


Artigos

Vibração e rendimento operacional de uma motorroçadora operando com três discos de corte

Vibration and operational performance of a brushcutter operating with three cutting discs

Luigi de Almeida Rodrigues¹ , Catize Brandelero¹ , Valmir Werner¹ ,
Edvaldo Faour Coutinho da Silva¹ , Henrique Eguilhor Rodrigues¹ ,
José Fernando Schlosser¹ , Alexandre Russini¹ ,
João Pedro Sala Gallina¹ , Lucas Caye da Silva¹ 

¹Universidade Federal de Santa Maria , Santa Maria, RS, Brasil

RESUMO

As motorroçadoras laterais são amplamente utilizadas nas atividades de limpeza urbana. Todavia, na área rural são empregadas no manejo de pomares e pastagens, bem como, na roçada de sub-bosque florestal. Neste sentido, este estudo teve por objetivo identificar e quantificar os níveis de vibração difundidos ao sistema mãos e braços, nos diferentes eixos ortogonais, durante a operação de motorroçadora equipada com distintos discos de corte. O trabalho consistiu na roçada da vegetação de sub-bosque utilizando uma motorroçadora lateral e três discos de corte (D1; D2 e D3). Realizou-se a medição da vibração em mãos e braços, nos três eixos ortogonais, conforme preconiza a norma ISO 5349-1 (2001), bem como o rendimento operacional definido pelo fluxo de corte e valor total de vibração médio (VTV). A partir dos resultados obtidos constatou-se que o disco D3 foi o que apresentou os maiores valores de vibrações em mãos e braços, sendo que as maiores vibrações foram medidas na empunhadura da mão direita, e na direção ortogonal Z, combinado ao maior rendimento operacional e VTV. Portanto, a operação de motorroçadora requer a utilização de EPIs obrigatórios como luvas antivibração a fim de mitigar os efeitos nocivos ao operador.

Palavras-chave: Roçadora; Saúde ocupacional; Ergonomia; Exposição; Trabalhadores

ABSTRACT

Second Side motor brushcutters are widely used in urban cleaning activities. However, in rural areas they are used in the management of orchards and pastures, as well as in clearing the forest understory. In this sense, the present study aimed to identify and quantify the different levels of vibration spread to the hands and arms system, in the different orthogonal axes, during the operation of a motor brush cutter equipped with different cutting discs. The work consisted of clearing the understory vegetation using a side motor brushcutter, equipped with three cutting discs (D1; D2 and D3). Vibrations in hands and arms were measured in the three orthogonal axes, as recommended by ISO 5349-1 (2001). From the results obtained, it was found that the D3 disc was the one that presented the highest values of vibrations in hands and arms, with the highest vibrations being measured in the right-hand grip, and in the orthogonal Z direction. Therefore, the operation of Brushcutter requires the use of mandatory PPE such as anti-vibration gloves to mitigate harmful effects on the operator.

Keywords: Brushcutter; Occupational health; Ergonomics; Exhibition; Workers

1 INTRODUÇÃO

A atividade de roçada semimecanizada tem aplicação em áreas onde a operação mecanizada é de difícil acesso. Segundo os autores Veiga *et al.* (2021), as máquinas equipadas com motores de combustão, utilizadas no meio rural, nem sempre atendem aos fatores ergonômicos, o que pode promover impactos negativos na saúde dos operadores. As motorroçadoras são amplamente utilizadas e seu uso é justificado pela praticidade e baixo valor de aquisição (Yang *et al.*, 2022). Os autores Hao e Ripin (2012); e Bernardi *et al.* (2018), destacam que a roçada semimecanizada é aplicada no controle de plantas invasoras e na limpeza de áreas. No Brasil, em operações florestais, essas máquinas também são usadas na limpeza de sub-bosque, na construção de aceiros, acessos florestais para a colheita, na condução de rebrota e na redução da matocompetição. Como fatores limitantes nas operações de roçada no meio florestal, Naskrent *et al.* (2020) destacam o espaçamento reduzido entre árvores e fileiras, excessivo adensamento e os numerosos obstáculos no terreno.

A operação de roçada é recorrente nas estações climáticas da primavera e verão (Naskrent *et al.*, 2020). Dessa forma, a intensificação operacional pode levar à possível sobrecarga dos operadores expostos aos agentes físicos, químicos e biológicos. Para

compreender melhor as operações com motorroçadoras, e os efeitos sobre a saúde e a qualidade de vida dos operadores, diversos estudos estão sendo realizados acerca das vibrações como agente de risco ocupacional (Çakmak *et al.*, 2011; Roggio *et al.*, 2022; Altuntaş e Çelik, 2022; Poletto Filho *et al.*, 2015). Para Oliveira Júnior *et al.* (2019), esta operação pode implicar na exposição ocupacional dos trabalhadores a vibrações mecânicas e sua transferência para as mãos e braços. Corroboram Uemura *et al.* (2014) e Kováč *et al.* (2018) ao descreverem que a vibração das máquinas de motores dois tempos tem origem no motor em funcionamento e no sistema de corte.

