

ANÁLISE DA VIBRAÇÃO NO PROCESSAMENTO SECUNDÁRIO DE MADEIRAS COM DIFERENTES MASSAS ESPECÍFICAS APARENTES

Nilton Cesar Fiedler¹, Heitor Broetto Marin², José Tarcísio da Silva Oliveira¹,
Flávio Cipriano Assis do Carmo³

¹Eng. Florestal, Dr., Depto. de Engenharia Florestal, UFES, Alegre, ES - nilton.fiedler@ufes.br; jtsilva@npd.ufes.br

²Eng. Florestal, UFES, Alegre, ES - heitorbrma@yahoo.com.br

³Eng. Florestal, Mestrando em Ciências Florestais, UFES, Alegre ES - flaviocipriano@hotmail.com

Recebido para publicação: 10/06/2011 – Aceito para publicação: 05/02/2013

Resumo

O objetivo desta pesquisa foi identificar os níveis de vibração ocorridos no processamento secundário da madeira e quantificar sua interação com a diferença de massa específica aparente entre as espécies de madeira. A pesquisa foi desenvolvida na marcenaria do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, localizada no município de Jerônimo Monteiro, sul do Espírito Santo, no período de agosto a dezembro de 2010. As vibrações transmitidas ao sistema mão-braço dos trabalhadores pelas máquinas foram coletadas por intermédio de um acelerômetro e de um medidor de vibração. As espécies utilizadas na pesquisa foram *Apuleia leiocarpa*, *Eucalyptus grandis* versus *E. urophylla* (híbrido urograndis), *Corymbia citriodora* e *Pterogyne nitens*. Todas as máquinas apresentaram classificação de conforto para o eixo XY (palma da mão e nós dos dedos) e classificação de fadiga para o eixo Z (punhos). A serra fita foi a única máquina que não apresentou variação da vibração em relação à espécie processada. Conforme a classificação de fadiga para o eixo Z, é necessária a execução de medidas para o controle da vibração. *Palavras-chave*: Ergonomia florestal; ambiente de trabalho; densidade da madeira; marcenaria.

Abstract

Analysis of vibration in secondary wood processing with different apparent specific masses. The aim was to identify the levels of vibration that occurred in the secondary wood processing, and to quantify vibration interaction with the difference of apparent specific mass. The research was developed in wood workshops of Department of Forestry, Center for Agrarian Sciences, Federal University of Espírito Santo, located in Jerônimo Monteiro city, south of Espírito Santo, from August to December 2010. The vibrations transmitted to the hand-arm system of the workers by the machines had been collected by an accelerometer 20 model NK and a measurer of vibration model NK 300. The species used in the research had been *Apuleia leiocarpa*, *Eucalyptus grandis* versus *E. urophylla* (hybrid urograndis), citriodora *Corymbia* and *Pterogyne nitens*. All the machines had presented classification of comfort for axle XY and classification of fatigue for axle Z. As result, according to the classification of fatigue for axle Z, measures are necessary for the control of the vibration.

Keywords: Forest ergonomics; work environment; density of the wood, joinery.

INTRODUÇÃO

As operações de processamento secundário são aquelas realizadas logo após o desdobro principal e visam à redução das dimensões das peças de madeira ou ao dimensionamento final das mesmas, tanto no comprimento quanto na largura e na espessura. Faz parte do cotidiano das indústrias de madeira serrada a utilização de diferentes dimensões de matéria-prima, tornando-se ampla a gama de produtos serrados.

As atividades contempladas no processamento da madeira são desenvolvidas em marcenarias. Segundo Fiedler *et al.* (2009), essas atividades exigem grande atenção e precisão em sua realização, devido ao maquinário envolvido na confecção dos produtos e ao elevado nível de risco aos quais os operadores estão expostos, ocasionados pelas máquinas e fatores ambientais envolvidos no processo.

A vibração compreende qualquer movimento que o corpo executa em torno de um ponto fixo. Esse movimento pode ser regular, do tipo senoidal, ou irregular, quando não segue nenhum padrão determinado. Para Santos Filho *et al.* (2003), as vibrações consistem em uma mistura complexa de diversas ondas, com frequências e direções diferentes. A vibração é um agente nocivo presente em várias atividades do cotidiano do trabalhador (IIDA, 2005).

