra-se em ferramentas manuais oscilatórias. Tal classificação é formal e uma pessoa pode estar sujeita a ambos tipos de vibração ao mesmo tempo (GOMES; SAVIONEK, 2014).

Mais especificamente para o tipo de roçadora utilizada na presente pesquisa, Hao, Ean e Ripin (2011) comentam que tais máquinas são amplamente utilizadas em países tropicais para manutenção de grandes áreas verdes e, com isso, surgiram indústrias de serviço com elevado número de trabalhadores que utilizam esse tipo de equipamento. Ainda segundo os autores, o atual projeto não possui dispositivos que reduzem a vibração transmitida até a empunhadura e, dessa forma, acarreta fadiga e dormência. Além disso, Vendrame (2005) cita alguns dos efeitos da vibração no organismo humano como perda de equilíbrio e lentidão dos reflexos, alteração no sistema cardíaco, efeitos psicológicos, distúrbios visuais, efeitos no sistema gastrointestinal, comprometimento de alguns órgãos, etc.

Além da vibração, outra variável que é extremamente prejudicial à saúde humana é o ruído. Iida e Buarque (2016) explicam que, apesar de ser subjetivo, a definição mais usual de ruído é a de um som indesejável. De acordo com Araújo (2002), é de extrema importância a medição de níveis de ruídos no ambiente de trabalho para que possa redimensionar a carga horária de trabalho e, dessa forma, evitar danos à saúde dos trabalhadores.

Nível de ruído elevado juntamente com longo tempo de exposição pode gerar sobrecarga no coração e mudanças de comportamento (nervosismo, fadiga mental, frustração, queda de desempenho no trabalho, irritabilidade, fadiga e dificuldade de lidar com conflitos sociais) (GERGES, 2000).

Desse modo, o presente trabalho teve como objetivo mensurar e analisar a vibração e o ruído que são transmitidos aos operadores de roçadoras laterais motorizadas e confrontar os resultados com as normas vigentes.

MATERIAL E MÉTODOS

Para o presente trabalho, utilizou-se duas roçadoras laterais motorizadas de diferentes

marcas e potências. As roçadoras foram denominadas como máquinas A e B e a ferramenta de corte utilizada foi a lâmina de três pontas. A mesma ferramenta foi utilizada para as máquinas empregadas na pesquisa. As características técnicas das roçadoras podem ser visualizadas na Tabela 1.

TABELA 1. Características técnicas das máquinas utilizadas na pesquisa. **Technical characteristics of the machinery used in the research.**

Máquina	Combustível	Motor	Cilindrada	Potência	Baixa rotação	Alta rotação
A	0,74L	2T	33,6cm ³	1,62hp	2500rpm	12000rpm
B	1,10L	2T	40,2cm ³	1,97hp	2800rpm	10000rpm

Para análise da vibração no sistema mãos e braços, utilizou-se um acelerômetro de três eixos, modelo HVM-100 e fabricado pela Larson Davis. O aparelho realiza medições simultâneas nos três eixos e possibilita a configuração independente para cada eixo, de acordo com o manual do usuário e bibliografias correlatadas. Para medição do ruído, utilizou-se o medidor de pressão sonora DEC-460, marca Instrutherm. O dispositivo permite ponderação de frequência A e C e tempo de resposta Fast/Slow (Rápida/Lenta).

O acelerômetro e o medidor de pressão sonora podem ser visualizados na Figura 1.



FIGURA 1. Sistema de aquisição HVM-100 e medidor de pressão sonora DEC-460.

Juntamente com o acelerômetro HVM-100, utilizou-se o adaptador do tipo Barra para análise da vibração. A utilização de adaptadores é prevista pela ISO 5349 (2001) para montagens dos acelerômetros junto às mãos ou empunhaduras das ferramentas. O adaptador utilizado pode ser visualizado na Figura 2.



FIGURA 2. Adaptador do tipo Barra.