Neste sentido, as vibrações localizadas são as que, de algum modo, podem atingir certas partes do corpo, principalmente mãos e braços, em uma faixa de frequência entre 6,3 a 1.250 Hz (Gomes e Savionek, 2014). Ademais, Rottensteiner e Stampfer (2013) afirmam que a vibração de mão-braço é transmitida para o corpo pela superfície de contato desta com o equipamento. Dessa maneira, a frequência das vibrações é a grandeza decisiva para as doenças no sistema mão-braço (HAV), podendo ser a causa de desgastes em ossos, articulações e tendões, gerar artrose no punho, cotovelo e atingir o ombro (Sell, 2002). Os principais efeitos, no sistema HAV, podem ser de ordem vascular por distúrbios no fluxo sanguíneo (Albizu-Urionabarrenetxea *et al.*, 2013; Neri *et al.*, 2018; Carra *et al.*, 2019); neurológica, osteoarticular e muscular (Saliba *et al.*, 2002) e lombalgias (Yang *et al.*, 2022). Destaca-se que o operador, exposto de modo prolongado às vibrações, pode sentir efeitos nocivos à sua saúde no âmbito de distúrbios neurológicos, vasculares e musculoesqueléticos (Casanova e Hamilton, 2019; Yang *et al.*, 2022).

Pesquisas evidenciaram que nas operações em pequena escala, realizadas por operadores autônomos, geralmente é negligenciado o uso dos EPIs (Equipamentos de Proteção Individual) (Ottonelli *et al.*, 2020; Da Silva *et al.*, 2023). Foi observada ainda a dificuldade que operadores apresentam para selecionar máquinas e a ferramenta de corte adequadas (Talagai *et al.*, 2017; Da Silva *et al.*, 2023).

Diante do exposto, a hipótese para este estudo recaiu sobre a influência dos mecanismos de corte na capacidade operacional e emissão de vibrações. Portanto, o objetivo dessa pesquisa foi identificar e quantificar os diferentes níveis de vibração emitidos para sistema mãos e braços, nos diferentes eixos ortogonais produzidos durante a operação de roçada em sub-bosque, utilizando diferentes discos de corte.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

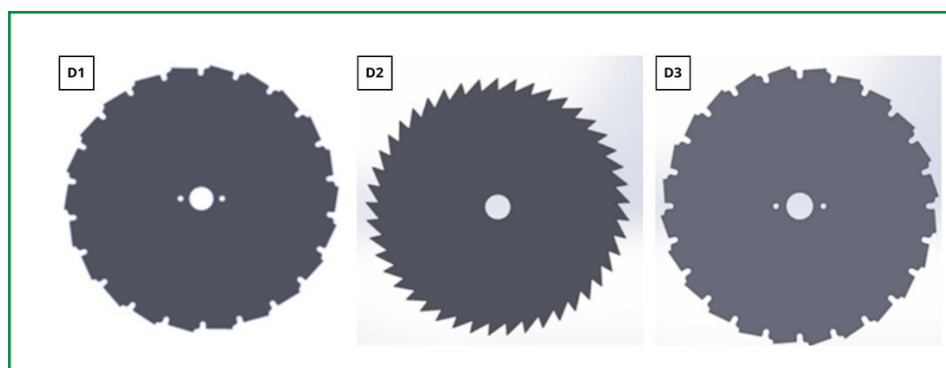
A operação de limpeza de sub-bosque ocorreu em área experimental, na unidade do Centro de Diagnóstico e Pesquisa Florestal, localizado no Estado do Rio Grande do Sul, sob coordenadas geográficas de 29°30' latitude S 54°15' longitude W, com altitude média de 113 metros. O clima, segundo a classificação de Köppen é do tipo "Cfa" (clima subtropical úmido), com temperatura média anual de 19,2°C e precipitação média anual variando de 1.322 a 1.769 mm ano⁻¹ (Alvares *et al.*, 2013).

A área florestal em estudo era constituída por um plantio de *Handroanthus albus*, o qual é considerada uma espécie arbórea de grande porte, caducifolia, nativa do Brasil (Carvalho, 2003); é uma espécie amplamente utilizada na arborização urbana na região Sul do país (Felippe *et al.* 2022). Neste experimento os indivíduos possuíam aproximadamente 25 anos de idade, altura média de 9 metros e diâmetro altura do peito (DAP) médio de 19,72 cm. Realizou-se a caracterização da vegetação do sub-bosque e a mensuração das espécies lenhosas, tendo a presença de diversas espécies de plantas e arbustos, sendo as principais: *Clidemia hirta*, *Conostegia xalapensis*, *Pinus spp.*, *Bromelia balansae*, *Solanum americanum*.

A motorroçadora lateral utilizada no experimento possui motor de combustão interna, de ciclo Otto 2 tempos, com volume deslocado de 35,2 cm³ e potência máxima de 1,7 kW. A potência nominal do motor é obtida a 9.500 rpm, tendo-se como rotação máxima do eixo de saída para a ferramenta de corte de 10.000 rpm, sendo que a rotação de marcha lenta do motor ocorre a 2.800 rpm. A capacidade do depósito de combustível é de 580 ml. Foi utilizada gasolina comum misturada com óleo 2 tempos

na proporção de 1:50, conforme orientação do fabricante e constante no manual da máquina. Cabe mencionar, que a massa da máquina é de 7 kg, tendo-se como elemento de ligação entre o motor e o cabeçote de corte uma distância de 1,6 m. O cabeçote de acoplamento dos discos de corte fica posicionado a 45° do eixo de transmissão, de modo a compensar o ângulo horizontal em relação à superfície do solo. As especificações dos discos de corte (D1, D2 e D3) utilizados no experimento estão listadas na Figura 1. A escolha dos discos foi realizada em função de serem recomendados, pelos fabricantes, para o manejo de vegetação rasteira e arbustiva.

Figura 1 – Discos de corte utilizados nos experimentos



Fonte: Autores (2023)

Em que : Disco circular de 200 mm (D1) equipado com 22 dentes tipo cinzel; Disco de corte padrão de 200 mm (D2), com 45 dentes; Disco circular de 225 mm (D3) equipado com 24 dentes tipo cinzel.