A transmissão da vibração ao operador acarreta problemas de saúde, como a perda de precisão dos movimentos. O diagnóstico das doenças associadas à vibração ainda não é efetivamente preciso, pois geralmente é distorcido por diagnósticos de esforços repetitivos e não associado aos problemas advindos da utilização das máquinas com manutenção inadequada ou com problemas de fabricação.

A vibração é um fator de difícil exclusão no processo de desenvolvimento e utilização das máquinas, devido ao atrito das peças sujeitas à movimentação para a realização das atividades. Entretanto, deve-se atuar na manutenção preventiva, para evitar folgas entre as peças, contribuindo para o controle da vibração dentro dos limites toleráveis pelo guia de avaliação da exposição humana à vibração, de acordo com a norma ISO 5349-1 de 2001, para uma jornada de trabalho confortável.

Segundo Nunes (2005), na Vibração Mão-Braço (VMB), são transmitidas vibrações mecânicas que, quando transmitidas ao sistema mão-braço do operador, implicam riscos para a saúde e para a segurança dos trabalhadores, em especial perturbações vasculares, lesões ósteo-articulares e perturbações neurológicas ou musculares.

Partindo da hipótese de que o processamento de madeiras com diferentes massas específicas aparentes pode causar níveis diferenciados de vibração nas mãos e braços dos operadores, conforme a máquina utilizada no processamento secundário, esta pesquisa objetivou quantificar os níveis de vibração a que os trabalhadores estão expostos durante o processamento secundário da madeira em diferentes máquinas e sua interação com as diferentes massas específicas aparentes das madeiras utilizadas.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A pesquisa foi desenvolvida durante os meses de agosto a dezembro de 2010 na marcenaria localizada no Departamento de Ciências Florestais e da Madeira do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, situada no município de Jerônimo Monteiro, sul do estado do Espírito Santo. As espécies utilizadas na pesquisa foram garapa (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr.), da família Caesalpiniaceae, eucalipto (*Eucalyptus grandis* versus *E. urophylla* - híbrido *urograndis*), da família Myrtaceae, corímbia citriodora (*Corymbia citriodora* Hook), da família Myrtaceae, e amendoim-bravo (*Pterogyne nitens* Tull.), da família Caesalpiniaceae.

As peças foram colocadas em uma câmara climática a 25 °C de temperatura e 60% de umidade relativa, permanecendo nessa condição até atingirem o equilíbrio higroscópico próximo de 13% (Tabela 1). Para determinação da massa específica aparente e da umidade das madeiras, foi utilizada a metodologia proposta pela NBR 7190/1997 (Projeto de estruturas de madeira).

Tabela 1. Massa específica aparente e umidade das madeiras.

Table 1. Apparent specific mass and humidity of wood.



Espécies	Massa específica aparente (g/cm ³)	Umidade (%)
<i>Apuleia leiocarpa</i>	0,63	11,89
<i>Pterogyne nitens</i>	0,52	14,28
<i>Eucalyptus grandis</i> versus <i>E. urophylla</i>	0,52	12,13
<i>Corymbia citriodora</i>	0,85	14,35

As máquinas utilizadas durante a avaliação da vibração foram: serra circular, serra fita, desempenadeira e desengrossadeira, descritas na tabela 2.

Coleta de dados

Os dados de vibração foram coletados durante o processamento secundário de cada espécie, segundo as diferenças de massa específica aparente. Utilizou-se um acelerômetro modelo NK 20 e um medidor de vibração NK 300, ambos da marca Teknikao (Figura 1).

Tabela 2. Descrição técnica das máquinas analisadas.
 Table 2. Technical description of the analyzed machines.

