






ARTIGO ORIGINAL

Colheita florestal semimecanizada com motosserra na caatinga: exposição a CO₂, vibração e ruído e seus impactos na saúde do trabalhador

Semi-mechanized forest harvesting with chainsaws in the caatinga: exposure to CO₂, vibration and noise and their impacts on workers' health

Elany Pereira Marques da Silva^{1*} , Francisco das Chagas Vieira Sales² , Gerlanny Vieira de Moraes² , Francisca Marta Medeiros dos Santos² , Lylían Souto Ribeiro¹ , Ellen Vitória Barbosa do Carmo¹ , José Jurandez Buriti de Melo Júnior¹ , Flávio Cipriano de Assis do Carmo² 

¹Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Areia, PB, Brasil

²Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Patos, PB, Brasil

INFORMAÇÕES DO ARTIGO

Fonte de financiamento: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Conflito de interesse: Nada a declarar.

*Autor correspondente: elany.pereira87@hotmail.com

Recebido: 27 março 2025.

Aceito: 9 setembro 2025.

Editor: Alexandre de Vicente Ferraz.

Como citar: Silva, E. P. M., Sales, F. C. V., Moraes, G. V., Santos, F. M. M., Ribeiro, L. S., Carmo, E. V. B., Melo Junior, J. J. B., & Carmo, F. C. A. (2025). Colheita florestal semimecanizada com motosserra na caatinga: exposição a CO₂, vibração e ruído e seus impactos na saúde do trabalhador. *Scientia Forestalis*, 53, e4146. <https://doi.org/10.18671/scifor.v53.17>

RESUMO

O presente estudo avaliou os riscos ergonômicos (vibração e ruído) e químicos (emissão de dióxido de carbono - CO₂) associados à colheita florestal semimecanizada em uma área de Caatinga no município de Mauriti, Ceará. A coleta de dados incluiu a medição da emissão de CO₂ utilizando analisador de gases, da vibração no sistema mão-braço com acelerômetro, e do ruído ocupacional com dosímetro, seguindo metodologias normatizadas. Os resultados indicaram que a emissão média de CO₂ está abaixo dos limites de tolerância estabelecidos pela NR 15, não representando risco significativo à saúde do operador devido à rápida dissipação em área aberta. No entanto, os níveis de vibração situaram-se na “Região de Incerteza” da NHO 10, sugerindo a necessidade de medidas preventivas e corretivas, como o uso de luvas antivibração e rodízio de atividades. A análise do ruído revelou níveis acima dos limites toleráveis da NR 15 e NHO 01, com tempos máximos de exposição sem proteção auricular significativamente reduzidos. Conclui-se que, embora a emissão de CO₂ não represente risco imediato, a exposição à vibração e, principalmente, ao ruído na operação de motosserras na colheita semimecanizada exige a implementação de medidas de controle e proteção para garantir a saúde e segurança dos trabalhadores.

Palavras-chave: Ergonomia florestal; Riscos ocupacionais; Segurança do trabalho florestal.

ABSTRACT

This study evaluated the ergonomic (vibration and noise) and chemical (carbon dioxide - CO₂ emissions) risks associated with semi-mechanized forest harvesting in a Caatinga area in the municipality of Mauriti, Ceará state, Brazil. Data collection included measuring CO₂ emissions using a gas analyzer, vibration in the hand-arm system using an accelerometer, and occupational noise using a dosimeter, following standardized methodologies. The results indicated that the average CO₂ emissions are below the tolerance limits established by NR 15, and do not represent a significant risk to the health of the operator due to rapid dissipation in an open area. However, vibration levels were within the “Uncertainty Region” of NHO 10, suggesting the need for preventive and corrective measures, such as the use of anti-vibration gloves and activity rotation. Noise analysis revealed levels above the tolerable limits of NR 15 and NHO 01, with maximum exposure times without ear protection significantly reduced. It is concluded that, although CO₂ emissions do not represent an immediate risk, exposure to vibration and, mainly, to noise in the operation of chainsaws in semi-mechanized harvesting requires the implementation of control and protection measures to ensure the health and safety of workers.

Keywords: Forest ergonomics; Occupational risks; Forestry work safety.

1. INTRODUÇÃO

A colheita florestal vem passando por contantes evoluções, como a substituição de ferramentas manuais por equipamentos semimecanizados. Apesar do avanço, a produtividade dos processos semimecanizados ainda se mantém inferior aos processos mecanizados, e os riscos de acidentes permanecem elevados, frequentemente associados

ao uso inadequado de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) (Possebom & Alonço, 2018). Mesmo assim, a motosserra continua sendo amplamente utilizada, pois em áreas de difícil acesso torna-se essencial para a execução do trabalho (Fiorentino et al., 2022). Essa exposição inadequada submete os trabalhadores a diversos riscos, tanto



de natureza química quanto física. Como destacado por D'Antonio et al. (2024), historicamente as emissões de motosserras no setor florestal receberam atenção limitada, resultando em escassez de publicações e na predominância de estudos de caráter médico (~44%), embora o interesse científico na área tenha crescido nos últimos cinco anos.

Entre os riscos químicos, destaca-se a emissão de gases tóxicos como o dióxido de carbono (CO₂) que é liberado durante a operação das motosserras, resultantes da combustão interna do combustível e do óleo lubrificante (D'Antonio et al., 2024). O CO₂, em especial, representa um perigo à saúde dos operadores (Fiedler et al., 2023) e contribui para o aumento das emissões de gases de efeito estufa (Silva, 2014; Gama & Scaloppe, 2023). As motosserras geralmente utilizam motores de ciclo Otto de dois tempos, que, apesar de sua menor eficiência energética, são amplamente empregados devido à favorável relação potência/peso e potência/volume (Çengel & Boles, 2006; Dąbrowski, 2020). Esses motores, comuns no setor florestal, possuem custo de fabricação mais baixo e estão em constante desenvolvimento, visando torná-los mais leves, com menor emissão de ruído e vibração, menor consumo de combustível e redução da liberação de gases tóxicos (Francio, 2021; Silva, 2014). A exposição a esses gases, especialmente em níveis que excedem os limites estabelecidos pela NR 15 (Brasil, 2022), configura um risco considerável para a saúde humana.

