

ARTIGO ORIGINAL

Influência de fatores ergonômicos na produtividade do sistema homem-máquina na colheita florestal mecanizada

Influence of ergonomic factors on the productivity of man-machine system in mechanized forest harvesting

Stanley Schettino¹ , Luciano José Minette² , Denise Ransolin Soranso³ , Roldão Carlos Andrade Lima⁴ 

¹Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Montes Claros, MG, Brasil

²Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa, MG, Brasil

³Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Itajubá, MG, Brasil

⁴Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP, Botucatu, SP, Brasil

Como citar: 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. <https://doi.org/10.18671/scifor.v50.20>

Resumo

Considerando as atividades de colheita florestal mecanizada, este estudo teve como objetivo avaliar o sistema homem-máquina a fim de verificar a influência dos fatores ergonômicos na produtividade do conjunto. Foram selecionados três modelos de *harvesters* e três de *forwarders*, atuando em uma empresa florestal no Brasil. Os dados de produtividade das máquinas foram compilados a partir dos relatórios operacionais mensais das atividades da empresa, de janeiro a dezembro de 2018. As máquinas foram avaliadas de acordo com as orientações contidas no manual de classificação ergonômica *Ergonomic Guidelines for Forest Machines* do Instituto de Pesquisa Florestal da Suécia. Para avaliar o risco ergonômico das atividades para os operadores de máquina, foi utilizado o Índice TOR-TOM, o qual considera as taxas de ocupação real (TOR) e a taxa de ocupação máxima (TOM) durante o desenvolvimento de suas atividades. No período avaliado, os resultados mostraram que a produtividade média dos conjuntos de máquinas ficou abaixo do planejado, embora as taxas de utilização dessas máquinas tenham ficado acima das expectativas. Foi constatada forte correlação negativa entre a produtividade do sistema e os parâmetros ergonômicos das máquinas e das atividades, sem interferência das variáveis idade das máquinas e tempo de experiência dos operadores. As máquinas avaliadas apresentaram padrões ergonômicos deficientes em quase todos os aspectos avaliados, indicando que, ao operar em condições de solo e clima desfavoráveis, apresentam riscos ergonômicos aos seus operadores. O resultado do Índice TOR-TOM para as atividades de operação de ambas as máquinas indica claramente uma situação de trabalho com risco ergonômico presente, sem aproveitamento ótimo da força de trabalho, resultando em perdas de produtividade do sistema. Conclui-se que existe forte influência negativa dos fatores ergonômicos na produtividade do sistema homem-máquina nas atividades de colheita florestal, contribuindo para perdas operacionais e adoecimento do trabalhador.

Palavras-chave: Operações florestais; Mecanização florestal; Organização do trabalho florestal; Índice TOR-TOM; Saúde do trabalhador.

Fonte de financiamento: Nenhuma.

Conflito de interesse: Nada a declarar.

Autor correspondente: schettino@ufmg.br

Recebido: 15 outubro 2021.

Aceito: 16 maio 2022.

Editor: Mauro Valdir Schumacher.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o artigo científico seja corretamente citado.

Abstract

Aiming to evaluate the man-machine system in order to verify the influence of ergonomic factors on the set productivity, three harvesters and three forwarders models were selected, in a Brazilian forest company. The productivity data of the machines was compiled from the monthly operational reports of the company's activities, from January to December 2018. The machines were evaluated according to the Ergonomic Guidelines for Forest Machines from the Swedish Forestry Research Institute. To assess the ergonomic risk of activities for machine operators, the TOR-TOM index was used, which considers the Real Occupancy Rate (TOR) and the Maximum Occupancy Rate (TOM) during the course of their activities. The results showed that the average productivity of the machine sets was below the planned level. A strong negative correlation was found between the productivity of the system and the ergonomic parameters of the machines and activities, without interference from the age of the machines and the time of experience of the operators. The evaluated machines presented deficient ergonomic standards in almost all aspects evaluated, indicating that, when operating in unfavorable soil and climate conditions, they present ergonomic risks to their operators. The result of the TOR-TOM index for the operating activities of both machines clearly indicates a work situation with an ergonomic risk present, without optimum utilization of the workforce, resulting in losses in system productivity. It is concluded that there is a strong influence of ergonomic factors on the productivity of the man-machine system in forest harvesting activities.

Keywords: Forestry operations; Forest mechanization; Forestry work organization; TOR-TOM index; Worker's health.

INTRODUÇÃO

Para aumentar a produtividade e a competitividade global a partir de um modelo de sustentabilidade ambiental, social e econômica, o setor florestal está se tornando cada vez mais tecnológico e eficiente. Uma das etapas com grande potencial tecnológico da cadeia produtiva florestal é a colheita da madeira, que vem experimentando um alto e irreversível grau de mecanização nas últimas décadas. Como consequência direta desse processo, notaram-se melhorias significativas nas condições de trabalho, principalmente na redução da carga física de trabalho imposta aos trabalhadores.

De maneira geral, o setor apresenta diversos estágios de desenvolvimento e níveis tecnológicos, o que torna bastante complexo o estudo e entendimento das diferentes relações e fatores correlacionados com as atividades florestais, as quais envolvem invariavelmente a interação homem, máquina, ambiente e organização do trabalho (Patiño et al., 2021). Sob essa ótica, afirmam Xiong et al. (2022), o entendimento do papel do homem e dos princípios operacionais relacionados à atividade humana dentro de um sistema homem-máquina é importante para uma avaliação bem-sucedida dos aspectos de segurança, confiabilidade e produtividade dessa interação.

No entanto, conforme relatado por Silva et al. (2014), observou-se que com o aprimoramento do sistema homem-máquina, a máquina prevaleceu conceitualmente sobre o trabalhador, princípio inverso da ergonomia. Assim, surgiram outros fatores responsáveis pelo adoecimento do trabalhador, como os movimentos repetitivos e as posturas, além daqueles relacionados à organização do trabalho e aos projetos dos postos de trabalho.

