10.30612/agrarian.v12i45.9640

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

Emissão de ruído de motor estacionário com misturas de biodiesel/diesel

Noise Emission from stationary engine with biodiesel/diesel blends

Camila Coelho Guimarães[1], Vivianni Marques Leite dos Santos[2], Jorge Wilson Cortez[3]

[1]Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB)/Centro Muldisciplinar de Bom Jesus da Lapa - 1100, Av. Dr. Manoel Novaes, 1028, Bom Jesus da Lapa - BA, 47600-000. E_mail: camila.c.guimaraes@hotmail.com camila.guimaraes@ufob.edu.br ;[2]Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF)/Campus Juazeiro; [3]Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)/ Faculdade de Ciências Agrarias (FCA)

Recebido em: 01/04/2019 Aceito em:20/08/2019

Resumo: Os motores a diesel, presentes nas máquinas e equipamentos utilizados no meio agrícola, apresentam-se como principais fontes de emissão de ruído, devido ao processo de combustão. A exposição excessiva a esse agente físico pode provocar danos à saúde dos operadores e reduzir seu desempenho produtivo. Como o biodiesel tem sido inserido gradativamente na matriz energética, objetivou-se avaliar as possíveis alterações na emissão de ruído de motor estacionário a diesel utilizando misturas de diesel/ biodiesel (B25 e B40), sendo estas compostas por misturas de biodiesel de soja e mamona (S100M0, S75M25, S50M50, S25M75 e S0M100), em diferentes rotações (3500, 2900, 2200 e 1500 rpm). Também foi considerado o raio de afastamento da fonte de emissão sonora e a posição em relação ao motor. Os dados foram tratados por meio da análise de variância, teste de Tukey e análise espacial. O uso das misturas de biodiesel de soja e mamona em misturas contendo até 40% de biodiesel no diesel é viável quanto à emissão de ruído, uma vez que as médias não diferem entre si, independente do raio de afastamento, da posição e da rotação, com resultados similares àquele obtido com o diesel B7. A pressão sonora é captada com menor magnitude, conforme o aumento do raio de afastamento, bem como com a redução da rotação. Adicionalmente, verificou-se maior emissão de ruído para a posição esquerda devido à presença do escapamento e necessidade de utilização de proteção auricular em até 3 m de distância do motor.

Palavras-chaves: análise espacial, biocombustíveis, pressão sonora

Abstract: The diesel engines, present in the machines and equipment used in the agricultural environment, present themselves as main sources of noise emission, due to the combustion process. Excessive exposure to this physical agent can cause damage to the health of operator´s and reduce their productive performance. As biodiesel has been gradually inserted in the energy matrix, the objective was to evaluate the possible changes in the emission of stationary diesel engine noise using diesel/biodiesel blends (B25 and B40), which are composed of biodiesel blends of soybean and castor oil (S100M0, S75M25, S50M50, S25M75 and S0M100) at different speeds (3500, 2900, 2200 and 1500 rpm). Also considered was the distance radius of the source of sound emission and the position in relation to the engine. The data was treated through analysis of variance, Tukey test and spatial analysis. The use of biodiesel blends of soybean and castor oil in mixtures containing up to 40% of biodiesel in diesel is feasible in terms of noise emission, since the means do not differ from each other, regardless of distance, position and rotation, with results similar to that obtained with diesel B7. The sound pressure is picked up with a smaller magnitude, depending on the increase of the radius of separation, as well as with the reduction of the rotation. In addition, there was a higher noise emission to the left position due to the presence of the exhaust and the need to use ear protection up to 3 m away from the engine.

Keywords: spatial analysis, biofuels, sound pressure

Introdução

O ruído produzido pelas máquinas agrícolas gera grande desconforto para o trabalhador de modo a influenciar na produtividade das operações agropecuárias. A diminuição dos níveis de vibração e ruído implicam em avanços tecnológicos, no sentido de obter um melhor aproveitamento de potência e diminuição de

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

desgaste e de esforços mecânicos, com vantagens ambientais e econômicas.

Boas condições de trabalho constituem importante diferencial para o incremento da produtividade nas operações agrícolas, visto que condições adversas, inerentes às práticas agrícolas, tais como as questões ambientais e os agentes físicos, como a pressão sonora, promovem aumento do estresse e do desconforto nas atividades de campo, podendo comprometer, em longo prazo, a saúde do trabalhador, reduzindo sua eficiência operacional e aumentando o risco de acidentes de trabalho (Cunha e Teodoro, 2006).

No meio agrícola, as máquinas são geralmente dotadas de motores à combustão, sendo estes os principais geradores de ruído. No processo de combustão a variação brusca da pressão dos gases dentro da câmara, dá origem ao ruído de combustão, sendo este influenciado por diversos fatores tais como o tipo de sistema de combustão, o tempo de entrega dos combustíveis na câmara de combustão, temperatura do motor, condições ambientes e o tipo de combustível utilizado. Enquanto que a contribuição de todas as outras fontes do motor caracteriza o ruído mecânico (Zannin e Pacheco, 2006).

O ruído característico da queima do diesel faz do motor a principal fonte de ruído em máquinas movidas a diesel (Parizet et al., 2004). Além disso, a combustão dos derivados de petróleo, como o diesel, contribui com a emissão de muitos gases poluentes (Perin et al., 2015), impactando negativamente a saúde humana e promovendo alterações climáticas (Santos et al., 2016). Uma alternativa para a redução desses poluentes pode estar relacionada à utilização de combustíveis que promovam uma combustão mais limpa e silenciosa.

Pesquisadores têm investigado modos de redução da emissão de poluentes, sejam eles gasosos ou sonoros, que possam auxiliar na atividade laboral, de forma a reduzir os impactos negativos causados por tais fatores. Yanagi Junior et al. (2012), Magalhães et al. (2012) e Baesso et al. (2014) avaliaram a propagação do ruído utilizando diferentes máquinas agrícolas e situações de trabalho, correlacionando os resultados com as melhores condições de utilização dos equipamentos, conforme as normas do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) e demonstraram necessidade de uso de equipamentos de proteção pelo operador, devido os índices de ruído superarem o recomendado pela norma.

A utilização de biodiesel em substituição ao diesel vem sendo feita de forma progressiva em virtude dos compromissos com a redução da emissão de poluentes, além disso, esse combustível possui como característica a não toxidade, a biodegradabilidade e poder de renovação (energia renovável) (Selvam e Vadivel, 2013).