Máquinas		Descrição
Serra circular		Utilizada para serrar madeira ou derivados em cortes retos, por meio de disco dentado, acoplada em uma mesa de corpo fixo. A serra utilizada foi da marca Invicta, modelo SCI-25, com potência de motor de 2 hp. Altura de corte de 65 mm, diâmetro de serra de 250 mm, inclinação da serra de 45° e rotação da serra de 3800 rpm.
Serra fita		Utilizada para serrar madeira ou derivados em cortes retos. A máquina utilizada foi da marca Invicta, modelo SFI-80, diâmetro dos volantes de 800 mm, largura dos volantes de 50 mm, rotação dos volantes de 600 rpm, comprimento de lâmina variando entre 5552 e 5762 mm e potência do motor trifásico de 5 cv.
Desempenadeira		Utilizada para plainar a superfície da peça. A máquina utilizada foi da marca Invicta, modelo DI-32, com rotação do eixo porta-facas de 4375 rpm, altura máxima de corte de 19 mm, inclinação da guia de 45° e potência do motor de 3 cv.
Desengrossadeira		Visa dimensionar a espessura das peças. É constituída por facas e dois rolos de alimentação que funcionam automaticamente. A máquina utilizada foi da marca Invicta, modelo DGC-40, com rotação do eixo porta-facas de 5000 rpm, diâmetro dos rolos de avanço de 75 mm, altura de corte variando entre 5 e 400 mm, velocidade de avanço de 7,5 m/14 min e potência do motor de 5 cv.

Fonte: Fiedler *et al.* (2010).



Figura 1. Acelerômetro e medidor de vibração.
 Figure 1. Accelerometer and a meter of vibration.

Para a coleta, a vibração foi medida de acordo com as três coordenadas ortogonais definidas na norma ISO 5349-1 (2001) (eixo “xx” - através da palma da mão; eixo “yy” - através dos nós dos dedos; eixo “zz” - paralelo aos ossos do braço), como demonstrado na figura 2. Durante a coleta de dados, após cada ciclo de operação, as máquinas eram desligadas para manutenção e afiação dos gumes de corte, para que todos os corpos de prova sofressem as mesmas condições de processamento. A velocidade de avanço era de 7,5 m/minuto e a velocidade de corte durante o processamento era a mesma para todos os corpos de prova analisados.



Figura 2. Coordenadas ortogonais ISO 5349-1 (A: eixo xx, B: eixo yy e C: eixo zz).
 Figure 2. Coordinated ortogonais ISO 5349-1 (A: axis xx, B: axis yy and C: axis zz).

Inicialmente foi feito um estudo piloto para definir o tamanho mínimo da amostra de dados a serem utilizados na pesquisa. Esses dados foram analisados por meio da expressão proposta por Conaw (1977):

$$n \geq \frac{t^2 * s^2}{e^2} \quad \text{Equação 1}$$

Em que: n = número de amostras ou pessoas necessárias;
 t = valor tabelado a 10% de probabilidade (distribuição t de Student);
 s = desvio padrão da amostra;
 e = erro admissível a 10%.

A avaliação do nível de exposição baseou-se no cálculo do valor da exposição diária para um período de referência de 8 horas ($A(8)$). Por meio da ISO 2631, de 1978, foram utilizados os critérios de severidade para adequação dos parâmetros de classificação da vibração mão-braço. Os parâmetros são divididos nos eixos X, Y e Z, referentes à palma da mão, nós dos dedos e braços, respectivamente.

Para o cálculo da vibração nos eixos XY, utilizou-se a seguinte expressão, definida na norma ISO 5349-1 (2001) e explicada pela EU *Good Practice Guide* HAV (2006), seguindo as orientações da *Directive* 2002/44/EC da União Europeia:

$$A(8) = \sqrt{a_{hwX}^2 + a_{hwY}^2} \quad \text{Equação 2}$$

Em que: a_{hwX} , a_{hwY} são os valores eficazes (coletados) da aceleração ponderada em frequência, para a palma da mão e nós dos dedos, respectivamente. Os valores considerados para avaliação do risco são mostrados na tabela 3.

Tabela 3. Guia para a avaliação da exposição humana à vibração (ISO 5349-1, 2001).
 Table 3. Guideline to evaluation of human exposition to vibration (ISO 5349-1, 2001).

Crítérios de severidade	Aceleração (X,Y) horizontal (m/s²)	Aceleração (Z) vertical (m/s²)
Exposição	0,448	0,630
Fadiga	0,224	0,315
Conforto	0,071	0,100

Tabela 4. Espécies e máquinas avaliadas, número mínimo e coletado de amostras.
 Table 4. Species and machinery evaluated, minimum number of samples, and number of collected samples.