De acordo com Silva et al. (2009), muitas situações de trabalho no setor florestal não contribuem para a promoção e manutenção da saúde do trabalhador. A colheita florestal mecanizada, particularmente, é caracterizada por expor os operadores a distúrbios físicos (ruído e vibração, por exemplo), distúrbios ergonômicos ao exigir a realização de movimentos repetitivos e manutenção de posturas assimétricas por períodos prolongados, e distúrbios psicológicos decorrentes do ritmo acelerado de trabalho e das elevadas metas de produção (Camargo et al., 2021; Dvořák et al., 2020; Landekić et al., 2019). Além disso, com a utilização de máquinas adaptadas para a colheita florestal, os postos de trabalho são inadequados (Schettino et al., 2017), as jornadas de trabalho são longas e a organização do trabalho não é adequada às características psicofisiológicas dos trabalhadores (Silva et al., 2014).

Durante o desenvolvimento de suas atividades os operadores são obrigados a adotar posturas prejudiciais, que podem causar distúrbios à saúde, dor e desconforto. Schettino et al. (2017) observaram a necessidade de os operadores fazerem inclinações e

rotações com o tronco e pescoço, o que leva a um aumento da pressão nos discos intervertebrais. Segundo Silva et al. (2014), os distúrbios dos discos intervertebrais são mais graves e podem causar dores muito fortes e extremamente incapacitantes, gerando ausências prolongadas e comumente incapacidades permanentes.

O trabalho contínuo e desgastante leva à necessidade de pausas, pois esse tipo de trabalho acarreta acúmulo de ácido láctico e dificuldade de circulação sanguínea nos tecidos (Souza et al., 2015). Com a pausa, haverá um fluxo sanguíneo normal que irá remover o ácido láctico nos músculos, evitando lesões ocupacionais (Couto, 2006).

A organização do trabalho e o estabelecimento de pausas para recuperação do cansaço, além de reduzir as doenças ocupacionais e acidentes, podem representar um aumento na produtividade do trabalhador e um aumento na qualidade do serviço prestado, uma vez que o trabalhador estará exercendo suas atividades de acordo com a capacidade do seu corpo.

Há que se considerar, ainda, que o cumprimento dos princípios ergonômicos no desenvolvimento de máquinas florestais modernas e na organização do trabalho deve contribuir para a redução do estresse físico e mental imposto ao operador, bem como a prevenção de doenças ocupacionais. Além disso, espera-se uma redução da probabilidade de erros e aumento da produtividade do sistema homem-máquina.

Sob essa ótica, considerando a colheita florestal mecanizada, este estudo teve como objetivo avaliar ergonomicamente as máquinas utilizadas neste processo e as atividades desenvolvidas por seus operadores, de forma a identificar e correlacionar a influência dos fatores ergonômicos na produtividade do sistema homem-máquina.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização do estudo

Os dados foram coletados em áreas de uma empresa florestal localizada no estado de Minas Gerais, Brasil, localizada entre os meridianos de 42°17'00" a 43°25'00" de longitude oeste de Greenwich e a paralelos de 17°05'00" a 18°50'30" de latitude sul do Equador. As avaliações foram realizadas no período de janeiro a dezembro de 2018.

A área de estudo é cultivada com povoamentos de clones híbridos de eucalipto com produtividade média de 315 m³ ha⁻¹, em regime de primeira rotação e corte raso aos sete anos de idade, espaçamento 3 m x 2 m. As operações de colheita mecanizada eram limitadas a 27° de declividade, sendo realizadas sete dias por semana, 24 horas por dia em três turnos de oito horas cada, através do sistema *cut-to-length*, no qual as atividades de derrubada, destopamento, descascamento e traçamento são realizadas no interior dos talhões.

As máquinas avaliadas encontram-se descritas na Tabela 1. Toda a operação da empresa requeria 34 *harvesters* e 40 *forwarders*, sendo necessários 112 e 132 operadores de *harvester* e *forwarder*, respectivamente, totalizando 245 operadores. Considerando o total dos operadores, estes possuíam um tempo médio de experiência na atividade de 4,7 anos (de 0,75 a 11,5 anos), no momento do início das avaliações. A idade média dos *harvesters* avaliados foi de 2,33 anos (de 0,75 a 4,15 anos) e, a dos *forwarders*, foi de 2,75 anos (de 0,75 a 4,50 anos).

Tabela 1 - Descrição e especificação das máquinas de colheita florestal avaliadas

Máquina	Tipo	Marca	Modelo	Equipamento	Potência
HVT1	<i>Harvester</i> de pneus 6 x 6	Komatsu	941.1	Cabeçote Komatsu 370	285 HP
HVT2	<i>Harvester</i> de esteiras	Volvo	EC210	Cabeçote Ponsee H7	159 HP
HVT3	<i>Harvester</i> de esteiras	Komatsu	PC200	Cabeçote Komatsu 370	155 HP
FWD1	<i>Forwarder</i> 8 x 8	Komatsu	890.3	N.A.	262 HP
FWD2	<i>Forwarder</i> 8 x 8	Ponsee	Elephant	N.A.	210 HP
FWD3	<i>Forwarder</i> 8 x 8	Ponsee	Buffalo	N.A.	210 HP

N.A.: Não se aplica

Foi avaliado se a produtividade das máquinas envolvidas no estudo apresentava associação com a idade das máquinas, com a classificação ergonômica das máquinas, com o tempo de experiência dos operadores e com a demanda ergonômica exigida aos operadores no âmbito do sistema homem-máquina. Para isso, foi obtido o grau de associação, efetuando-se a análise da matriz de coeficiente da correlação (r) de Pearson, pelo teste t a 5% de probabilidade; sendo considerada correlação forte quando $r \geq |0,50|$, média quando $|0,50| > r > |0,30|$ e baixa quando $r \leq |0,30|$, de acordo com Cohen (1988).

Avaliação da produtividade

Os dados de produtividade das máquinas foram compilados a partir dos relatórios mensais referentes às atividades florestais da empresa, de janeiro a dezembro de 2018. Esses relatórios incluíram as horas programadas para o trabalho, horas reais trabalhadas, produção efetiva (em m^3 sem casca) e registro de horas paradas e suas causas (operacionais ou mecânicas), para cada talhão, totalizando 132 talhões que tiveram 100% da madeira cortada, processada e extraída no período de tempo objeto deste estudo. Estes talhões possuíam área média de 25,43 hectares, variando de 9,17 a 48,95 hectares.