Com objetivo de verificar a influência da utilização do biodiesel na condição laboral, em termos de emissão de níveis sonoros (ruído), investigou-se possíveis diferenças existentes na emissão da pressão sonora de motor do ciclo diesel com o uso de misturas de biodiesel de soja e mamona (S100M0, S75M25, S50M50, S25M75 e S0M100) adicionadas ao diesel (S500), em relação ao diesel B7, submetidas a quatro rotações distintas (3500, 2900, 2200 e 1500 rpm). Adicionalmente, avaliou-se a pressão sonora em diferentes raios de afastamento e posições em relação ao motor, comparando os resultados com as normas que estabelecem limite de exposição humana a esse agente físico, utilizando as metodologias de análises estatísticas, a análise de variância e espacial.

Material e Métodos

Os experimentos foram conduzidos na Universidade Federal do Vale do São Francisco, localizada em Juazeiro (BA), cuja latitude é de 09º24’ sul, longitude de 40º30’ oeste e altitude de 368 m.

As condições meteorológicas locais, durante a realização do ensaio de ruído, não excederam 32°C de temperatura e 7,00 m/s de velocidade do vento, cuja determinação foi obtida com o auxílio do Termo Anemômetro, equipamento novo com calibração de fábrica, com precisão de ±3%, ±0,20 m/s, na leitura da velocidade do vento, e de ±2,0°C, em relação à temperatura.

O biodiesel de soja, obtido por transesterificação metílica, com catálise alcalina, utilizado para o teste de ruído, foi cedido pela Granol (GO), enquanto que o biodiesel de mamona foi transesterificado com o apoio da Usina Experimental de Biodiesel de Caetés (PE).

As misturas analisadas nesse estudo resultaram de diferentes combinações de biodiesel de soja e de mamona, que originaram cinco misturas, sendo elas designadas pela sigla SyMx,

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

onde S corresponde ao biodiesel de soja e M ao biodiesel de mamona, cujas proporções (%) equivalem a y e x, respectivamente. Em seguida, as misturas S100M0, S75M25, S50M50, S25M75 e S0M100 foram adicionadas ao diesel S500 (com 7% de biodiesel, B7) para obtenção das misturas BX (em que X representa a porcentagem de biodiesel misturada ao diesel) com 25 (B25) e 40% de biodiesel (B40).

Alguns parâmetros de controle de qualidade dos combustíveis utilizados nesse estudo estão dispostos na Tabela 1, e apresentam conformidade com os limites estabelecidos pela Agencia Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

A fonte de potência foi localizada no centro de uma área em torno de 900 m², a céu aberto, com piso concretado. O motor utilizado nos testes foi do tipo estacionário, mono-cilíndrico, 4 tempos, injeção direta de combustível e potência nominal de 5,7 kW a 3000 rpm e 6,7 kW a 3600 rpm; acoplado a um gerador trifásico, com 36 kVA de potência, 1800 rpm e 220 volts.

Os níveis de ruído foram determinados por meio do decibelímetro digital – modelo IEC 61672-1, com três faixas de medição (30-80; 50-100 e 80-130 dB) e protetor de vento, classe tipo 2 – conforme Brasil (2014) nos circuitos de resposta lenta (S-LOW) e de equalização "A", sendo expresso em dB(A).

Para a medição dos níveis de pressão sonora resultante da emissão de ruído pelo motor, sobre influência das misturas B25 e B40 com S100M0, S25M75, S50M50, S25M75 e S0M100 e das rotações de 3500, 2900, 2200 e 1500 rpm, posicionou-se o medidor de nível de pressão sonora próximo ao ouvido do avaliador, cuja altura era de 1,70 m, conforme metodologia adaptada daquela utilizada por Alves et al. (2011).

Avaliou-se o ruído em função do raio de afastamento em relação ao motor com verificação das leituras a cada distância de 1 m do motor até a distância máxima de 15 m, nas posições anterior, posterior, esquerda e direita, considerando o motor no centro da área experimental (Figura 1) e cinco repetições de leitura para cada condição (cada ponto).

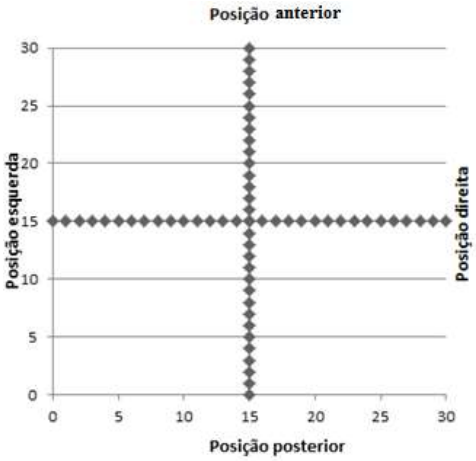

Figura 1. Esquema de amostragem dos valores de ruído em relação da posição do motor

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC) em fatorial com três fatores, 11x4x4, para a avaliação do nível de ruído em função das onze misturas BX/SyMx, das quatro posições (anterior, posterior, esquerda e direita) e das quatro rotações (3500, 2900, 2200 e 1500 rpm), para cada raio de afastamento. Realizou-se a análise de variância, aplicando-se o teste de Tukey para comparação de médias quando significativos ao teste de Fisher "F" a 5% de probabilidade.

Para uma visualização da propagação espacial do ruído, utilizou-se a análise espacial, ferramenta que identifica a variabilidade espacial e como esta se distribui na área em estudo, com a confecção de mapas, de forma a permitir o gerenciamento mais preciso das intervenções necessárias (Ferraz et al., 2017) com relação à exposição ao ruído, sendo esta metodologia recomendada por Yanagi Junior et al. (2012).

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

Tabela 1. Especificação da qualidade dos combustíveis em termos de viscosidade cinemática e estabilidade a oxidação.

Misturas SyMx	Viscosidade cinemática a 40° C [ABNT NBR 10441 – 3-6 $mm^2 s^{-1}$] ($mm^2 s^{-1}$)		Estabilidade a oxidação [EN 14112 – 6 h] (h)	
	B25	B40	B25	B40
S100M0	3,19	3,35	10,6	8,0
S75M25	3,31	3,70	7,6	6,5
S50M50	3,38	4,17	11,0	10,9
S25M75	3,49	4,66	19,2	17,3
S0M100	3,84	5,26	31,0	25,0
B7	3,03		35,0	

Fonte: Cortez et al., (2018).

