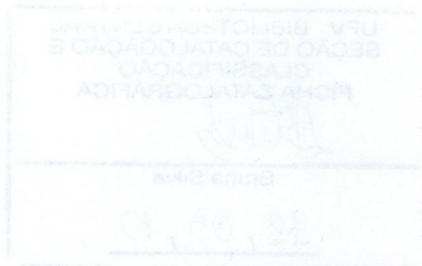


WEVERGTON LOPES HERMSDORFF

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO ERGONÔMICA DE UM MOTOCOVEADOR
HIDRÁULICO PARA PLANTIO DE ESPÉCIES FLORESTAIS

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2010



**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

H556d
2010

Hermsdorff, Wevergton Lopes, 1979-

Desenvolvimento e avaliação ergonômica de um motoco-
veador hidráulico para plantio de espécies florestais /
Wevergton Lopes Hermsdorff. – Viçosa, MG, 2010.
xvi, 75f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Haroldo Carlos Fernandes.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 66-72.

1. Máquinas florestais - Projetos e construção.
2. Ergonomia. 3. Plantio de florestas. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 631.3

WEVERGTON LOPES HERMSDORFF

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO ERGONÔMICA DE UM MOTOCOVEADOR
HIDRÁULICO PARA PLANTIO DE ESPÉCIES FLORESTAIS

Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola, para
obtenção do título de Magister Scientiae.

APROVADA: 22 de fevereiro de 2010.



Prof. Luciano José Minette
(Co-Orientador)




Prof. Luciano Baião Vieira



Prof. Cleverson de Mello Sant'Anna



Prof. Mauri Martins Teixeira



Prof. Haroldo Carlos Fernandes
(Orientador)

À minha família

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelos recursos que financiaram a execução do projeto, pois sem a mesma seria improvável a realização do mesmo.

À minha esposa e melhor amiga, Marcilene Keller Hermsdorff, pelo apoio, incentivo e força nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais Heloisa e Wevergton, pelo amor, pela atenção, por acreditarem no meu esforço e por terem devotado uma vida para poderem financiar meus estudos.

Aos meus irmãos pelo amor e amizade que sempre demonstraram.

Ao Tio Ney e Tia Rose pela amizade, carinho e consideração.

Ao Professor Haroldo de Carlos Fernandes, pela orientação, paciência, amizade e por acreditar no meu potencial.

Ao Professor Minette pela oportunidade de poder trabalhar neste projeto, por acreditar em meu trabalho, pela amizade, os bons conselhos e ensinamentos.

Ao Professor Amaury por todo apoio técnico e teórico, além dos conselhos e sugestões.

Ao Professor José Ivo pela paciência e atenção em me auxiliar na elaboração e tratamento estatístico.

Aos professores do Departamento de Engenharia Agrícola e Engenharia de Produção.

Aos amigos do laboratório de Mecanização Agrícola que tanto me ajudaram na coleta de dados (Fred, Wagner, André, Sérgio e Raphael).

Ao amigo Gilton Victor, de Ipatinga, pela sua enorme atenção e informações que nos foram tão úteis.

Ao Professor Pedro Santos, de São Paulo, pela atenção e incentivo ao desenvolvimento do projeto.

Ao Rodrigo e Mauro Mançano, da Hydraulic Designers, e toda sua equipe que abraçou nossa ideia.

E às inúmeras pessoas que, de direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desse meu processo de crescimento pessoal e profissional.

BIOGRAFIA

WEVERGTON LOPES HERMSDORFF, filho de Wevergton Hermsdorff e Heloisa Lusia Lopes Hermsdorff, nasceu em 19 de abril de 1979, na cidade de Manhuaçu, Minas Gerais.

Em dezembro de 1996, concluiu o curso técnico em eletrônica pela Escola Técnica da Univale (ETEIT), em Governador Valadares, MG.

Em março de 2001, iniciou o Curso de Graduação em Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Viçosa (UFV) e, em 2005, transferiu-se para o curso de Engenharia de Produção na mesma instituição, concluindo-o em dezembro de 2007.

Em janeiro de 2008, ingressou no Programa de Pós-graduação, em nível de Mestrado em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa (UFV), área de concentração em Mecanização Agrícola, submetendo-se à defesa da dissertação em fevereiro de 2010.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE QUADROS	xii
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT	xv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Setor florestal.....	3
2.2. Mecanização florestal	5
2.3. A etapa de coveamento	6
2.4. Ergonomia.....	8
2.4.1. Antropometria	10
2.4.1.1. Antropometria estática	12
2.4.1.2. Antropometria dinâmica	12
2.4.2. Distúrbios músculo-esqueléticos relacionado ao trabalho	13
2.4.3. Carga de trabalho físico.....	14
2.4.4. Fatores ambientais	16
2.4.4.1. Ruído.....	16
2.4.4.2. Vibração.....	17
2.5. Sistemas hidráulicos	20
3. MATERIAL E METODOS	23

3.1.	Caracterização da área de estudos	23
3.1.1.	Determinação do teor de água do solo.....	24
3.1.2.	Determinação da inclinação das áreas.....	25
3.2.	Variáveis ergonômicas para desenvolvimento do motocoveador hidráulico 25	
3.2.1.	Seleção de variáveis antropométricas	25
3.2.2.	Descrição das medidas antropométricas.....	26
3.2.3.	Análise dos dados antropométricos.....	27
3.3.	Desenvolvimento do protótipo do motocoveador hidráulico.....	28
3.3.1.	Motocoveador Hidráulico	28
3.3.1.	Trado utilizado no coveamento.....	29
3.4.	Variáveis mecânicas para o desenvolvimento do motocoveador hidráulico	30
3.5.	Análise ergonômica do motocoveador hidráulico.....	31
3.5.1.	Avaliação da carga de trabalho	31
3.5.2.	Avaliação biomecânica da atividade.....	34
3.5.3.	Ruído	35
3.5.4.	Vibração.....	36
3.6.	Capacidade Operacional Efetiva.....	38
3.6.1.	Determinação dos tempos.....	39
3.7.	Análise estatística	40
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1.	Construção do motocoveador hidráulico.....	41
4.2.	Protótipo do motocoveador hidráulico.....	49
4.3.	Carga física de trabalho	50
4.4.	Avaliação biomecânica	52
4.5.	Antropometria.....	56
4.6.	Agentes físicos.....	58
4.6.1.	Ruído	58
4.6.2.	Vibração.....	60
4.7.	Capacidade Operacional Efetiva.....	62
4.8.	Determinação do teor de água no solo	64
5.	CONCLUSÕES	65
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66

APÊNDICES.....	73
APÊNDICE A.....	74
APÊNDICE B.....	75

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Abertura de cova com motocoveador mecânico	7
Figura 2: Exemplos de medidas antropométricas.	11
Figura 3: Reações do organismo ao trabalho dinâmico	15
Figura 4: Freqüências naturais do corpo humano	18
Figura 5: Eixos referenciais para análise de vibração	19
Figura 6: Sistema de coordenadas cartesianas para a mão (ISO 5349).....	20
Figura 7: Esquema de um sistema hidráulico.....	21
Figura 8: Coleta das amostras para determinação da umidade do solo	24
Figura 9: Clinômetro utilizado na demarcação das áreas	25
Figura 10: Motocoveador com motor hidráulico	29
Figura 11: Trado padrão utilizado no coveamento	30
Figura 12: Sistema "Polar Eletro Oy" utilizado no experimento.....	32
Figura 13: Tela do "3D Static Strength Prediction Program" (University of Michigan)	34
Figura 14: Determinação da angulação dos segmentos corporais por meio do Gimp	35
Figura 15: Coleta dos níveis de ruído com decibelímetro digital	36
Figura 16: Sensor e medidor de vibração 01dB Maestro	37
Figura 17: Montagem do sensor de vibração no motocoveador na região das mãos	37
Figura 18: Área utilizada para o cálculo da capacidade operacional efetiva	39
Figura 19: Diagrama esquemático de funcionamento do motocoveador	42

Figura 20: Corte longitudinal do módulo hidráulico	43
Figura 21: Dimensões do reservatório hidráulico	43
Figura 22: Vista lateral esquerda, corte longitudinal e vista lateral direita	44
Figura 23: Reservatório e bomba de óleo	45
Figura 24: Sistema tipo “berço” do módulo hidráulico	45
Figura 25: Dimensões das partes responsáveis pela articulação do berço.....	46
Figura 26: Representação esquemática para usinagem do bloco “manifold”	47
Figura 27: Dimensões utilizadas na montagem da estrutura do motocoveador	48
Figura 28: Detalhes das dimensões do motor hidráulico e bloco manifold.....	48
Figura 29: Adaptador utilizado para o acoplamento do motor hidráulico ao trado.....	49
Figura 30: Versão final do conjunto do motocoveador hidráulico	49
Figura 31: Freqüência cardíaca observada na atividade de coveamento semimecanizado em função do tempo	51
Figura 32: Compressão nos discos intervertebrais L4/L5 em função da inclinação do terreno	52
Figura 33: Simulação da pior postura em 34° para a proposta de aumento do eixo do trado	56
Figura 34: Medida do comprimento útil da mão e dimensões da pega e manete	58
Figura 35: Nível de ruído médio (La) e Nível máximo de ruído	59
Figura 36: Estimativa do ruído em função da inclinação do terreno	60
Figura 37: Capacidade operacional efetiva em função da inclinação do terreno	63