Para a padronização da operação de roçada, o equipamento com as distintas configurações de disco foi manuseado por um mesmo operador experiente, equipado com os EPIs atendendo a norma NR 6. Destaca-se que durante a operação o operador manteve o uso do cinto duplo nos ombros para sustentação do peso da motorroçadora.

As parcelas foram definidas em áreas de sub-bosque com vegetação arbustiva densa (Figura 2A), sendo que após o corte foram rasteladas em leiras de biomassa fresca. Posteriormente, o material foi colocado em um big-bag ($\pm 1\text{ m}^3$) e pesado com uma balança de precisão móvel para a determinação da massa fresca roçada (Figura 2B). Ademais, durante o procedimento de corte da vegetação do sub-bosque foi cronometrado o tempo de operação, para cada unidade amostral de 5 x 5 metros.

Os níveis de vibração gerados durante a atividade de roçada do sub-bosque, com o uso da motorroçadora, foram mensurados utilizando dois analisadores triaxiais portáteis, da marca Brüel e Kjaer, modelo 4447, acoplados a acelerômetros triaxiais com especificações B&K 4524 B0001 30483, juntamente com o adaptador de especificações 070060 UA 3015.

Figura 2 – Sequência de operações para a limpeza de área: corte da biomassa do sub-bosque (A); e pesagem da biomassa fresca (B)

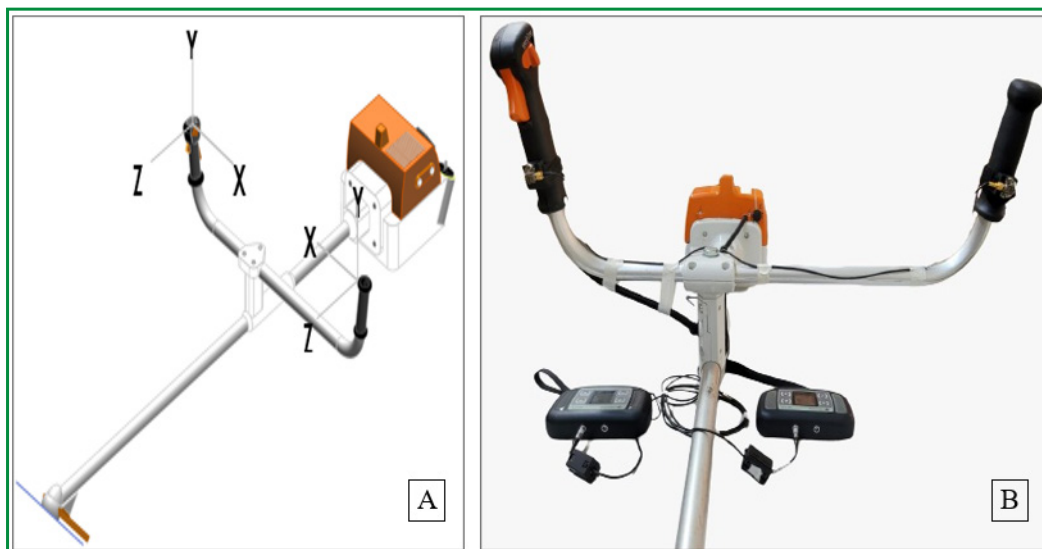


Fonte: Autores (2023)

Dessa forma, coletaram-se os dados na interface guidão-mãos, por meio de dois transdutores, sendo um localizado no cabo de empunhadura do lado direito próximo ao gatilho do acelerador, e outro na empunhadura de apoio do lado esquerdo (Figura 3B).

A instrumentação para coleta dos dados de vibração foi devidamente calibrada anteriormente à realização do experimento, tornando possível mensurar, simultaneamente, a vibração nos três eixos ortogonais (X, Y e Z) (Figura 3A), na faixa de frequência de 1 a 80 Hz, para mãos e braços. Além disso, conforme estabelece a norma ISO 5349-1 (2001), quantificou-se o nível de ação que representa $2,5 \text{ m s}^{-2}$ para a exposição de 8 horas.

Figura 3 – Esquema de posicionamento dos transdutores nas mãos esquerda e direita (A; B)



Fonte: Autores (2023)

Após a coleta, procedeu-se o descarregamento dos dados com auxílio do software Vibration Explorer 2.0.1, da marca Brüel e Kjaer, o qual permite realizar simulações de magnitudes de aceleração, em uma jornada de trabalho diária de 8 horas de exposição.

Seguindo-se o método básico sugerido pela norma de Higiene Ocupacional NHO10 FUNDACENTRO (2013), a determinação das acelerações nos três eixos ortogonais deu-se a partir da aceleração média resultante (AMR) Equação 1 (Quadro 1).

Com a equação é possível calcular a aceleração média resultante, sendo considerado o fator de multiplicação 1,4 nos eixos ortogonais X e Y. Esse acréscimo de 40% no valor estabelece o limite para a preservação da saúde do indivíduo.

A partir das indicações recomendadas pela norma NR15, em seu anexo 8, todos os limites de exposição à vibração são definidos pelas normas ISO 2631 e ISO 5349. Portanto, para determinação da aceleração, decorrente da exposição normalizada (Equação 2), os valores devem ser analisados considerando uma jornada de trabalho padrão de 8 horas (Quadro 1).