Para isso, foram construídos semivariogramas, partindo-se da pressuposição de estacionalidade da hipótese intrínseca e do cálculo da função semivariância, e os ajustes dos modelos teóricos. Esses ajustes foram feitos "a sentimento", expressão que representa a escolha do modelo e respectivos parâmetros utilizando-se os pontos estimados e a melhor adequação visual gráfica. O ajuste do semivariograma foi determinado pelo maior valor do coeficiente de determinação (R^2), menor valor da soma do quadrado dos desvios (RSS) e maior valor da dependência espacial (ADE). O modelo escolhido foi posto à prova por meio da validação cruzada, que permite selecionar o semivariograma adequadamente. O melhor detalhamento espacial do atributo estudado foi obtido com os mapas de isolinhas (bidimensionais), que foram determinados por meio da Krigagem ordinária.

Resultados e Discussão

A média do ruído para as misturas BX/SyMx, posições e rotações, bem como para a interação desses fatores entre si, foi significativa, quando avaliada em relação a cada raio de afastamento. Adicionalmente, a média do nível de ruído emitido com o uso das misturas BX/SyMx e os valores encontrados para cada raio de afastamento apresentaram significância conforme análise de variância (Tabela 2).

Os níveis de pressão sonora apresentam maior intensidade nos raios de afastamento mais próximos ao motor (Tabela 3), com exceção do resultado da linha referente à média BX/SyMx.

Ao avaliar o nível de ruído emitido (Tabela 3), entre as misturas BX/SyMx em relação a cada distância em que foi posicionado o decibelímetro, observou-se a existência de resultados que diferem significativamente. O diesel B7 e a mistura/blenda com 40% de biodiesel (B40) de mamona (S0M100), comparada aos demais combustíveis, foram os que apresentaram menor valor de ruído nas distâncias avaliadas, enquanto que o B25 S50M50 foi o que promoveu maior emissão de ruído. No entanto, essas diferenças são muito pequenas, e por isso, as médias das emissões de ruído das misturas BX/SyMx foram semelhantes entre si (Tabela 3), mostrando que o uso de até 40% de biodiesel de mamona em mistura ao diesel (B40 S0M100) não promoveu alterações no processo de combustão, e, consequentemente, não aumentou a emissão de ruído.

Há viabilidade no uso das misturas BX/SyMx estudadas (Tabela 3), tendo em vista que se esperava aumento da emissão sonora devido a maior viscosidade e a presença de oxigênio na molécula do biodiesel, pois, segundo Rounce et al. (2010), combustíveis oxigenados promovem aumento do pico de pressão no cilindro e consequentemente aumento de ruído.

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

Tabela 2. Síntese da análise de variância dos valores médios do nível de ruído em função da posição, mistura/blenda (BX/SyMx), rotação e raio de afastamento (R)

	TESTE DE F								
	F calculado para cada raio de afastamento								
R (m)	Posição (F1) **	BX/SyMx (F2) **	Rotação (F3) **	F1xF2 **	F1xF3 **	F2xF3 **	F1xF2xF3 **	Trata-mento **	CV (%)
1	8871,72	11,74	9204,63	15,74	47,56	10,76	18,61	327,11	0,50
2	1422,05	20,72	6208,52	11,09	57,76	12,58	9,51	143,91	0,58
3	1341,37	16,15	4881,79	9,28	34,11	9,11	9,77	117,54	0,69
4	2286,03	41,48	8284,74	32,64	54,10	30,58	21,50	208,26	0,54
5	1410,66	35,76	7906,54	25,84	78,44	19,32	9,21	178,28	0,60
6	1705,41	54,74	11786,74	29,47	121,92	19,90	15,20	256,97	0,50
7	1104,96	68,29	9783,30	24,20	80,10	21,45	15,58	210,52	0,53
8	457,26	31,64	7187,96	14,66	26,09	23,31	9,60	145,66	0,63
9	988,37	70,52	10219,07	25,03	39,34	30,46	15,28	215,55	0,52
10	2041,63	48,28	8992,15	22,27	62,58	16,17	13,69	208,76	0,53
11	3166,87	52,35	7180,65	18,70	84,06	10,25	10,07	194,84	0,59
12	2585,64	35,90	4821,02	17,19	47,70	8,62	6,82	139,41	0,74
13	5049,42	52,97	7975,90	22,21	98,26	19,00	9,48	243,31	0,59
14	784,48	11,34	2247,65	5,48	23,25	5,28	2,53	56,97	1,15
15	1313,30	32,76	5888,71	8,35	44,02	9,59	5,02	133,25	0,75
F calculado; Misturas BX/SyMx: 0,0385 **; CV (%): 7,36; Raio de afastamento: 3560,77 **; CV (%): 0,41									

** significativo (P≤0,01); CV: coeficiente de variação (%)

A maior viscosidade do biodiesel, em relação ao diesel, (sendo o de mamona mais viscoso que o de soja) (Monteiro et al., 2013), pode contribuir com o aumento da emissão de ruído do motor, devido a redução da vazão da bomba de injeção de combustível, e consequente aumento da pressão na linha de injeção (Payri et al., 2011). No entanto, o bom desempenho das misturas BX/SyMx estudadas, cujas médias dos níveis de pressão sonora foram similares ao obtido com o diesel (B7) pode estar relacionado à conformidade das mesmas com relação às exigências da ANP (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis), em termos de viscosidade.

A emissão de ruído pode ter sofrido influência, também, de outras caraterísticas do combustível, como o número de cetano (NC), que é maior para o biodiesel que para o diesel (Lôbo et al., 2009). Considerando este parâmetro, o biodiesel promove menor emissão sonora, tendo em vista que, segundo Ladommatos et al. (1996), o aumento do NC reduz o aumento máximo da pressão, devido ao menor atraso da ignição, reduzindo assim a emissão de ruído irradiado e de gases poluentes.

Sendo assim, os resultados similares de nível de ruído para as misturas BX/SyMx, quando comparadas ao diesel, podem estar relacionados à compensação, devido as diferentes características físico-químicas do biodiesel e suas influências sobre o ruído.

Com o distanciamento progressivo da fonte geradora de ruído, houve esperada redução da pressão sonora registrada no decibelímetro, de modo que, para todos os combustíveis analisados, o menor valor foi observado para o raio de afastamento de 15 m (Tabela 3 e Tabela 4). Segundo Fernandes (2005), o aumento da distância em relação à fonte, aumenta a área de propagação das ondas vibratórias e, consequentemente, diminui a intensidade sonora. Esse resultado concorda com os obtidos por Alves et al. (2011), que estudaram a interação dos níveis de pressão sonora em função da posição e do raio de afastamento em condição estática e dinâmica e também com aqueles obtidos por Magalhães et al. (2012) ao estudarem níveis de pressão sonora em tratores agrícolas.