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1: Classificação da carga de trabalho físico através da frequência cardíaca	33
Tabela 2: Avaliação da carga física de trabalho exigido em função da inclinação do terreno na operação de coveamento.....	50
Tabela 3: Simulação da carga no disco intervertebral L4/L5 e segmentos afetados por meio do software 3DSSPP	53
Tabela 4: Estimativa dos valores de compressão no disco intervertebral L4/L5 devido ao efeito da inclinação do terreno	56
Tabela 5: Estimativa dos valores de vibração em função da inclinação do terreno ..	61
Tabela 6: Resultados do número da amostra (N'), tempo médio (Tm) e capacidade operacional efetiva (Ce)	62
Tabela 7: Resultados do teor médio de água no solo (%) em função das diferentes inclinações do terreno	64
Tabela 8: Amostras de tempo (segundos) para a coleta de dados em função da inclinação do terreno e o número de covas por parcela.....	74
Tabela 9: Resultados da umidade média do solo (%) em função das diferentes inclinações do terreno	75

LISTA DE QUADROS

	Página
Quadro 1: Frequências de ressonância de partes do corpo submetidas a vibrações no sentido vertical	18
Quadro 2: Percentis, Média, Desvio-Padrão e Coeficiente de Variação do Levantamento Antropométrico dos Operadores (Indivíduo em Pé).....	27
Quadro 3: Percentis, Média, Desvio-Padrão e Coeficiente de Variação do Levantamento Antropométrico dos Operadores (Dimensões da Mão).....	27
Quadro 4: Descrição do Motocoveador mecânico.....	30
Quadro 5: Limites de exposição à vibração determinada pela Diretiva 2002/44 da Comunidade Européia.....	38
Quadro 6: Variáveis antropométricas utilizadas na construção do motocoveador	57
Quadro 7: Aceleração nos três eixos e limite máximo de exposição para 8 horas....	61

RESUMO

HERMSDORFF, Wevergton Lopes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2010. **Desenvolvimento e avaliação ergonômica de um motocoveador hidráulico para plantio de espécies florestais.** Orientador: Haroldo Carlos Fernandes. Co-Orientadores: Luciano José Minette e Amaury Paulo de Souza.

O eucalipto tem significativa importância para o agronegócio florestal brasileiro, em relação ao PIB (produto interno bruto) ele participa com cerca de 4%. Entre os setores que mais demandam madeira destacam-se a indústria de móveis e a de papel e celulose, setores que vivenciam alterações em sua base produtiva devido às exigências legais e mercadológicas. Por essas razões, as empresas florestais vêm aumentando o interesse em conquistar certificações que as aprovem em seus requisitos relacionados aos tratamentos culturais e/ou segurança e saúde como FSC (Forest Stewardship Council) e OSHA 18.000 (Occupational Safety and Health Administration). Dessa forma, aumentam seus investimentos em ergonomia garantindo sua participação no mercado, agregando valor aos seus produtos, reduzindo custos com absenteísmo e doenças laborais e com conseqüente aumento de produtividade. Na visão ergonômica, a preservação da saúde do trabalhador, aliada à evolução tecnológica da mecanização, pode produzir aumentos de produção significativos. Assim, objetiva-se com o presente trabalho desenvolver um motocoveador hidráulico para o plantio de espécies florestais, que atenda às normas brasileiras de segurança de trabalho e cumpra os pressupostos ergonômicos,

visando a preservação da saúde, a melhoria do conforto, da segurança, do bem-estar e ao aumento da eficiência dos trabalhadores. O desenvolvimento do protótipo do motocoveador hidráulico foi realizado em duas etapas; a primeira consistiu no levantamento dos principais parâmetros para a definição dos requisitos que o mesmo deve atender e, a segunda, se deu com a avaliação ergonômica da operação com a versão final do protótipo, conduzido em quatro diferentes inclinações de solo. Para a avaliação do protótipo foi utilizada uma área pertencente à Universidade Federal de Viçosa – UFV, localizada na cidade de Viçosa, MG, sendo determinada a umidade do solo entre 18,7 e 20,9%. O protótipo possui 15 kg (com o trado de perfuração) e suas dimensões foram determinadas por meio de percentis (95%) das medidas antropométricas de uma amostra populacional de operadores responsáveis pelo coveamento para plantio de eucalipto. A avaliação da carga física de trabalho foi realizada pelo monitoramento cardíaco para a determinação da carga cardiovascular, sendo a operação da máquina considerada leve por esta metodologia. A avaliação biomecânica foi realizada por meio de simulação da postura de operação e o respectivo peso da máquina por meio do software 3DSSPP da Universidade de Michigan, tendo mostrado que em apenas uma postura o valor máximo de compressão no disco intervertebral L4/L5 foi ultrapassado. Os níveis de ruído foram avaliados por meio de um decibelímetro digital posicionado perto do canal auditivo do operador, indicando valores médios de ruído em torno de 76 dB(A), abaixo do limite máximo para uma jornada de 8 horas diárias de trabalho. A coleta dos níveis de vibração foram realizadas por meio de um acelerômetro digital e comparados com a norma européia (máximo de 5 m s^{-2} por 8 horas de trabalho). Entretanto, os valores medidos ficaram entre 6,6 e 7,8 m s^{-2} , ou seja, acima do aceitável. A capacidade operacional efetiva (C_e) foi determinada por meio da cronometragem de realização de cada cova em cada uma das inclinações, os tempos tratados por meio da metodologia proposta por Barnes (1977) para determinação do tempo médio e assim calcular a C_e , sendo encontrado 0,0919 a 0,1093 ha h^{-1} , dependendo da inclinação do solo. Pela análise dos resultados, a máquina desenvolvida se mostrou eficiente para todas as inclinações analisadas, podendo ser uma alternativa viável para as empresas florestais.

ABSTRACT

HERMSDORFF, Wevergton Lopes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2010. **Development and evaluation of an ergonomic hydraulic motocoveador for planting forest species.** Adviser: Haroldo Carlos Fernandes. Co-Advisers: Luciano José Minette and Amaury Paulo de Souza.

Eucalyptus has a significant importance for agribusiness forestry Brazil, in relation to GDP (gross domestic product) it participates with about 4%. Among the sectors that require more wood stand out furniture industry and paper and pulp industries experiencing changes in its production base due to legal requirements and marketing. For these reasons, the forest companies have been increasing their interest in gaining certifications that endorse on your requirements related to cultural practices and / or safety and health as FSC (Forest Stewardship Council) 18000 and OSHA (Occupational Safety and Health Administration). Thus, they increase their investments in ergonomics guaranteeing market share, adding value to their products, reducing costs and absenteeism and industrial diseases consequent increase in productivity. In view ergonomic, preservation health worker, allied to technological mechanization, can produce significant increases in production. Thus, the objective is to this work is to develop a hydraulic motocoveador for planting forest species, which meets safety standards in Brazil work and meets the ergonomic conditions, to preserve the health, improved comfort, safety, welfare and increased efficiency of workers. The development of the prototype motocoveador

hydraulics was conducted in two stages: the first an appraisal of the main parameters for defining requirements that it must meet, and the second was with the assessment ergonomic operation with the final version of the prototype, conducted in four different slopes of soil. For the evaluation of the prototype was used an area belonging to the Universidade Federal de Viçosa - UFV, located in the city of Viçosa, MG, determining soil moisture between 18.7 and 20.9%. The prototype has 15 kg (with the auger drilling) and its dimensions were determined by means of percentiles (95%) of anthropometric measurements of a sample of operators responsible by pitting for eucalyptus plantation. The evaluation of physical load of work was performed by cardiac monitoring for determination of cardiac load, and the operation of the machine considered mild by this methodology. Biomechanical analysis was performed by simulating the posture and its operation weight of the machine through the software 3DSSPP University of Michigan, having shown that in only one posture the maximum compression in L4/L5 intervertebral disc was exceeded. Noise levels were evaluated using a digital decibel meter positioned near the channel hearing of the operator, indicating average values of noise around 76 dB (A) below the ceiling for a day of eight hours daily work. The collection of vibration levels were performed using a digital accelerometer and compared with the European norm (maximum of 5 m s^{-2} for 8 hours of work). However, the measured values were between 6.6 and 7.8 m s^{-2} , ie, above the expected. The operational capability effective (Ce) was determined by the timing of completion of each hole in each of the slopes, the Times treated by methodology proposed by Barnes (1977) for determining the mean and thus calculate the Ce, being found from 0.0919 to 0.1093 ha h^{-1} , depending the slope of the ground. Based on these results, the machine developed was efficient for all inclinations analyzed may be a viable alternative to the forestry companies.

1. INTRODUÇÃO

O eucalipto tem significativa importância para o agronegócio florestal brasileiro. Em relação ao PIB (produto interno bruto), ele participa com cerca de 4%.

Os mercados nacional e internacional demandam um volume de madeira que não pode mais ser suprido apenas pelas florestas nativas devido às restrições legais. Assim, o cultivo de espécies exóticas é fundamental tanto pela sua qualidade quanto pelo seu pequeno tempo entre plantio e colheita, além da facilidade de mecanização, com menores custos operacionais, devido ao alto nível de padronização.