Quadro 1 – Equações para obtenção da aceleração média resultante (1); aceleração, decorrente da exposição normalizada (2); velocidade tangencial (3); força centrípeta (4)

Equação	Onde	
$amr = \sqrt{(f_x am_x)^2 + (f_y am_y)^2 + (f_z am_z)^2}$	am_x , am_y e am_z = acelerações eficazes ponderadas, dos eixos ortogonais x, y e z, respectivamente; f_x , f_y e f_z = fatores de multiplicação que têm os valores (f_x , f_y = 1,4; 1,4 e f_z = 1,0) respectivamente, para o critério de preservação do indivíduo.	(1)
$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}}$	a_{hv} = é a aceleração equivalente; T = é o tempo diário em que há exposição à vibração (h ou min); T_0 = equivale a 8 horas ou 480 minutos.	(2)
$V = 2. \pi. r. f$	V = velocidade tangencial (m.s ⁻¹); r = raio do disco (m); f = frequência (Hz).	(3)
$F_c = m. \frac{V^2}{r}$	F_c = força centrípeta (N); V = velocidade (m s ⁻¹); m = massa do corpo (kg); r = raio do disco (m).	(4)

Fonte: Autores (2023)

A velocidade tangencial do disco de corte pode ser definida pela relação do perímetro do círculo e a frequência ou período em que ocorre o evento. A frequência pode ser definida como o número de voltas por um determinado tempo, já o período é inversamente proporcional. A velocidade tangencial é descrita conforme a Equação 3 e a força centrípeta na Equação 4 (Quadro 1).

Para determinar os valores referentes a variável nível de vibração, foi conduzido um experimento em delineamento blocos ao acaso em arranjo fatorial (3 x 2 x 13), composto pelos fatores discos de corte e mãos do operador. Os níveis de cada fator foram: três discos de corte (D1, D2 e D3); e duas mãos do operador (mão direita e esquerda), dispostos em 13 blocos, composto de parcelas de 25 m², totalizando 78 unidades amostrais.

Cabe destacar, que a avaliação referente ao fator mãos (direita e esquerda) ocorre simultaneamente em cada disco de corte, não sendo necessário realizar a coleta dos dados separadamente. Cabe destacar que a variável nível de vibração de mãos e braços foi mensurada nos três eixos ortogonais (X, Y e Z).

Separadamente, determinou-se a massa fresca cortada na operação e o tempo de corte, visando determinar o rendimento operacional a partir do fluxo de corte, e o valor total de vibração médio (VTV). Desta forma, conduziu-se paralelamente outro experimento em delineamento blocos ao acaso constituído apenas pelo fator disco de corte (D1, D2 e D3) dispostos em 13 blocos de avaliação, composto de parcelas de 25 m², totalizando 39 unidades amostrais.

Para a análise estatística, os dados foram avaliados quanto a sua normalidade e homoscedasticidade. As variáveis foram submetidas à análise de variância ($p \leq 0,05$). Em caso de significância, as médias foram analisadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), com o auxílio do programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao analisar os valores de vibração total (VTV), na Tabela 1, pode-se inferir que os três discos avaliados apresentaram diferenças significativas entre si. Destaca-se que o valor total de vibração, bem como, a vibração em cada um dos 3 eixos ortogonais (X, Y e Z) foi maior no D3, seguido do D2 e do D1, com valores de 3,5; 2,5 e 2,3 m s⁻², respectivamente.

De acordo com a Equação 3, considerando a relação de transmissão de 1:1 e a velocidade angular do disco de corte, na rotação máxima de 10.000 rpm, obteve-se a velocidade tangencial de 104,72 m s⁻¹ e 117,81 m s⁻¹, para os discos de corte D1 (200 mm) e D3 (225 mm), respectivamente. Portanto, a diferença significativa na variável vibração mensurada nos eixos X, Y e Z, para os discos com dentes de mesma geometria, pode ser atribuído à velocidade tangencial, condição causada pela diferença do diâmetro. O disco D3 apresentou uma velocidade tangencial de 12,50% superior ao disco D1. Além disso, cabe destacar que a massa dos discos é de 0,526 kg e 0,364 kg para os discos de corte D3 e D1, respectivamente, o que representa um acréscimo de 44,50% de massa. Ao calcular a força centrípeta (Equação 4), obteve-se 39,92 kN e 64,89 kN, respectivamente, para os discos D1 e D3, o que também apresenta superioridade de 62,55% para o disco D3.

Tabela 1 – Síntese da análise de variância para aceleração e vibração nas mãos (direita e esquerda) para os diferentes discos de corte avaliados

Disco de corte				
Fatores	Eixo X	Eixo Y	Eixo Z	VTV
Disco de corte 1	1,53 A	1,09 A	1,79 A	2,27 A
Disco de corte 2	1,65 B	1,28 B	2,12 B	2,52 B
Disco de corte 3	2,09 C	1,71 C	3,14 C	3,46 C
Mão				
Esquerda	1,50 A	1,24 A	2,23 A	2,55 A
Direita	2,01 B	1,49 B	2,47 B	2,94 B
F-Teste – Média quadrática				
Mãos	2,31 S	2,62 S	12,77 S	10,27 S
Disco de corte	5,24 S	1,18 S	1,09 S	3,00 S
Mão x Disco de Corte	0,18 S	0,41 S	1,02 S	0,69 S
CV%	8,23	7,14	5,21	6,14
Média Geral	1,76	1,33	2,35	2,75

Fonte: Autores (2023)