Tabela 3. Síntese dos valores médios do ruído obtido com as diferentes misturas BX/SyMx em relação ao raio de afastamento.

R (m)	MISTURAS BX/SyMx											Ruído médio R
	B25 S100M0	B25 S75M25	B25 S50M50	B25 S25M75	B25 S0M100	B40 S100M0	B40 S75M25	B40 S50M50	B40 S25M75	B40 S0M100	B7	
1	87,51 bc	87,50 bc	87,80 a	87,56 b	87,33 cd	87,62 ab	87,44 bc	87,44 bc	87,45 bc	87,17d	87,29 cd	87,44 A
2	85,51b	85,58 b	85,97 a	85,33 bc	85,46 b	85,54 b	85,53 b	85,33 bc	85,44 b	84,99 d	85,16 cd	85,44 B
3	82,59 cd	83,09 ab	83,28 a	83,16 a	82,92 ab	82,98 ab	82,97 ab	82,84 bc	82,84 bc	82,45 d	82,49 d	82,87 C
4	80,82ad	81,18 a	81,19 a	81,21 a	80,92 bc	81,08 ab	80,72 cd	80,64 de	80,83 cd	80,25 f	80,44 ef	80,84 D
5	78,28 ef	78,65 bc	78,80 ab	78,91 a	78,52 cd	78,82 ab	78,24 ef	78,65 bc	78,40 de	77,91 g	78,14 fg	78,48 E
6	76,72 de	77,14 ab	77,33 a	76,99 bc	76,85 cd	77,06 b	76,49 f	76,85 cd	76,61 ef	76,23 g	76,56 ef	76,80 F
7	75,26 de	75,89 b	76,18 a	75,56 c	75,46 cd	75,79 b	75,35 cde	75,44 cd	75,42 cde	74,79 f	75,24 e	75,49 G
8	74,31 de	74,60 bc	74,94 a	74,39 cde	74,34 de	74,63 b	74,17 ef	74,47 bcd	74,28 de	73,92 g	73,99 fg	74,37 H
9	73,58 c	74,14 a	74,28 a	73,65 bc	73,66 bc	73,69 bc	73,37 d	73,84 b	73,61 c	73,09 e	73,20 de	73,65 I
10	73,14 de	73,46 ab	73,63 a	73,06 e	73,15 de	73,26 cd	72,76 f	73,35 bc	73,15 de	72,69 f	72,75 f	74,13 J
11	72,47 d	72,84 b	73,16 a	72,50 d	72,75 b	72,75 b	72,41 d	72,74 bc	72,51 cd	72,05 e	71,95 e	72,56 L
12	71,80 cd	72,00 bc	72,50 a	71,71 d	71,89 bcd	72,08 b	71,66 d	71,90 bcd	71,72 d	71,32 e	71,18 e	71,80 M
13	71,14 cde	71,37 b	71,87 a	71,07 de	71,16 bcde	71,28 bcd	71,11 cde	71,30 bc	71,02 e	70,52 g	70,76 f	71,15 N
14	70,26 bc	70,64 ab	70,79 a	70,33 b	70,45 ab	70,37 b	70,27 b	70,49 ab	70,29 b	69,74 d	69,86 cd	70,32 O
15	69,33 def	69,93 ab	70,10 a	69,42 de	69,38 de	69,49 cde	69,56 cd	69,71 bc	69,25 efg	69,11 fg	68,98 g	69,48 P
Média BX/SyMx	76,18 a	76,53 a	76,76 a	76,32 a	76,28 a	76,43 a	76,13 a	76,33 a	76,19 a	75,75 a	75,87 a	

R representa o raio de afastamento. Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 4. Síntese dos valores médios do ruído obtido com as diferentes posições e rotações em relação ao raio de afastamento.

R (m)	POSIÇÃO				ROTAÇÃO (rpm)			
	Anterior	Posterior	Esquerda	Direita	3500	2900	2200	1500
1	88,96 b	84,01 d	90,37 a	86,52 c	89,83 a	88,79 b	87,89 c	83,36 d
2	85,81 b	84,00 d	86,96 a	84,98 c	87,50 a	86,85 b	85,75 c	81,65 d
3	83,52 b	81,24 d	84,46 a	82,25 c	84,92 a	84,48 b	83,08 c	78,99 d
4	80,88 b	80,97 b	82,49 a	79,03 c	82,92 a	82,36 b	81,14 c	76,95 d
5	78,49 b	77,17 d	80,06 a	78,21 c	80,84 a	79,97 b	78,67 c	74,45 d
6	77,00 b	75,30 c	77,83 a	77,08 b	79,20 a	78,15 b	77,11 c	72,76 d
7	75,20 c	74,36 d	76,41 a	75,97 b	77,70 a	76,85 b	75,74 c	71,65 d
8	73,82 c	73,91 c	75,27 a	74,46 b	76,63 a	75,71 b	74,52 c	70,59 d
9	72,82 c	73,52 b	74,75 a	73,49 b	75,78 a	74,99 b	73,88 c	69,94 d
10	72,03 d	72,75 c	74,79 a	72,94 b	75,05 a	74,52 b	73,38 c	69,57 d
11	71,18 d	71,88 c	74,92 a	72,25 b	74,45 a	73,96 b	72,81 c	69,01 d
12	70,18 d	70,86 c	74,34 a	71,79 b	73,73 a	73,22 b	72,02 c	68,22 d
13	69,40 d	70,01 c	73,97 a	71,19 b	73,10 a	72,64 b	71,46 c	67,46 d
14	68,93 d	69,46 c	72,41 a	70,47 b	72,24 a	71,73 b	70,76 c	66,54 d
15	68,35 d	68,81 c	71,24 a	69,52 b	71,52 a	71,03 b	69,75 c	65,61 d

R representa o raio de afastamento. Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

No que diz respeito à posição (anterior, posterior, esquerda e direita) em relação ao motor, nota-se que, para todos os raios de afastamento, independente da mistura/blenda e da rotação analisada, o lado esquerdo foi o que apresentou maior ruído (Tabela 4), devido à presença do tubo de escapamento. Resultado também verificado no trabalho de Lima Junior et al., (2014), que observaram maior propagação de ruído no lado do trator influenciado pela saída dos gases de exaustão.