Em relação aos setores que mais demandam madeira, destacam-se a indústria de móveis e a de papel e celulose, setores que vivenciam alterações em sua base produtiva devido às exigências legais e mercadológicas.

Como em qualquer era, o consumidor moderno também possui seus desejos de compra. Entretanto, a cada dia, está cada vez mais exigente, demandando produtos que possuam origem conhecida e que sejam produzidos de forma que respeite o meio ambiente e não cause impactos sociais. Dessa forma, a sobrevivência de qualquer empresa depende do atendimento do desejo de seus clientes.

Por essas razões, as empresas florestais vêm aumentando o interesse em conquistar certificações que as aprovem em seus requisitos, relacionados aos tratamentos culturais e/ou segurança e saúde como FSC (Forest Stewardship Council) e OSHA 18.000 (Occupational Safety and Health Administration), aumentando, assim, seus investimentos em ergonomia, garantindo sua participação no mercado, agregando

valor aos seus produtos, reduzindo custos com absenteísmo e doenças laborais e conseqüente aumento de produtividade.

Na visão ergonômica, a preservação da saúde do trabalhador aliada à evolução tecnológica da mecanização, pode produzir aumentos significativos de produção.

Quando se analisa o processo produtivo de espécies florestais, percebe-se que existem máquinas modernas que facilitam sobremaneira a colheita, exigindo altos investimentos iniciais, mas que garantem o retorno financeiro e reduzem o número de trabalhadores expostos aos fatores de risco à saúde.

Para o coveamento, não existem muitas máquinas ou equipamentos especiais, sendo que estes poucos se mostram problemáticos no quesito ergonomia, impondo altos níveis de vibração e ruído, posturas inadequadas, alta demanda física e transporte de cargas aos operadores, expondo o trabalhador a muitos riscos.

A intervenção de profissionais da área da ergonomia, saúde e segurança do trabalho é de grande importância para a melhoria das condições no ambiente de trabalho, respeitando as capacidades e limitações dos trabalhadores, atuando de maneira continuada na busca em adaptar o trabalho ao homem, respeitando assim as leis vigentes, brasileiras e internacionais, que regem as condições de um ambiente laboral.

Dessa forma, objetiva-se com o presente trabalho desenvolver um motocoveador hidráulico a ser utilizado no coveamento para plantio de espécies florestais que atenda às normas brasileiras de segurança de trabalho e cumpra os pressupostos ergonômicos, visando a preservação da saúde, a melhoria do conforto, da segurança, do bem-estar e ao aumento da eficiência dos trabalhadores.

Especificamente, objetiva-se:

- a. Definir as variáveis ergonômicas e mecânicas por meio de estudos prévios para o seu dimensionamento.
- b. Desenvolver o protótipo do motocoveador hidráulico.
- c. Analisar ergonomicamente o motocoveador hidráulico.
- d. Determinar a capacidade operacional efetiva da máquina.
- e. Elaborar um modelo matemático que possibilite relacionar capacidade operacional, compressão no disco vertebral, níveis de ruído e de vibração e carga física do trabalho por meio de equação de regressão.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Setor florestal

Ao longo da história, as florestas têm sido exploradas devido à variedade de benefícios e produtos que delas provêm, tanto para a subsistência quanto para o comércio, tais como: madeira, lenha, alimentos, produtos medicinais, especiarias, resinas, gomas, óleos, entre outros (CARVALHAES et al., 2008).

De acordo com Burla (2008), quando as atividades florestais deixaram de ser basicamente extrativistas e tomaram conotação comercial, com demanda de planejamento e controle, passaram a ser mais estudadas, com uso de técnicas mais eficazes proporcionando melhor rendimento.

A demanda por matéria-prima energética diminuiu nesse período, mas já apresenta tendência de crescimento. Em contrapartida, o consumo de material nobre, incluindo produtos de fibras, cresceu e a substituição da madeira nobre vinda da Amazônia, enseja plantios para substituir esse produto. As necessidades de plantios florestais estão condicionadas tanto pela demanda como por novos produtos e serviços, principalmente os ambientais, como os incluídos no Protocolo de Kyoto¹ (CASTANHO FILHO, 2006).

¹ Tratado assinado em 1997 na cidade de Kyoto, Japão, durante a conferência promovida pela ONU que determina que os países signatários devam reduzir suas emissões de gases do efeito estufa como medida de combater o aquecimento global

O setor florestal vem ganhando mais espaço no cenário brasileiro e mundial, visto que a legislação para a exploração de matas nativas tem se tornado mais rigorosa, acompanhando a tendência e a necessidade de preservação. Neste contexto, o investimento em florestas plantadas tem crescido a cada dia, aumentando seu nível tecnológico como forma a atender a crescente demanda.

De acordo com Ferreira [200-], o Brasil possui grande destaque no cenário mundial do mercado de celulose, com nível de produtividade de madeira proveniente de reflorestamento muito superior a de países como Canadá e Estados Unidos. Nesse contexto, o Brasil busca consolidar sua vocação, também, em outros campos da produção de bens florestais. A grande competitividade do país no agronegócio florestal é garantida, principalmente, por suas características edafoclimáticas e pelo avanço tecnológico na área de silvicultura.

As indústrias, siderúrgicas e de celulose do estado de Minas Gerais demandam grande volume de madeira e de carvão como fonte de energia para as suas atividades e o cultivo do eucalipto tem-se apresentado como a opção viável no atendimento desta demanda.

O eucalipto é plantado, atualmente, em quase todo o mundo, por ser uma cultura que possui espécies diversificadas e adaptáveis às várias condições de clima e solo. Para se ter idéia da diversificação das espécies, existem eucaliptos que se adaptam muito bem em regiões de temperatura máxima de 35°C e outras que suportam frio de até 18°C abaixo de zero. A maioria das espécies plantadas no Brasil apresenta crescimento rápido, produzindo grande quantidade de madeira (CASTANHO FILHO, 2008).

Segundo o Anuário Estatístico da Associação Brasileira de Florestas Plantadas (ABRAF) de 2009, em 2008 as áreas de florestas plantadas com eucalipto e pinus acumularam aproximadamente 6.126.000 ha, representando aumento de aproximadamente 282.000 ha plantados em relação ao total estimado em 2007 (5.844.367 ha). O aumento percentual de área plantada de eucalipto foi de 7,3%, entretanto, houve uma redução de 0,4% de pinus, resultando em aumento de 4,38% na área de florestas plantadas.

2.2. Mecanização florestal

O estudo da mecanização no setor florestal já é realizado há várias décadas por países de maior tradição e dependência deste setor, visto que este desenvolvimento iniciou-se com a adaptação de equipamentos agrícolas; entretanto, este tipo de solução, apesar de ainda ser muito usado (principalmente por pequenos produtores), não atende totalmente ao aumento da demanda e às dificuldades relacionadas à mão-de-obra e à capacidade produtiva, gerando a necessidade de desenvolvimento de novos equipamentos específicos para este setor (SALMERON, 1980).

Por meio do desenvolvimento e da evolução das máquinas e dos equipamentos florestais, iniciados a partir da década de 1990, algumas atividades que eram realizadas de forma rudimentar e empírica, evoluíram e se tornaram semi-mecanizadas ou mecanizadas na atividade de implantação florestal. Essas máquinas se adequam às condições exigidas pelo terreno para alcançar e garantir a sustentabilidade econômica, ambiental e social, garantindo a saúde e a segurança no trabalho.

O processo de mecanização, inicialmente, requer altos investimentos, entretanto, este é realizado em prol do aumento da produtividade e da redução dos custos de produção (FONTES, 1996). Isso se dá pelo aumento da capacidade e redução do custo com mão de obra, que inclui encargos financeiros elevados.

De acordo com Lopes (2007) a produção brasileira arca com elevados custos relacionados aos encargos sociais. Esse autor, citando Moreira (1992), afirma que houve um aumento de 308% naqueles encargos no período de 1970 a 1992, e, ainda, devido à falta de mão de obra, viabilizou a introdução de métodos mecanizados.

As etapas para a implantação de florestas de eucalipto são: limpeza da vegetação, abertura de carregadores e estradas, controle de erosão, controle de formigas e cupins, preparo do solo (marcação de covas, coveamento, sulcamento, adubação, correção de acidez etc), plantio e replantio, irrigação e tratamentos culturais (capinas, roçadas e aplicações de herbicida e adubo).

A topografia do terreno é um fator importante para se determinar se uma atividade pode ser total ou parcialmente mecanizada. Em geral, terrenos cuja

inclinação é muito acentuada, ou seja, acima de 22° (40% de declividade), não permitem que as atividades sejam totalmente mecanizadas. Portanto, essas atividades são realizadas manualmente ou são semi-mecanizadas. Ao ser exposto a um trabalho sob tais condições, a saúde do trabalhador é afetada e o risco de lesões é acentuado.

2.3. A etapa de coveamento

O coveamento do solo pode ser realizado de três formas: manual (enxada), mecanizado (feito com implementos acoplados em tratores agrícolas) e o semi-mecanizado (feito com equipamento motorizado portátil).