Além dos riscos químicos, ruído e vibração são duas adversidades que impactam diretamente os operadores de máquinas. A vibração, definida como um movimento oscilatório de um corpo devido a forças desequilibradas de componentes de uma máquina ou equipamento, como a motosserra, e que ao longo do tempo (Rao, 2008; Masioli et al., 2020), representa um fator de risco significativo em atividades florestais mecanizadas e semimecanizadas. A exposição a essas vibrações pode comprometer o conforto, a eficiência no trabalho, a saúde e a segurança dos operadores (Brito, 2007). No contexto da saúde ocupacional, as vibrações transmitidas ao corpo humano podem ser classificadas de duas formas: vibrações de corpo inteiro e vibrações de mãos e braços, ou localizadas. As vibrações localizadas atingem principalmente as extremidades, como mãos e braços, e ocorrem em trabalhos com ferramentas manuais vibratórias (Santos Junior et al., 2020). O uso de motosserras, com seus componentes rotativos e alternados, gera vibrações que se propagam por todo o corpo do trabalhador (Cunha, 2006). De acordo com Jesus et al. (2020), a exposição prolongada e diária a essas vibrações, sem a proteção adequada, pode levar ao desenvolvimento da síndrome de Raynaud, também conhecida como síndrome dos dedos brancos, uma condição causada por espasmos nas artérias digitais que prejudicam a circulação sanguínea (Neri et al., 2023; Pelmeir & Wasserman, 1998).

Resultante dessa vibração, o som, originado da vibração que se propaga no ar e é percebido pelo sistema auditivo como pressão sonora (Saliba, 2014), pode se manifestar como ruído quando a frequência e intensidade da vibração são irregulares (Kroemer & Grandejean, 2005). O ruído, segundo o Ministério do Trabalho e Emprego (Brasil, 2022), é qualquer som ou complexo de sons que sejam desconfortáveis e que agem de modo acumulativo, produzindo efeitos psicológicos e fisiológicos, causando, em sua maioria, danos irreversíveis, como distúrbios emocionais e cardíacos (Kuang et al., 2019; Silveira et al., 2007). A exposição constante ou intermitente a altos níveis de pressão sonora, comum em ambientes industriais, é a principal causa da perda auditiva relacionada ao trabalho (Petroni et al., 2019). Além disso, o ruído pode levar à perda de reflexos, dificuldade de concentração, surdez permanente, fadiga e distúrbios do sono (Ladeia, 2019). Apesar do avanço tecnológico e da melhoria das leis, acidentes e doenças relacionadas ao trabalho ainda causam problemas de saúde significativos e geram altos custos para as organizações (Pilco, 2023). Nesse contexto, a utilização de motosserras representa uma importante

fonte de exposição ocupacional, uma vez que pode impactar a saúde dos operadores (Biocca et al., 2024).

Para mitigar esses riscos, Brevigliero et al. (2024) propõem três formas básicas de controle: na fonte, alterando processos e equipamentos para reduzir a emissão de ruído; no meio, utilizando isolamento acústico para evitar a propagação do som; e no trabalhador, limitando o tempo de exposição e fornecendo equipamentos de proteção individual, como protetores auriculares. Ambos os fenômenos, vibração e ruído, exigem atenção e medidas preventivas para proteger a saúde dos trabalhadores no setor florestal, minimizando os riscos de danos a longo prazo. Para Dvořák et al. (2020), um ambiente é considerado adequado apenas quando esses fatores estão dentro dos limites recomendáveis para a prevenção de doenças ocupacionais. A produtividade dos trabalhadores é diretamente afetada pelas condições de trabalho, com o excesso de ruído e vibrações podendo causar desconforto, aumentar o risco de acidentes e provocar danos à saúde (Fiedler, 1995; Iftime et al., 2022).

Nos últimos anos, a colheita florestal tem avançado ainda mais com a incorporação de tecnologias que buscam otimizar as tarefas mais complexas e perigosas no ambiente de trabalho, trazendo benefícios como maior eficiência, aumento da produtividade e redução do esforço físico (Schettino et al., 2022). No entanto, a contribuição da ergonomia para a melhoria das condições de trabalho ainda é modesta, pois as pesquisas no setor têm se concentrado mais na otimização e nos rendimentos de máquinas e equipamentos, negligenciando a saúde, o conforto e o bem-estar do operador (Schettino et al., 2021). Entretanto, como ressaltam Dvořák et al. (2020), embora essas máquinas avancem na produtividade, também exigem maior qualificação dos operadores e medidas de controle mais rigorosas. Isso porque o operador continua sendo o elemento central do processo e, sob a ótica da ergonomia, as tecnologias devem ser desenvolvidas considerando as condições reais de trabalho, os limites ergonômicos e a capacidade de adaptação do operador. A ergonomia, ao buscar a adaptação das condições de trabalho às características dos trabalhadores, visa promover conforto, segurança, saúde e desempenho eficiente, abrangendo desde o manuseio de materiais até as condições ambientais (Brasil, 2020). No contexto do setor florestal, que busca conciliar produtividade e sustentabilidade, a crescente complexidade tecnológica exige uma análise aprofundada das interações homem-máquina-ambiente, a fim de garantir segurança, confiabilidade e desempenho otimizado (Patiño et al., 2021; Xiong et al., 2022). A Saúde e Segurança do Trabalho, como campo científico, dedica-se ao estudo e prevenção de riscos ocupacionais, abrangendo desde acidentes até doenças relacionadas ao trabalho (Barsano & Barbosa, 2018). Essa área integra conhecimentos de diversas disciplinas, como ergonomia, medicina do trabalho e segurança patrimonial, para identificar e avaliar os fatores de risco presentes no ambiente laboral (Mattos & Mascuro, 2011). A aplicação prática desses conceitos é orientada por normas e regulamentos, como a Norma Regulamentadora 09 (NR-09) do Ministério do Trabalho e Emprego (Brasil, 2021). A NR 09, estabelece diretrizes para a identificação e avaliação de riscos ocupacionais, incluindo riscos químicos e físicos, cruciais para a proteção da saúde e segurança dos trabalhadores. No setor florestal, operadores de máquinas estão frequentemente expostos a riscos ergonômicos como ruído e vibração (Lopes et al., 2022), os quais têm sido objeto de crescente preocupação e implementação de programas de qualidade nas empresas. Adicionalmente, a operação de maquinário na colheita florestal semimecanizada pode resultar na exposição dos operadores a agentes químicos presentes nos gases, a exemplo do dióxido de carbono (CO₂), no ambiente de trabalho. A exposição a concentrações elevadas de agentes químicos representa um risco para a saúde dos operadores, pois pode causar efeitos adversos como cefaleia, tontura. Portanto, a análise da emissão de CO₂, juntamente com a avaliação