Os níveis de ruído também sofrem influência da rotação, considerando cada raio de afastamento, independente da mistura/blenda e da posição, de forma que o aumento da velocidade promove maior emissão de pressão sonora (Tabela 4). Outros estudos também mostraram que a velocidade do motor é um dos parâmetros de operação que mais se correlaciona com o nível de ruído irradiado, sendo observado por Arcoverde et al. (2011) uma relação direta do aumento de ruído médio com o incremento da exigência de potência do motor.

Ainda com base nas médias descritas na Tabela 3, foram identificados ruídos com valores acima de 85 dB(A) para as distâncias de até dois metros do centro de geração do ruído, independente da mistura/blenda utilizada como combustível, em quaisquer das posições de medição do ruído em relação ao motor (anterior, posterior, esquerda e direita) e nas rotações mais elevadas 3500, 2900 e 2200 rpm (Tabela 4). No entanto, os resultados da interação entre a maior rotação avaliada (3500 rpm) e o raio de afastamento (Tabela 4) apontam valores muito próximos de 85 dB(A) a uma distância de três metros da fonte emissora.

Estudos registram evidências de que a perda auditiva neurossensorial de origem ocupacional é derivada da exposição a ruídos acima de 85 dB(A), durante oito horas diárias. Segundo Montenegro et al. (2016), essa condição pode causar danos irreversíveis aos trabalhadores, sendo os homens, entre 50 e 65 anos que trabalham perto de fontes de ruído, os potencialmente mais afetados.

Nesse sentido, em atendimento ao que é recomendado pela norma NR-15 (Brasil, 2014) e prezando-se pela segurança do operador, para os combustíveis estudados, vê-se necessidade de utilização de proteção auricular a partir de três metros da fonte de potência.

Yanagi Junior et al. (2012), ao caracterizarem a variabilidade espacial do nível de ruído gerado por quatro diferentes máquinas agrícolas, (derriçadora, motosserra, roçadora e trator) utilizando a análise espacial, constataram viabilidade da técnica para definição de zonas de manejo e proteção adequadas para os trabalhadores, conforme as diferentes máquinas estudadas, e os raios de afastamento de trabalho.

Baseando-se na metodologia de análise espacial, foi possível obter a propagação espacial do ruído, quantificando a magnitude e a estrutura de dependência espacial, em termos do raio de afastamento e da posição, para as misturas BX/SyMx submetidas às rotações de 3500, 2900, 2200 e 1500 rpm. A regionalização da dispersão

dos pontos amostrados (análise do semivariograma do nível de ruído do motor) resultou que o melhor ajuste para as misturas BX/SyMx nas rotações propostas foi obtido para o modelo esférico, com altas porcentagens de significância, cujos coeficientes de determinação (R^2) variaram de 0,97 a 0,99.

O efeito pepita (Co), parâmetro do semivariograma, que indica a variabilidade não explicada, considerando a distância de amostragem utilizada, apresentou resultado igual a 0,10 para todas as misturas BX/SyMx, independente da rotação empregada. Este resultado, que se encontra próximo à zero, aumenta a exatidão de estimativas por meio da krigagem, tendo em vista que, conforme Vieira (2010), quanto menor a variação ao acaso, mais exata é a estimativa.

Devido ao efeito pepita (Co) menor que 25% do patamar (Co+C), de acordo com classificação de Cambardella et al. (1994), observa-se forte dependência espacial. Outro parâmetro que evidenciou a dependência espacial foi o ADE (análise de desempenho espacial), cujo resultado correspondeu a 0,99 para todas as condições estudadas, estando próximo de uma unidade, o que indica forte associação do ruído as condições do espaço em análise.

Encontrou-se proporcionalidade entre os valores amostrados e os estimados, a partir da validação cruzada, cujo coeficiente angular (b) da reta, para todas as misturas BX/SyMx e rotações, apresentou valor próximo a uma unidade, sendo este um requisito para equiparação (Robertson, 1998). As retas ajustadas mantiveram-se em torno de 45º, com coeficiente de regressão estatisticamente equivalente a um (1).

Sendo assim, os parâmetros do semivariograma foram satisfatórios para os valores do nível de ruído médio das misturas BX/SyMx em cada rotação em função da posição x distância, com validação cruzada apresentando coeficientes de determinação (R^2) entre 0,92 a 0,98.

Os mapas de isolinhas, interpolados por krigagem, que representam a emissão de ruído do motor em relação à posição e ao raio de afastamento, conforme o uso de diferentes misturas (B25 e B40) de diesel contendo diferentes proporções de biodiesel de soja e mamona (S100M0, S75M25, S50M50, S25M75 e S0M100), além do diesel B7, em diferentes rotações (3500, 2900, 2200, 1500 rpm), estão dispostos nas Figuras 2, 3 e 4, permitindo visualizar espacialmente a propagação sonora na área de estudo, de forma a permitir o gerenciamento dos métodos de proteção ao trabalhador.