A produtividade de cada máquina ao nível de talhão foi estimada em metros cúbicos de madeira cortada e extraída, de acordo com a máquina, por hora de trabalho efetiva (hef), conforme Equação 1:

$$P = \frac{v}{h} \quad (1)$$

onde: P = produtividade da máquina (em m^3 /hef); v = volume total do talhão, em metros cúbicos de madeira (m^3); e h = tempo de trabalho efetivo em cada talhão (em horas).

A disponibilidade mecânica e a eficiência operacional foram calculadas de acordo com as Equações 2 e 3, respectivamente, e a taxa de utilização (TU) obtida pelo produto entre esses dois índices.

$$DM = \frac{Th - Hms}{Th} * 100 \quad (2)$$

onde: DM = disponibilidade mecânica (em %); Hms = horas de paradas para manutenção (h); e Th = horas totais programadas (em horas).

$$EO = \frac{Eh}{Eh + Hos} * 100 \quad (3)$$

onde: EO = eficiência operacional (em %); Eh = horas efetivas de trabalho da máquina (em horas); e Hos = horas de paradas operacionais (em horas).

De acordo com a política da empresa (procedimentos operacionais de produção e controle operacional), as paradas mecânicas foram registradas em três situações: manutenção preditiva, preventiva e corretiva. Por sua vez, todas as outras paradas foram registradas como operacionais.

Os valores reais de utilização da máquina e produtividade foram comparados com os esperados na elaboração do planejamento operacional anual da empresa para o mesmo período. Tais valores foram estimados pelo departamento de planejamento da empresa florestal a partir de uma expectativa de desempenho (confiabilidade), com base no histórico de suas máquinas e planos de manutenção preventiva e preditiva.

Avaliações Ergonômicas

Os melhores níveis de produtividade na colheita florestal mecanizada só podem ser alcançados por meio do perfeito funcionamento do sistema homem-máquina, lembrando que

o princípio básico da ergonomia é a adaptação do trabalho ao homem, e não o contrário. Neste estudo, para a avaliação da ergonomia na produtividade deste sistema, foram identificados os agentes que participam do processo produtivo; as estações de trabalho (máquinas) foram analisadas sob seus aspectos ergonômicos, com base em metodologias consolidadas e legislação aplicável; e as atividades de trabalho realizadas pelos operadores foram identificadas e avaliadas sob a ótica da ergonomia.

Avaliação ergonômica das máquinas

Os diversos componentes das máquinas foram avaliados quantitativamente, com base nas metodologias propostas por Gellerstedt (2006) e nas diretrizes ergonômicas contidas no manual de classificação ergonômica "Ergonomic Guidelines for Forest Machines" (The Forest Research Institute of Sweden, 1999). Foram avaliados os seguintes itens: acesso à cabine, controles e instrumentos, assento, cabine, climatização da cabine, visibilidade, iluminação, ruído, vibração, gases de exaustão e poeira.

Em relação ao acesso à cabine, avaliou-se a existência de escadas, a altura do primeiro degrau em relação ao solo, a presença de cantos "vivos", o estado dos degraus e a facilidade de acesso. Por sua vez, a análise dos controles e instrumentos levou em consideração a descrição e o posicionamento (disposição) dos controles e instrumentos na cabine, com base no checklist.

Na análise do assento da máquina, foram avaliadas as possibilidades e facilidades de ajuste do assento em três eixos: vertical (Y), horizontal (X) e encosto (Z). A cabine foi avaliada segundo os critérios de conforto e segurança, com base em um checklist. Além disso, o sistema de ar condicionado da cabine foi verificado, com base em uma lista de verificação.

A capacidade do operador de ver claramente a base e o topo da árvore e as pilhas de toras a serem manuseadas com a máquina foi avaliada por meio de uma entrevista, verificando o aspecto da visibilidade. Em relação à iluminação, foram avaliados os seguintes itens: número e distribuição das luzes; qualidade das luzes; possibilidade de ajustes; e facilidade para substituir as lâmpadas. Os níveis de visibilidade noturna das árvores e do terreno ao redor da máquina também foram avaliados.

Por fim, foram verificadas as possibilidades de contato do rosto do operador com as poeiras e gases do escapamento, a vedação da cabine e a direção dos gases, com base em um checklist.

Como resultado dessa avaliação, as máquinas analisadas foram classificadas em cinco classes, de A (melhor condição ergonômica) a E (pior condição ergonômica), para cada item e de acordo com o perfil ergonômico.

Avaliação ergonômica das atividades

Com o objetivo de determinar o tempo gasto em cada fase da atividade de corte e extração de madeira, foi realizado um estudo de tempos e movimentos para cada máquina durante um turno de trabalho pelo método do tempo contínuo (Barnes, 2009), utilizando um cronômetro digital e um formulário para registro de dados.

Neste estudo, todos os 245 operadores foram avaliados, tendo sido abrangidos os três turnos de trabalho, durante o período de avaliação. Para efeito de apresentação dos resultados, foi definido como ciclo operacional um turno de trabalho, perfazendo um total de oito horas ou 480 minutos trabalhados.

Para a descrição dos aspectos relacionados à organização do trabalho, por meio do estudo dos tempos e movimentos, foram realizadas observações sistemáticas e *in loco* da jornada típica de trabalho. O recurso de filmagem também foi usado para aumentar a precisão dos dados, prolongando a duração das informações. As atividades dos operadores de *harvester* e *forwarder* foram observadas a fim de compreender e descrever sua rotina de trabalho diária, ou seja, o comportamento desses operadores em seu ambiente de trabalho.

A partir desses dados, para avaliar o risco ergonômico aos operadores de máquinas, com consequente risco de desenvolver Lesões por Esforços Repetitivos / Distúrbios

Osteomusculares Relacionados ao Trabalho, foi utilizado o Índice TOR-TOM, por meio da aplicação do *software* de Cálculo do Índice TORTOM 1.2 (Couto, 2006). Este *software* apresenta uma planilha que serviu de base para a coleta de dados necessária ao seu correto uso.

Para a avaliação ergonômica por meio do Índice TOR-TOM, foram calculadas as taxas de ocupação real (TOR) e a taxa de ocupação máxima (TOM) para os operadores de cada máquina. A principal motivação para a aplicação do Índice TOR-TOM deveu-se ao fato de ser uma ferramenta capaz de permitir o estabelecimento de uma carga de trabalho compatível com boa produtividade, mas sem fadiga e segura em termos das lesões, considerando o aspecto quantitativo da avaliação (do método).

