

AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA DE ATIVIDADES DE PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Eucalyptus* spp.¹

José Urbano Alves², Amaury Paulo de Souza³, Luciano José Minette⁴, José Mauro Gomes³, Kátia Regina da Silva⁵, Marcio Alves Marçal⁶ e Emília Pio da Silva⁷

RESUMO – A pesquisa foi desenvolvida a partir de dados coletados em viveiro florestal, no Vale do Rio Doce, MG, com o objetivo de avaliar a biomecânica de atividades de produção de mudas de *Eucalyptus* spp. Essa avaliação foi realizada através da análise bidimensional utilizando-se a técnica de gravação em videotape, sendo os movimentos “congelados” para medição dos ângulos dos diversos segmentos corpóreos. As forças envolvidas foram medidas para aplicação do modelo biomecânico bidimensional de predição de posturas e forças estáticas, por meio de programa computacional desenvolvido pela Universidade de Michigan, dos Estados Unidos. O transporte manual de mudas utilizando carrinho foi a única atividade que apresentou força de compressão do disco da coluna acima da carga-limite superior; e todas as atividades avaliadas ultrapassaram essa carga, recomendada em pelo menos uma fase do ciclo e em pelo menos uma articulação.

Palavras-chave: Lombalgias, posturas e ergonomia.

BIOMECHANICAL EVALUATION OF ACTIVITIES OF *Eucalyptus* spp. SEEDLING PRODUCTION

ABSTRACT – This study was based on data collected in a nursery located in the municipality of Rio Doce, MG, to evaluate the biomechanics of activities of *Eucalyptus* spp seedling production. The evaluation was carried out by the bidimensional analysis with the use of the videotape recording technique, with the images of movements frozen to measure the angles of the several body segments. The involved forces were measured in order to apply the biomechanical bidimensional model for the prediction of postures and static forces, using a software developed by the University of Michigan, US. The seedling transport with a pushcart was the only activity presenting compression force on the spinal disc above the superior load limit; and all the studied activities surpassed the load limit recommended in at least one phase of the cycle and in at least one articulation.

Keywords: Low back pain, posture and ergonomics.

1. INTRODUÇÃO

A biomecânica estuda as interações entre o trabalho e o homem, do ponto de vista dos movimentos musculoesqueléticos envolvidos e as suas conseqüências. Analisa basicamente a questão das posturas corporais

no trabalho e a aplicação de forças envolvidas (IIDA, 1990). Nas atividades de propagação de plantas, o trabalho realizado envolve várias posturas e pesos diferenciados, podendo ser potencialmente lesivos à saúde dos trabalhadores envolvidos nessas atividades.

¹ Recebido em 05.03.2004 e aceito para publicação em 05.04.2006.

² Gerente da Rima Florestal – Buritizeiro-MG.

³ Departamento de Engenharia Florestal da UFV. E-mail: <amaurysouza@ufv.br>.

⁴ Departamento de Engenharia Elétrica e de Produção da UFV.

⁵ Pesquisadora do Grupo Orsa Florestal – Dourado-PA.

⁶ Professor da PUC-MG.

⁷ Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da UFV. E-mail: <emiliapiosilva@yahoo.com.br>.

No estudo da biomecânica, as leis físicas da mecânica são aplicadas ao corpo humano. Assim, podem-se estimar as tensões que ocorrem nos músculos e articulações durante uma postura ou um movimento. Para manter uma postura ou realizar um movimento, as articulações devem ser conservadas, tanto quanto possível, na sua posição neutra. Nessa posição, os músculos e ligamentos que se estendem entre as articulações são tensionados o mínimo. Além disso, os músculos são capazes de liberar a força máxima, quando as articulações estão na posição neutra (DUL e WEERDMEESTER, 1995).

Sendo a postura considerada como elemento primordial da atividade do homem, ela não se trata somente de se manter em pé ou sentado, mas também de agir. A postura é então, por um lado, suporte para a tomada de informações e para a ação motriz, no meio exterior e, por outro lado, é, simultaneamente, meio de localizar as informações exteriores em relação ao corpo e ao modo de preparar os seguimentos corporais e os músculos, com o objetivo de agir sobre o ambiente. Ela é um meio para realizar a atividade (MORAES, 1996).

Na área florestal, 30,5% dos trabalhadores apresentam problemas de lombalgias. Estes são causados e agravados, principalmente, por posturas incorretas no levantamento e movimentação de cargas e durante a própria execução contínua de determinados trabalhos (FIEDLER, 1995).