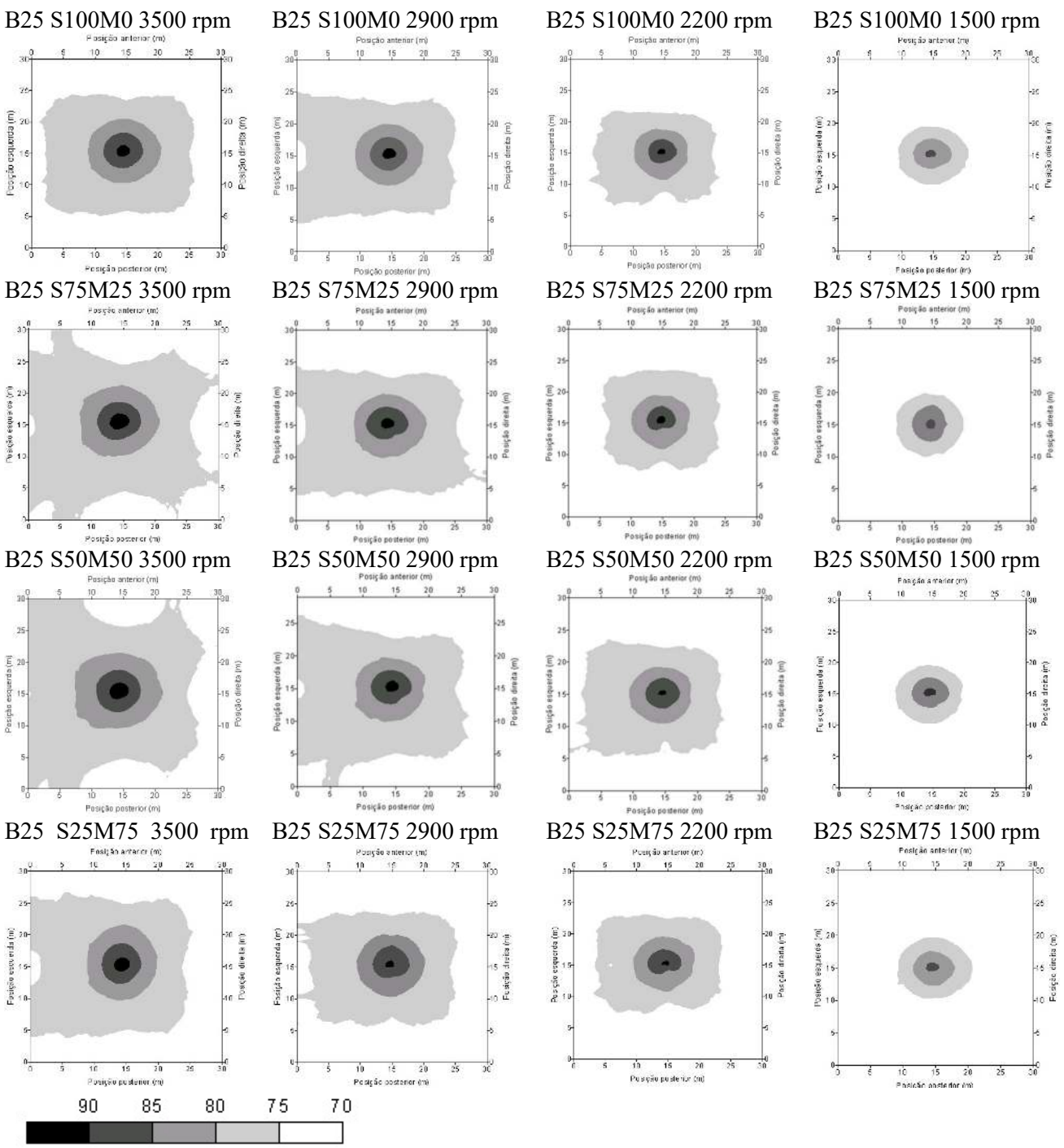

Figura 2. Mapas de propagação do ruído dB(A) das misturas B25 S100M0, B25 S75M25, B25 S50M50 e B25 S25M75, nas diferentes rotações, distâncias e posições analisadas.

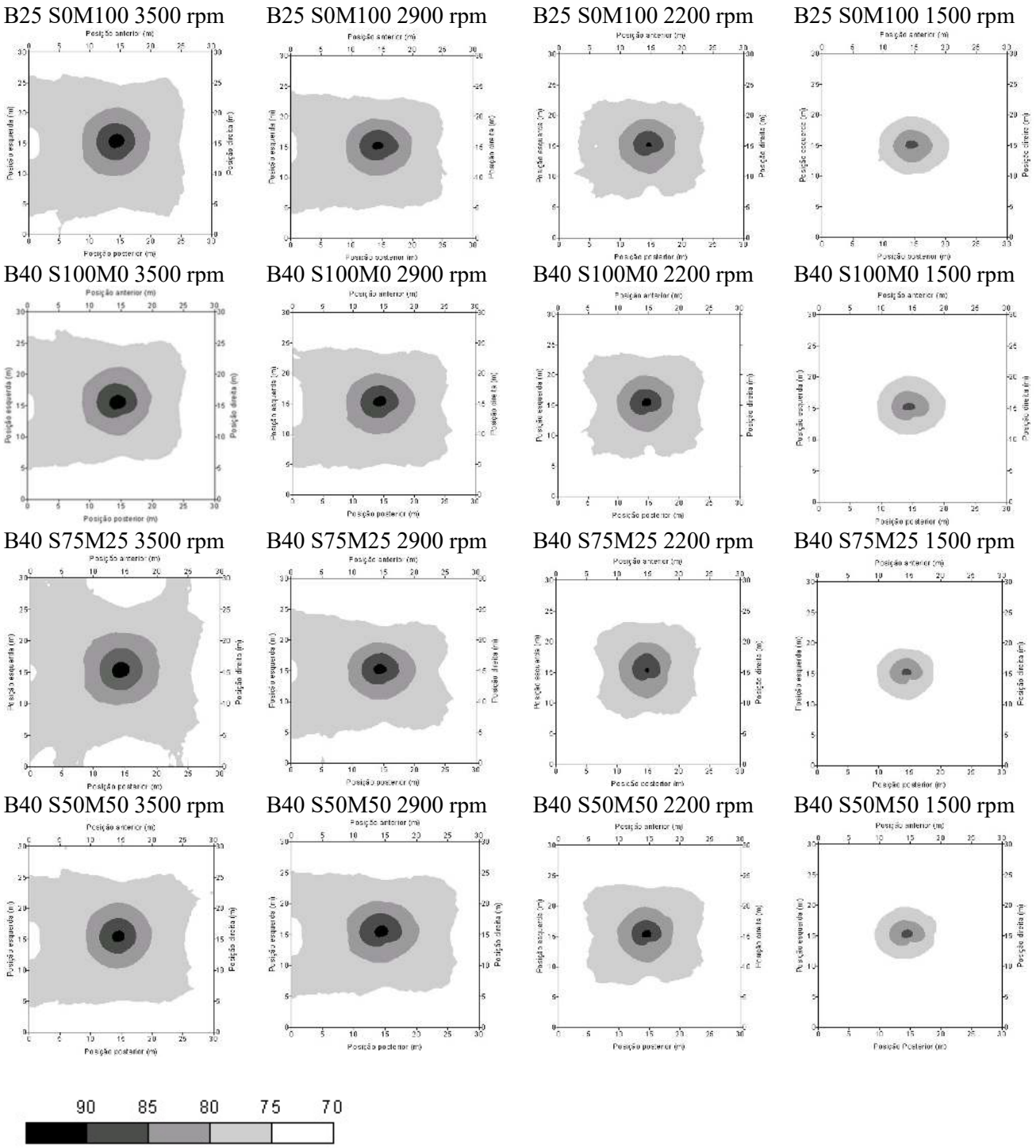

Figura 3. Mapas de propagação do ruído dB(A)das misturas B25 S0M100, B40 S100M0, B40 S75M25 e B40 S50M50, nas diferentes rotações, distâncias e posições analisadas.