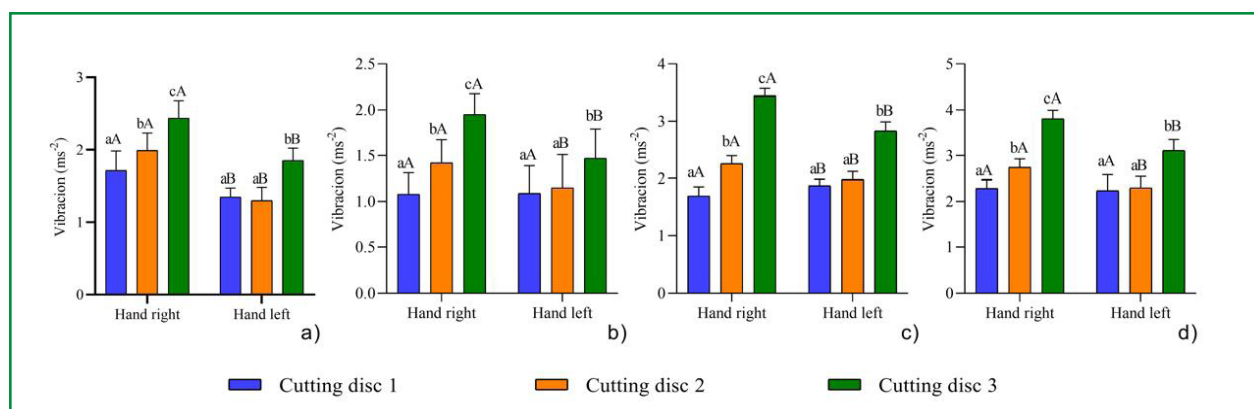
Em que: Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem, entre si, pelo “Teste de Tukey” ($P < 0,05$); Teste F da análise de variância (ANOVA): NS – Não significativo; S ($P < 0,05$) e CV %: Coeficiente de variação.

Seguindo as recomendações da NHO10 e da Diretiva 2002/44/CE, para um período de exposição de 8 horas, nenhum disco superou o limite de $5,0 \text{ m s}^{-2}$ considerado limitante. No entanto, o disco D3 encontra-se dentro da região de incerteza ($3,5$ a $5,0 \text{ m s}^{-2}$), recomendando-se a adoção de medidas corretivas e preventivas visando a redução da exposição diária. Ainda, o disco de corte D2 apresentou valores acima da faixa de vibração aceitável ($> 2,5 \text{ m s}^{-2}$) onde, no mínimo, aconselha-se adoção de medidas preventivas. Na avaliação individual dos resultados de VTV, para a mão direita e esquerda, destaca-se que os maiores valores obtidos foram observados na mão direita, com variação significativa em relação à mão esquerda. Cabe ressaltar que essa empunhadura é justamente a que o operador utiliza para acelerar a máquina, sendo a que mais transmite vibrações ao seu corpo. Nos estudos realizados por Uemura *et al.* (2014), utilizando o teste de martelamento, foi destacado a ocorrência de maiores frequências de vibração no tubo da manopla direita, com transferências

do balanceamento do motor, no sentido esquerda para a direita, geradas pela movimentação das peças móveis durante o funcionamento. Ainda, segundo os autores, a vibração é maior devido a inércia do funcionamento do motor.

Ao analisar a vibração individualmente nos eixos ortogonais X, Y e Z, na Figura 4-a; b e c, respectivamente, verifica-se que na direção X, horizontal e perpendicular à mão do operador, os valores de vibração foram maiores na mão direita (aA; bA; cA), em relação à mão esquerda (aB; aB; bB), com diferença significativa nos discos D3 e D2.

Figura 4 – Vibração na mão direita, mão esquerda, nos eixos ortogonais X (a), Y (b), Z (c) e VTV (d)



Fonte: Autores (2023)

Em que: Teste de Tukey" ($P < 0,05$): letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si para um mesmo disco de corte nas diferentes mãos. Letras maiúsculas iguais não diferem entre si para o mesmo disco de corte especificamente para cada uma das mãos.

Ao analisar, de forma independente, cada uma das mãos, o disco D3 foi o que apresentou os maiores valores, porém não diferindo dos demais discos em ambas as mãos. De forma similar à vibração no eixo ortogonal X, a vibração nas direções Y e Z também apresentaram os maiores valores na mão direita, com as mesmas variações estatísticas do eixo X.

Quando se observa a vibração nos três eixos ortogonais, destaca-se que tanto para a mão direita quanto na esquerda, o eixo Z apresentou o maior valor médio de vibração

(2,35 m s⁻²). Corroboram com os resultados obtidos por Cella *et al.* (2022), onde a vibração total equivalente ficou dentro da faixa de segurança, ou seja 2,5 m s⁻², destacando-se que estes estudos foram realizados com motorroçadoras e lâminas novas.

Entretanto, pesquisas como a de Hao e Ripin *et al.* (2012), descrevem que o espectro dominante das vibrações nos eixos ortogonais ocorreu no eixo Z, apresentando um valor ponderado de aceleração de 3,62 m s⁻², valor superior ao encontrado neste estudo. Salienta-se, que para estes autores os valores totais de vibração nos eixos X e Y foram de 3,6 m s⁻² e 8,30 m s⁻². Diante do exposto, estes valores são considerados acima dos visualizados no trabalho em questão. Diante do exposto, estes valores são considerados acima dos visualizados no trabalho em questão.

No trabalho conduzido por Schutzer (2018), utilizando quatro motorroçadoras usadas de modelos e fabricantes distintos, os níveis de vibração encontrados ficaram acima do limite de tolerância estabelecido pelas normas regulamentadoras NR15 e a NHO10, com valores médios de 9,71 m s⁻². Destaca-se que o fator tipo de disco de corte pode estar relacionado ao aumento da vibração, e este, pode causar amplificação ao estar desbalanceado. Resultados de exposição diária acima do limite estabelecido pelas normas NR15 e a NHO10 também foram encontrados Barbosa *et al.* (2017) e Oliveira Júnior *et al.* (2019).