Para atingir esses dois índices, foram coletados os seguintes dados: TOR (taxa de ocupação real), composta pelo PPR (percentual de descanso devido às pausas regulares) e PABE (percentual de tempo com baixa atividade ergonômica). O índice TOM (taxa de ocupação máxima) foi avaliado com base nos fatores TOCAR (taxa de ocupação considerando atividade repetitiva), que é composto por FR (fator de repetibilidade), FF (fator de força ao realizar a tarefa), FPM (fator de peso movido), FP (fator de postura do punho, ombro ou coluna), FEE (fator de esforço estático) e FCM (fator de carga mental) e TOCAMP (taxa de ocupação considerando o ambiente físico, metabolismo e postura) que é composto por FDE (fator de gasto de energia), FAF (fator do ambiente físico) e FPB (fator básico de postura).

Dos dois índices TOCAR e TOCAMP, o menor valor entre eles foi considerado como TOM. A partir da comparação entre esses índices, resulta que:

- TOR > TOM - situação de trabalho com risco ergonômico;
- TOR < TOM - situação de trabalho sem risco ergonômico;
- TOR = TOM - situação de trabalho sem risco ergonômico com ótima utilização da força de trabalho.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De forma a verificar a associação entre as produtividades do sistema com a idade das máquinas, com a classificação ergonômica das máquinas, com o tempo de experiência dos operadores e com a demanda ergonômica exigida aos operadores no âmbito do sistema homem-máquina, foi efetuada a análise da matriz de coeficiente da correlação (r) de Pearson, pelo teste t a 5% de probabilidade, sendo os resultados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Matriz do coeficiente de correlação linear de Pearson entre a produtividade e as variáveis de estudo, para as atividades realizadas pelo *harvester* e pelo *forwarder*

Variáveis	Produtividade	IM	TEO	CEM
<i>Harvester</i>				
Idade da máquina - IM	0,05			
Tempo de experiência dos operadores - TEO	-0,25	-0,19		
Classificação ergonômica da máquina - CEM	-0,56*	0,22	-0,12	
Exigência ergonômica da atividade - EEA	-0,69*	-0,09	0,19	-0,58*
<i>Forwarder</i>				
Idade da máquina - IM	-0,03			
Tempo de experiência dos operadores - TEO	-0,19	-0,02		
Classificação ergonômica da máquina - CEM	-0,67*	0,12	-0,14	
Exigência ergonômica da atividade - EEA	-0,59*	0,11	0,21	-0,52*

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t, com 130 graus de liberdade.

Os resultados indicaram haver forte correlação negativa entre as variáveis ergonômicas avaliadas (máquinas e demanda das atividades) e a produtividade do sistema, excluindo as variáveis idade das máquinas e grau de experiência dos operadores, que apresentaram correlação baixa.

Avaliação da produtividade

Os resultados das avaliações operacionais são apresentados na Tabela 3, considerando a média de cada conjunto de máquinas e que as áreas e parcelas colhidas no período avaliado coincidiram 96,9% com a previsão do planejamento anual de colheita da empresa.

Tabela 3 - Resultados operacionais das máquinas durante o período de avaliação

Máquina	Disponibilidade Mecânica (%)		Eficiência Operacional (%)		Taxa de Utilização (%)		Produtividade (m ³ /hef)	
	Plano	Real	Plano	Real	Plano	Real	Plano	Real
<i>Harvester</i>	85,0	86,9	80,0	81,1	68,0	70,5	32,5	28,7
<i>Forwarder</i>	85,0	82,7	80,0	84,5	68,0	69,9	35,0	29,1

Tais resultados indicam que a taxa de utilização de ambas as máquinas avaliadas foi superior ao planejado, embora tenham sido encontradas diferenças individuais nos parâmetros de disponibilidade mecânica e eficiência operacional (entre planejado e realizado). Além disso, não houve alteração significativa entre as áreas e talhões previstas para a colheita no período de análise, descartando interferências nos resultados ocasionadas pela colheita de áreas diferentes das previstas no planejamento. Mesmo assim, a produtividade média dos conjuntos de máquinas ficou abaixo do planejado, com diferença de 3,8 e 5,9 m³/hef (ou 13,2 e 16,8%) para o *harvester* e o *forwarder*, respectivamente.

De acordo com Naji et al. (2019), os altos valores das taxas de utilização das máquinas refletem o sucesso do planejamento operacional e dos programas de manutenção preditiva, preventiva e corretiva elaborados pela empresa. Valores de utilização de máquinas florestais acima de 70% são comuns, refletindo o alto nível de desenvolvimento da colheita florestal mecanizada (Dodson et al., 2015).

O planejamento operacional das atividades de colheita florestal visa estabelecer alternativas que possibilitem o cumprimento das metas de produção, determinadas pelo planejamento global da empresa, por meio do conhecimento da eficiência, disponibilidade mecânica e desempenho operacional das máquinas utilizadas nas atividades (Linhares et al., 2012). Sua assertividade reflete um alto grau de conhecimento e maturidade dos tomadores de decisão, o que lhes permite contornar os impactos causados pelas operações e garantir o alcance dos resultados planejados (D'Amato et al., 2020).

Os programas de manutenção mecânica adotados pela empresa, definidos como a combinação de todas as atividades administrativas e técnicas voltadas à manutenção de equipamentos, instalações e demais ativos físicos em condições operacionais (Muchiri et al., 2011; Mishra et al., 2015), merecem destaque. Os resultados apresentados demonstraram a capacidade rápida de restaurar as condições originais das máquinas, além de garantir sua disponibilidade e atender o processo produtivo com confiabilidade e segurança (Sun et al., 2014).

A produtividade das máquinas florestais pode ser influenciada por vários fatores relacionados aos povoamentos (Leite et al., 2014; Schettino et al., 2015), ao planejamento operacional (Rocha et al., 2009) e aos operadores (Malinovski et al., 2006). Os resultados operacionais deste estudo indicam que não houve influência dos fatores operacionais e relacionados ao povoamento, visto que, durante o período de estudo, a colheita foi realizada com alto grau de coincidência em relação aos talhões programados (96,9%).