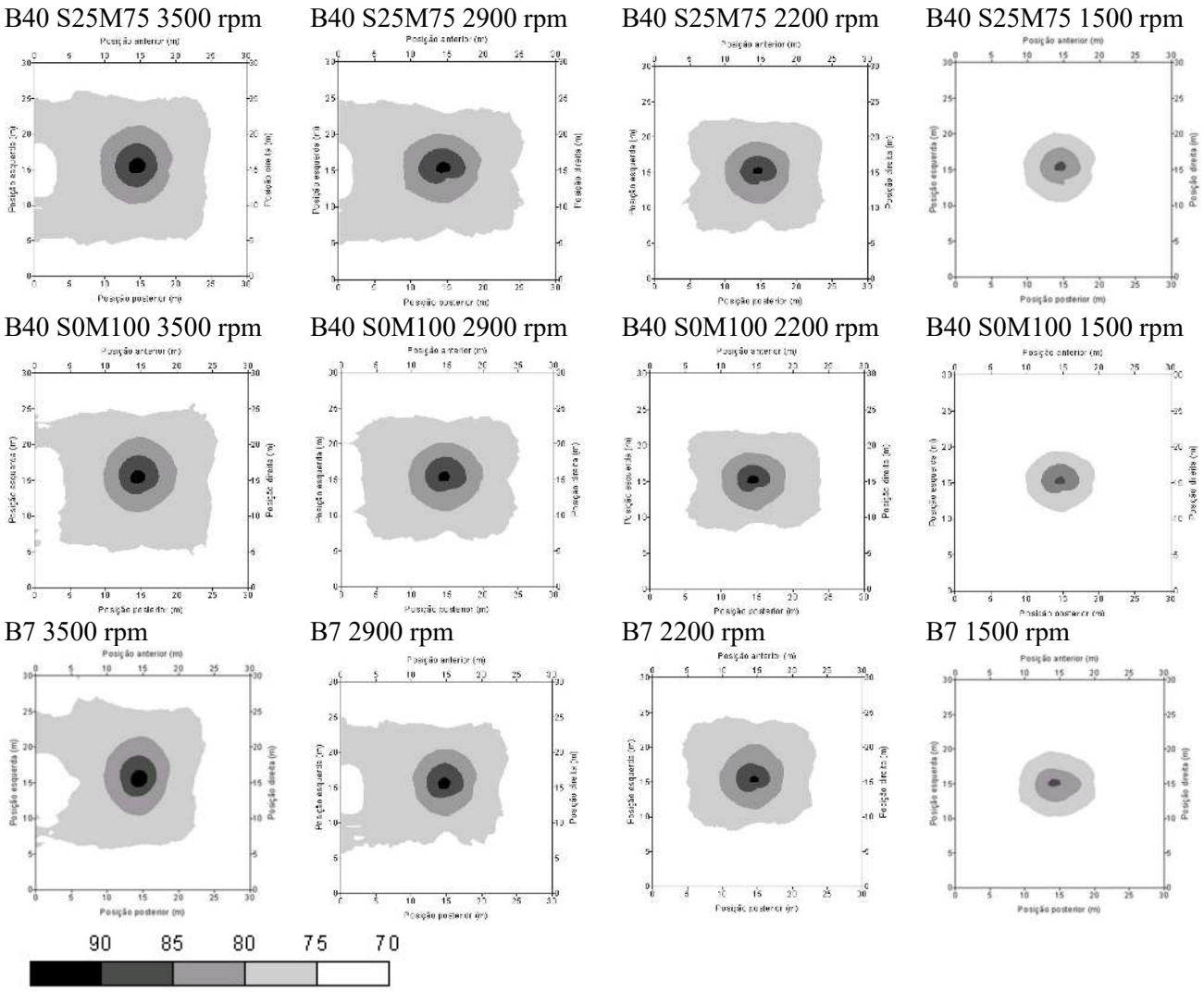

Figura 4. Mapas de propagação do ruído dB(A) das misturas B40 S25M75, B40 S0M100 e B7, nas diferentes rotações, distâncias e posições analisadas

É possível observar que, assim como verificado nos resultados obtidos com os testes de média, o ruído tende a se propagar mais acentuadamente na posição esquerda, onde se encontra o escapamento.

Além disso, percebe-se um comportamento de propagação do ruído muito parecido entre as misturas BX/SyMx, nas rotações de 3500, 2900 e 2200 rpm, partindo da fonte emissora de ruído até a distância em que se atinge 80 dB(A). Para a rotação de 1500 rpm, observou-se comportamento similar entre todas as misturas BX/SyMx (Figuras 2, 3 e 4).

Adicionalmente, as rotações mais elevadas promovem maior emissão de pressão sonora, cujos valores ultrapassam 90 dB(A) em raios de afastamento mais próximos ao motor (de aproximadamente 1 m), destacado em preto em todos os mapas. Já, na rotação de 1500 rpm, o ruído máximo é menor que 90 dB(A), e níveis de até 85 dB(A) estão presentes a uma distância de aproximadamente 1 m do motor (Figuras 2, 3 e 4).

De acordo com os modelos ou mapas de espacialização, em distâncias de até 3 m do motor, para a maioria das misturas BX/SyMx, em relação às rotações mais elevadas (3500 e 2900 rpm) e a posição esquerda, tem-se emissão de pressão sonora acima do limite estabelecido pela norma NR 15, para uma exposição de até 8 horas (Brasil, 2014), sendo, nesse caso, necessária proteção auricular.

Nesse contexto, para a escolha quanto ao uso de proteção auricular, que assegurem as condições de menor risco para o operador, em função das distâncias em relação à fonte de emissão sonora, deve ser considerada proteção auricular para o raio de afastamento de até 3 m da fonte de ruído, cujo resultado foi identificado com base em ambos os métodos estatísticos empregados neste estudo.

Conclusão

Há viabilidade no uso de misturas de diesel contendo biodiesel de soja e mamona quanto à emissão de ruído, pois não ocorre aumento da pressão sonora.

As médias de ruído das misturas BX/SyMx não são afetadas pelo raio de afastamento, posição e rotação, apresentando resultados similares àquele obtido com o diesel B7.

A maior emissão de ruído está relacionada com a localização do tubo de exaustão de gases, bem como em regiões mais próximas ao motor e conforme a maior exigência de potência.