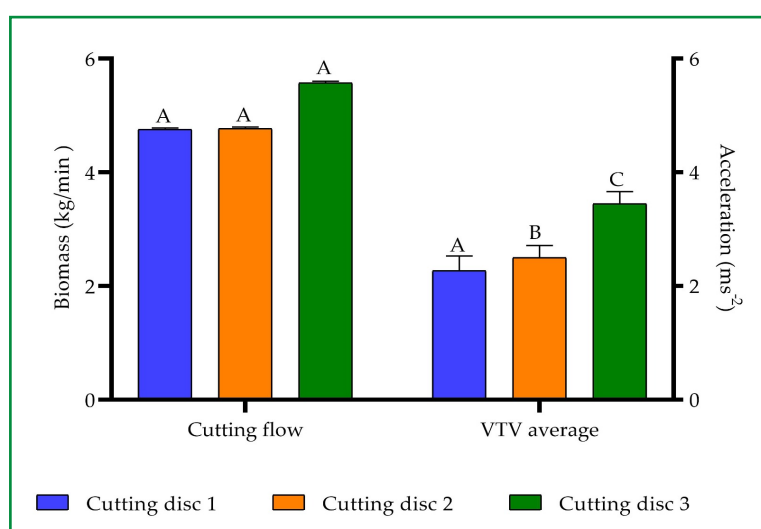
Sabendo-se que as máquinas emitem vibrações ao operador, é importante adotar as medidas preventivas necessárias, ou seja, os operadores devem transportar e manusear a motorroçadora de maneira correta (perfeitamente ajustada ao corpo) com postura adequada. Além disso, estar ciente de que o correto funcionamento da ferramenta (afiação e balanceamento) são condições imprescindíveis para minimizar vibrações. Ainda, o uso dos equipamentos de proteção individual, durante o trabalho com esse tipo de máquina, é fundamental para a segurança. No caso específico da vibração é possível utilizar luvas tipo AV (antivibração), que atenuam a vibração transmitida ao ser humano através das mãos, minimizando o risco causado à saúde por este agente físico (Rottensteiner e Stampfer, 2013). Os autores Neri *et al.* (2023)

recomendam o uso das luvas antivibração para prevenir o aparecimento de doenças profissionais relacionadas a exposição à vibração emitida por máquinas de motor dois tempos. Por outro lado, os autores Griffin (1998); Pinto *et al.*, (2001); Rottensteiner e Stampfer (2013) concordam que em algumas situações as luvas podem atenuar parcialmente a vibração, porém, o uso destas pode restringir a mobilidade e a sensibilidade, e ainda, provocar transpiração deixando as mãos úmidas.

Por fim, Bernardi *et al.* (2018) inferem que é importante ajustar a rotação de trabalho e planejar o treinamento dos trabalhadores. Os autores Dababneh *et al.* (2001), indicam que pausas no trabalho também ajudam a melhorar o desempenho de forma significativa durante as operações.

Referente aos tempos operacionais, obteve-se uma média de 198 segundos de operação de roçada para cada parcela. Neste sentido, é possível inferir que o disco D3 apresentou melhor resultado operacional, pois possibilitou o corte de maior quantidade de biomassa. Porém, esse maior rendimento não foi significativo estatisticamente frente aos demais (Figura 5).

Figura 5 – Avanço do fluxo de corte de biomassa de sub-bosque em relação ao valor total de vibração médio



Fonte: Autores (2023)

Em que: Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem, entre si, pelo "Teste de Tukey" ($P < 0,05$); * VTV médio = valor médio das mãos esquerda e direita.

No trabalho de Talagai *et al.* (2017), os autores concluíram que existem limitações técnicas, como a variação de circunferência da base lenhosa da planta e das brotações, que interferem para o máximo rendimento operacional.

Em vista da análise do rendimento operacional a partir do fluxo do corte, constatou-se que os três discos de corte apresentaram, em média, rendimentos de 4,76; 4,77 e 5,57 kg min⁻¹ de biomassa manejados para D1, D2 e D3. Isso representa capacidade operacional de 5,17; 6,00 e 7,67m² min⁻¹, respectivamente. Comparando os discos D1 e D3, que possuem o mesmo tipo de dente, observou-se o acréscimo de 48,35% na capacidade operacional.

Considerando os valores de rendimento operacional e vibração emitida às mãos e braços do operador, observou-se que o disco D3 apresentou os maiores valores, podendo estar relacionado ao maior diâmetro dele. Entretanto, o resultado ficou abaixo do nível limite de vibração de 5 m s⁻², recomendado pela Diretiva Europeia 2002/44/EC, porém dentro do nível recomendado de ação de 2,5 m s⁻² para exposição de 8 horas, conforme preconiza a norma ISO 5349-1 (2001). Ademais, constatou-se que houve diferença significativa no VTV médio entre os três discos de corte, ou seja, pode-se inferir que o diâmetro do disco e o fluxo de corte aumentaram a vibração transmitida ao operador.

O mais indicado para operações de roçada e, com intuito de mitigar as ações das vibrações, o operador deve respeitar as paradas para descanso, utilizar EPIs como protetores auriculares, luvas antivibração, além dos demais obrigatórios para a operação. Altuntaş e Çelik, (2022) e Yang *et al.* (2022) consideram necessário adotar postura corporal adequada pois o contrário pode levar a problemas como força desigual de músculos do tronco e sobrecargas na coluna. Assim, seguindo as recomendações, o operador evitará danos à saúde ao longo dos anos, pois muitos efeitos não são observados no curto prazo.

4 CONCLUSÕES

1. Nenhum disco superou o nível de vibração de $5,0 \text{ m s}^{-2}$, para um período de exposição de 8 horas. Entretanto o disco de corte D3 apresentou maiores valores de vibração total (VTV) emitidos, nos três eixos ortogonais (X, Y e Z), sendo que no eixo “Z” obteve-se os maiores valores de aceleração.