As lombalgias não só afetam a saúde do próprio trabalhador, como também existem conseqüências sociais, como a falta de assiduidade no trabalho, mudança de profissão por incapacidade laboral e gastos previdenciários, dentre outros, que não devem ser negligenciados. Ao se carregar qualquer peso, é importante que este seja distribuído de forma equilibrada em cada uma das vértebras e discos (MERINO, 1996).

Os exercícios físicos e a postura corporal, juntos com a participação da ergonomia, podem funcionar como um excelente meio de prevenir e impedir muitos problemas lombares. Assim, é observado que indivíduos mais fracos necessitam de maior esforço físico para realizarem determinadas tarefas, ficando mais expostos a lesões. Os indivíduos que tenham bom condicionamento físico têm menos incidência de dor na coluna e, mesmo quando esta aparece, a sua duração é menor, comparados com indivíduos que apresentam um estilo de vida sedentário, que se traduz naturalmente por um pior condicionamento físico (ACHOUR, 1995).

A análise de posturas do trabalhador deve ser considerada como parte integrante da carga de trabalho. Na identificação da atividade postural, as manutenções prolongadas de posturas e as suas mudanças freqüentes devem ser consideradas como elementos da carga física de trabalho (MORAES, 1996).

O objetivo desta pesquisa foi realizar uma avaliação biomecânica de atividades de produção de mudas, visando à melhoria da saúde, do bem-estar, da segurança, do conforto e da produtividade dos trabalhadores dessa área.

2. METODOLOGIA

2.1. Local da pesquisa

Esta pesquisa foi desenvolvida com dados coletados em uma área de viveiro florestal no Vale do Rio Doce, em Minas Gerais. O viveiro produzia mudas de *Eucalyptus* ssp para a formação de florestas da própria empresa, pesquisas e venda.

2.2. População

A população pesquisada foi composta por trabalhadores florestais que atuavam nas operações de viveiros florestais, executadas por métodos manuais e semimecanizados, nas atividades de lavagem, embandejamento, desinfecção e enchimento de tubetes, preparo de substrato, preparo de miniestacas, estaqueamento, primeira seleção, segunda seleção, transporte de mudas para a casa de vegetação e desta para os estaleiros e expedição.

2.3. Avaliação biomecânica

A avaliação biomecânica foi realizada através da análise bidimensional, utilizando a técnica de gravação em videoteipe, com o trabalhador em diversos ângulos. Os movimentos foram “congelados”, para medição dos ângulos dos diversos segmentos corpóreos. As forças envolvidas foram medidas para aplicação do programa computacional de modelo biomecânico bidimensional de predição de posturas e forças estáticas, desenvolvido pela Universidade de Michigan, dos Estados Unidos.

Para a análise com o modelo biométrico, foram fornecidos os ângulos das articulações obtidos durante a realização das tarefas (braços, tronco, coxofemorais, joelhos e tornozelos); o valor, a magnitude e a direção das forças utilizadas; o número de mãos utilizadas; e os dados antropométricos de altura e peso da população envolvida.

A análise através do programa computacional de Michigan forneceu a carga-limite recomendada, que corresponde ao peso que mais de 99% dos homens e 75% das mulheres conseguem levantar. Essa carga-limite induz a uma força medida em Newton de compressão da ordem de 3426,3 N sobre o disco L5-S1 da coluna vertebral, que pode ser tolerada pela maioria dos trabalhadores jovens e em boas condições de saúde. A Figura 1 ilustra um exemplo de avaliação biomecânica bidimensional utilizando o referido programa computacional.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise das atividades de empurrar bandejas, do setor de enchimento de tubetes para o estaqueamento, indicou que a carga-limite superior foi ultrapassada, de forma que apenas 19% de pessoas são capazes de exercer essa atividade sem risco de danos para a articulação do cotovelo. Na atividade de enchimento de tubetes, no setor de empurrar bandejas para estaqueamento a carga-limite superior foi ultrapassada para articulações dos cotovelos, indicando que menos de 25% dos trabalhadores conseguem suportar a carga sem risco para as articulações.

Do total de posturas avaliadas, a articulação coxofemoral teve a carga-limite ultrapassada na grande maioria.