Para avaliação da vibração em mãos e braços, utilizou-se a norma internacional ISO 5349 (2001) – Vibração – Medição, Avaliação da Exposição Humana da Vibração Transmitida à Mão, partes 1 e 2, que estabelece os critérios de avaliação da vibração transmitidas por ferramentas manuais, discutidos a seguir.

É necessário que o acelerômetro não interfira na condição normal de trabalho do operador da ferramenta e que o dispositivo esteja próximo à superfície da mão para que, dessa forma, possa ser analisada a vibração transmitida ao sistema mãos e braços. Além disso, o posicionamento do acelerômetro deve obedecer ao sistema de coordenadas proposto pela ISO 5349 (2001), como pode ser visualizado na Figura 3.

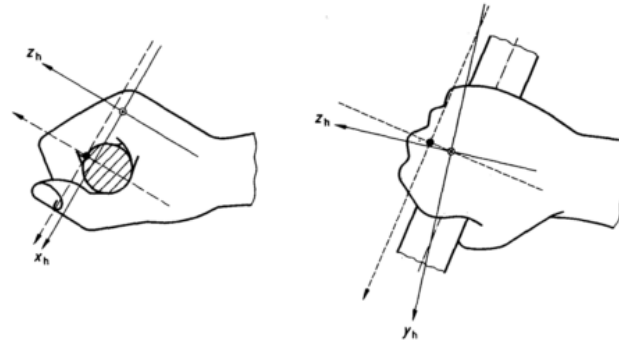


FIGURA 3. Sistema de coordenadas para a mão. Fonte: ISO 5349 (2001).

A vibração medida no sistema mãos e braços deve ser expressa em rms – raiz média quadrática – e com unidade em metros por segundo ao quadrado (m/s^2). Além disso, a vibração deve ser ponderada em frequência refletindo, assim, a importância e severidade da frequência da vibração a que o ser humano esteja exposto. A curva de ponderação pode ser visualizada na Figura 4.

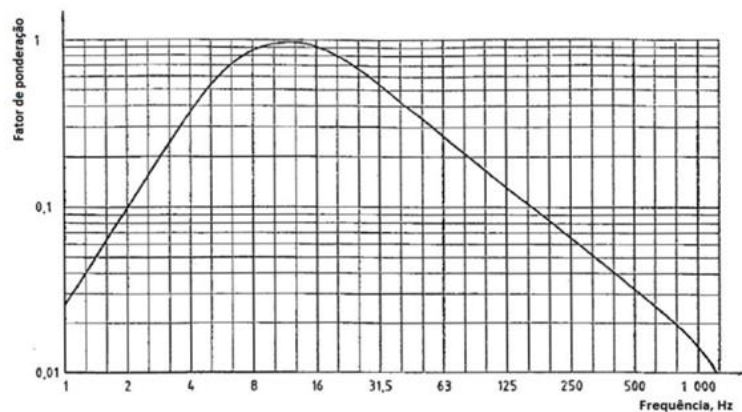


FIGURA 4. Curva de ponderação para vibrações nas mãos e braços. Fonte: ISO 5349 (2001).

Para efeito de cálculo, tem-se a Equação 1 a seguir.

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2} \quad (1)$$

em que,

a_{hv} – aceleração resultante transmitida à mão;

a_{hwx} , a_{hwy} , a_{hwz} – aceleração nos eixos x, y e z.

Juntamente com a ISO 5349 (2001), utilizou-se a Diretiva Europeia 2002/44/EC que estabelece o Nível de Ação e Limite de Exposição à vibração nas mãos e braços como pode ser visualizado na Tabela 2.

TABELA 2. Nível de Ação e Limite de Exposição. **Action Level and Exposition Limit.**

	Nível de Ação A(8)	Limite de Exposição A(8)
Mãos e Braços	2,5m/s ²	5,0m/s ²

Fonte: Diretiva 2002/44/EC (2002).

O valor de A(8) corresponde à exposição diária normalizada para uma jornada de trabalho de 8 horas diárias, obtido a partir da Equação 2.

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (2)$$

em que,

T – tempo total de duração diária de exposição à vibração a_{hv} ;

T₀ – tempo correspondente a 8 horas.