Pode-se afirmar, então, que a produtividade média observada abaixo do planejado pode ser atribuída a aspectos relacionados ao sistema homem-máquina do ponto de vista da ergonomia. Segundo Abrahão & Pinho (2002), essa perspectiva considera as características dos trabalhadores, os elementos do ambiente de trabalho e como são apresentados aos operadores e percebidos por eles. A articulação dessa interação representa o resultado do trabalho que, neste estudo, é medido como produtividade.

Nessa perspectiva, considerando que o nível de experiência dos operadores não apresentou associação com a produtividade do sistema, a busca pelo entendimento das diferenças entre a produtividade média planejada e realizada foi permeada pelas avaliações ergonômicas do ambiente de trabalho (das máquinas e atividades).

Avaliação ergonômica das máquinas

Os resultados das avaliações ergonômicas das máquinas objeto deste estudo são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados da avaliação e classificação ergonômica das máquinas

Item	Máquinas					
	HVT1	HVT2	HVT3	FWD1	FWD2	FWD3
Acesso à cabine	B	B	B	B	B	B
Comandos e instrumentos	B	C	B	B	B	C
Assento	B	C	C	C	B	C
Cabine	A	B	C	B	A	B
Climatização da cabine	A	B	B	B	A	B
Visibilidade	B	C	C	B	A	B
Iluminação	B	B	B	A	A	A
Ruído	B	C	C	C	B	B
Vibração	B	C	D	B	B	B
Exaustão de gases e poeiras	D	C	C	C	C	D
Classificação Geral	B	C	C	B	B	B

HVT1: Harvester 1; HVT2: Harvester 2; HVT3: Harvester 3; FWD1: Forwarder 1; FWD2: Forwarder 2; FWD3: Forwarder 3.

Constatou-se que 66,7% das máquinas recebeu a classificação geral B (HVT1, FWD1, FWD2 e FWD3), indicando que possuem lacunas ergonômicas em seus projetos capazes de comprometer a produtividade e apresentar risco de acidentes e doenças para os operadores.

Seguindo os mesmos critérios, as máquinas que receberam a classificação geral C (HVT 2 e HVT3) só são capazes de apresentar alta produtividade em melhores condições de solo e floresta e, ou, em boas condições climáticas, porém com baixos níveis de segurança e grande risco de desenvolvimento de doenças ocupacionais para os operadores. Vale ressaltar que esse conjunto de máquinas, especificamente, utilizam escavadeiras hidráulicas como máquinas base, não possuindo, portanto, em seus projetos originais a concepção ergonômica para as atividades que estavam desenvolvendo, fato que, de acordo com Schettino et al. (2017), pode representar risco ergonômico para seus operadores.

Dentre os itens avaliados para os *harvesters*, merecem destaque o baixo nível de adequação dos assentos dos operadores, a visibilidade a partir do interior das cabines, o alto nível de ruído e a deficiência na exaustão de gases e poeira. Quanto aos *forwarders*, os assentos dos operadores e a deficiência na exaustão dos gases e poeira também foram os itens com as piores avaliações.

Os assentos das máquinas avaliadas foram considerados deficientes, seja pela inadequação dos apoios de braços, dimensões ou ausência de ajustes de altura e, ou, profundidade. Quando uma operação pode ser realizada por uma pessoa sentada, deve haver um assento para essa pessoa, cujo projeto, construção e dimensões sejam adequados para ela e para a tarefa. Deve haver uma inclinação entre o assento e o encosto superior a 90 graus, para forçar o tronco contra o encosto, a fim de aproveitar ao máximo o assento (Tewari & Dewangan, 2009). Ainda, segundo *The Forest Research Institute of Sweden* (1999), o assento deve ter regulagem de altura, distância e comprimento e os apoios de braços devem ser reguláveis em altura. Essas variáveis de assento e apoio de braço devem ser dimensionadas de acordo com os padrões antropométricos dos trabalhadores da região.

A visibilidade de trabalho nos *harvesters* é afetada pela posição do braço e da lança nas máquinas de esteiras. De acordo com Minette et al. (2008), os problemas citados são comuns em relação à visibilidade e o ideal é que o operador de *harvester* tenha uma visão clara da área operacional sem a necessidade de adotar posturas de trabalho incorretas, o que pode causar tensão nos músculos, resultando em fadiga, dor e, em última instância, distúrbios musculoesqueléticos.

Os gases de escapamento e poeiras do interior das cabines das máquinas foi outro item com destaque negativo na avaliação de todas as máquinas. Gellerstedt (2006) afirma que a estação de trabalho deve ser projetada de forma a manter os gases de escape, fuligem e poeira sem atingir o operador, bem como a detecção dessas anormalidades pode ser feita sem o auxílio de dispositivos de medição. Após entrar em contato com o corpo humano, os agentes químicos presentes nos gases e nas poeiras podem promover efeitos tóxicos, afetando, principalmente os pulmões, a pele, o sistema nervoso, a medula óssea, o fígado e os rins. Os agentes químicos podem causar doenças, sendo sempre necessário verificar o limite de tolerância (Peixoto & Ferreira, 2013), e, como últimas medidas, devem ser eliminados do ambiente de trabalho, a fim de manter a salubridade desse local.

Avaliação ergonômica das atividades

Como forma de evidenciar a influência dos fatores ergonômicos na produtividade das atividades de colheita florestal, os resultados das avaliações ergonômicas das atividades realizadas pelos operadores das máquinas, de acordo com a metodologia TOR-TOM, são apresentados nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 5 - Resultados do cálculo da Taxa de Ocupação Real (TOR) na operação do *harvester* e do *forwarder*

Fator	Harvester	Forwarder
Tempo total de trabalho (min) ^{1/}	480	480
Tempo de pausas regulares (min) ^{1/}	15	15
Tempo de pausas de baixa exigência ergonômica (min)	75	56
Percentual de repouso por pausas regulares - PPR (%)	3	3
Percentual de pausas de baixa exigência ergonômica - PABE (%)	16	12
Taxa de ocupação real - TOR (%)	81	85

^{1/} Não considera intervalo para refeição.