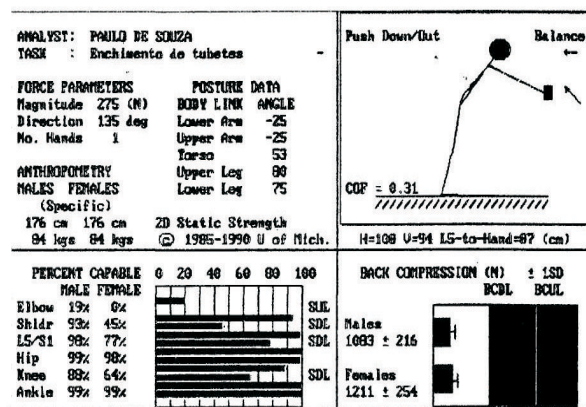


Figura 1 – Avaliação biomecânica da atividade enchimento de tubetes, utilizando o modelo biomecânico bidimensional de predição de posturas e forças estáticas, desenvolvido pela Universidade de Michigan, dos Estados Unidos.

Figure 1 – Biomechanical evaluation of the activity tube filling, using the biomechanical bidimensional model for the prediction of postures and static forces, developed by the University of Michigan, US.

No Quadro 1, encontra-se o percentual de pessoas que são capazes de exercer as atividades sem risco de danos para as articulações dos cotovelos, ombros, disco L5-S1, coxofemorais, joelhos e tornozelos.

A carga-limite recomendada também foi ultrapassada em várias outras atividades, indicando que não é possível exercê-las sem risco de lesão para as articulações indicadas, de acordo com o Quadro 1.

Os resultados da análise apontaram que a atividade de transporte de mudas na etapa de levantar a bandeja de inox quando o encaixe entre a ponte e o carrinho estava desnivelado oferece risco de compressão do disco L5-S1 da coluna vertebral, com força de compressão de 3613 [N]. A etapa de destravar o carrinho puxando a trava para cima (no caso de encaixe com a ponte desnivelado) também apresentou valores de força de compressão elevados, na ordem de 3083 [N].

De acordo com Apud (1999), se a força de compressão for maior que 3500 [N], existe um risco eminente para a saúde de grande parte dos trabalhadores, provocando danos às estruturas anatômicas, sendo necessária a redução do tempo de exposição e peso da carga. Os valores de forças situados entre 3426,3 N e 6363 [N] devem ser evitados. As forças de compressão calculadas são comparadas com esses limites para o estabelecimento da carga segura para o trabalhador.
















O disco vertebral, quando submetido a uma força de compressão elevada, pode ser acometido por distúrbios graves que ocasionam quadro algico intenso e afastamentos prolongados, pois o indivíduo tem incapacidade permanente para as atividades mais pesadas (COUTO, 2002).

Dentre as outras atividades estudadas, as que apresentaram valores mais elevados de força de compressão no disco L5-S1 da coluna foram as atividades de enchimento e lavagem de tubetes, nas fases de levantamento das caixas de substrato e tubetes sujos, sendo a força de compressão de 2139 e 2113 [N], respectivamente, sendo esses valores associados a posturas inadequadas durante a atividade.

As atividades que exigem do trabalhador posturas inadequadas, manuseio incorreto e o levantamento de cargas excessivas provocam a degeneração dos discos articulares. A coluna lombar é a que sofre maior carga em função da sustentação do tronco, apresentando maior incidência de dor (RIO e PIRES, 20001).
















Quadro 1 – Percentual de pessoas capazes de suportar a carga imposta nas articulações dos cotovelos, ombros, disco L5-S1 da coluna, quadris, joelhos e tornozelos, nos postos de trabalho de produção de mudas

Table 1 – Percent of people capable of supporting the load imposed on the articulations of elbows, shoulders, L5-S1 spine disc, hips, knees and ankles, at the work positions of seedling production