Com o coveamento semi-mecanizado houve avanço tecnológico no setor de implantação florestal, aumentando a produtividade das empresas. No entanto, essa atividade apresenta uma série de problemas ergonômicos como posturas inadequadas, vibração, elevada carga de trabalho físico e de manuseio de cargas, entre outros que, se não forem corrigidos ou prevenidos, poderão acarretar danos à saúde dos trabalhadores (SILVA et al., 2007).

A introdução do motocoveador mecânico possibilitou ao trabalhador abolir a forma rudimentar utilizada anteriormente para realizar a atividade, diminuindo o tempo de execução da tarefa. Porém, a atividade continuou apresentando elevada exigência física merecendo, portanto, estudos para melhorar as condições de segurança, de conforto e de bem estar do trabalhador.

O coveamento é realizado por um operador que utiliza um motocoveador mecânico. O operador observa os locais previamente demarcados, posicionando o trado sobre o solo e o perfurando, conforme ilustra Figura 1. Esta operação tem seu início na parte mais baixa do terreno em sentido longitudinal, de forma que o operador sobe e desce coveando. O ciclo de trabalho inicia-se no momento em que o operador posiciona o trado sobre a demarcação no solo, perfurando-o; logo após, o operador desloca-se com o motocoveador à próxima demarcação, reiniciando o ciclo.



Figura 1: Abertura de cova com motocoveador mecânico

O trabalhador que atua na atividade de coveamento semi-mecanizado sobe e desce terrenos com inclinação superior a 22° (40%), carregando o motocoveador mecânico que pesa cerca de 17 kg abastecido, além do trado.

A situação de trabalho ainda é agravada em função da elevada carga de trabalho físico, elevado nível de ruído, alta vibração, alta exigência de forças, posturas forçadas e inadequadas, falta de pausas, repetitividade de movimentos durante toda a jornada de trabalho e por vários anos, apresentando, ainda, baixa produtividade em função do solo, raízes, pedras e por não possuir reversão de rotação na máquina.

Os altos níveis de vibração gerado por estas máquinas podem causar transtornos de circulação nas extremidades dos membros superiores com aparecimento de câimbras e dormências, bem como o fenômeno de Raynaud (dores nas extremidades dos membros superiores quando em ambiente de baixa temperatura).

2.4. Ergonomia

Ergonomia significa, literalmente, o estudo ou a medida do trabalho, sendo este, uma atividade humana com um propósito, indo além do conceito mais limitado do trabalho como uma atividade para obter um benefício econômico, ao incluir todas as atividades em que o operador sistematicamente persegue um objetivo (LAURIG e VEDDER, 1998).

Para Lida (2005):

Ergonomia é o estudo do relacionamento entre o homem e o seu trabalho, equipamento e ambiente e, particularmente, a aplicação dos conhecimentos de anatomia, fisiologia e psicologia na solução dos problemas surgidos desse relacionamento.

O objetivo da ergonomia é assegurar satisfação, segurança e bem-estar aos trabalhadores em relação ao trabalho, à tarefa, ao equipamento, ao meio ambiente e às relações pessoais no ambiente de trabalho (ROYAS, 2001).

Santos e Fialho (1995) afirmam que a ergonomia volta o olhar para a análise do trabalho, visto que nessa análise pode-se identificar seu objetivo considerando a realidade da atividade humana, que é singular e determinada por fatores externos que ela mesma modifica. Nessa relação está presente a intervenção ergonômica, com suas diversas modalidades e resultados esperados. Os autores acima mencionados afirmam que é a partir do estudo aprofundado de determinada situação, em seu espaço e tempo, é que se pode evidenciar problemas gerais e propor soluções para os mesmos.

Silva Filho (1995) enfatiza a situação do trabalhador enfocando a visão antropocêntrica da Ergonomia, que possui seus princípios voltados à consideração das pessoas no trabalho e acredita que esses princípios podem ser úteis para o estabelecimento de propostas de modelos participativos que se apresentam melhor adaptados ao meio ambiente.

Dessa forma, pode-se dizer que a Ergonomia tem como objetivo principal a adaptação do ambiente de trabalho ao trabalhador respeitando os limites de capacidade do ser humano, apontando pontos críticos de inadequação, avaliando padrões de comportamento, e, também, na interação adequada e confortável do

homem, assim como se preocupa com a melhoria e conservação da saúde do mesmo.

Segundo Moraes e Mont'Alvão (2000), as atividades e o seu ambiente físico e social exercem sobre os trabalhadores constrangimentos, exigindo-lhes gastos físico, mental, emocional e afetivo, ocasionando desgastes e custo. Afirma que a atividade profissional pode causar prazer e satisfação de acordo com a tarefa realizada e que a carga de trabalho resulta em custos humanos que se expressam em sintomas físicos e psíquicos, doenças profissionais, acidentes, mortes, incapacitações, entre outros.

Uma citação interessante de Laville (1977), das palavras da Sra. S. Pacaud, diz que “o que é verdadeiro para a Ergonomia é verdadeiro para toda a ciência interdisciplinar: não é a matéria apenas que a torna autônoma, mas o objetivo. É ele que orienta e guia as pesquisas aplicadas e teóricas”. Esta remete ao conteúdo interdisciplinar da ergonomia, visto que ela busca suporte científico nas diversas áreas da ciência seja na psicologia, na medicina, na engenharia, na matemática, na estatística, e em muitas outras, tudo para disponibilizar postos de trabalho e instrumentos confortavelmente adaptados à estrutura humana com segurança e eficiência.

A Associação Brasileira de Ergonomia (ABERGO) considera que a ergonomia (ou Fatores Humanos) é uma disciplina científica relacionada ao entendimento das interações entre os seres humanos e outros elementos ou sistemas, e à aplicação de teorias, de princípios, de dados e de métodos a projetos a fim de otimizar o bem estar humano e o desempenho global do sistema.

Alguns autores afirmam que a ergonomia não é uma ciência e sim uma tecnologia, pois ela rege e organiza a relação homem-máquina. Outros, a consideram como a ciência do homem e de suas atividades, mas todos concordam com os objetivos dela, ou seja, adaptar o trabalho ao ser humano.

Uma análise ergonômica é realizada quando se deseja identificar o conjunto de variáveis de risco a que os trabalhadores estão sujeitos, sejam de origem física ou biológica. Esta análise científica abrange a situação dos postos de trabalho e as atividades executadas, tendo como saída as indicações das variáveis problemáticas e suas respectivas propostas para a adequação e a conformidade com a lei trabalhista.

De acordo com Lida (2005), as abordagens ergonômicas podem ser classificadas dependendo do momento da intervenção:

- 1) Ergonomia de Concepção: é aquela ocorrida na fase inicial de projeto de produtos, de máquinas ou do ambiente. Nessa fase as decisões são baseadas em hipóteses e simulações.
- 2) Ergonomia de Correção: é aquela ocorrida em situações já existentes, como segurança e/ou na quantidade ou na qualidade da produção.
- 3) Ergonomia de Conscientização: ocorrida para resolver os problemas pendentes nas fases anteriores ou, ainda, os problemas surgidos pelo desgaste natural dos sistemas produtivos. É realizada, muitas vezes, através de cursos de capacitação (treinamentos) e reciclagem.

2.4.1. Antropometria

A palavra antropometria, deriva de duas palavras gregas que significam homem e medidas, ou seja, significa medição do corpo humano (BRIDGER, 2003). É um ramo fundamental da antropologia física que trata do aspecto quantitativo e conta com um amplo conjunto de teorias e práticas dedicadas a definir métodos e variáveis (LAURIG e VEDDER, 1998)

De acordo com Añes (2000), no final do século XIX e no início do século XX houve consideráveis avanços nos estudos detalhados do homem, principalmente pelo uso de ferramentas estatísticas. O setor que mais se beneficiou e auxiliou no avanço da antropometria foi o setor militar, durante a Guerra Civil Americana, e a Primeira e a Segunda Guerras Mundiais.

Para Lida (2005) a antropometria trata das medidas físicas do corpo humano, e que não basta apenas medir pessoas, deve-se levar em consideração as condições das medidas como se a pessoa medida está com ou sem roupas/calçados, se está ereta ou relaxada, visto que estas influenciam os resultados.

De acordo com Brito (2007) “as medidas antropométricas permitem verificar o dimensionamento e o grau de adequação dos produtos e postos de trabalho em geral”. Essa afirmação reforça a importância da concepção de máquinas e ferramentas adaptados às características físicas da população, de forma a garantir a tríade ergonômica, ou seja, conforto, segurança e eficiência.

As medidas antropométricas são utilizadas para adequar postos de trabalho, inclusive ferramentas, máquinas e móveis aos seus operadores, de forma a melhorar as condições de conforto e a qualidade dos serviços/produtos por meio da redução de erros, de índices de acidentes e de fadiga.

Alves (2004) completa que o estudo antropométrico subsidia o projetista no desenvolvimento de equipamentos e ambientes de trabalho que objetivam a satisfação do usuário, visto que se o operador apresenta dificuldade em manipular um equipamento ou se sinta desconfortável no ambiente de trabalho, isto refletirá em descontentamento e em desmotivação.