Tabela 6 - Cálculo dos fatores ergonômicos avaliados na operação do *harvester* e do *forwarder* e resultado do Índice TOR-TOM

Indicadores	Descrição	Harvester (%)	Forwarder (%)
Taxa de Ocupação Real (TOR)	Tempo da jornada de trabalho em que realmente o operador executa suas tarefas, considerando pausas regulares, micropausas e tempo utilizado na execução de atividades de baixa exigência ergonômica	81	85
Fator Repetitividade (FR)	Movimentos por turno do antebraço e mãos obtidos por estudo do tempo e movimento utilizando filmadoras apropriadas (cerca de 11.000)	8	6
Fator Força (FF)	Trabalho sentado, com baixa aplicação de forças pelos dedos, mãos e antebraços	0	0

Tabela 6 – Continuação...

Indicadores	Descrição	Harvester (%)	Forwarder (%)
Fator Peso Movimentado (FPM)	Trabalho sentado, sem movimentação de peso	0	0
Fator Postura (FP)	Trabalho sentado, sem movimentação de peso	5	10
Fator Esforço Estático (FEE)	Contração muscular estática de pequena intensidade, porém mantidas por um tempo prolongado. Esforço estático leve e moderado. Diversos tipos de contração estática concomitante	2	2
Fator Carga Mental (FCM)	Reponsabilidade por alimentar uma linha de produção. Alguma operação crítica na sua posição de trabalho, com impacto na qualidade do produto	2	2
Fator Necessidades Pessoais (FNP)	Convenção nº 155 da Organização Internacional do Trabalho – OIT (2021)	5	5
Taxa de Ocupação Máxima Considerando a Atividade Repetitiva (TOCAR)	Resultado da avaliação dos fatores força, peso movimentado, postura, esforço estático, carga mental e necessidades pessoais	73	70
Taxa de Ocupação Máxima considerando o Ambiente, Metabolismo e Postura (TOCAMP)	Quando o trabalho já é constatado de fato como repetitivo, avalia os fatores ambientais (ruído, e temperatura) e a postura do trabalhador	95	95
TOR-TOM	Diferença entre TOR e o menor valor entre TOCAR e TOCAMP	8	15

Os resultados representam as médias de 112 medições para os operadores de *harvester* e 132 medições para os operadores de *forwarder*, sendo cada medição equivalente a um ciclo operacional definido, neste estudo, como um turno de trabalho com oito horas trabalhadas (480 minutos).

O método TOR-TOM apresenta as condições mais favoráveis de análise em atividades onde a alta repetitividade é característica principal, caso da operação de máquinas de colheita florestal (Silva et al., 2014). Quando aplicado nessas condições, apresenta-se como um método considerado como eficiente e completo, por abranger uma gama muito considerável de elementos posturais e operacionais (Possebom et al., 2018).

Ainda, afirmam os autores, a maioria dos instrumentos não aborda as dimensões cognitivas e organizacionais do trabalho, fornecendo suporte apenas para a análise da dimensão física relacionada às posturas adotadas no trabalho, ao esforço decorrente das atividades de manuseio de materiais, a realização de movimentos repetitivos, a concepção dos locais de trabalho e aspectos de segurança e saúde. O método TOR-TOM, entretanto, compreende, conjuntamente, todos esses aspectos da atividade considerados importantes em uma avaliação ergonômica, porém apenas para atividades repetitivas. A mesma

abordagem engloba o fator postura, que compreende os desvios posturais apenas para atividades repetitivas.

O método de avaliação da exigência ergonômica da atividade, através da determinação numérica da taxa de ocupação real e da taxa de ocupação máxima, permitiu a comparação entre as duas e o Índice TOR-TOM pode ser interpretado a partir deste resultado. O valor do TOR maior que o do TOM indica claramente uma situação de trabalho com risco ergonômico e sem aproveitamento ótimo da força de trabalho. Em termos práticos, as análises permitiram identificar que os operadores de máquinas de colheita florestal estão sujeitos a uma sobrecarga de trabalho, neste caso, devido à alta repetitividade e ao baixo percentual de pausas regulares, além da postura (estática por muito tempo períodos de tempo).

Considerando que um dos grandes objetivos da ergonomia é a associação do conforto dos trabalhadores à sua produtividade, a exposição desses trabalhadores a sobrecargas de trabalho com risco iminente de desenvolver lesões e acidentes, leva invariavelmente à redução de sua produtividade e, conseqüentemente, à do sistema homem-máquina.

Como os resultados operacionais (taxas de utilização das máquinas) apontaram na direção oposta, é seguro afirmar que as perdas de produtividade do sistema são devidas ao fator humano que, neste caso, não está sendo utilizado em sua plena capacidade.

Para os operadores de ambas as máquinas, os valores encontrados apontam que existe uma exigência ergonômica moderada, com risco de lesões ou fadiga. Isso significa que a organização do trabalho fica desordenada, onde podem ocorrer queixas de desconforto, dificuldade, cansaço, além de dor e até mesmo o absenteísmo do trabalhador. Devem ser tomadas medidas para melhorar a engenharia da estação de trabalho, instituir rotação com diferentes tarefas e instituir as pausas necessárias.

Ainda, ao se levar em conta a organização do trabalho, outros fatores devem ser observados, tais como: aqueles que envolvem características específicas do trabalho desempenhado em cada função incluindo horários, pausas, tempo de jornada, tempos extremos, concepção de produção, complexidade, necessidade de habilidades e esforços, controle, relacionamento interpessoal, perspectivas de carreira, estilo de gestão, características e cultura organizacional (Negri et al., 2014). Espera-se que a variação da tarefa, pausas e controle sobre as tarefas de trabalho estejam relacionados aos efeitos benéficos à saúde dos operadores e sejam considerados favoráveis para a produtividade e o tempo de atividade das máquinas (Hanse & Winkel 2008).

É muito provável que o fator que mais contribui para as queixas de dor dos operadores seja a repetitividade, sendo o fator mais relevante entre aqueles que pelo método condicionam a taxa de ocupação máxima. A repetitividade se deve aos curtos ciclos de trabalho das atividades e que são intercalados pelos breves momentos em que as máquinas estão em movimento, quando os gestos de trabalho são diferentes e movimentos de maior amplitude com os membros superiores são realizados, mas sempre com os mesmos apoios para as mãos nos *joysticks*. O resultado do TOR maior que o TOM é consistente com o que Couto (2006) afirma sobre a ineficácia das pausas diante de tão elevada repetição, o que aponta para medidas de controle que devem necessariamente incluir mudanças na organização do trabalho e na execução de tarefas.

