



VARIABILIDADE ESPACIAL DO NÍVEL DE RUÍDO EXTERNO EM ROTAÇÕES DE TRABALHO

Camilla Missio¹, Jorge Wilson Cortez², Anamari Viegas de Araújo Motomiya³ & Wellytton Darci Quequeto⁴

RESUMO: A principal causa das perdas auditivas relacionadas ao trabalho se dá pela alta exposição dos colaboradores a níveis elevados de ruído no ambiente de trabalho. Objetivou-se, com este trabalho, determinar o nível de ruído produzido por um trator com cabine de 62,52 kW de potência nominal do motor, em rotações de trabalho do motor que fornece 540E (econômica), 540 e 1000 rpm na TDP, e gerar mapas de propagação do ruído em função do raio de afastamento da fonte geradora de ruído. Para determinar o nível de ruído emitido pelo trator, foi utilizado um medidor de potência sonora (decibelímetro). Os níveis de ruído nas rotações de 540E, 540 e 1000 rpm apresentaram valores acima do limite de 85 dB(A) para 8 horas de exposição diária, estabelecido pela NR-15. A situação mais problemática foi encontrada na rotação de 1000 rpm, que atingiu níveis de ruído de até 100,3 dB(A). A distância da fonte emissora de ruído e a rotação influenciaram o nível de ruído gerado pela máquina. Trabalhadores que atuam a distâncias de até três metros do trator para a rotação de 540E e sete metros do trator para as rotações de 540 e 1000 rpm devem utilizar protetores auriculares.

PALAVRAS-CHAVE: Saúde ocupacional, conforto, segurança.

SPATIAL VARIABILITY OF ROTATIONS EXTERNAL NOISE LEVEL

ABSTRACT: This study aimed to determine the level of noise produced by a tractor with cabin 62.52 kW and engine power in revolutions of the motor that provides 540E (economic), 540 and 1000 rpm PTO, and to generate maps of the spatial distribution of noise in function of the noise source radius. To determine the level of noise emitted by the tractor, a sound level meter was used. The noise levels values in rotations 540E, 540 and 1000 rpm were above the limit of 85 dB (A) for eight hours of daily exposure, as established by NR-15. The most problematic situation was found at 1000 rpm rotation, which reached noise levels up to 100.3 dB (A). The distance from the noise source and the rotation influenced the level of noise generated by the machine. Workers who operate at distances up to three meters from the tractor rotation 540E and seven meters from the tractor rotations of 540 and 1000 rpm should use earplugs.

KEYWORDS: occupational health, comfort, safety.

¹ Eng. Agrícola, Mestranda em Engenharia Agrícola, Faculdade de Ciências Agrárias – FCA, Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Rodovia Dourados Itahum, km 12, 79804-970. Cidade Universitária. Dourados – MS. kmissio@hotmail.com

² Eng. Agrônomo, Prof. Dr, FCA/UFGD, Dourados - MS. jorgecortez@ufgd.edu.br Bolsista de Produtividade do CNPq.

³ Eng. Agrônoma, Profa. Dra, FCA/UFGD, Dourados - MS. anamarimotomiya@ufgd.edu.br

⁴ Graduando em Engenharia Agrícola, FCA/UFGD, Dourados – MS. wellytton_quequeto@hotmail.com

1 INTRODUÇÃO

A principal causa das perdas auditivas relacionadas ao trabalho se dá pela alta exposição dos colaboradores a níveis elevados de ruído no ambiente de trabalho (MION et al., 2009). O ruído é uma onda sonora, ou um complexo de ondas, que pode causar sensação de desconforto e gradual perda da sensibilidade auditiva. O risco de problemas auditivos é determinado pelo nível de som, frequência e tempo de exposição (CUNHA et al., 2009).