Para o ruído, utilizou-se a Norma Regulamentadora 15 – Atividades e Operações Insalubres – que normatiza os limites de exposição e estipula a maneira correta de configurar o medidor de pressão sonora e como mensurar o ruído. O Anexo 1, da NR-15 (2014), estipula que, para uma exposição ao ruído de 8 horas em uma jornada de trabalho diária, não se deve ultrapassar 85dB(A).

Os procedimentos desta pesquisa foram aprovados pelo comitê de Ética da Faculdade de Ciências da Unesp - campus de Bauru, processo número 31410214.8.0000.5398, parecer número 681.964 e um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido foi utilizado.

Os testes realizados com as roçadoras laterais motorizadas podem ser visualizados na Tabela 3.

TABELA 3. Sequência de testes. **Sequence of tests.**

Testes	Descrição
Teste 1	Roçadora em baixa rotação
Teste 2	Roçadora em alta rotação
Teste 3	Roçadora durante a ceifa da vegetação

O tempo de medição da vibração foi de 1 minuto, esse tempo está de acordo com o que preconiza a ISO 5349 (2001), com isso o acelerômetro forneceu 60 amostras (uma amostra a cada segundo). Como realizou-se três repetições para cada teste, ao final das medições obteve-se um total de 180 amostras.

Durante o período de medição da vibração, realizou-se a leitura do nível de ruído, em decibel e ponderação de frequência “A” (dB(A)). Aproximou-se o medidor de pressão sonora junto a orelha direita e esquerda do operador, assim como preconiza a NR-15 (2014), e anotou-se o valor máximo do ruído registrado pelo dispositivo. Assim como para a vibração, realizou-se três repetições para cada teste e para cada orelha.

O acelerômetro – HVM-100 – e o medidor de pressão sonora – DEC-460 – foram calibrados de acordo com o manual e bibliografias correlatadas. Após a realização dos testes, os dados de vibração foram analisados no *software Blaze* e, posteriormente, utilizou-se o *software Microsoft Office Excel 2013* para análise estatística descritiva e geração de gráficos de vibração e ruído.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os resultados da vibração gerada pelas máquinas durante os testes realizados na presente pesquisa, apresentou-se o valor da vibração de cada repetição e a média geral para cada teste. A seguir, calculou-se o tempo de exposição para que se atinja o Nível de Ação e o Limite de Exposição proposto pela Diretiva Europeia 2002/44/EC para cada nível de vibração dos testes realizados, conforme pode ser visualizado na Tabela 4.

TABELA 4 – Resultados dos testes de vibração. **Results of vibration tests.**

Teste/Máquina	Repetição 1 (m/s ²)	Repetição 2 (m/s ²)	Repetição 3 (m/s ²)	Média (m/s ²)	N.A. (horas)	L.E. (horas)
Teste 1/A	5,48	5,89	6,45	5,94	1,42	5,66
Teste 2/A	5,10	4,67	5,04	4,94	2,05	8,00
Teste 3/A	6,58	5,57	5,80	5,98	1,40	5,59
Teste 1/B	2,28	2,35	2,29	2,31	8,00	8,00
Teste 2/B	14,60	11,80	10,20	12,20	0,34	1,34
Teste 3/B	11,20	10,70	12,90	11,60	0,37	1,49

N.A. – Nível de Ação; L.E. – Limite de Exposição.

Assim como é possível visualizar na Tabela 4, apenas o teste em baixa rotação da máquina B apresentou nível permitido para uma exposição de 8 horas diárias de jornada de trabalho. Enquanto o teste em alta rotação da máquina A apresentou nível de vibração entre o Nível de Ação e Limite de Exposição proposto pela Diretiva Europeia 2002/44/EC. Os demais resultados dos testes ultrapassaram o limite permitido pela norma para uma exposição de 8 horas sem prejuízo à saúde dos operadores.

Para análise do comportamento da vibração ao longo do tempo, tem-se a Figura 5.