do ruído e da vibração, torna-se fundamental para compreender os riscos multifatoriais aos quais os trabalhadores estão expostos na colheita florestal semimecanizada. O conhecimento detalhado desses riscos permitirá a implementação de medidas preventivas eficazes, garantindo um ambiente de trabalho mais seguro e produtivo para os operadores.

Diante do exposto, a presente pesquisa teve como objetivo analisar a emissão de gases carbônicos (CO₂) no ambiente de trabalho e verificar a exposição à vibração e ruído na colheita florestal semimecanizada em uma área de Caatinga no município de Mauriti, região Sul do Ceará, com foco na avaliação dos riscos à saúde dos operadores.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo e coleta de dados

O presente estudo foi conduzido em uma área de manejo florestal situada na propriedade Serra da Lagoa, localizada no município de Mauriti, região sul do Ceará (Figura 1). A coleta de dados ocorreu em maio de 2023 e foi estruturada em três fases distintas: análise da emissão de gases, análise da emissão de vibração no sistema mão-brasão, e análise da emissão de ruído.

2.2. Marcação das parcelas

Na análise da vegetação arbórea, foram estabelecidas 10 parcelas de 100 m² (10 m x 10 m), com uma equidistância de 50 metros entre elas. As parcelas foram georreferenciadas utilizando GPS e distribuídas de forma sistemática na unidade de produção anual (UPA), que abrangia uma área de 16,65 hectares. A marcação das parcelas foi realizada com o auxílio de uma fita métrica de 30 metros, sendo posteriormente delimitadas com barbante e piquetes de madeira, seguindo as

diretrizes do Protocolo de Medições de Parcelas Permanentes da Rede de Manejo Florestal da Caatinga – RMFC (Comitê Técnico Científico, 2005). Em cada parcela, foi realizado o levantamento do componente arbóreo, registrando todos os indivíduos com circunferência à altura do peito (CAP) igual ou superior a 6,0 cm (CAP ≥ 6,0 cm), conforme recomendado pelo RMFC (Comitê Técnico Científico, 2005). Para cada indivíduo, foram identificados os nomes comuns, a altura total e o CAP. Os dados de circunferência foram convertidos em diâmetro à altura do peito (DAP) utilizando a expressão $DAP = CAP/\pi$. A medição da circunferência foi feita com fita métrica e a altura das árvores com régua retrátil.

A análise dos riscos ocupacionais focou no sistema de colheita de toras curtas (cut-to-length) com operações semimecanizadas, comumente utilizadas na região do semiárido paraibano. Foram avaliadas as emissões de dióxido de carbono (CO₂), vibração e ruído provenientes do uso de dois modelos de motosserras empregados no corte da madeira.

2.3. Análise de emissão de dióxido de Carbono (CO₂)

Para a quantificação da emissão de gases, especificamente o CO₂, durante o funcionamento das motosserras, utilizou-se um analisador de gases. As medições foram realizadas *in loco*, durante as atividades de colheita semimecanizada, seguindo a metodologia proposta por Brasil (2009). A emissão de CO corrigida foi calculada utilizando a Equação 1:

$$CO_{\text{corrigido}} = CO * \left(100 / (100 - CO_2) \right) \quad (1)$$

onde, CO representa o monóxido de carbono contido nos gases de escapamento (medido em % em volume), e CO₂ é o dióxido de carbono medido, utilizado para o fator de diluição.