O trator é a principal fonte de potência utilizada no meio agrícola, sendo o principal instrumento de trabalho em diversas atividades; assim o conforto e segurança do operador tem sido cada vez mais exigido pelos compradores e pelas leis federais que asseguram o bem estar dos trabalhadores (ARAÚJO et al., 2014; PIMENTA JUNIOR et al., 2012).

No Brasil, a Norma NBR 9999, da ABNT, fixa as condições exigidas para a medição e registro do nível de ruído, no posto de operação, dos tratores e máquinas agrícolas (ABNT, 1987). A legislação referente às atividades e operações insalubres, a NR-15 da Portaria 3214/78 do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), estabelece em 85 dB (A) o nível máximo de ruído permitido para 8 horas de exposição diária (BRASIL, 2014).

Estudos sobre níveis de ruído em operações agrícolas contribuem para evidenciar a necessidade de se utilizar medidas de conforto e segurança para o operador, como a utilização de equipamentos de proteção individual, que visam reduzir o impacto do nível de ruído para o operador (ARCOVERDE et al., 2011; CUNHA et al., 2012; YANAGI JUNIOR et al., 2012). A exposição aos altos níveis de ruído emitidos pelas máquinas agrícolas pode trazer como consequência a perda auditiva, bem como o estresse gerado nas condições de exposição pode afetar o desempenho e a eficiência de trabalho do operador (ALVES et al., 2011).

Objetivou-se avaliar o nível de ruído produzido por um trator agrícola com cabine, em rotações do motor que equivalem na tomada de potência a 540 rpm econômica, 540 rpm e 1000 rpm, e gerar mapas de propagação do ruído em função do raio de afastamento da fonte geradora de ruído.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi realizado na área experimental da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados, sediada no município de Dourados, MS. Foi utilizado um trator com cabine da marca New Holland modelo TL 85, motor Iveco, quatro cilindros turboalimentado, com 62,52 kW de potência nominal no motor, com 60 horas trabalhadas. As análises de nível de ruído foram feitas em três rotações da tomada de potência: 540 rpm econômica, 540 rpm e 1000 rpm na TDP, ambos sem carregamento, que equivalem a 1700 rpm, 2200 rpm e 2400 rpm do motor, respectivamente.

Para determinar o nível de ruído emitido pelo trator foi utilizado um medidor de pressão sonora (decibelímetro) da marca HIGHMED, modelo HM-852, no circuito de resposta lenta e de equalização "A". O nível de ruído foi determinado próximo ao ouvido do operador e em função do raio de afastamento das máquinas.

A área onde foi feita a medição é de solo coberto por grama, e para medir o ruído em função do lado e do raio de afastamento foi marcada a área a partir da fonte do ruído, usando para essa marcação uma trena. Em cada um dos quatro lados denominados como frontal, esquerdo, traseiro e direito, foram feitas marcas até 15 m de distância. As medições do nível de ruído foram feitas a cada 1 m, efetuando-se três repetições para cada ponto.

Segundo a norma NBR 9999 (ABNT, 1987), na posição e momento do ensaio de medição do nível de ruído, a temperatura deve estar entre -5 e 30°C e a velocidade do vento deve ser no máximo 5,0 m s⁻¹, sendo estas satisfeitas, pois, foram obtidos valores médios de 0,92 m.s⁻¹ de velocidade do vento e 17,4°C de temperatura do ar. Outra exigência da norma NBR 9999 (ABNT, 1987) é que a diferença entre os valores de nível de ruído ambiente e aqueles obtidos nos testes deve ser superior a 10 dB(A). Observou-se que a diferença entre o nível de ruído ambiente e os níveis medidos ficou acima do mínimo estabelecido pela norma. Os níveis de ruído ambiente observado durante os testes foi de 42,28 dB(A).