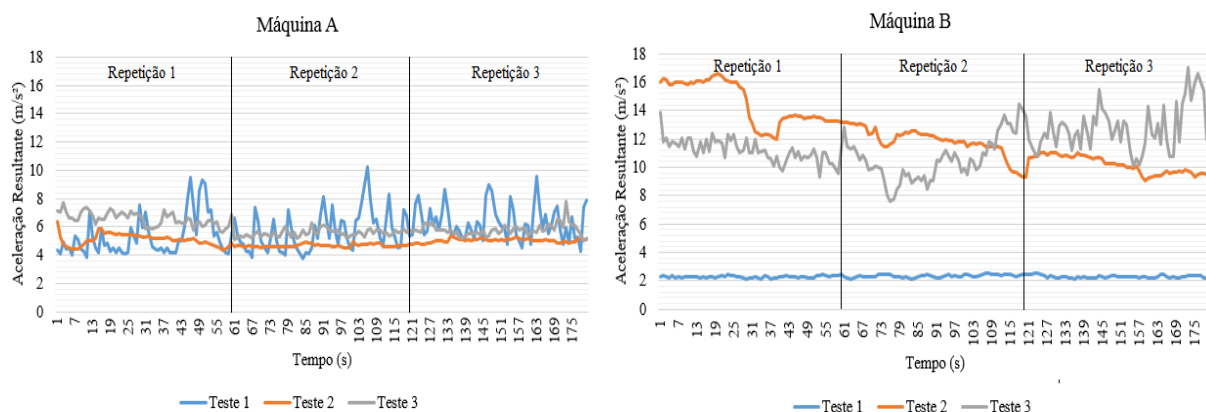


FIGURA 5. Análise da vibração ao longo do tempo.

Nota-se, através da Figura 5, que o teste em baixa rotação da máquina A apresentou grande oscilação da vibração quando comparado ao mesmo teste da máquina B. Para o teste em alta rotação, a máquina A apresentou-se de maneira mais estável e sem grandes oscilações quando comparado à máquina B. Já o teste durante a ceifa da vegetação, a máquina A não apresentou grandes oscilações da vibração ao longo do tempo, diferentemente da máquina B.

Para análise da dispersão dos resultados de vibração, gerou-se os gráficos do tipo *BoxPlot* com 180 amostras para cada teste conforme pode-se visualizar na Figura 6.

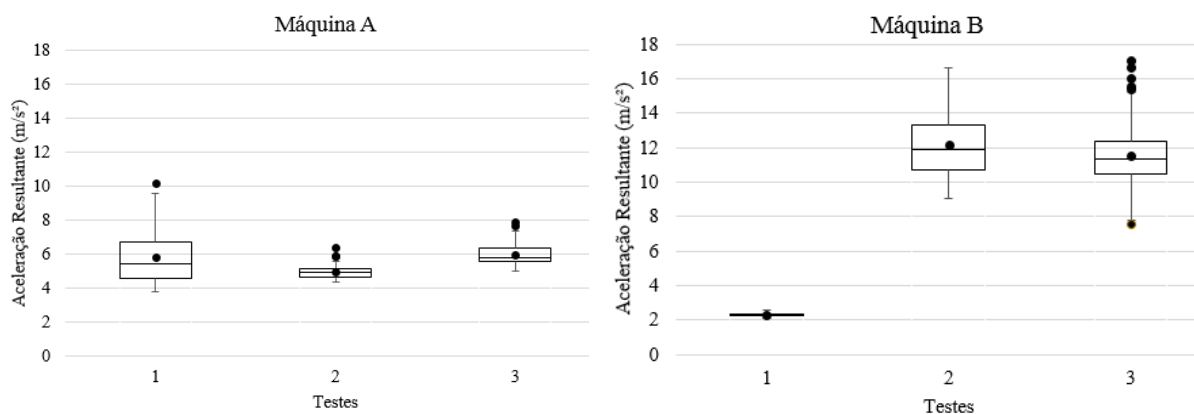


FIGURA 6. Análise de dispersão da vibração.