Diversos autores (MINETTE, 1996; SCHLOSSER et al, 2002; FIEDLER, 1995) realizaram estudos antropométricos em diversos equipamentos ou máquinas agrícolas/florestais e em todos os casos foram observados incompatibilidade das dimensões destes em relação aos operadores. Vale lembrar que essas diferenças se devem ao fato de que aquelas máquinas foram projetadas para os padrões de operadores europeus, que diferem significamente dos padrões brasileiros.

Primeiramente deve-se obter as medidas antropométricas, como por exemplo as da Figura 2, da população para que se obtenha “uma postura correta, uma posição mais favorável ao corpo e maiores velocidade e precisão dos movimentos musculares aumentando, assim, a eficiência dos movimentos dos membros e do operador” (MINETTE et al., 2002). Esses mesmos autores afirmam que não existe um padrão de medidas, o que demonstra que essas medidas variam de individuo para individuo.

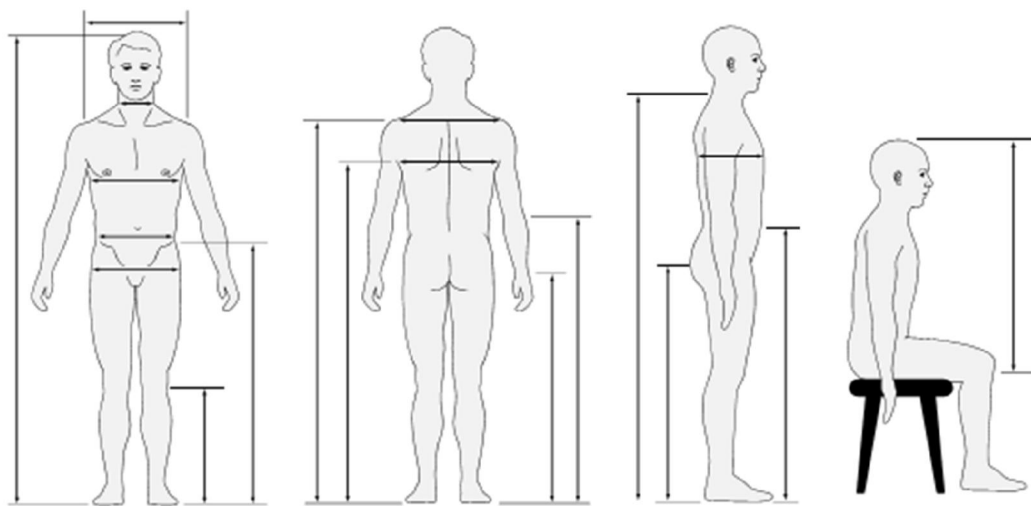


Figura 2: Exemplos de medidas antropométricas.
Fonte: Laurig e Vedder (1998)

Os autores Laurig e Vedder (1998), na ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO, afirmam:

No campo da ergonomia e segurança, o principal problema é adaptar o equipamento e espaço de trabalho para as pessoas, sendo absolutamente necessário ter uma referência precisa do espaço para cada medição. Portanto, os valores de referência devem estar relacionados com alturas, devendo também indicar as alturas e as inclinações. Em um estudo em particular, o número de variáveis devem ser minimizados para evitar estresse desnecessário ao assunto e ao operador.

Os dados antropométricos coletados são apresentados em percentis (5%, 50% ou 95%), que significam a proporção da população cuja medida é inferior a um destes valores, ou seja, para um percentil de 95% os valores encontrados são de valor igual ou inferior a este, e que o restante (5%) correspondem ao extremo superior da referida variável (IIDA, 2005).

2.4.1.1. Antropometria estática

Couto (1996) afirma que a antropometria estática já é utilizada há muito pelas forças armadas, entretanto, seu uso começou a se expandir para o setor privado a partir da década de 50, que buscava atender ao mercado e oferecer maior conforto e reduzir acidentes e doenças.

2.4.1.2. Antropometria dinâmica

Durante aproximadamente o mesmo período em que se estudou as dimensões corporais estáticas, o interesse no estudo dos movimentos foi desenvolvido. Em muitos estudos, a ênfase foi no uso dos movimentos corporais para o melhor desempenho do trabalho. Tal interesse, baseado na aplicação das ciências físicas em vez das ciências biológicas, foi rapidamente classificada num grupo de atividades chamada engenharia (AÑES, 2000).

2.4.2. Distúrbios músculo-esqueléticos relacionado ao trabalho

O ser humano, em diversos aspectos, pode ser comparado a uma máquina. Muito do conhecimento da Ergonomia Aplicada ao Trabalho advém do estudo da mecânica da máquina humana. Os engenheiros mecânicos têm desenvolvido estudos analisando as características mecânicas dessa máquina e, com isso, deduzido uma série de conceitos importantes na adaptação do ser humano ao trabalho (COUTO, 1995).

A biomecânica aplicada analisa, basicamente, a questão das posturas corporais no trabalho e a aplicação de forças, sendo que a má postura pode contribuir para o desperdício energético, a fadiga, as lombalgias e outras dores. Para as atividades onde há um grande emprego da força física, as exigências de força devem ser adaptadas às capacidades dos trabalhadores.

Um posto de trabalho mal concebido pode obrigar o trabalhador a se manter em posturas desconfortáveis que causam fadiga muscular e dores localizadas. Estudos afirmam que determinadas atividades e condições desfavoráveis de postura podem desenvolver lombalgias nos trabalhadores que, além de afetar a saúde física do mesmo, pode afetar o estado emocional reduzindo, conseqüentemente, o desempenho de suas atividades.

As lesões por esforços repetitivos (L.E.R.) é a tradução do termo RSI (*repetition strain injuries*), utilizado inicialmente na Austrália e definido por Browne et al. (1984) como doenças músculo-tendinosas que acometem os membros superiores, ombros e pescoço, desencadeados pela sobrecarga de um grupo muscular particular, devido ao uso repetitivo ou pela manutenção de posturas contraídas gerando dor, fadiga e redução do desempenho laboral.

As L.E.R. ou LTC (Lesões por traumas Cumulativos), como são denominadas nos países de língua inglesa ou Síndrome Dolorosa nos Membros Superiores de Origem Ocupacional (Austrália) são causadas, fundamentalmente, pela utilização biomecanicamente incorreta, pela alta intensidade de repetição de um mesmo padrão de movimento e pela compressão mecânica das delicadas estruturas dos membros superiores. No entanto, uma análise completa deve incluir o fator tensão excessiva,

que costuma ser um fator contributivo presente em praticamente todas as situações que temos visto nas atividades profissionais (COUTO, 1996).

De acordo com Couto et al. (1998), a Previdência Social Brasileira prefere a utilização do termo D.O.R.T. (distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho), visto que esta denominação destaca o termo “distúrbios” ao invés de “lesões”, pois corresponde ao que se percebe na prática, de ocorrerem distúrbios numa fase precoce (como fadiga, peso nos membros, dolorimento), aparecendo as lesões mais tardiamente.

Nas pessoas que utilizam as mãos como ferramentas de trabalho, a tensão excessiva pode vir acompanhada de incidência aumentada de lesões por esforços repetitivos e traumas cumulativos. Isto porque, quando tensos, os músculos tem seu suprimento sanguíneo comprometido, com acúmulo de ácido láctico no interior dos mesmos; e o ácido láctico é um potente irritante das terminações nervosas de dor.

2.4.3. Carga de trabalho físico

Os primeiros estudos da fisiologia do trabalho datam de 1900 na Europa (Alemanha, França e países escandinavos), onde os estudos se focavam principalmente na análise de trabalhos em minas de carvão e fundições. Em 1913, na Alemanha, ocorreram avanços nas metodologias e instrumentos para a medida de gastos energéticos e, mais tarde, mais avanços ocorreram durante a I Guerra Mundial, principalmente nas fabricas de munições e armamentos. Na II Guerra Mundial, houve um maciço emprego desses conceitos na produção de arsenais ainda mais complexos (IIDA, 2005).

O organismo humano necessita consumir um litro de oxigênio para liberar 20 kilojoules de energia, ou seja, a capacidade de trabalho depende da habilidade do organismo em capturar oxigênio e entregar às células para utilizarem no metabolismo. Assim, a capacidade em trabalhos pesados está associada com a alta taxa de captação de oxigênio (BRIDGER, 2003).

De qualquer maneira, mesmo em repouso absoluto, o organismo humano consome energia, visto que esta é necessária para manter todo o sistema em

funcionamento. Entretanto, o ser humano é pouco eficiente na transformação de energia em força.

De acordo com Laurig e Vedder (1998) o número de trabalhos físicos pesados convencionais vem sendo reduzidos, entretanto muitos trabalhos estão se tornando mais estáticos, assimétricos e sedentários. Nos países em desenvolvimento, o esforço muscular, de todos os tipos, seguem como prática comum.

Esses mesmos autores afirmam que as atividades florestais, agrícolas e de construção executam, basicamente, o trabalho muscular dinâmico pesado, que é aquele em que o conjunto de músculos requisitados demanda um aumento do fluxo sanguíneo para satisfazer suas necessidades metabólicas. Isso obriga o coração a aumentar sua frequência de batimentos para atender a esses órgãos e reduzir o volume para os outros com menor atividade, conforme mostra a Figura 3.