As análises dos dados foram realizadas, comparando-os com os limites de conforto estabelecidos pela Norma NBR 10152 (ABNT, 1987), que estabelece os níveis máximos de ruído que proporcionam o mínimo de conforto aos ocupantes de um ambiente e com os limites estabelecidos pela portaria nº 3214, de 8 de junho de 1978, publicada como Norma Regulamentadora NR-15 da Consolidação das Leis do Trabalho (BRASIL, 1978), que não permite que um operador trabalhe por mais de 8 horas com um ruído máximo de 85 dB(A).

Para visualização geral do comportamento dos dados foi utilizado a estatística descritiva obtendo-se a média, mediana, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, valor mínimo e máximo e coeficientes de assimetria e curtose, e o teste Ryan-Joiner para verificar a normalidade dos dados.

Para que fosse gerado o mapa, utilizou-se coordenadas locais determinadas de acordo com a distância em que foi avaliado o nível de ruído. No centro do mapa encontra-se a origem do ruído, ou seja, o trator está posicionado no centro do mapa. Em seguida, foi calculada a semivariância para todos os pares de pontos possíveis a fim de determinar o índice de dependência espacial. A semivariância foi estimada por meio da seguinte equação (VIEIRA, 2000):

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

Em que:

$\gamma^*(h)$ = semivariância estimada para a distância h,

$N(h)$ = número de pares de valores medidos,
 h = vetor que separa a posição das medições,
 $Z(x_i)$ = valor da variável na posição x ,
 $Z(x_i+h)$ = valor da variável na posição $x + h$.

Os modelos teóricos foram testados e o que melhor se ajustou foi selecionado para o ajuste do semivariograma. Tais ajustes foram encontrados a partir do melhor coeficiente de determinação (R^2) e da menor soma de quadrados de resíduos.

O IDE (índice de dependência espacial), que é a relação entre o efeito pepita (C_0) e o patamar (C_0+C), foi calculado utilizando-se a Equação 2, descrita por Guimarães (2004), que apresenta as seguintes proporções: (i) dependência forte menor que 25%; (ii) dependência moderada de 25% a 75%; (iii) dependência fraca maior que 75%; e (iv) independência entre as amostras, quando a relação for igual a 100%.

$$IDE(\%) = \frac{C_0}{C_0 + C} \times 100 \quad (2)$$

O modelo escolhido foi posto a prova por meio da validação cruzada. A validação mostra a ideia que se o fenômeno foi satisfatoriamente modelado, é possível reproduzir, com boa aproximação, a informação da amostra. Posteriormente os mapas foram obtidos por interpolação utilizando a krigagem ordinária.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desvio padrão (DP) em relação a média pode ser considerado baixo nas três rotações, sendo confirmado

pelos valores de máximos (Máx) e mínimos (Mín) observados na (Tabela 1), indicando que não houveram valores discrepantes e a baixa variabilidade entre os dados.

Por meio da estatística descritiva é possível caracterizar o comportamento da variável estudada, e observa-se que a variância dos dados ficou próxima em todos os tratamentos. Utilizando a classificação proposta por Warrick & Nielsen (1980), que considera CV alto ($CV > 62\%$), médio ($12\% < CV < 62\%$) e baixo ($< 12\%$), percebe-se que os dados apresentaram baixa variabilidade nas três rotações avaliadas (Tabela 1). A mediana indica a tendência central dos dados, sendo que os valores foram próximos à média. Os coeficientes de assimetria e curtose indicam a normalidade dos dados, valores próximos a zero indicam uma tendência dos dados à distribuição normal (GUIMARÃES, 2004). Pelos valores de máximo e mínimo observa-se que o aumento da rotação de trabalho do trator gera incremento nos níveis de ruído. Couto et al. (2011), avaliando o nível de ruído em trator agrícola em rotações do motor, observaram que as rotações causaram variação estatisticamente significativa no nível de ruído emitido pelo trator. A rotação de 540rpm E apresentou valores de $p \geq 0,05$, sendo não significativo, com os dados normais e distribuição simétrica, e as rotações de 540 e 1000 rpm apresentaram valores $p < 0,05$, sendo estes significativos, com dados não normais e assimétricos. E apresentaram coeficiente de determinação próximo a um.