O estudo da variabilidade espacial da propagação de ruído permite identificar a ocorrência de ruídos acima de 85 dB(A) até 3 metros de motores do ciclo diesel, independente da mistura/blenda utilizada.

Recomenda-se uso de proteção auricular para permanência no raio de afastamento de 3 m, durante períodos iguais ou acima de 8 horas diárias.

Referências

ALVES, A. D. S.; 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**, v. 14, n.1, p. 110-119, 2011.

ARCOVERDE, S. N.S.; CORTEZ, J. W.; PITANGA JÚNIOR, C. O.; NAGAHAMA, H. J. Nível de ruído emitido por conjuntos mecanizados em função da velocidade e da condição do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, n.3, p. 514-520, 2011.

BAESSO, M. M.; MARTINS, G. A.; MODOLO, A. J.; BAESSO, R. C. E.; BRANDELEIRO, E. M. Nível de ruído emitido por tratores agrícolas em conformidade com a norma Regulamentadora NR 15. Engenharia na agricultura, v.22 n.6, p.583-588, 2014.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. (2014). **Norma Regulamentadora 15 – Atividades e operações insalubres.** Publicação Portaria GM n.º 3.214, de 08 de junho de 1978. Alterações/Atualizações. Portaria MTE n.º 1.297, de 13 de agosto de 2014. Brasília, DF: Diário Oficial da União.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

CORTEZ, J. W.; GUIMARÃES, C. C.; SANTOS, V. M. L. dos. Statitionary engine performance using mixture of soybean and castor bean biodiesel to diesel oil. **Engenharia Agrícola**, v.38, n.6, p. 918-926, 2018.

CUNHA, J. P. A. R.; TEODORO, R. E. F. Avaliação do nível de potência sonora em derriçadores e pulverizadores motorizados portáteis utilizados em lavouras de café. **Bioscience Journal**, v. 22, n. 3, p. 71-77, 2006.

FERNANDES, J. C. Princípios do Som*, Apostila Acústica e Ruídos*, Cap. 3, p. 27, 2005. Disponível em: http://wwwp.feb.unesp.br/jcandido/acustica/apostila.htm. Acesso em: 12/07/2018.

FERRAZ, G. A. e S.; SILVA, F. M. da; OLIVEIRA, M. S. de; CUSTÓDIO, A. A. P. FERRAZ, P. F. P. Variabilidade espacial dos atributos da planta de uma lavoura cafeeira. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 81-91, 2017.

LADOMMATOS, N.; PARSI, M.; KNOWLES, A. The effect of fuel cetane improver on diesel pollutant emissions, **Fuel**, v. 75, p. 8-14, 1996.

LIMA JÚNIOR, P. da S.; CORTEZ, J. W.; NAGAHAMA, H. de J.; ARCOVERDE, S. N. S. Ruído em função da rotação, raio de afastamento, velocidade de trabalho e tipo de pista de um conjunto trator-carreta cafeeira. **Revista Agrarian**, v. 7, n. 26, p. 581-589, 2014.

LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C.; CRUZ, R. S. da. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Química Nova**, v. 32, n. 6, p. 1596-1608, 2009.

MAGALHÃES, A. T.; CORTEZ, J. W.; NAGAHAMA, H. de J. Nível de ruído de um trator agrícola em função da rotação, da distância, da velocidade e da condição de solo obtido por meio de decibelímetro com e sem proteção de vento. **Revista Energia na Agricultura**, v. 27, n. 4, p. 27-44, 2012.

MONTEIRO, L. DE A.; JUNIOR, P. G.; VELÁSQUEZ, J. A.; ROCHA, D. S.; BUENO, A. V. Performance impact of the application of castor

oil biodiesel in diesel engines. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, n.6, p.1165-1171, 2013.

MONTENEGRO, A. E. C., PÉREZ, A. M. C.; BERGMANN, J. L. C. Modelamiento Predictivo de la Pérdida Auditiva Laboral, Relacionada con el Tratamiento de Absorción Acústica en una Industria Metal-Mecánica en Chile. **Ciencia & Trabajo**, v.18, n.56, p. 73-80, 2016.

PARIZET, E., BROCARD, J.; PIQUET, B. Influence of noise and vibration to comfort in diesel engine cars running at idle. **Acta Acustica united with Acustica**, v. 90, n. 5, p. 987-993, 2004.

PAYRI, R.; SALVADOR, F.J.; GIMENO J.; BRACHO, G.; The effect of temperature and pressure on thermodynamic properties of diesel and biodiesel fuels, **Fuel**, v. 90, p. 1172-1180, 2011.

PERIN, G. F.; SCHLOSSER, J. F.; FARIAS, M. S. de; ESTRADA, J. S.; TREICHEL, H.; GALON, L. Emissões de motor agrícola com o uso de diferentes tipos de diesel e concentrações de biodiesel na mistura combustível. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 12, p. 1168-1176, 2015.

ROBERTSON, G. P. GS+: Geostatistics for the environmental sciences. Michigan: Gamma Desing Software, 151 p., 1998.

ROUNCE, P.; TSOLAKIS, A.; LEUNG, P.; YORK, A. P. E. A comparison of diesel and biodiesel emissions using dimethyl carbonate as an oxygenated additive, **Energy and Fuels**, v. 24, n. 9, p. 4812-4819, 2010.

SANTOS, T. C.; CARVALHO, V. S. B.; REBOITA, M. S. Avaliação da influência das condições meteorológicas em dias com altas concentrações de material particulado na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 2, p. 307-313, 2016.

SELVAM, D.J.P., VADIVEL, K. An experimental investigation on performance, emission, and combustion characteristics of a diesel engine fueled with methyl esters of waste pork lard and diesel blends. **International Journal of Green Energy**, v. 10, p. 908-923, 2013.

VIEIRA, S. R.; GARCIA, M. A. G.; PAZ-GONÇÁLEZ, A.; SIQUEIRA, G. M. Variabilidade espacial e temporal do teor de água do solo sob duas formas de uso. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 181-190, 2010.

YANAGI JUNIOR, T.; SCHIASSI, L.; ROSSONI, D. F.; PONCIANO, P. F.; LIMA, R. R. de. Variabilidade espacial do nível de ruído em máquinas agrícolas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.2, p.217-225, 2012.

ZANNIN, P. H. T.; PACHECO, Avaliação do ruído através da técnica de intensidade sonora. **Revista de acústica**. v. 37, n. 1-2, p. 21-25, 2006.