Espécies	Máquinas	Nº mínimo de amostras	Nº de amostras coletadas
<i>Pterogyne nitens</i>	Serra circular	18	24
	Serra fita	15	29
	Desempenadeira	27	29
	Desengrossadeira	11	14
<i>Eucalyptus grandis</i> versus <i>E. urophylla</i>	Serra circular	14	23
	Serra fita	15	23
	Desempenadeira	20	22
	Desengrossadeira	14	16
<i>Apuleia leiocarpa</i>	Serra circular	20	22
	Serra fita	12	22
	Desempenadeira	7	26
	Desengrossadeira	15	17
<i>Corymbia citriodora</i>	Serra circular	12	30
	Serra fita	12	28
	Desempenadeira	11	25
	Desengrossadeira	12	18

Na tabela 4 estão descritos os dados coletados em relação ao número de amostras ideais para um nível mínimo aceitável ao nível de 10% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A classificação dos níveis de conforto nas máquinas, conforme médias encontradas de vibração nas coordenadas XY e Z, são apresentadas na tabela 5.

Tabela 5. Classificação dos níveis de conforto nas máquinas conforme a madeira processada.

Table 5. Classification of comfort levels of machines regarding processed wood.

Espécies	Máquinas	Coordenadas	Média	Classificação
<i>Pterogyne nitens</i>	Serra circular	XY	0,042	Conforto
		Z	0,163	Fadiga
	Serra fita	XY	0,035	Conforto
		Z	0,157	Fadiga
	Desempenadeira	XY	0,051	Conforto
		Z	0,169	Fadiga
	Desengrossadeira	XY	0,054	Conforto
		Z	0,174	Fadiga
<i>Eucalyptus grandis</i> versus <i>E. urophylla</i>	Serra circular	XY	0,041	Conforto
		Z	0,158	Fadiga
	Serra fita	XY	0,037	Conforto
		Z	0,146	Fadiga
	Desempenadeira	XY	0,055	Conforto
		Z	0,178	Fadiga
	Desengrossadeira	XY	0,057	Conforto
		Z	0,186	Fadiga
<i>Apuleia leiocarpa</i>	Serra circular	XY	0,045	Conforto
		Z	0,171	Fadiga
	Serra fita	XY	0,033	Conforto
		Z	0,143	Fadiga
	Desempenadeira	XY	0,048	Conforto
		Z	0,173	Fadiga
	Desengrossadeira	XY	0,050	Conforto
		Z	0,173	Fadiga
<i>Corymbia citriodora</i>	Serra circular	XY	0,045	Conforto
		Z	0,174	Fadiga
	Serra fita	XY	0,040	Conforto
		Z	0,154	Fadiga
	Desempenadeira	XY	0,049	Conforto
		Z	0,172	Fadiga
	Desengrossadeira	XY	0,052	Conforto
		Z	0,178	Fadiga

Na avaliação das massas específicas aparentes e das máquinas, observa-se que, para o eixo Z, todas as máquinas apresentaram como classificação a fadiga. Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Fiedler *et al.* (2010) em avaliação subjetiva de vibração em marcenarias, em que 64% dos operadores afirmaram haver vibração excessiva, causando dores principalmente nos punhos.

A maior vibração no eixo Z se refere ao fato de que o operador concentra os maiores esforços nas articulações dos punhos, ou seja, aplica constantemente repetições de movimentos no eixo Z. Com o decorrer do tempo de trabalho nessas atividades, o trabalhador poderá ficar sujeito a várias doenças do trabalho. Independentemente do tipo de madeira utilizada, é necessária uma intervenção urgente na maneira como se faz o processamento secundário das madeiras utilizadas na fabricação de móveis. Para o eixo XY, todas as máquinas apresentaram a classificação de conforto para todas as variações de massa específica.

A figura 3 mostra que, para a aceleração horizontal XY (m/s^2), todas as máquinas obtiveram valores menores do que o limite aceitável de conforto (ISO 5349-1, 2001). Já para a aceleração vertical Z,

as diferentes espécies para todas as máquinas apresentaram valores superiores ao nível aceitável de conforto.