Tabela 1 – Estatística descritiva para o nível de ruído nas rotações de trabalho.

Rotação (rpm)	Parâmetros										
	M	Md	DP	V	CV(%)	Mín	Máx	A	C	R ²	N
540 E	76,26	74,40	6,33	40,10	8,30	66,00	74,40	0,68	-0,15	0,98	0,05
540	81,08	79,40	6,61	43,68	8,15	71,50	98,80	0,66	-0,48	0,97	<0,01
1000	83,54	82,10	6,81	46,44	8,16	73,90	100,30	0,58	-0,65	0,97	0,02

*M – Média; Md – Mediana; DP – Desvio Padrão; V – Variância; CV – Coeficiente de Variação; Mín – Mínimo; Máx – Máximo; A – Assimetria; C – Curtose; R² - coeficiente de determinação; N – teste de normalidade.

O melhor modelo de semi variograma ajustado para os níveis de ruído foi o gaussiano (Tabela 2), sendo o que apresentou o valor de R² mais próximo de um e o menor valor de RSS, é um modelo considerado transitivo, pois a partir de uma determinada distância entre as amostras não existe mais dependência espacial (FARIA et al., 2008). O efeito pepita mostra a variabilidade não explicada pela distância da amostra, como variações locais, erros de análise, erros de amostragem

(YANAGIJUNIOR et al., 2012). Os dados não apresentaram discrepâncias no início da curva apresentando um valor de efeito pepita baixas, nas três rotações estudadas. A partir do patamar (P) não existe mais dependência espacial entre as amostras. Os resultados mostram que o nível de ruído nas três rotações avaliadas apresentou-se com forte dependência espacial, pois o efeito pepita é menor ou igual a 25% do patamar (GUIMARÃES, 2004).

Tabela 1 – Estatística descritiva para o nível de ruído nas rotações de trabalho.

Rotação (rpm)	Parâmetros										
	M	Md	DP	V	CV(%)	Mín	Máx	A	C	R ²	N
540 E	76,26	74,40	6,33	40,10	8,30	66,00	74,40	0,68	-0,15	0,98	0,05
540	81,08	79,40	6,61	43,68	8,15	71,50	98,80	0,66	-0,48	0,97	<0,01
1000	83,54	82,10	6,81	46,44	8,16	73,90	100,30	0,58	-0,65	0,97	0,02

*M – Média; Md – Mediana; DP – Desvio Padrão; V – Variância; CV – Coeficiente de Variação; Mín – Mínimo; Máx – Máximo; A – Assimetria; C – Curtose; R² - coeficiente de determinação; N – teste de normalidade.

A dependência espacial ocorre em um raio de alcance de 12,33 m para a rotação de 540 rpm econômica, 12,76 m para 540 rpm e 13,36 m para 1000 rpm, ou seja, até essa distância os pontos amostrais estão correlacionados entre si. A validação cruzada (Tabela 2) apresentou coeficiente de regressão e coeficiente angular próximo a um coeficiente linear próximo a zero, indicando a acurácia dos modelos ajustados para os níveis de ruído nas diferentes rotações na TDP.

O mapa da propagação do ruído apresenta o efeito da distância no nível de ruído; as cores em escala de cinza representam os níveis de ruído em decibéis, sendo que, quanto mais escura a cor maior o nível de ruído, assim como quanto maior a distância da fonte, menor o nível de ruído (Figura 3). Percebe-se que o nível de ruído é mais elevada na parte frontal do trator, o que é explicado pelo fato do motor se alocar na parte frontal e ser o responsável pela maior emissão de ruído do trator. Os mapas facilitam a visualização e identificação das áreas insalubres aos trabalhadores.