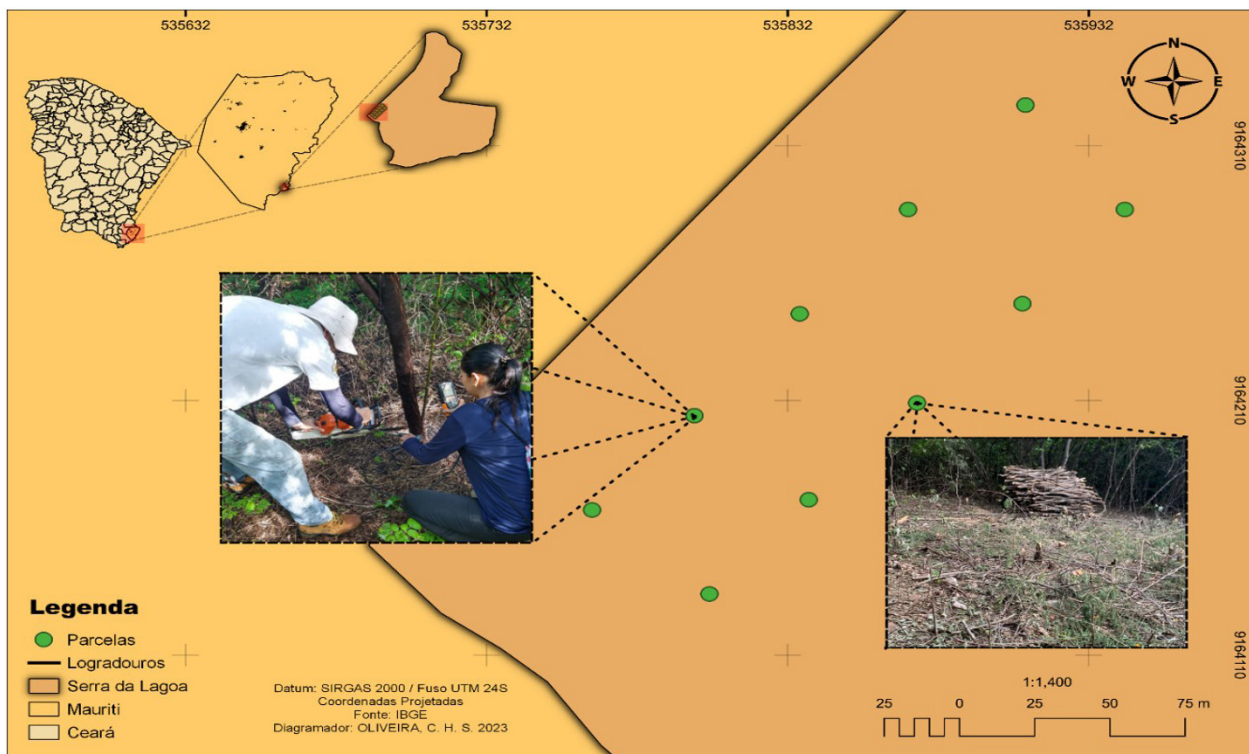


Figura 1 - Mapa de localização do município de Mauriti-CE. Fonte: Elaborados pelos autores (2023).

2.4. Análise da exposição à vibração no sistema mão-braço

A medição da vibração no sistema mão-braço, durante as atividades de colheita semimecanizada, foi realizada em conformidade com a Norma de Higiene Ocupacional – NHO 10 da Fundação Jorge Duprat e Figueiredo – FUNDACENTRO. Para a coleta de dados, utilizou-se um acelerômetro modelo MV 200 da marca Instrutherm, com certificado de calibração válido até maio de 2024. A aceleração média resultante (*amr*) foi calculada através da Equação 2:

$$amr = \sqrt{(amx^2 + amy^2 + amz^2)} \quad (2)$$

onde, *amx*, *amy* e *amz* representam as acelerações médias medidas nos três eixos ortogonais (*x*, *y* e *z*). A aceleração resultante da exposição parcial (*arep*) foi obtida pela Equação 3:

$$arep = amr * \sqrt{(t / T)} \quad (3)$$

onde, *t* é o tempo de duração da componente de exposição e *T* é o tempo de referência de 480 minutos (8 horas). A aceleração resultante da exposição (*are*) foi calculada conforme a Equação 4:

$$are = \sqrt{(\sum(arepi^2 * ti) / T)} \quad (4)$$

onde, *arepi* é a aceleração resultante de exposição parcial, *ti* é o tempo de duração da componente de exposição “*i*”, e *T* é o tempo de duração da jornada diária de trabalho. Para normalizar os resultados para uma jornada de trabalho de oito horas, utilizou-se a Equação 5, obtendo a aceleração resultante da exposição normalizada (*aren*):

$$aren = are * \sqrt{(T / T_0)} \quad (5)$$

onde, *T* é o tempo de duração da jornada diária e *T₀* corresponde a 480 minutos. As medições de vibração foram realizadas nas motosserras em 10 parcelas diferentes, com o acelerômetro fixado entre a mão do operador e o gatilho de acionamento, registrando as medições a cada segundo.

Os resultados foram comparados com os níveis de ação e limites de tolerância estabelecidos na NHO – 10 (Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho, 2013), sendo o limite de exposição de 5,0 m/s² e o nível de ação de 2,5 m/s² para uma jornada de 8 horas diárias. Os critérios de julgamento e tomada de decisão baseados na *aren* seguiram as recomendações da NHO – 10 (Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho, 2013), onde valores de *aren* entre 0 e 2,5 m/s² são considerados aceitáveis, acima de 2,5 m/s² até < 3,5 m/s² indicam a necessidade de adoção de medidas preventivas, entre 3,5 e 5,0 m/s² requerem medidas preventivas e corretivas, e acima de 5,0 m/s² exigem ação corretiva imediata.

2.5. Análise da exposição ao agente físico ruído

As medições de ruído ocupacional foram realizadas nas áreas de colheita florestal durante as atividades de abate e processamento das toras, utilizando um dosímetro de ruído digital portátil (Criffer). O dosímetro foi ajustado conforme o Anexo 1 da NR 15 (Brasil, 2022), com circuito de compensação “A”, resposta lenta (Slow), nível limiar de integração de 85 dB(A), faixa de medição de 85 a 115 dB(A) e incremento de dose de 5 dB(A). O dosímetro foi fixado próximo ao ouvido do trabalhador durante a jornada de trabalho. A dose de ruído (*D*) foi calculada utilizando a Equação 6 (Boger et al., 2009):

$$D = (Tex / Tref) * 100 \quad (6)$$

onde, *Tex* é o tempo médio de exposição diária e *Tref* é o período de referência de 8 horas. O nível médio de ruído (*Lavg*) foi determinado pela Equação 7 (Saliba, 2015):

$$Lavg = LC + 10 * \log_{10}(D / 100) \quad (7)$$

onde, *LC* é o nível base do critério, igual a 85 dB(A). O nível de exposição normalizado (*NEN*) para uma jornada de 8 horas foi calculado através da Equação 8 (Lima, 2015):

$$NEN = Lavg + 10 * \log_{10}(Texp / 480) \quad (8)$$

onde, *Texp* é o tempo de exposição em minutos. O critério de avaliação adotado para a exposição diária ao ruído foi de 85 dB(A), conforme a NR 15 (Brasil, 2022).

3. RESULTADOS

3.1. Emissão de dióxido de carbono (CO₂)

Os resultados da emissão de dióxido de carbono (CO₂) obtidos nas avaliações de campo estão descritos na Tabela 1.

A média da concentração de dióxido de carbono (CO₂) registrada nos gases emitidos pelo escapamento da motosserra durante as operações de colheita foi de 115,75 ± 18,81 ppm.