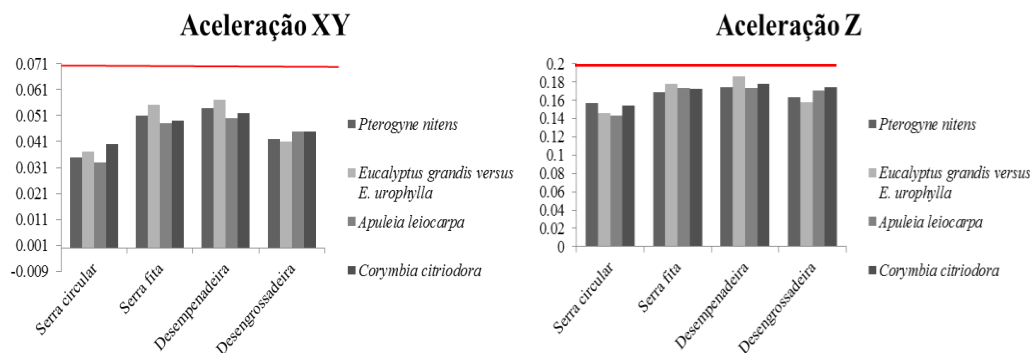


Figura 3. Distribuição dos níveis de vibração das máquinas em relação às espécies analisadas.
Figure 3. Distribution of vibration levels of machines in relation to the analyzed species.

Na tabela 6 são apresentados os resultados da variação das espécies de diferentes massas específicas aparentes em relação ao fator fixo máquinas.

Tabela 6 Resultados do teste de comparações de média pelo teste de Tukey para a variável vibração em função da relação das máquinas pela massa específica aparente das madeiras a 10% de significância.

Table 6. Results of the average comparison test by the test of Tukey for the variable vibration in function of the relation of the machines by the apparent specific mass of wood at 10% of significance.

Espécie (massa específica aparente - g/cm ³)	Máquinas			
	Serra circular	Serra fita	Desempenadeira	Desengrossadeira
<i>Corymbia citriodora</i> (0,85)	0,065 a	0,056 a	0,067 a	0,067 ab
<i>Eucalyptus grandis</i> versus <i>E. urophylla</i> (0,52)	0,059 a	0,053 ab	0,073 ab	0,072 a
<i>Pterogyne nitens</i> (0,52)	0,058 a	0,053 ab	0,074 ab	0,063 b
<i>Apuleia leiocarpa</i> (0,63)	0,063 a	0,048 b	0,065 b	0,065 ab

A serra fita e a desempenadeira apresentaram os mesmos resultados, sendo possível observar que as massas específicas aparentes mais elevadas se igualaram às menores e diferiram estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 10% de significância. Para a desengrossadeira, houve similaridade entre as madeiras de maior massa específica aparente, entretanto cada uma em um grupo diferente. Já para a serra circular, a massa específica aparente da madeira não diferiu estatisticamente para o índice médio de vibração.

As espécies de menores massas específicas aparentes apresentaram resultados diferentes somente para a desengrossadeira, enquanto as espécies de maiores massas específicas aparentes apresentaram resultados iguais para todas as máquinas.

Na tabela 7 são apresentados os resultados ao se fixarem as espécies em relação à variável máquina.

Para a espécie *Pterogyne nitens*, a desempenadeira apresentou maior valor médio de vibração que as demais, enquanto a serra fita e a serra circular apresentaram os menores valores médios entre as máquinas. Na espécie *Eucalyptus grandis* versus *E. urophylla*, houve um mesmo valor médio entre a desempenadeira e desengrossadeira, diferindo da serra circular e serra fita, que se igualaram estatisticamente pelo teste de Tukey a 10% de significância. Já nas espécies de massa específica aparente mais elevada, ocorreu uma similaridade dos resultados. Para *Apuleia leiocarpa* e *Corymbia citriodora*, somente a serra fita diferiu das demais máquinas.

Analisando a tabela 5 de classificação qualitativa, observa-se que a massa específica aparente da madeira não influenciou significativamente a vibração, conforme o índice de conforto encontrado em

todas as repetições. Fazendo a inferência das tabelas 6 e 7, conforme a estatística apresentada, é observado que a massa específica aparente da madeira pouco difere estatisticamente entre as madeiras e suas interações com as máquinas.

Tabela 7. Resultados do teste de comparações de média pelo teste de Tukey para a variável vibração em relação à massa específica aparente das madeiras através do uso em diferentes máquinas a 10% de significância.

Table 7. Results of the average comparison test by the test of Tukey for the variable vibration generated from the relation of the apparent specific mass of wood by the use in different machines at 10% of significance.