Percebe-se que a máquina A apresentou níveis de vibração próximos para os três testes realizados, apesar do teste em baixa rotação apresentar maior dispersão dos resultados quando comparado aos outros testes. Enquanto a máquina B apresentou baixa dispersão e com baixo nível de vibração durante o teste em baixa rotação e maior dispersão e com altos níveis de vibração para os testes em alta rotação e na ceifa da vegetação.

Conforme os dados apresentados na presente pesquisa, verificou-se que os níveis de vibração gerados pelas roçadoras podem ser extremamente prejudiciais à saúde dos operadores e, por conta disso, os usuários deste tipo de equipamento devem estar atentos aos limites de exposição propostos pelas normas. Porém, Hao, Ean e Ripin (2011) concluem, em seu trabalho, que os operadores não estão plenamente conscientes do nível de periculosidade da vibração.

Para o ruído, tem-se a Tabela 5 que apresenta os resultados obtidos na presente pesquisa.

TABELA 5 – Resultados dos testes de ruído. **Noise test results.**

Teste/Máquina	Orelha Direita			Orelha Esquerda		
	Repetição	NPS dB(A)	Média dB(A)	Repetição	NPS dB(A)	Média dB(A)
Teste 1/A	1	69,9	69,20	1	66,1	66,00
	2	68,8		2	65,8	
	3	68,8		3	66,2	
Teste 2/A	1	100,4	101,50	1	101,9	101,00
	2	101,5		2	101,0	
	3	102,5		3	100,2	
Teste 3/A	1	102,4	101,90	1	101,8	101,70
	2	101,7		2	101,4	
	3	101,6		3	101,9	
Teste 1/B	1	78,6	79,50	1	74,0	73,90
	2	81,1		2	73,6	
	3	78,7		3	74,1	
Teste 2/B	1	98,8	99,40	1	101,8	101,80
	2	99,4		2	101,7	
	3	100,0		3	102,0	
Teste 3/B	1	100,4	100,90	1	101,9	101,20
	2	100,9		2	101,5	
	3	101,5		3	100,1	

NPS – Nível de Pressão Sonora.

Como é possível visualizar na Tabela 5, calculou-se a média para cada teste e para a orelha direita e esquerda. Os resultados apresentados durante a ceifa da vegetação estão

próximos aos níveis de ruído apresentados por Alonço *et al.* (2006) na pesquisa realizada com roçadora manual motorizada. Para uma melhor interpretação e entendimento dos resultados, gerou-se o gráfico da Figura 7.

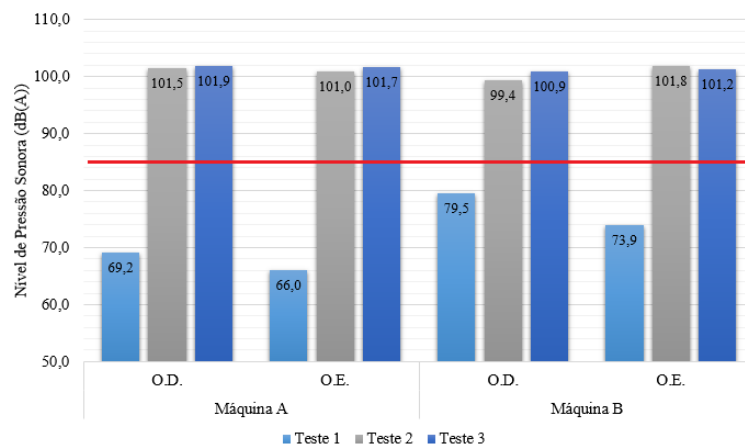


FIGURA 7. Análise de ruído para as respectivas máquinas, testes e orelha direita (O.D.) e orelha esquerda (O.E.).

Nota-se, através da Figura 7, que os testes em baixa rotação, para ambas as máquinas, apresentaram níveis abaixo dos 85dB(A), limite normatizado para uma exposição de 8 horas em uma jornada de trabalho diária. Enquanto os testes em alta rotação e durante a ceifa da vegetação, os níveis apresentaram-se acima dos 85dB(A) permitindo, segundo os resultados apresentados, uma exposição entre 45 minutos e 1 hora.