3.2. Exposição ocupacional a vibração no sistema mão-braço

Os resultados da exposição a vibração determinados pelo medidor de vibração estão apresentados na Tabela 2.

O nível médio de exposição normalizado para vibração encontrado foi de 4,06 m/s².

3.3. Exposição ocupacional ao agente físico ruído

Os níveis de exposição ocupacional ao agente físico ruído, determinados por meio de dosimetria, foram analisados segundo os

Tabela 1- Estatísticas descritivas da emissão de dióxido de carbono (CO₂) medidas no escapamento de motosserra, Mauriti-CE, 2023.

Variáveis	Resultados
Repetições	200
Número mínimo de amostras	26
Média (ppm)	115,75
Desvio Padrão (ppm)	18,81

Fonte: Dados da pesquisa, 2023.

Tabela 2 - Estatísticas descritivas do nível de exposição à vibração no sistema mão-braço de operadores durante a colheita semimecanizada, Mauriti-CE, 2023.

Variáveis	Resultados
Repetições	1132
Número mínimo de amostras	143
Média do Nível de Exposição normalizada - <i>aren</i> (m/s ²)	4,06
Desvio Padrão (m/s ²)	1,49
Critério de Julgamento (NHO 10)	Região de Incerteza

Fonte: Dados da pesquisa, 2023.

Tabela 3 - Estatísticas descritivas do nível de exposição ocupacional ao ruído, segundo os critérios da NR 15 e da NHO 01, Mauriti-CE, 2023.

Variáveis	NR15	NHO 01
Repetições	195	195
Número mínimo de amostras	83	83
Média do Nível de Exposição Normalizada – NEN dB(A)	95,67	99,58
Desvio padrão dB(A)	5,03	5,03
Critério de Julgamento	Acima do limite tolerável	Acima do limite tolerável

Fonte: Dados da pesquisa, 2023.

critérios do Ministério do Trabalho e Emprego (Brasil, 2022) para a NR 15 e da NHO 01 (Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho, 2001), conforme apresentado na Tabela 3.

Observa-se que a média do nível de exposição normalizada ao ruído foi de 95,67 dB(A) pela NR 15 e 99,58 dB(A) pela NHO 01, com desvio padrão de 5,03 dB(A) em ambas as avaliações. Esses valores situam-se acima do limite de tolerância estabelecido pelas duas normativas, indicando risco potencial à saúde auditiva dos trabalhadores.

4. DISCUSSÃO

De acordo com o Anexo 1 da NR 15, para uma jornada de 48 horas semanais, o operador pode estar exposto a um limite máximo de 3900 ppm de CO₂, valor bastante superior ao identificado nesta pesquisa. Ressalta-se que, por se tratar de supressão vegetal em área aberta, o dióxido de carbono emitido no escapamento do equipamento é rapidamente dissipado no ambiente, reduzindo a exposição e a concentração do gás (Fiedler et al., 2023). Ademais, mesmo considerando essa dissipação, a concentração média observada no presente estudo não representa riscos à saúde do operador, conforme a normativa vigente.

Embora a concentração de CO₂ encontrada nesta pesquisa esteja dentro dos limites de tolerância estabelecidos pela NR 15, estudos recentes de D'Antonio et al. (2024) evidenciam que outras emissões provenientes do uso de motosserras – como monóxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis (VOC) e benzeno (C₆H₆) – podem atingir níveis significativamente superiores aos limites legais, especialmente durante operações intensas, como o abate. Nesse estudo, verificou-se, por exemplo, que a emissão de VOC ultrapassou em até 23 vezes o valor máximo permitido. Esses resultados reforçam a relevância do monitoramento integrado das emissões geradas por motores de combustão, mesmo em ambientes abertos, uma vez que a exposição cumulativa ou condições microclimáticas adversas, como baixa ventilação ou altas temperaturas, podem elevar o risco à saúde do operador, particularmente em sistemas semimecanizados, como o utilizado no Semiárido paraibano.

O nível médio de exposição normalizado à vibração encontrado nesta pesquisa foi de 4,06 m/s², valor situado dentro do intervalo entre o nível de ação (2,5 m/s²) e o limite de exposição (5,0 m/s²), estabelecidos pela NHO 10 (Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho, 2013), para uma jornada de 8 horas diárias de trabalho. De acordo com os critérios de julgamento da normativa, esse resultado se enquadra na Região de Incerteza (3,5 e 5,0 m/s²), o que indica a necessidade de adoção de medidas preventivas e corretivas para a redução da exposição diária. Entre essas medidas, destaca-se o uso de luvas antivibração, que podem atenuar a aceleração transmitida ao operador. Caso, mesmo após a utilização de luvas, os níveis ainda permaneçam superiores a 2,5 m/s² (limite que permitiria ao operador desempenhar suas atividades

normalmente ao longo da sua jornada diária), torna-se necessária a adoção de rodízio de tarefas, de modo a reduzir o tempo de exposição do operador ao agente físico.

Resultados semelhantes foram relatados por Schettino et al. (2018), que registraram 4,86 m/s² em uma área de floresta plantada de eucaliptos em Minas Gerais, com o uso da motosserra, para uma jornada de 8 horas de trabalho, aplicando os mesmos critérios estabelecidos pela NHO 10. Ressalta-se, que a vibração é fortemente influenciada por fatores como a afiação e substituição da corrente da motosserra, bem como pela densidade da madeira a ser cortada. Dessa forma, recomenda-se a realização periódica de manutenção preventiva (afiação da corrente, lubrificação e ajustes operacionais), além da alternância no corte entre espécies de maior e menor densidade. Tais práticas, além de contribuir para o aumento da produtividade (Otonelli et al., 2020), podem reduzir a exposição prolongada à vibração excessiva e, consequentemente, minimizar o risco de doenças ocupacionais.