Máquinas	Espécie (massa específica aparente g/cm ³)			
	<i>Pterogyne nitens</i> (0,52)	<i>Eucalyptus grandis</i> versus <i>E. urophylla</i> (0,52)	<i>Apuleia leiocarpa</i> (0,63)	<i>Corymbia citriodora</i> (0,85)
Serra circular	0,058 bc	0,059 b	0,063 a	0,065 a
Serra fita	0,053 c	0,053 b	0,048 b	0,056 b
Desempenadeira	0,074 a	0,073 a	0,065 a	0,067 a
Desengrossadeira	0,063 b	0,072 a	0,065 a	0,067 a

O fator vibração no sistema mão-braço pode estar mais bem relacionado com a afiação das lâminas, manutenção das máquinas e seus projetos de desenvolvimento, assim como as propriedades das espécies. Quando observada em valores médios, a serra fita é apresentada com valores inferiores às demais máquinas, fato que pode ser explicado pelo baixo esforço realizado na operação. Os maiores valores encontrados na desengrossadeira, provavelmente, foram acarretados pela maior pressão exercida pelo sistema mão-braço para o acabamento da peça e pela necessidade da maior proximidade de contato com a fonte de vibração.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados apresentados nesta condição de estudo, conclui-se que:

- A hipótese de que madeiras de diferentes massas específicas aparentes, com o mesmo teor de umidade, causam níveis diferenciados de vibração nas mãos e braços dos operadores conforme a máquina utilizada no processamento secundário foi confirmada pela pesquisa.
- Todas as máquinas apresentaram classificação de conforto para o eixo XY (palma da mão e nós dos dedos) e classificação de fadiga para o eixo Z (punhos).
- A serra fita foi a única máquina em que a vibração não variou em função da espécie processada, devido ao fato de a máquina apresentar uma potência elevada, assim como sua rotação ser muito alta. A baixa variabilidade nas densidades das madeiras não afeta significativamente a vibração no processamento;
- Conforme a classificação de fadiga nos punhos dos operadores, é necessária a execução de medidas para o controle da vibração no eixo Z, bem como adoção de luvas antivibratórias ou troca de máquinas por outras que apresentem projetos construtivos com menor vibração, além da necessidade de sua manutenção periódica.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). MB-26/40: ensaios físicos e mecânicos da madeira. Rio de Janeiro: 1940. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7190/1997 – Projeto de estruturas de madeiras. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.

CONAW, P. L. **Estatística**. São Paulo: Edgard Blucher, 1977. 264 p.

DIRECTIVE 2002/44/CE Prescrições mínimas de segurança e de saúde relativas à exposição dos trabalhadores aos riscos por agentes físicos (vibrações) do Parlamento Europeu. EU Good Practice Guide HAV; *WBV Good practice Guide v. 6, 7 p., 12/06/2006.*

FIEDLER, N. C.; OLIVEIRA, J. T. S.; GUIMARÃES, P. P.; ALVES, R. T.; WANDERLEY, F. B.; OLIVEIRA, J. G. L.; MORA, R. Influência da massa específica aparente da madeira no ruído produzido durante o processamento secundário: estudo de caso. **Revista Floresta**. PR, v. 39, n. 2, p. 401 - 408, 2009.

FIEDLER, N. C.; WANDERLEY, F. B.; NOGUEIRA, M.; OLIVEIRA, J. T. S.; GUIMARÃES, P. P.; ALVES, R. T. Otimização do layout de marcenarias no sul do Espírito Santo, baseado em parâmetros ergonômicos e de produtividade. **Revista Árvore**, v. 33, n. 1, p. 161 - 170, 2009.

FIEDLER, N. C.; GUIMARÃES, P. P.; ALVES, R. T.; WANDERLEY, F. B. Avaliação ergonômica do ambiente de trabalho em marcenarias no sul do Espírito Santo. **Revista Árvore**, v. 34, n. 5, p. 907 - 915. 2010.

IIDA, I. **Ergonomia**: projeto e produção. 2. ed. revisada e ampliada. Editora Edgard Blucher, São Paulo, 2005. 630 p.

ISO guide for the evaluation of human exposure to wholebody vibration. ISO 2631 - 1978. ISO, Geneva, 1978. 15 p.

NUNES, I. L. A importância da avaliação de factores de risco ocupacionais em políticas de aquisição de equipamentos. O caso da exposição à vibração. **Proceedings das 3ª Jornadas Técnicas de Engenharia Logística Militar** - O ciclo de vida dos materiais, organizada pelo Exército Português, Paço de Arcos, CDROM, 6 de Dezembro (2005).