2. Nas condições deste estudo o disco de corte D1 apresentou melhor resposta com relação a operação efetiva e segura. Porém, no quesito rendimento e capacidade operacional o disco de corte D3 foi superior.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), ao Programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA), ao curso de graduação em Engenharia Florestal e ao Centro Estadual de Diagnóstico e Pesquisa Florestal/DDPA/SEAPI do Rio Grande do Sul.

REFERÊNCIAS

ALBIZU-URIONABARRENETXEA, P.; TOLOSANA-ESTEBAN, E.; ROMAN-JORDAN, E. Safety and Health in Forest Harvesting Operations. Diagnosis and Preventive Actions. A Review. **Forest Systems**, n.22, p. 392–400, 2013.

ALTUNTAŞ, M.; ÇELİK, A. Analysis of Brush Cutter-Related Accidents: describing an extraordinary kind of agricultural injury. **The Journal of Emergency Medicine**, [S.L.], n. 62, v. 1, p. 9-15, 2022.

BARBOSA, V. H. B. *et al.* Avaliação dos níveis de vibração e ruído nas operações de roçada e desgalhamento com motopodas. **Tópicos em gestão da produção**. Ed. Poisson, Belo Horizonte, n. 4, p.120-127, 2017.

BERNARDI, B. *et al.* Occupational risks related to vibrations using a brush cutter for green area management. **Annals of Agricultural and Environmental Medicine**, n.25, v.2, p.255-258, 2018.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 15** - Norma Regulamentadora N° 15: atividades e operações insalubres. Anexo N° 8 vibrações. p. 60.

ÇAKMAK, B.; SARAÇOĞLU, T.; ALAYUNT, F.N.; ÖZARSLAN, C. Vibration and noise characteristics of flap type olive harvesters. **Applied Ergonomics**, n. 42, v. 3, p. 397-402, 2011.

CARRA, S.; MONICA, L.; VIGNALI, G. Reduction of workers' hand-arm vibration exposure through optimal machine design: AHP methodology applied to a case study. **Safety Science**, n.120, p.706-727, 2019.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras: Embrapa Informação Tecnológica**. Colombo, PR: Embrapa Florestas, v. 1, 1.039p., 2003. ISBN 85-7383-167-7.

CASANOVA, V.; HAMILTON, J. Produtos Florestais Não Madeireiros no Sudeste dos Estados Unidos: Implicações para a Segurança e Saúde do Trabalhador. **J Agromedicina**, v. 24, n.2, p.121-124, 2019.

CELLA, M. C. *et al.* Hand-arm vibration while operating a side brush cutter with three cutting implements in two crops. **Engenharia na Agricultura**, v. 30, p. 294 - 302, 2022.

DA SILVA, E. F.C. *et al.* Perfil dos operadores de motorroçadoras, o cenário na região central do RS. **Observatório de La Economía Latinoamericana**, v. 21, p. 21627-21646, 2023.

DABABNEH, A. J.; SWANSON, N.; SHELL, R. L. Impact of added rest breaks on the productivity and well being of workers. **Ergonomics**, p. 164 - 174, 2001.

Directiva Europeia n.º 2002/44/CE, de 25 de junho riscos devidos aos agentes físicos vibrações (décima sexta diretiva especial na acepção nº 1 do artigo 16º da Directiva 89/391/CEE).

FELIPPE, B. M. *et al.* Análises diretivas para o processo de gestão da arborização de calçadas em São Pedro do Sul, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 32, n. 4, p. 2035-2056, 2022.

FERREIRA, D. F. SISVAR: Um sistema de análise computadorizada para projetos do tipo split plot de efeitos fixos. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

FUNDACENTRO - Fundação Jorge Duprat Figueiredo De Segurança E Medicina Do Trabalho. Norma de Higiene Ocupacional – Procedimento técnico. Avaliação da exposição ocupacional a vibrações em mãos e braços. **NHO10**. São Paulo, 2013. 53p.

GOMES, H. M.; SAVIONEK, D., Measurement and evaluation of human exposure to vibration transmitted to hand-arm system during leisure cyclist activity. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**, v. 30, n.4, p. 291-300, 2014.

GRIFFIN, M. J. **Fundamentals of noise and vibration**. Fundamentals of human response to vibration. CRC Press, p.179-223, 1998. ISBN 9780203477410.

HAO, K. Y.; RIPIN, Z. M. Nodal control of grass trimmer handle vibration. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 43, n. 1, p.18-30, 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 2631**: Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole-body vibration — Part 1: General requirements. 1997.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 5349-1 2001**: Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration – Part 1: General requirements. 2001.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 5349-2 2001**: Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration – Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace. 2001.

KOVÁČ, J.; KRILEK, J.; DADO, M.; BENO, P. Investigating the Influence of Design Factors on Noise and Vibrations in the case of Chainsaws for Forestry Work. **FME Transactions**, n. 46, 2018.

NASKRENT, B. *et al.* Influence of Cutting Attachment on Noise Level Emitted by Brush Cutter during Tending of Young Forests. **Croatian Journal of Forest Engineering**, v.41, n.1, p.129-135, 2020.

NERI, F. *et al.* A Comparison between the Latest Models of Li-Ion Batteries and Petrol Chainsaws Assessing Noise and Vibration Exposure in Cross-Cutting. **Forests**, v.14, p.898, 2023.

NERI, F. *et al.* Determining Noise and Vibration Exposure in Conifer Cross-Cutting Operations by Using Li-Ion Batteries and Electric Chainsaws. **Forests**, v. 9, n. 8, p. 501, 2018.