Pelos mapas (Figura 3), pode-se perceber que trabalhadores que atuam em distâncias de até 3 m do trator para a rotação de 540 econômica e 7 m do trator para as rotações de 540 e 1000 rpm devem utilizar protetores auriculares, pois os níveis de ruído ultrapassam os valores permitidos pela NR-15 que é de 85 dB(A), evitando perdas de produtividade e danos à saúde dos trabalhadores que atuam nessas áreas. O ruído apresenta comportamento semelhante nas três rotações avaliadas, o que pode ser visualizado nos mapas, pois a variabilidade se apresentou bem próxima nos três mapas.

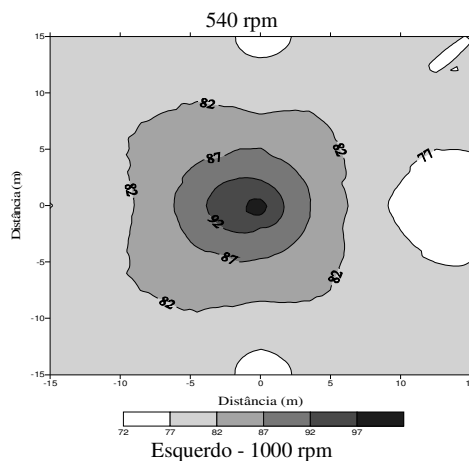
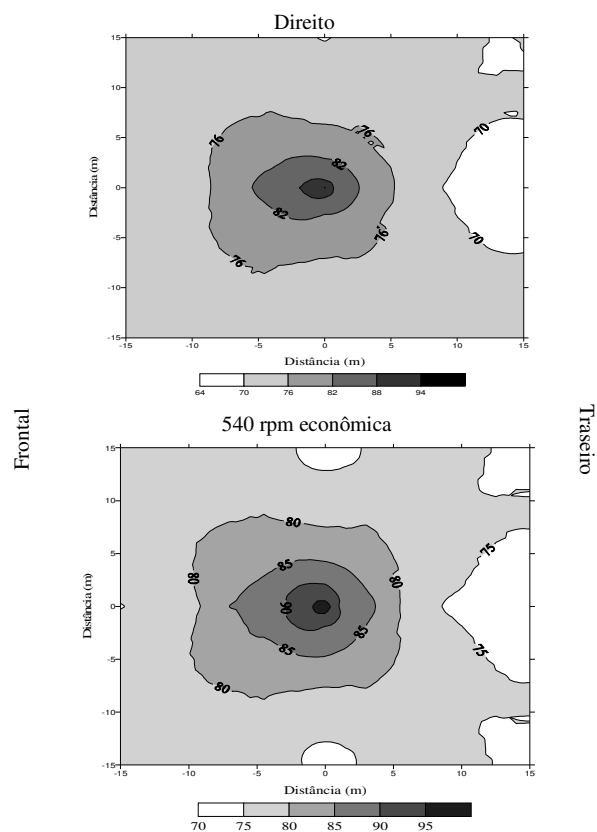


Figura 3 – Mapas de variabilidade espacial do ruído (dB(A)) emitido pelo trator, na rotação de 540E (econômica), 540 e 1000rpm.

4 CONCLUSÃO

Os níveis de ruído apresentaram forte grau de dependência espacial. As três rotações avaliadas apresentaram valores de ruído acima do limite estabelecido pela NR-15. A situação mais problemática foi encontrada na maior rotação de trabalho. Trabalhadores que atuam em distâncias de até três metros do trator para a rotação de 540 econômica e sete metros do trator para as rotações de 540 e 1000 rpm devem utilizar protetores auriculares.

5 AGRADECIMENTOS

A CAPES e ao CNPQ pelas bolsas concedidas. A UFGD pelo apoio na realização do trabalho.