Em contraste com o valor médio observado nesta pesquisa (aren = 4,06 m/s²), Iftime et al. (2022), reportaram exposições diárias A (8) substancialmente menores, com médias entre 1,99 e 2,08 m/s², máximo de 2,88 m/s² e 87^a percentil de 2,60–2,58 m/s² nas regiões de colina e montanha, respectivamente. À luz da NHO 10, tais níveis situam-se acima do nível de ação (2,5 m/s²), porém abaixo da faixa de incerteza (3,5–5,0 m/s²), indicando a necessidade de medidas preventivas. As diferenças em relação a este estudo provavelmente decorrem de fatores operacionais e contextuais – espécie/diâmetro da madeira, topografia, técnica do operador, manutenção e projeto da motosserra, posicionamento do trabalhador e microclima – que, em conjunto, reduzem a aceleração mão-braço e explicam os valores inferiores observados.

Conforme observado na Tabela 3, os níveis médios de exposição ao ruído encontrados nesta pesquisa foram de 95,67 dB(A) (NR 15) e 99,58 dB(A) (NHO 01), valores que ultrapassam significativamente os limites de tolerância definidos pela legislação brasileira. Segundo a NR 15, o tempo máximo de exposição diária para 95 dB(A) é de 2 horas, enquanto para 99 dB(A) não deve ultrapassar 1 hora e 15 minutos. Pela NHO 01, esses valores correspondem a tempos permissíveis ainda menores (47,62 e 15,11 minutos, respectivamente), o que demonstra que a jornada de trabalho do operador excede os limites estabelecidos, configurando risco ocupacional elevado.

Resultados semelhantes foram relatados por Schettino et al. (2018), que observaram níveis de ruído equivalentes de 89,3 dB(A), em área de floresta de eucalipto em Minas Gerais, valor inferior ao desta pesquisa, mas ainda acima do permitido para uma jornada diária de trabalho de 8 horas de trabalho. De forma consistente, D'Antonio et al. (2024), ao avaliarem operações específicas de colheita com motosserra na Itália (como desganhamento e corte de toras), verificaram que entre 57% e 83% das atividades ultrapassaram os limites legais estabelecidos pelo DPR 81/2008 (80, 85 e 87 dB). Embora os limites de referência sejam distintos, os resultados corroboram a presente pesquisa, pois em ambos os casos pode-se constatar exposição ocupacional superior ao aceitável.

Em estudo recente, Toscano et al. (2023) registraram valores ainda mais críticos, com níveis de ruído superiores a 110 dB(A) em praticamente todas as operações realizadas com motosserra, sendo respeitados os limites legais apenas durante a operação de desganhamento. Comparados à presente pesquisa, os valores reportados por Toscano et al. (2023) são superiores, reforçando que, mesmo em contextos distintos, a exposição ao ruído em atividades florestais com motosserra ultrapassa de forma consistente os limites normativos.

Em todos os estudos analisados, evidencia-se a urgência da implementação de medidas de controle, como o uso obrigatório de equipamentos de proteção auditiva e a adoção de rodízios operacionais.

Considerando que o ruído é um agente cumulativo e que variações de apenas 3 dB podem dobrar sua intensidade percebida, mesmo pequenas elevações nos níveis medidos representam risco significativo à saúde ocupacional dos trabalhadores florestais. Nesse contexto, o operador necessitaria de mais dias para concluir o corte da madeira, o que implicaria em maior exposição ao agente ruído, além de elevar os custos de produção. Como destacam Siqueira et al. (2023), a perda auditiva induzida pelo ruído caracteriza-se como uma patologia cumulativa, irreversível e progressiva, resultante da exposição contínua ao ambiente ocupacional, reforçando a necessidade de prevenção. Nesse sentido, Bermudes & Minette (2018) apontam que a estratégia mais adequada envolve a capacitação dos trabalhadores, associada ao uso de equipamentos de proteção auricular (abafadores de ruído) e à implementação de rodízios de atividades, a fim de reduzir o tempo de exposição diária e mitigar os efeitos nocivos do ruído.

5. CONCLUSÃO

A pesquisa concluiu que a concentração de dióxido de carbono não representa risco significativo à saúde do operador, conforme as diretrizes da NR-15. No entanto, o ruído emitido pela motosserra excede os limites permitidos para uma jornada de 8 horas, o que pode resultar em danos auditivos a longo prazo. Além disso, a vibração do equipamento expõe os trabalhadores a riscos incertos, o que torna essencial o uso de EPI's adequados e a adoção de rodízios entre as atividades. Essas medidas são fundamentais para reduzir a exposição contínua a esses fatores de risco.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro, fundamental para a realização deste estudo. Também expressamos nossa gratidão à Universidade Federal de Campina Grande pelo suporte institucional e pela infraestrutura disponibilizada, que foram essenciais para o desenvolvimento desta pesquisa.

7. REFERÊNCIAS

Barsano, P. R., & Barbosa, R. P. (2018). *Segurança do trabalho guia prático e didático*. São Paulo: Saraiva Educação SA.

Bermudes, W. L., & Minette, L. J. (2018). Avaliação da exposição ocupacional à vibração de motosserra: um estudo sobre a colheita florestal no Espírito Santo. *Vértices*, 20(3), 398-407.

Biocca, M., Gallo, P., Grilli, R., Fanigliulo, R., Fornaciari, L., & Pochi, D. (2024). Avaliação de emissões de ruído e desempenho de corte de motosserras para operações florestais de pequena escala. In R. Berruto, M. Biocca, E. Cavallo, M. Cecchini, S. Failla & E. Romano (Eds.), *Segurança, saúde e bem-estar na agricultura e sistemas agroalimentares. SHWA 2023* (Lecture Notes in Civil Engineering, No. 521). Cham: Springer.

Boger, M. E., Barbosa-Branco, A., & Ottoni, Á. C. (2009). A influência do espectro de ruído na prevalência de perda auditiva induzida por ruído em trabalhadores. *Revista Brasileira de Otorrinolaringologia*, 75(3), 328-334. PMID:19649479.

Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2009). Resolução nº 418, de 25 de novembro de 2009. Dispõe sobre critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades de significativo impacto ambiental. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília. Recuperado em 27 de março de 2025, de <http://www4.planalto.gov.br/legislacao/>

Brasil. Ministério do Trabalho e Emprego. (2020). *Ergonomia: NR-17*. Brasília: Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho. Recuperado em 27 de março de 2025, de <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/>

Brasil. Ministério do Trabalho e Emprego. (2021). *Avaliação e controle das exposições ocupacionais a agentes físicos, químicos e biológicos: NR - 09*. São Paulo: Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho.

Brasil. Ministério do Trabalho e Emprego. (2022). *Atividades e operações insalubres: NR-15*. São Paulo: Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho.

Breviglieri, E., Possebon, J., & Spinelli, R. (2024). *Higiene ocupacional: agentes biológicos, químicos e físicos* (11. ed.). São Paulo: Editora Senac.

Brito, A. B. (2007). *Avaliação e redesenho da cabine do "Feller-buncher" com base em fatores ergonômicos* (Tese de doutorado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. Recuperado em 27 de março de 2025, de <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br:80/handle/123456789/13945>

Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2006). *Termodinâmica* (5. ed.). São Paulo: McGraw-Hill.

Comitê Técnico Científico. (2005). *Rede de manejo florestal da caatinga: protocolo de medições de parcelas permanentes*. Recife: Associação Plantas do Nordeste.

Cunha, I. A. (2006). *Exposição ocupacional à vibração em mãos e braços em marmorarias no município de São Paulo: proposição de procedimento alternativo de medição* (Tese de doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo.

Dąbrowski, A. (2020). Análise e testes laboratoriais de medidas técnicas de prevenção de lesões em motosserras portáteis de combustível. *Forests*, 11(3), 276.

D'Antonio, P., Toscano, F., Moretti, N., De Iorio, N., & Fiorentino, C. (2024). Análise das emissões de motosserras durante as operações com madeira de castanheira e suas implicações para a saúde. *Ciências Aplicadas*, 14(6), 2496.

Dvořák, J., Kováč, J., & Krilek, J. (2020). *Ergonomic operational working aspects of forest machines* (1st ed.). Cambridge: Cambridge Scholars Publishing.

Fiedler, N. C. (1995). *Avaliação ergonômica de máquinas utilizadas na colheita de madeira* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. Recuperado em 27 de março de 2025, de <https://www.poscienciaflorestal.ufv.br/wp-content/uploads/2020/07/Eduardo-Silva-Penna.pdf>

Fiedler, N. C., Ramalho, A. H. C., Falcão, R. S., Menezes, R. A. S., & Biazatti, L. D. (2023). Emissão de gases tóxicos em incêndios florestais. *Ciência Florestal*, 33(3), e62965. <http://doi.org/10.5902/1980509862965>.

Fiorentino, C., Crimaldi, M., Libergoli, P., D'Antonio, P., & Scalcone, V. (2022). Sistemas de informação de gestão agrícola: registro digital da gestão agrícola no sul da Itália. *Notas de Aula de Engenharia Civil*, 252, 337-354.

Francio, B. S. (2021). *Simulação CFD de um sistema de exaustão em sala de testes de corte com motosserras* (Trabalho de conclusão de curso). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho – Fundacentro. (2001). *NHO-01: norma de higiene ocupacional: procedimento técnico: avaliação da exposição ocupacional ao ruído*. São Paulo.

Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho – Fundacentro. (2013). *NHO-10: norma de higiene ocupacional: procedimento técnico: avaliação da exposição ocupacional a vibrações em mãos e braços*. São Paulo.