OLIVEIRA JÚNIOR, G. G. *et al.* Occupational Exposure To Localized Vibrations Using Portable Mechanical Brush Cutter in Coffee Crop. **Coffee Science**, v. 14, n. 2, p. 183 – 192, 2019.

OTTONELLI, J. *et al.* Estado de uso e conservação de motosserras com motores de combustão interna. **Tecno-Lógica**, v.24, p. 196–201, 2020.

PINTO, I. *et al.* Protection effectiveness of antivibration gloves: Field evaluation and laboratory performance assessment. **Paper presented to the 9th international conference on hand-arm vibration**, p. 1-12, 2001.

POLETO FILHO, J. A.; SANTOS, J. E. G.; POLLETO, H. M.C. Análise dos riscos físicos e ergonômicos em roçadora transversal motorizada. **Revista Brasileira de Ergonomia**, v.10, n.1, p.70-81, 2015.

ROGGIO, F. *et al.* Ergonomic evaluation of young agricultural operators using handle equipment through electromyography and vibrations analysis between the fingers. **Safety and health at work**, v.13, n.4, p.440-447, 2022.

ROTTENSTEINER, C., STAMPFER, K. Evaluation of operator vibration exposure to chainsaws equipped with a kesper safety bar. **Scandinavian journal of forest research**, v. 28, n 2, 2013.

SALIBA, T. M.; CORREA, M. A. C.; AMARAL L. S. **Higiene do trabalho: Programa de prevenção de riscos ambientais**. 3. Ed. São Paulo, p. 262; 2002. ISBN: 9788536101910.

SCHUTZER, V. M. **Avaliação de parâmetros ergonômicos: vibração e ruído em roçadoras laterais**. 2018. 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Bauru - SP, 2018.

SELL, I. **Projeto do trabalho humano: Melhorando as condições de trabalho**. Florianópolis, Ed. EdUFSC, p. 470, UFSC, 2002.

TALAGAI, N.; BORZ, S.A.; IGNEA, G. Performance of brush cutters in felling operations of willow short rotation coppice. **Bioresources**, n. 12, p. 3560–3569, 2017.

UEMURA, M. *et al.* Vibration reduction of brush cutter considering human response characteristic. In: **INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings**. Institute of Noise Control Engineering, p. 2210-2218, 2014.

VEIGA, R. K.; GONTIJO, L. A.; MASIERO, F. C.; VENTURI, J. Análise e distribuição espacial do ruído no posto de trabalho do operador e nas proximidades de máquinas agrícolas e florestais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 43-65, 2021.

YANG, W. *et al.* Muscle fatigue related to human posture using a brush cutter for landscape gardening: a preliminary study. **Medycyna Pracy**, v.73, n. 3, p. 201-207, 2022.

Contribuição de Autoria

1 Luigi de Almeida Rodrigues

Engenheiro Florestal

<https://orcid.org/0000-0002-3320-6350> • luigiiirodrigues@gmail.com

Contribuição: Conceitualização; Curadoria de dados

2 Catize Brandelero

Doutora em Manejo Florestal

<https://orcid.org/0000-0002-7848-4784> • catize.brandelero@ufsm.br

Contribuição: Conceitualização; Curadoria de dados

3 Valmir Werner

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Mecanização Agrícola

<https://orcid.org/0000-0001-9438-0849> • valmirw1@gmail.com

Contribuição: Administração do projeto; Redação do manuscrito original

4 Edvaldo Faour Coutinho da Silva

Engenheiro Agrícola, Mestre em Mecanização Agrícola

<https://orcid.org/0000-0001-9606-0662> • edvaldofaour@gmail.com

Contribuição: Metodologia; Análise de dados

5 Henrique Eguilhor Rodrigues

Engenheiro Agrícola, Mestre em Mecanização Agrícola

<https://orcid.org/0000-0002-2164-4118> • henrique_eguilhor@hotmail.com

Contribuição: Metodologia; Análise de dados

6 José Fernando Schlosser

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Mecanização Agrícola

<https://orcid.org/0000-0002-4906-3147> • josefernandoschlosser@gmail.com

Contribuição: Escrita – revisão e edição

7 Alexandre Russini

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Mecanização Agrícola

<https://orcid.org/0000-0002-9095-7775> • alexandrerrussini@gmail.com

Contribuição: Validação de dados e experimentos; Redação do manuscrito original

8 João Pedro Sala Gallina

Graduando em Engenharia Mecânica

<https://orcid.org/0009-0009-2044-0111> • joao.gallina@acad.ufsm.br

Contribuição: Metodologia; Análise de dados

9 Lucas Caye da Silva

Engenheiro Florestal

<https://orcid.org/0000-0003-4221-0447> • lucascaye06@gmail.com

Contribuição: Metodologia; Análise de dados

Como citar este artigo

RODRIGUES, L. A.; BRANDELERO, C.; WERNER, V.; SILVA, E. F. C.; RODRIGUES, H. E.; SCHLOSSER, J. F.; RUSSINI, A.; GALLINA, J. P. S.; SILVA, L. C. Vibração e rendimento operacional de uma motorroçadora operando com três discos de corte. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 35, e89906, p. 1-20, 2025. DOI 10.5902/1980509889906. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509889906>. Acesso em: dia mês abreviado. ano.

Declaração de Disponibilidade de Dados:

Os dados relacionados a este artigo estão disponíveis mediante solicitação a/ao autora/autor correspondente.

Avaliador do artigo:

Cristiane Pedrazzi, *Editor de Seção*

Equipe Editorial:

Prof. Dr. Cristiane Pedrazzi, *Editores-Chefe*

Prof. Dr. Dalton Righi, *Editor Associado*

Miguel Favila, *Editor Gerente*