Atividade	Fase do ciclo	Postura adotada e força aplicada (N)	Articulações e percentual de pessoas capazes de suportar a carga					
			1	2	3	4	5	6
Lavagem de tubetes	Empurrar caixa contra o monte de tubetes	 108 N	SRL	SRL	SRL	CLR	CLR	SRL
	Levantar a caixa	 93 N	SRL	SRL	CLR	CLR	SRL	SRL
	Carregar a caixa	 93 N	SRL	SRL	SRL	SRL	SRL	SRL
Preparo de substrato	Encher a betoneira	 93 N	SRL	CLR	CLR	CLR	SRL	CLR
Desinfecção de tubetes	Empurrar três bandejas	 133 N	CLR	SLR	SLR	SLR	SLR	SLR
	Empurrar uma bandeja	 4 N	SRL	SRL	SRL	CLR	SRL	CLR
Enchimento de tubetes	Pegar caixa com substrato	 147 N	SRL	SRL	SRL	CLR	SRL	CLR
		 147 N	SRL	SLR	CLR	CLR	SLR	SLR
		 147 N	SRL	SRL	SLR	CLR	SLR	SLR
	Empurrar bandejas para estaqueamento	 275 N	CLS	CLR	CLR	SRL	CLR	SRL
Transporte de minicepas	Levantar trava das mesas	 98 N	SRL	SRL	CLR	CLR	CLR	CLR
	Abaixar trava das mesas	 110 N	CLR	SRL	SRL	SRL	SRL	SRL
	Puxar carrinho de costas (cheio)	 110 N	SRL	CLR	SRL	CLR	CLR	CLR
	Puxar carrinho de frente (cheio)	 127 N	SRL	CLR	SRL	CLR	CLR	SRL
	Puxar carrinho de frente (vazio)	 49 N	SRL	SRL	SRL	CLR	SRL	SRL

Continua ...
Continued ...

Quadro 1 – Cont.
Table 1 – Cont.

Atividade	Fase do ciclo	Postura adotada e força aplicada (N)	Articulações e percentual de pessoas capazes de suportar a carga					
			1	2	3	4	5	6
Primeira seleção	Colocar bandeja na bancada para seleção (usando as duas mãos)	 80 N	SRL	SRL	SRL	CLR	SRL	SRL
	Colocar bandeja na bancada para seleção (usando uma mão)	 80 N	SRL	SRL	SRL	SRL	SRL	SRL
	Empurrar bandejas sobre bancada (12 bandejas)	 274 N	SRL	CLR	SRL	CLR	SRL	CLR
	Pegar bandeja cheia de tubetes para selecionar	 80 N	SRL	SRL	CLR	CLR	CLR	CLR
	Retirar bandeja selecionada da bancada	 36 N	SRL	SRL	SRL	SRL	SRL	SRL
Transporte de mudas	Empurrar carrinho cheio (mão direita)	 147 N	SRL	CLR	SRL	CLR	SRL	SRL
	Puxar carrinho cheio (mão esquerda)	 58 N	CLR	CLR	SRL	CLR	SRL	SRL
	Puxar carrinho cheio com as duas mãos (trilho sem manutenção)	 264 N	CLR	CLR	SRL	CLR	CLR	CLR
	Levantar bandeja de inox (encaixe desnivelado)	 686 N	SRL	SRL	CLR	CLR	CLR	CLR
	Destravar carrinho de transporte (desnívelado)	 137 N	CLR	CLR	CLR	CLR	SRL	SRL
	Destravar carrinho de transporte (desnívelado)	 275 N	CLR	CLR	CLR	CLR	SRL	CLR
	Destravar carrinho de transporte (nivelado)	 12 N	SRL	SRL	CLR	SRL	SRL	SRL
	Empurrar carrinho cheio com as duas mãos	 98 N	SRL	SRL	CLR	SRL	SRL	SRL
Tercera seleção / Expedição	Seleção em bancadas baixas	 0 N	SRL	SRL	SRL	CLR	SRL	SRL
Expedição	Carregamento manual	 44 N	SRL	SRL	SRL	CLR	SRL	SRL

SRL - Sem risco de lesão nas articulações. Mais de 99% dos trabalhadores conseguem suportar a carga imposta pela atividade sem risco para as articulações envolvidas.

CLR - Carga-limite recomendada ultrapassada. Menos que 99% dos trabalhadores conseguem suportar a carga imposta pela atividade sem risco para as articulações envolvidas.

CLS - Carga-limite superior ultrapassada. Alto risco de lesão nas articulações, menos que 25% dos trabalhadores conseguem suportar a carga sem risco para as articulações envolvidas.

Legenda: 1-Cotovelos. 2-Ombros. 3-disco L5-S1. 4-Coxofemurais. 5- Joelhos. 6-Tornozelos.

No Quadro 2, mostra-se a força de compressão no disco L5-S1, para os trabalhadores nas atividades avaliadas.