- Gama, P. H. V., & Scaloppe, L. M. (2023). As emissões de gases de efeito estufa e o crédito de carbono. *Humanidades & Inovação*, 10(18), 202-212. Recuperado em 27 de março de 2025, de <https://revista.unitins.br/index.php/humanidadeseinovacao/article/view/9736>
- Iftime, M. D., Dumitrascu, A.-E., & Ciobanu, V. D. (2022). Exposição de operadores de motosserras a fatores de risco ocupacionais e incidência de doenças profissionais específicas do setor florestal. *Revista Internacional de Segurança Ocupacional e Ergonomia*, 28(1), 8-19.
- Jesus, A. T., Fiedler, N. C., Carmo, F. C. A., & Juvanhol, R. S. (2020). Exposure of operators to chainsaw vibration in forest harvesting. *Floresta*, 50(3), 1653-1659. <http://doi.org/10.5380/ufv.v50i3.65530>.
- Kroemer, K. H. E., & Grandejean, E. (2005). *Manual de ergonomia: Adaptando o trabalho ao homem*. Porto Alegre: Bookman. Recuperado em 27 de março de 2025, de <https://books.google.com.br/books?id=VhB0DgAAQBAJ&printsec=frontcover>
- Kuang, D., Yu, Y., & Tu, C. (2019). La pérdida auditiva bilateral de alta frecuencia se asocia con presión arterial elevada y mayor riesgo de hipertensión en trabajadores expuestos al ruido ocupacional. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 24(61).
- Ladeia, G. L. (2019). Poluição sonora: uma ameaça à saúde? *Revista Saúde e Meio Ambiente*, 9(3), 34-40.
- Lima, K. C. S. (2015). *Avaliação da exposição ao ruído ocupacional em policiais militares do moto patrulhamento* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. Recuperado em 27 de março de 2025, de <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/8130/2/arquivototal.pdf>
- Lopes, G. H., Lima, R., & Iarosz, K. C. (2022). Saúde e segurança do trabalho na visão do trabalhador florestal. *Revista Técnico-Científica do CREA-PR*, n. esp.
- Masioli, W., Fiedler, N. C., Lopes, E. S., & Oliveira, F. M. (2020). Exposição de trabalhadores a ruído e vibração em atividades de colheita florestal semimecanizada. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 40, 1-7. <http://doi.org/10.4336/2020.pfb.40e201901703>.
- Mattos, U., & Másculo, F. (2011). *Higiene e segurança do trabalho para engenharia de produção*. Rio de Janeiro: Elsevier.
- Neri, F., Laschi, A., Bertuzzi, L., Galipò, G., Frassinelli, N., Fabiano, F., Marchi, E., Foderi, C., & Marra, E. (2023). Uma comparação entre os modelos mais recentes de baterias de íons de lítio e motosserras a gasolina avaliando a exposição ao ruído e à vibração em cortes transversais. *Florestas*, 14(5), 898.
- Ottoneilli, J., Brandelero, C., Werner, V., Schlosser, J. F., & Farias, M. S. (2020). Estado de uso e conservação de motosserras com motores de combustão interna. *Tecnologica*, 24(2), 196-201. <http://doi.org/10.17058/tecnolog.v24i2.14543>.
- Patiño, H. F. M., Leite, Â. M. P., Oliveira, M. L. R., Schettino, S., & Simões, M. R. L. (2021). Estudo descritivo de acidentes de trabalho envolvendo trabalhadores florestais no Estado de Minas Gerais. *Nativa*, 9(4), 430-437. <http://doi.org/10.31413/nativa.v9i4.12428>.
- Pelmeur, P. L., & Wasserman, D. E. (1998). *Hand-arm vibration: a comprehensive guide for occupational health professionals*. Beverly Farms: OEM Press.
- Petrone, G., Melillo, G., Laudiero, A., & Rosa, S. D. (2019). Um modelo de análise estatística de energia (SEA) de uma seção da fuselagem para a previsão do nível de pressão sonora interna (NPS) em condições de voo de cruzeiro. *Ciência e Tecnologia Aeroespacial*, 88, 340-349.
- Pilco, M. I. L. (2023). Ruido ocupacional y su influencia en la siniestralidad y ausentismo laboral en la empresa Tal S.A, Trujillo-Perú, 2021-2022. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 19(2), 37-52.
- Possebom, G., & Alonço, A. S. (2018). Panorama dos acidentes de trabalho no Brasil. *Nucleus*, 15(2), 15-22. <http://doi.org/10.3738/1982.2278.2691>.
- Rao, S. S. (2008). *Vibrações mecânicas* (4. ed.). São Paulo: Pearson Prentice Hall.
- Saliba, T. M. (2014). *Manual prático de avaliação e controle de vibração – PPRA* (3. ed.). São Paulo: LTr. Recuperado em 27 de março de 2025, de <http://www.ltr.com.br/loja/folheie/5154.pdf>
- Saliba, T. M. (2015). *Curso básico de segurança e higiene ocupacional* (6. ed.). São Paulo: LTr. Recuperado em 27 de março de 2025, de <https://www.ltr.com.br/loja/folheie/4883.pdf>
- Santos Junior, J. R., Francato, A. L., Mariottoni, C. A., Lamim Filho, P. C. M., & Moreira, J. (2020). Exposição ocupacional a vibrações em mãos e braços. *Brazilian Journal of Business*, 2(4), 3839-3880.
- Schettino, S., Minette, L. J., Lima, R. C. A., Nascimento, G. S. P., Caçador, S. S., & Vieira, M. P. L. (2021). Colheita florestal em propriedades rurais: riscos e agravos à saúde do trabalhador sob a ótica da ergonomia. *Revista Internacional de Ergonomia Industrial*, 82, 103087. <http://doi.org/10.1016/j.ergon.2021.103087>.
- Schettino, S., Minette, L. J., Soranso, D. R., & Lima, R. C. A. (2022). Influência de fatores ergonômicos na produtividade do sistema homem-máquina na colheita florestal mecanizada. *Scientia Forestalis*, 50, e3779. <http://doi.org/10.18671/scifor.v50.20>.
- Schettino, S., Minette, L. J., Soranso, D. R., Camarinha, A. C. M., & Schettino, C. F. (2018). Avaliação ergonômica da colheita florestal em área com madeira danificada pelo vento. *Agropecuária Científica no Semiárido*, 14(1), 70-85. <http://doi.org/10.30969/acsa.v14i1.986>.
- Silva, F. J. (2014). *Motor de combustão interna dual operando com diesel, biodiesel e gás natural: análises de desempenho e emissões* (Tese de doutorado). Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba.
- Silveira, J. C. M., Fernandes, H. C., Rinaldi, P. C. N., & Modolo, A. J. (2007). Níveis de ruído em função do raio de afastamento emitido por diferentes equipamentos em uma oficina agrícola. *Engenharia na Agricultura*, 15(1), 66-74.
- Siqueira, S. S. B., Siqueira Neto, P. F. C., Lins, M. A. F., Lima, G. B. O., Brandão, V. S., Lima, J. S. O., Siqueira, S. R. S. B., & Camboim, E. D. (2023). Perfil audiológico em trabalhadores de empresas do interior de Pernambuco. In M. C. P. Lopes & M. H. P. Cruz (Eds.), *Entre saberes e práticas: a formação em saúde pública na residência multiprofissional* (Cap. 3). Ponta Grossa: Aya Editora.
- Toscano, F., D'Antonio, P., D'Antonio, C., De Iorio, N., Modugno, F., & Fiorentino, C. (2023). Análise experimental de emissões de motosserras em operações com madeira de castanheiro. In V. Ferro, G. Giordano, S. Orlando, M. Vallone, G. Cascone & S. M. C. Porto (Eds.), *AIIA 2022: engenharia de biosistemas rumo ao acordo verde* (Lecture Notes in Civil Engineering, No. 337). Cham: Springer.
- Xiong, W., Fan, H., Ma, L., & Wang, C. (2022). Challenges of human-machine collaboration in risky decision-making. *Frontiers of Engineering Management*, 9(1), 89-103. <http://doi.org/10.1007/s42524-021-0182-0>.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

E.M.P.S.: Escrita e coleta de dados; F.C.V.S.: análises estatísticas; G.V.M.: coleta de dados; F.M.M.S.: coleta de dados; L.S.R.: coleta de dados; E.V.B.C.: coleta de dados; J.J.B.M.J.: coleta de dados; F.C.A.C.: supervisão, conceitualização e metodologia.