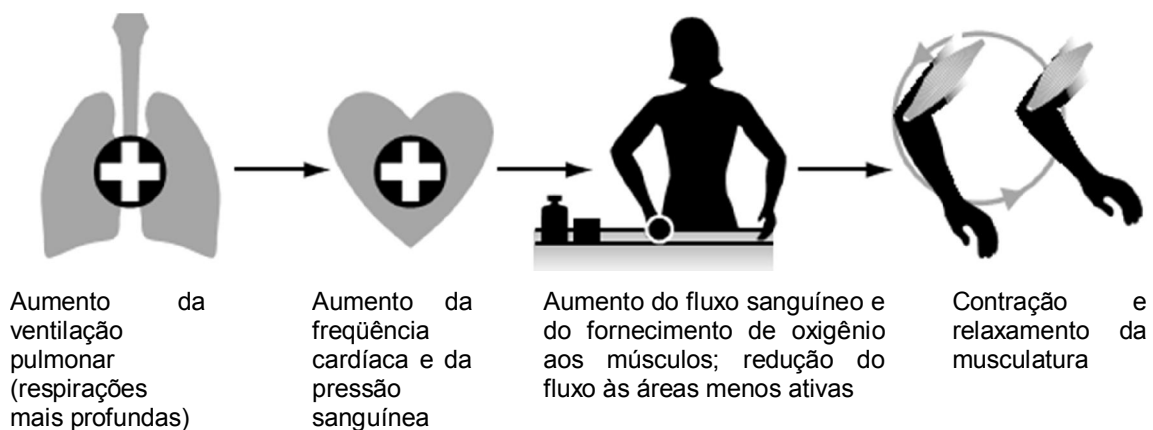


Figura 3: Reações do organismo ao trabalho dinâmico
Fonte: Laurig e Vedder (1998)

O trabalho dinâmico caracteriza-se pelo aumento da pressão sanguínea, da frequência arterial e do volume de oxigênio consumido, relacionando-se diretamente com o aumento do ritmo de trabalho.

Para se mensurar a carga de trabalho, pode-se utilizar a frequência cardíaca, expressa em batidas por minuto (bpm), podendo ser mensurada por meio de monitores digitais (com armazenamento em memória) ou pelo método tradicional da palpação de artérias (ALVES, 2004).

Para Couto (2005), em uma jornada diária de trabalho de 8 horas, o dispêndio energético do trabalhador deve ter um patamar que garanta boa produtividade sem

comprometer a saúde do mesmo. Assim, para que o dispêndio energético não seja maior do que o máximo aceitável, a frequência cardíaca não deve ser superior a 110 batimentos por minuto.

2.4.4. Fatores ambientais

Para uma análise completa da situação do posto de trabalho, devem ser consideradas variáveis referentes às condições ambientais que os trabalhadores estão expostos, como temperatura, umidade relativa, ventilação, iluminação e nível de ruído. O estudo dessas variáveis indica pontos problemas que podem estar prejudicando o colaborador e, conseqüentemente, a eficiência do seu trabalho facilitando localizar situações para intervenções ergonômicas de modo a proteger os trabalhadores.

2.4.4.1. Ruído

A estrutura do ouvido oferece um bom exemplo acerca dos mecanismos da sensibilidade que existem no corpo. O som é produzido por mudanças de pressão no ar, que variam de frequência e de intensidade. A função do ouvido consiste em transformar essas flutuações de pressão na atmosfera numa mensagem codificada de influxos nervosos que será transmitida ao cérebro (EDHOLM, 1968).

O ruído será tanto mais perigoso quanto maior a sua intensidade, quanto mais alta a sua frequência, quanto maior a sua pureza (isto é, quanto mais estreito o seu espectro), quanto mais inesperado e com mais súbita elevação de intensidade, quanto mais longa a duração da exposição e quanto mais elevada a idade daquele que o suporta (LAVILLE, 1977).

O ruído é um inimigo subliminar e perigoso, dessa forma, um trabalhador que aparentemente goza de boa saúde pode estar sendo vítima do seu efeito. Como o ser humano tem alta capacidade de adaptação a ambientes adversos, pode ocorrer o desenvolvimento de um estado de fadiga e fuga de energia, sem que o trabalhador se dê conta (MINETTE, 1996).

De acordo com Laville (1977) existem cinco zonas distintas de níveis sonoros em ambientes de trabalho, onde o menor deles é referente a um escritório calmo e o mais alto referente a máquinas de serrar, onde o perigo de surdez é considerável, mesmo no caso de exposição ocasional.

Além do problema da perda auditiva, níveis elevados de ruído causam desconforto e mal-estar no trabalhador influenciando diretamente na atenção e na redução de eficiência do mesmo, fazendo com que a execução da tarefa fique comprometida, podendo aumentar o índice de erros, principalmente onde existem trabalhos de precisão e onde a atenção é fundamental. Pode-se citar, inclusive, a possibilidade de desencadear estados de angústias em pessoas predispostas à depressão. Para os diversos efeitos fisiológicos nota-se aceleração da pulsação e da pressão arterial, aumento da fadiga, problemas digestivos, úlceras gastrintestinais e outros.

2.4.4.2. Vibração

Vibração é a movimentação oscilatória de um corpo em torno de um ponto de referência, podendo ser composta de uma única frequência ou ser composta de diferentes frequências de movimentos oscilatórios no mesmo instante.

Um dos primeiros estudos médicos sobre os efeitos da vibração no ser humano foi realizado por Alice Hamilton em 1918. O nexos causal ficou demonstrado entre o uso regular de ferramentas vibratórias e a “irreversível e debilitante condição médica inicial e impropriamente denominada Síndrome de Raynaud² ou doença dos dedos brancos” (VENDRAME, 2005).

De acordo com Griffin (1990), quando pensamos no corpo humano como uma estrutura, os ossos seriam como vigas e colunas para uma construção e os músculos seriam os responsáveis pela geração de movimento destas estruturas. Internamente, estão os órgãos que reagem como qualquer outra estrutura a estímulos físicos externos.

Como se pode ver pela Figura 4, cada elemento do corpo humano possui uma vibração natural própria, que pode atenuar ou amplificar a onda vibratória aplicada a

² Caracteriza-se por episódios reversíveis de contração nos vasos sanguíneos, associadas a alterações de coloração típica (KAYSER, 2009)

ele, ou seja, caso coincida com a frequência natural, ocorrerá o que chamamos de ressonância, resultando na amplificação do movimento; este efeito pode provocar alterações nos tecidos e órgãos.

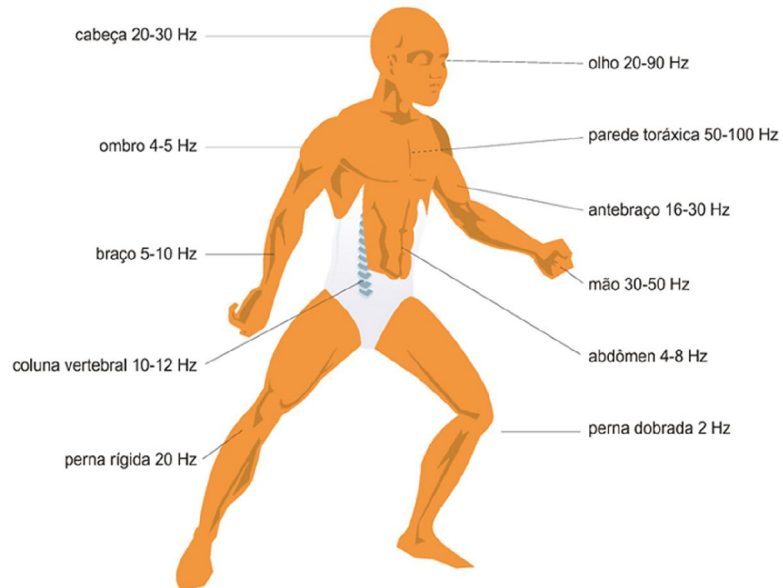


Figura 4: Frequências naturais do corpo humano
Fonte: Vendrame e Pianelli, 2008

lida (2005) destaca os principais efeitos da ressonância sobre o organismo humano no Quadro 1.

Quadro 1: Frequências de ressonância de partes do corpo submetidas a vibrações no sentido vertical

Parte do corpo	Frequência de ressonância (Hz)	Sintomas
Corpo inteiro	4 a 5 e 10 a 14	Desconforto geral
Cérebro	Abaixo de 0,5 1 a 2	Enjôo Sono
Cabeça	5 a 20	Dificuldade visual Dificuldade de fala Mudança de voz
Olhos	20 a 70	
Queixo	100 a 200	
Laringe	5 a 20	
Ombros	2 a 10	
Antebraços	16 a 30	

Mãos	4 a 5	
Tronco	3 a 7	
Coração	4 a 6	
Caixa torácica	60	Dores no peito
Estômago	3 a 6	Dores estomacais
Abdômen	4 a 8	
Rins	10 a 18	Urina solta
Sistema cardiovascular	2 a 20	

Sebastião et al. (2007) afirmam que os efeitos da vibração sobre o homem dependem de diversos fatores, ou seja, da intensidade das vibrações, dos limites de frequência, da direção, do ponto de penetração, do tempo de exposição da frequência (diária e ao longo da vida profissional) e da forma de aplicação durante a jornada de trabalho.