Quadro 2 – Força de compressão no disco L5-S1, nas diferentes atividades de produção de mudas, considerando o limite recomendado de 3426,3 N

Table 2 – *Compression force on the L5-S1 disc, for the different activities of seedling production, considering the recommended limit of 3426,3 N*

Atividade	Fase do Ciclo	Força de compressão no disco L5-S1 (Newton)
Lavagem de tubetes	Empurrar caixa contra o monte de tubetes	1.684 ± 112
	Levantar a caixa	2.139 ± 156
Preparo de substrato	Carregar a caixa	689 ± 29
	Encher betoneira com vermiculita	1.682 ± 108
Desinfecção de tubetes	Empurrar uma bandeja	658 ± 40
	Pegar caixa com substrato	1.490 ± 109
Enchimento de tubetes	Levantar com a caixa	2.113 ± 151
	Despejar o substrato	1.309 ± 82
Primeira seleção	Empurrar bandejas do enchimento de tubetes para o estaqueamento	1.083 ± 216
	Colocar bandejas na bancada para serem selecionadas (duas mãos)	1.088 ± 61
	Colocar bandejas na bancada para serem selecionadas (uma mão)	768 ± 35
	Empurrar bandejas sobre bancada para serem selecionadas (12 bandejas)	912 ± 56
	Pegar bandeja para selecionar	1.823 ± 131
	Retirar bandeja selecionada da bancada	322 ± 22
	Puxar carrinho (trilhos sem manutenção)	477 ± 39
	Empurrar carrinho com as duas mãos	1.795 ± 121
	Empurrar carrinho com a mão direita	1.520 ± 92
	Empurrar carrinho com a mão esquerda	859 ± 93
Transporte de mudas	Destruar carrinho puxando a trava para o lado (encaixe com a ponte desnivelado)	2.110 ± 144
	Destruar carrinho puxando a trava para cima (encaixe com a ponte desnivelado)	3.086 ± 222
	Destruar carrinho (encaixe com a ponte nivelado)	1.493 ± 112
Transporte de minicepas	Levantar bandeja de inox (encaixe desnivelado)	3.613 ± 260
	Levantar trava das mesas	2.011 ± 146
	Abaixar trava das mesas	239 ± 6
Terceira seleção	Puxar carrinho	961 ± 69
	Selecionar mudas	955 ± 68
Expedição	Carregar bandejas	772 ± 45

4. CONCLUSÕES

• Todas as atividades avaliadas ultrapassaram a carga-limite recomendada em pelo menos uma fase do ciclo e em pelo menos uma articulação do corpo, devido à adoção de posturas inadequadas associadas à aplicação de forças excessivas.

• Na atividade de enchimento de tubetes, na fase de empurrar bandejas para estaqueamento apenas 25% dos trabalhadores conseguem suportar a carga sem risco de lesão para as articulações dos cotovelos.

• O transporte manual de mudas, utilizando carrinho sobre trilhos, foi a única atividade que apresentou força de compressão do disco da coluna vertebral L5-S1 igual a 3613 [N], valor acima da carga-limite superior de 3426,3[N].

• Das fases do ciclo de trabalho avaliadas, a articulação coxofemoral foi a menos capaz de suportar carga sem risco de lesão.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHOUR, A.J. Estilo de vida e desordem na coluna lombar: uma resposta das componentes da aptidão física relacionada a saúde. **R. Bras. Ativ. Física Saúde**, v. 1, n. 1, p. 36-56, 1995.

APUD, E. et al. **Manual de ergonomia forestal**. Concepción: Laboratorio de ergonomia de la Universidad de Concepción, 1999. 315p.

COUTO, H. A. **Ergonomia aplicada ao trabalho em 18 lições**. Belo Horizonte: Ergo, 2002. 202p.

DUL, J.; WEERDMEESTER, B. **Ergonomia prática**. São Paulo: Edgard Blucher, 1995. 147p.

FIEDLER, N.C. **Avaliação ergonômica de máquinas utilizadas na colheita de madeira**. 1995. 126f. Tese (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

IIDA, I. **Ergonomia**; projeto e produção. São Paulo: Edgard Blucher, 1990. 465p.

MERINO, E.A.D. **Efeitos agudos e crônicos causados pelo manuseio e movimentação de cargas no trabalhador**. 1996. 128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

MORAES, A. **Ergonomia**: conceitos e aplicações, análise ergonômica de postos de trabalho. Manaus: WHG Engenharia e Consultoria, 1996. 163 p.

RIO, R.P. & PIRES, L. **Ergonomia**: fundamentos da prática ergonômica. São Paulo: LTR, 2001. 225p.