6 REFERENCIAS

- ALVES, A. D.; COSTA, F. R. L.;CORTEZ, J. W.;DANTAS, A. C. S.;NAGAHAMA, H. J. Níveis de potência sonora emitidos por trator agrícola em condições estáticas e dinâmicas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v. 41, n. 1, p. 110-119, 2011.
- ARAÚJO, V. F.;HONORATO, A. C.;CORTEZ, J. W.;FILHO, A. P. P.;NAGAHAMA, H. J. Patinagem, opacidade e ruído de três tratores agrícolas de pneus. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 29, n.1, p. 01-08, 2014.
- ASCOVERDE, S. N. S.;CORTEZ, J. W.; PITANGA JUNIOR, C. O.; NAGAHAMA, H. J. Nível de potência sonora nas operações agrícolas. **Nucleus**, Ituverava, v.8, n.1, p. 277-286, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Norma NBR 9999**: Medição do nível do ruído, no posto de operação, de tratores e máquinas agrícolas. Rio de Janeiro, 21p, 1987.

BRASIL (MINISTÉRIO DO TRABALHO E DO EMPREGO). Portaria GM n.º 3.214, de 08 de junho de 1978. Norma Regulamentadora nº15 : Atividades e operações insalubres. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 06 de julho de 1978. Disponível em:

<http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812BE914E6012BEF2FA9E54BC6/nr_15_anexo1.pdf> Acesso: 09 de set. de 2014.

COUTO, R. F.; DELMOND, J. G.; CUNHA, J. G. B.; MACHADO, T. A.; REIS, E. F. Análise de ruído emitido por trator agrícola em diferentes ambientes e rotações do motor. IX Seminário de Iniciação Científica, VI Jornada de Pesquisa e Pós-Graduação e Semana Nacional de Ciência e Tecnologia. UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS. Anapólis, 2011.

CUNHA, J. P. A. R.; DUARTE, M. A. V.; RODRIGUES, J. C. Avaliação dos níveis de vibração e ruído emitidos por um trator agrícola em preparo de solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v. 39, n. 4, p. 348-355, 2009.

CUNHA, J. P. A. R.; DUARTE, M. A. V.; SOUZA, C. M. A. Vibração e ruído emitidos por dois tratores agrícolas. **Idesia**, Arica, v. 30, n. 1, p. 25-34, 2012.

FARIA, F. F.; MOURA, D. J.; SOUZA, Z. M.; MATARAZZO, S. V. Variabilidade Espacial do microclima de um galpão utilizado para confinamento de bovinos de leite. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.9, p.2498-2505, 2008.

GUIMARÃES, E.C. **Geoestatística básica e aplicada**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2004. 77p. (Apostila).

PIMENTA JUNIOR, C. G.; DELMOND, J. G.; CUNHA, J. P. B.; COUTO, R. F.; LEONIDIO, D. M.; REIS, E. F. Análise espacial do nível de ruído emitido por trator agrícola. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.7, n.3, p.514-520, 2012.

YANAGI JUNIOR, T.; SCHIASSI, L.; ROSSONI, D. F.; PONCIANO, P. F., LIMA, R. R. Spatial variability of noise level in agricultural machines. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.2, p.217-225, 2012.

MION, R. L.; VILIOTTI, C. A.; DANTAS, M. J. F.; NASCIMENTO, E. M. S. Avaliação dos níveis de ruído de um conjunto mecanizado trator e semeadora adubadora pneumática. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.17, n.2, p.87-92, 2009.

VIEIRA, S.R. Geoestatística aplicada a agricultura de precisão. In: Borém, A.; Giudice, M.P.; Queiroz, D.M.; Mantovani, E.C.; Ferreira, L.R.; Valle, F.X.R.; Gomide, R.L. (ed.). **Agricultura de Precisão**. Viçosa: UFV, p. 93-108, 2000.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R.; Spatial variability of same physical properties of the soil. In: Hillel, D. (ed.) **Applications of soil physics**, New York: Academic Press, Cap. 13, p.319-344, 1980.