De acordo com a ISO 2631, as vibrações retilíneas à que o homem está exposto devem ser medidas em direções específicas, sendo a origem dos eixos coordenados localizado no coração (Figura 5).

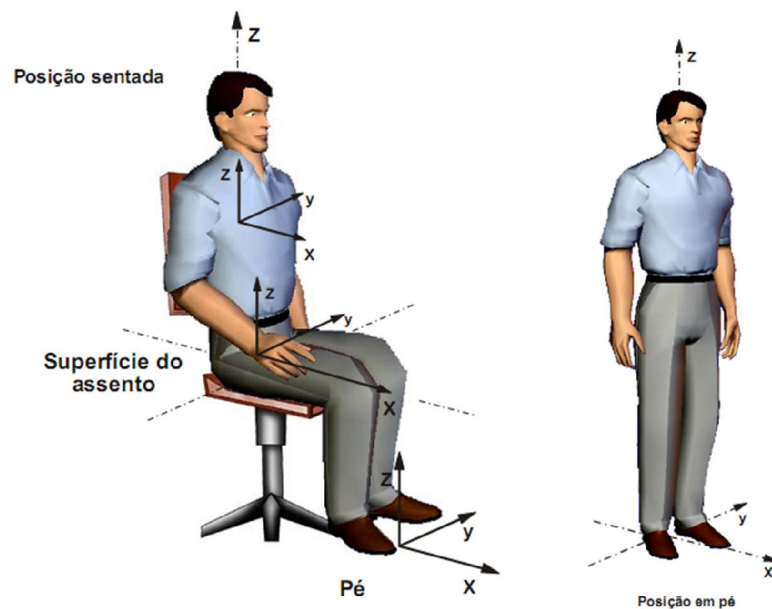


Figura 5: Eixos referenciais para análise de vibração

Sebastião et al. (2007) lembra que, em relação à exposição de membros superiores à vibração, o NIOSH³ afirma que os modelos dos equipamentos e seus fatores ergonômicos, influenciam fortemente a transmissão da vibração, visto que, segurar um equipamento pesado ou desconfortável demanda um nível de força de preensão superior, desencadeando vários distúrbios nas estruturas dos trabalhadores.

Devido aos fatores já comentados, a ISO 5349 normatiza o método de medição e as direções da vibração transmitida à mão (Figura 6), que tem sua origem na ponta do terceiro metacarpo, visto que as posições dos eixos coordenados do acelerômetro devem ser respeitadas.

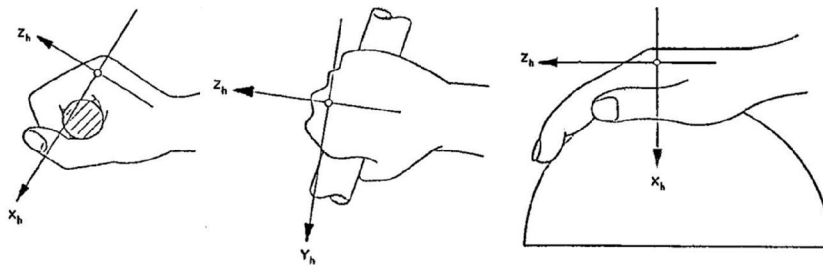


Figura 6: Sistema de coordenadas cartesianas para a mão (ISO 5349)

Ximenes (2006) afirma que nos anos 50 houve um grande avanço do setor extrativista de madeira com a introdução das moto-serras, entretanto, expôs seus operadores aos riscos da vibração sendo que, a partir dos anos 70, foram identificando outras profissões dentro do quadro de "ocupações de riscos elevados", relacionadas aos níveis de vibração.

2.5. Sistemas hidráulicos

Comercialmente, existem três métodos de transmissão de potência: mecânica, elétrica e fluídica. Naturalmente, a transmissão mecânica é a mais utilizada, pois seu uso iniciou com o invento da roda e evoluiu com o emprego de elementos mais

³ Instituto Nacional de Saúde e Segurança Ocupacional (NIOSH), em seu documento Occupational Exposure to Hand – Arm Vibration: Criteria for a Recommended Standard

avançados como engrenagens, cames, correias, molas, polias e outros (COSTA JUNIOR, 2005).

Hidráulica é a ciência dedicada ao estudo dos fluidos em hidromecânica muito utilizada nos domínios da construção de máquinas, seja no transporte e conversão de energia, até na sua regulação e controle. A óleo-hidráulica, no entanto, trata da transmissão da energia e da produção controlada de trabalho mecânico por meio do deslocamento de um fluido quase incompressível sob pressão estática (CENFIM, 2005).

Basicamente, um sistema hidráulico de geração, transmissão e comando de energia é composto por três tipos de elementos, sendo segundo Almacinha (2003):

- Fonte de energia hidráulica, como os geradores ou bombas.
- Unidade de comando, como válvulas distribuidoras e reguladoras
- Receptor, como os cilindros e motores hidráulicos

Na Figura 7 pode-se visualizar o esquema básico de um sistema hidráulico.

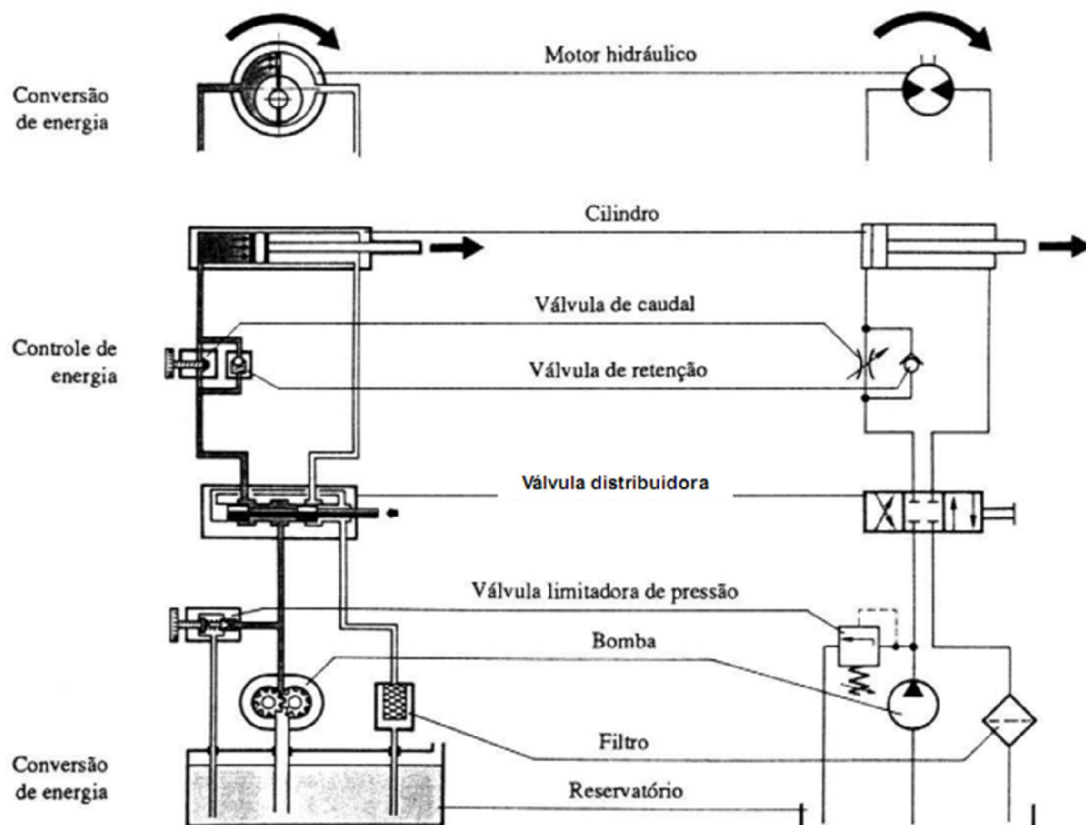


Figura 7: Esquema de um sistema hidráulico
FONTE: Almacinha (2003)

A geração de potência hidráulica é realizada pelas bombas ou máquinas hidráulicas que fornecem energia ao líquido com a finalidade de transportá-lo de um ponto a outro, visto que, normalmente, são acionados por energia mecânica, que é convertida em energia cinética e de pressão ou em ambos.

A transmissão fluídica, ou máquinas hidráulicas, são aquelas em que a variação da massa específica do fluido durante seu fluxo pelo interior da mesma é desprezível, como no caso das bombas hidráulicas (CARROCCI, 2005).

Almacinha (2003) afirma que os sistemas hidráulicos oferecem as seguintes vantagens:

- Forças, binários e potências muito elevadas, por meio de elementos reduzidos;
- Reduzida inércia dos elementos móveis quando comparados com às forças produzidas;
- Facilidade na obtenção de movimentos retilíneos com força disponível constante e no controle desses movimentos, além de grande suavidade de movimentos;
- Facilidade na limitação eficaz das forças ou potências e na obtenção de velocidades variáveis com ausência de transmissões mecânicas volumosas e complexas;
- Grande flexibilidade na disposição dos órgãos componentes;
- Facilidade na interligação funcional dos diferentes órgãos de um sistema;
- Possibilidade de realização de uma multiplicidade de esquemas funcionais;
- Facilidade na alteração das características de um sistema ou na sua modificação orgânica e funcional;
- Facilidade do seu controle e ensaio, por intermédio de instrumentos de medição;
- Durabilidade e fiabilidade (autolubrificação);

As vantagens decorrentes dessa tecnologia viabilizam sua aplicação nos mais diversos setores de produção e serviço como, por exemplo, em unidades industriais (prensas e máquinas-ferramentas) e setor agrícola e florestal (tratores, colhedoras e plantadoras).