Quanto aos fatores relacionados ao gasto energético, ambiente físico e postura básica, o TOR-TOM indica que deve ser estudada alguma forma de reduzir o desconforto relacionado à existência de uma postura estressante para a região lombar dos operadores durante a jornada de trabalho. Esse achado vai ao encontro da avaliação ergonômica das máquinas avaliadas neste estudo, que apontou deficiências nos assentos dos operadores.

O resultado do TOR menos o TOM representa o índice numérico para avaliar a tarefa em relação ao risco de Lesões por Esforços Repetitivos / Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho, e o valor encontrado pode ser um guia útil para os gestores instituírem melhorias que poderiam resultar em ganhos de produtividade com o aumento da taxa de ocupação da tarefa em situação ergonomicamente segura. Ainda, como recurso final caso a melhoria ergonômica não seja possível, a redução da taxa de ocupação real da tarefa

para um valor igual ao da taxa de ocupação máxima, resultando em uma medida eficaz de proteção à saúde do trabalhador (Couto, 2006).

De acordo com Souza et al. (2015), existem poucos estudos que estimam a produtividade na colheita florestal levando em consideração a interferência de fatores ergonômicos. Geralmente, esses estudos referem-se a pesquisas que enfocam a produção do trabalhador, em função de fatores florestais, operacionais e edáficos. Em seus estudos, Gilanipoor et al. (2018) e Lacerda et al. (2017) consideraram diferentes fatores que influenciam a produtividade, no entanto, sem levar em consideração fatores ergonômicos. Sob essa ótica, para que haja alta produtividade, é necessário que a visão seja ampla, sendo marcante a importância da relação homem, máquina e meio ambiente (Gerasimov & Sokolov 2014).

Ao observarem elevada prevalência de sintomas osteomusculares em operadores de máquinas de colheita florestal, associada às variáveis turno noturno de trabalho, hora-extra, repetitividade e pausas mal definidas, Silva et al. (2014) concluíram que as análises ergonômicas devem incluir ações relacionadas aos postos de trabalho, ambiente, organização e aos fatores psicossociais do trabalho.

Na maioria das empresas, realizar uma avaliação ergonômica do setor produtivo não é uma tarefa fácil, pois diversos fatores interagem envolvendo essa avaliação. Devido à dificuldade de encontrar métodos e aos resultados apresentados neste estudo, pode-se afirmar que a ferramenta TOR-TOM é uma ótima forma de avaliação ergonômica, pois engloba todos os aspectos ergonômicos que atuam no sistema homem-máquina (Possebom et al., 2018). Os resultados desta avaliação, representados por riscos ergonômicos, permitem propor as mudanças necessárias na organização do trabalho para que haja total eficácia entre a interação homem, máquina e ambiente, garantindo, ao mesmo tempo, a manutenção da saúde dos trabalhadores e altos níveis de produtividade.

CONCLUSÕES

As máquinas utilizadas apresentaram forte correlação negativa com a produtividade do sistema homem-máquina na colheita florestal mecanizada. Esse conjunto de máquinas apresentou padrões ergonômicos deficientes, com um padrão de segurança médio, apresentando riscos capazes de contribuir para a ocorrência de acidentes de trabalho e para o surgimento de doenças ocupacionais em seus operadores.

Os fatores ergonômicos influenciam diretamente na produtividade do sistema homem-máquina nas atividades de colheita florestal mecanizada, contribuindo para perdas operacionais. Dessa forma, as atividades de operação de ambas as máquinas indicam claramente uma situação de trabalho com risco ergonômico presente e com baixo aproveitamento da força de trabalho, resultando em perdas de produtividade do sistema.

Deste modo, fica explícito que a pesquisa em ergonomia precisa abranger os estudos relativos as relações homem-máquina no ambiente de trabalho florestal, compreendendo contextos, variáveis e interferências presentes nesta interação de forma a minimizar as perdas para os trabalhadores, para os processos e para as organizações.

REFERÊNCIAS

- Abrahão, J. I., & Pinho, D. L. M. (2002). As transformações do trabalho e desafios teórico-metodológicos da Ergonomia. *Estudos de Psicologia*, 7(1), 45-52. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-294X2002000300006>.
- Barnes, R. M. (2009). *Motion and time study design and measurement of work* (7th ed., 704 p.). New Jersey: John Wiley & Sons.
- Camargo, D. A., Munis, R. A., & Simões, D. (2021). Investigation of exposure to occupational noise among forestry machine operators: a case study in Brazil. *Forests*, 12(299), 299. <http://dx.doi.org/10.3390/f12030299>.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (1st ed., 567 p.). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