Percebe-se, ainda, que o nível de ruído se apresentou próximo entre as operações em alta rotação e durante a ceifa da vegetação para cada máquina, assim como entre máquinas para os mesmos testes. Já os testes em baixa rotação apresentaram diferenças significativas quando comparado aos outros dois testes e entre máquinas para a mesma operação em baixa rotação.

CONCLUSÕES

Através das condições estudadas e dos resultados apresentados na presente pesquisa, chegou-se as seguintes conclusões:

Verificou-se que roçadoras laterais motorizadas podem gerar altos níveis de vibração. Dessa forma, os operadores desse tipo de equipamento podem estar sujeitos a elevados níveis de vibração que, juntamente com longo período de exposição, comprometem e prejudicam a saúde.

Já para o ruído, a operação em baixa rotação apresentou Níveis de Pressão Sonora (NPS) abaixo dos 85dB(A), já para os testes em alta rotação e durante ceifa da vegetação apresentaram níveis acima do normatizado para uma exposição de 8 horas diárias. Dessa forma, é imprescindível mensurar o nível de ruído que os operadores de roçadoras laterais motorizadas ficam expostos para evitar sérios prejuízos à saúde.

A utilização de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) é de extrema importância para minimizar os efeitos causados pelas variáveis estudadas na presente pesquisa. Além disso, é importante que os usuários de roçadoras estejam atentos à ISO 5349 (2001) e à Diretiva Europeia 2002/44/EC que estipulam o tempo de exposição à vibração e à NR-15 (2014) que define o tempo de exposição ao ruído.

REFERÊNCIAS

- ALONÇO, A. S.; MEDEIROS, C. A.; MEDEIROS, F. A.; WERNER, V. **Análise ergonômica do trabalho em atividades desenvolvidas com uma roçadora manual motorizada.** Ciência Rural, Santa Maria, v.36 n.5, p.1638-1642, set-out, 2006.
- ARAÚJO, S. A. **Perda auditiva induzida pelo ruído em trabalhadores de metalúrgica.** Rev. Bras. Otorrinolaringol, v. 68, n. 1, p. 47-52, maio. 2002.
- BAAD, S. M.; QAIMI, M. G.; **A review on hand arm vibration with special reference to motorcycle handlebar.** Indian Journal of Research, v.5, June 2016.
- DUL, J.; WEERDMEEESTER, B. **Ergonomia prática.** Tradução Itiro Iida – 2ª ed. rev. e ampl. – São Paulo: Edgard Blücher, 2004.
- EUROPEAN COMMISSION, 2002. **Directive 2002/44/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration).** Official Journal of the European Communities, L177/13.
- GERGES, S. N. Y. **Ruído: Fundamentos e controle.** 2. ed. Florianópolis: Nr Editora, 2000. 676 p.
- GOMES, H. M.; SAVIONEK, D., **Measurement and evaluation of human exposure to vibration transmitted to hand-arm system during leisure cyclist activity.** Brazilian Journal of Biomedical Engineering, v.30, n.4, p.291-300, dec. 2014.
- HAO, K. Y.; EAN, O. L.; RIPIN, Z. M., **The design and development of suspended handles for reducing hand-arm vibration in petrol driven grass trimmer.** International Journal of Industrial Ergonomics, 2011. 41: 459-470.
- IIDA, I.; BUARQUE, L., **Ergonomia: Projeto e Produção.** 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2016, 850p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO), Geneva. ISO 5349-1 – **Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration.** Part 1: General requirements. Geneva, 2001a, 24p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO), Geneva. ISO 5349-2 – **Mechanical vibration -. Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration.** Part 2: Practical guidance for measurement at work place. Geneva, 2001b, 39p.
- RAO, S. S. **Vibrações mecânicas.** 4.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008, 424p.
- VENDRAME, A. C., **Vibrações Ocupacionais,** 2005, disponível em: <http://www.higieneocupacional.com.br/download/vibracoes_vendrume.pdf>, acesso em 11/08/2016