- Couto, H. A. (2006). *Índice TOR-TOM: indicador ergonômico da eficácia de pausas e outros mecanismos de regulação* (1. ed., 613 p). Belo Horizonte: Ergo Editora.
- D'Amato, D., Veijonaho, S., & Toppinen, A. (2020). Towards sustainability? Forest-based circular bioeconomy business models in Finnish SMEs. *Forest Policy and Economics*, 110, e101848. <http://dx.doi.org/10.1016/j.forpol.2018.12.004>.
- Dodson, E., Hayes, S., Meek, J., & Keyes, C. R. (2015). Montana logging machine rates. *International Journal of Forest Engineering*, 26(2), 85-95. <http://dx.doi.org/10.1080/14942119.2015.1069497>.
- Dvořák, J., Kováč, J., & Krilek, J. (2020). *Ergonomic operational working aspects of forest machines* (1st ed., 161 p.). Newcastle upon Tyne, UK: Cambridge Scholars Publishing.
- Gellerstedt, S. (2006). *European ergonomic and safety guidelines for forest machines* (1st ed., 101 p.). Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences.
- Gerasimov, Y., & Sokolov, A. (2014). Ergonomic evaluation and comparison of wood harvesting systems in Northwest Russia. *Applied Ergonomics*, 45(2), 318-338. PMID:23706292. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2013.04.018>.
- Gilanipoor, N., Najafi, A., & Alvaezin, S. M. H. (2018). Productivity and cost of farm tractor skidding. *Journal of Forest Science*, 58(7), 21-26. <http://dx.doi.org/10.17221/4804-JFS>.
- Hanse, J. J., & Winkel, J. R. (2008). Work organisation constructs and ergonomic outcomes among European forest machine operators. *Ergonomics*, 51(3), 968-981. PMID:18568958. <http://dx.doi.org/10.1080/00140130801961893>.
- Lacerda, L. C., Fiedler, N. C., Chichorro, J. F., Minette, L. J., & Carmo, F. C. A. (2017). Analysis of the production capacity from a harvester in the forest in own and outsourced modules. *Revista Árvore*, 41(1), e410120. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-90882017000100020>.
- Landekić, M., Katuša, S., Mijoč, D., & Šporčić, M. (2019). Assessment and comparison of machine operators' working posture in forest thinning. *South-East European Forestry*, 10(1), 29-37. <http://dx.doi.org/10.15177/seefor.19-02>.
- Leite, E. S., Minette, L. J., Fernandes, H. C., Souza, A. P., Amaral, E. J., & Lacerda, E. G. (2014). Performance of the harvester on eucalyptus crops in different spacing and slopes. *Revista Árvore*, 38(1), 95-102. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622014000100009>.
- Linhares, M., Sette Junior, C. R., Campos, F., & Yamaji, F. M. (2012). Harvester and forwarder machines efficiency and operational performance in forest harvesting. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 42(2), 212-219. <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-40632012000200007>.
- Malinovski, R. A., Malinovski, R. A., Malinovski, J. R., & Yamaji, F. N. M. (2006). Analysis of main variables on productivity of wood harvesting machines in function of land physical and stand characteristics and forest operation planning. *Floresta*, 36(2), 169-182.
- Minette, L. J., Souza, A. P., Silva, E. P., & Medeiros, N. M. (2008). Workplaces and profile of harvest machine operators. *Revista Ceres*, 55(1), 66-73.
- Mishra, R. P., Kodali, R. B., Gupta, G., & Mundra, N. (2015). Development of a framework for implementation of world-class maintenance systems using interpretative structural modeling approach. *Procedia CIRP*, 26(2), 424-429. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.174>.
- Muchiri, P., Pintelon, L., Gelders, L., & Martin, H. (2011). Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 295-302. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.04.039>.
- Naji, A., El Oumani, M., Bouksour, O., & Beidouri, Z. (2019). A mixed methods research toward a framework of a maintenance management model: a survey in Moroccan industries. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 26(2), 260-289. <http://dx.doi.org/10.1108/JQME-10-2018-0079>.
- Negri, J. R., Cerveny, G. C. O., Montebelo, M. I. L., & Teodori, R. M. (2014). Sociodemographic and occupational profile of workers with RSI/WRMSD: epidemiological study. *Revista Baiana de Saúde Pública*, 38(3), 555-570. <http://dx.doi.org/10.5327/Z0100-0233-2014380300005>.
- Organização Internacional do Trabalho – OIT. (2021). *Convenções*. Recuperado em 4 de março de 2021, de <https://www.ilo.org/brasilia/convencoes/lang-pt/index.htm>
- Patiño, H. F. M., Leite, A. 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 (Sinop)*, 9(4), 430-437. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v9i4.12428>.
- Peixoto, N., & Ferreira, L. (2013). *Higiene Ocupacional III* (1. ed., 152 p.). Santa Maria: Rede e-Tec Brasil.
- Possebom, G., Alonço, A. S., Bellochio, S. D. C., Lopes, T. G., Carpes, D. P., Becker, R. S., Moreira, A. R., Francetto, T. R., Rossato, F. P., & Zart, B. C. C. R. (2018). Comparison of methods for postural

- assessment in the operation of agricultural machinery. *The Journal of Agricultural Science*, 10(9), 252-262. <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v10n9p252>.
- Rocha, E. B., Fiedler, N. C., Alves, R. T., Lopes, E. S., Guimarães, P. P., & Peroni, L. (2009). Productivity and costs of a full tree harvesting system. *Cerne*, 15(3), 372-381.
- Schettino, S., Campos, J. C. C., Minette, L. J., & Souza, A. P. (2017). Work precariousness: ergonomic risks to operators of machines adapted for forest harvesting. *Revista Árvore*, 41(1), e410109. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-90882017000100009>.
- Schettino, S., Minette, L. J., & Souza, A. P. (2015). Correlation between volumetry of eucalyptus forests and productivity and costs of wood harvesting machines. *Revista Árvore*, 39(5), 935-942. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000500016>.
- Silva, E. P., Minette, L. J., Sanchez, A. L. P., Souza, A. P., Silva, F. L., & Mafra, S. C. T. (2014). Prevalence of musculoskeletal symptoms in forest harvesting machine operators. *Revista Árvore*, 38(4), 739-745. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622014000400017>.
- Silva, E. P., Minette, L. J., Souza, A. P., Baeta, F. C., Fernandes, H. C., Mafra, S. C. T., & Viera, H. A. N. F. (2009). Characterization of the health of workers involved in the extraction of wood in mountainous regions. *Revista Árvore*, 33(6), 1169-1174. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622009000600019>.
- Souza, A. P., Dutra, R. B. C., Minette, L. J., Marzano, F. L. C., & Schettino, S. (2015). Production targets for workers in forest harvesting. *Revista Árvore*, 39(4), 713-722. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000400014>.
- Sun, Y., Aw, G., Loxton, R., & Teo, K. L. (2014). An optimal machine maintenance problem with probabilistic state constraints. *Information Sciences*, 281(1), 386-398. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ins.2014.05.051>.
- Tewari, V. K., & Dewangan, K. N. (2009). Effect of vibration isolators in reduction of work stress during field operation of hand tractor. *Biosystems Engineering*, 103(2), 146-158. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.03.002>.
- The Forest Research Institute of Sweden – SkogForsk. (1999). *Ergonomic guidelines for forest machines* (1st ed., 86 p.). Uppsala: Swedish National Institute for Working Life.
- 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://dx.doi.org/10.1007/s42524-021-0182-0>.

Contribuição dos Autores: SS: conceptualization, methodology, supervision, writing - original draft, writing - review & editing; LJM: data curation, formal analysis, methodology, writing - original draft; DRS: data curation, formal analysis, methodology, writing - review & editing; RCAL: data curation, investigation, formal analysis, writing - review & editing.