3. MATERIAL E METODOS

O desenvolvimento do protótipo do motocoveador hidráulico foi realizado em duas etapas: a primeira consistiu no levantamento dos principais parâmetros mecânicos e ergonômicos para a definição dos requisitos que o mesmo deve atender.

A segunda etapa se deu com a avaliação ergonômica da operação utilizando a versão final do protótipo, conduzido em quatro inclinações (0-10, 10-20, 20-30 e 30-40).

3.1. Caracterização da área de estudos

Para a avaliação do protótipo foi utilizada uma área pertencente ao laboratório de mecanização agrícola do departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa – UFV, localizada na cidade de Viçosa, MG, georeferenciado pelas coordenadas 20°46'20,96"S e 42°52'20,98"O. O relevo da região de Viçosa – MG é 85% montanhoso e o clima é denominado Cwa (mesotérmico úmido), com verão quente e inverno seco. As temperaturas máxima média e a mínima média são 26,1 e 14,0 °C, respectivamente (KOPPEN, 1948).

3.1.1. Determinação do teor de água do solo

A determinação do teor de água do solo foi realizada por meio de amostragem do mesmo em cápsulas de alumínio previamente pesadas. Foram selecionadas 20 unidades e suas numerações e massa (tara), em gramas, foram devidamente anotadas.

Posteriormente, foram coletadas as amostras do solo (cinco para cada inclinação) com auxílio de um trado específico para tal finalidade (Figura 8); estas amostras foram acondicionadas nas cápsulas de alumínio e lacradas com fita crepe para evitar perda de umidade ao longo do experimento.



Figura 8: Coleta das amostras para determinação da umidade do solo

Após o término da coleta de amostras, foram encaminhadas ao laboratório para serem pesadas e suas massas novamente anotadas. Em seguida, as mesmas foram encaminhadas para a estufa previamente aquecida (105°C) por 30 horas, de forma a garantir que a próxima pesagem fornecesse apenas a massa seca.

De posse dos dados, calculou-se a umidade do solo, em %, por meio da seguinte equação:

$$U(\%) = 100 \frac{PU - PS}{PS - T} \quad (6)$$

Em que

PU – Massa úmida da amostra (g)

PS – Massa seca da amostra (g)

T – Tara ou massa da cápsula antes da coleta da amostra (g)

Os cálculos foram realizados por meio de uma planilha eletrônica do Excel 2007.

3.1.2. Determinação da inclinação das áreas

As inclinações das áreas selecionadas foram determinadas por um clinômetro, que possui nível do tipo bolha e escala graduada com valores de inclinação em graus, conforme mostra a Figura 9.



Figura 9: Clinômetro utilizado na demarcação das áreas

A demarcação das áreas foi realizada, primeiramente, por seleção visual da inclinação e posteriormente confirmada com auxílio do clinômetro e uma estaca com uma marcação que deve ficar na mesma altura dos olhos da pessoa que está fazendo a medida, o que garante um ponto de referência mais preciso.

3.2. Variáveis ergonômicas para desenvolvimento do motocoveador hidráulico

3.2.1. Seleção de variáveis antropométricas

Para o desenvolvimento do motocoveador hidráulico foram selecionadas 17 variáveis antropométricas para aplicação do desenvolvimento do protótipo. Todas as variáveis foram obtidas por medição direta. Uma nomenclatura de fácil compreensão foi utilizada com termos específicos da anatomia humana, e descrita em relação à posição dos eixos do corpo humano.

3.2.2. Descrição das medidas antropométricas

Todas as medidas foram realizadas com ajuda de trena, fita métrica e paquímetro especial para medidas antropométricas, sendo estas chamadas de estáticas, isto é, relativas ao corpo em repouso e em posições padronizadas. As variáveis selecionadas para o estudo são relacionadas a seguir:

As alturas são distâncias verticais a partir do chão, estando o operador de pé, tais como: alturas de pé; altura do topo da cabeça; altura do nível dos olhos; altura do ouvido; altura do punho; altura do joelho; altura da espinha íliaca; altura do tórax; altura do apêndice xifóide; altura do umbigo; altura do mento; altura do ombro; altura do cotovelo; e altura entre pernas.

Os alcances são profundidades, alturas ou comprimentos horizontais ao longo do eixo do braço ou da perna. Os alcances se dividem em: frontal, a partir das costas; medido no plano sagital, inferior ou superior, a partir do solo; e medido no plano transversal, a partir do ombro, correspondendo a um comprimento horizontal. Alcance inferior máximo; alcance inferior em pega empunhadura; alcance frontal à extremidade do dedo médio; alcance frontal em pega empunhadura; e alcance frontal do antebraço à extremidade do dedo médio.

Os comprimentos são distâncias normalmente formadas ao longo do eixo mais longo de um segmento do corpo como comprimento do membro superior, do ombro ao cotovelo, do cotovelo ao pulso, do joelho ao tornozelo e comprimento do pé.

As larguras são distâncias horizontais bilaterais, correspondendo às larguras do quadril e do pé.

Os perímetros são distâncias num único plano em volta do segmento ou da área do corpo, como o perímetro braquial.

As variáveis relacionadas à mão do operador serão: largura da mão no metacarpo; largura da mão no polegar; largura da mão fechada e do círculo da mão; comprimento da mão na extremidade do dedo médio; comprimento da mão na extremidade do dedo mínimo; comprimento da palma da mão; comprimento da mão na extremidade do polegar; e comprimento da mão na base do polegar.

3.2.3. Análise dos dados antropométricos

A análise estatística dos dados foi realizada mediante o uso de percentis, que é uma separatriz que divide a distribuição em 100 partes iguais, a partir do menor para o maior, em relação a algum tipo específico de dimensão corporal, sendo utilizados os valores de 5, 50, e 95%. A medida do 5º percentil significa que apenas 5% das pessoas medidas no levantamento antropométrico têm dimensões inferiores a este padrão ou, ainda, que 95% das pessoas desse mesmo levantamento têm dimensões superiores a este padrão.

De acordo com Lida (1990) o levantamento das medidas antropométricas deve ser realizado diretamente, tomando-se amostra significativa de sujeitos que serão usuários ou consumidores do objeto projetado.

Na construção do protótipo foi necessária a obtenção das medidas antropométricas dos operadores que já trabalham na atividade de coveamento recorrendo, então, ao banco de dados (21 operadores) mantido pelo laboratório de Ergonomia do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa.

Os dados do perfil antropométrico das variáveis estáticas dos operadores encontram-se no Quadro 2 e no Quadro 3, relativos ao indivíduo em pé e ao tamanho da mão, respectivamente. Nesses quadros, encontram-se analisados os percentis 5, 50 e 95%, a média, o desvio-padrão e o coeficiente de variação.

Quadro 2: Percentis, Média, Desvio-Padrão e Coeficiente de Variação do Levantamento Antropométrico dos Operadores (Indivíduo em Pé)

Variável	Percentis			Média (cm)	Desvio Padrão (cm)	Coeficiente de Variação
	5%	50%	95%			
Altura do punho	75,0	81,0	88,0	81,2	4,1	1,7
Altura do joelho	45,0	48,0	52,6	48,2	2,1	4,9
Altura da espinha ilíaca	89,5	95,8	105,0	95,9	4,7	2,2
Altura apêndice xifóide	111,1	119,5	128,8	119,0	5,3	2,8
Altura do umbigo	95,4	100,5	111,4	102,2	5,6	3,1
Altura do cotovelo	97,6	105,0	113,9	105,5	4,7	2,2

Quadro 3: Percentis, Média, Desvio-Padrão e Coeficiente de Variação do Levantamento Antropométrico dos Operadores (Dimensões da Mão)

Variável Antropométrica	Percentis (cm)			Média (cm)	Desvio-Padrão (cm)	Coeficiente de Variação (cm)
	5%	50%	95%			
Largura da mão no metacarpo	8,0	9,0	9,6	8,9	0,5	0,3
Largura da mão no polegar	9,5	10,5	11,5	10,5	0,7	0,5
Largura da mão fechada	7,0	8,0	8,8	7,8	0,5	0,3
Comprimento da mão na extremidade do dedo médio	16,9	19,5	21,6	19,1	1,7	2,8
Comprimento da mão na extremidade do dedo mínimo	14,2	15,5	17,0	15,6	0,8	0,7
Comprimento da palma da mão	9,5	10,5	11,8	10,5	0,7	0,4
Comprimento da mão na extremidade do polegar	11,4	13,5	15,3	13,4	1,1	1,4
Comprimento da mão na base do polegar	5,5	6,8	7,7	6,7	0,7	0,4
Diâmetro interno da pega	5,3	7,1	11,4	6,9	0,5	0,7
Diâmetro externo da mão em pega	9,1	10,2	11,4	9,8	0,7	0,8
Comprimento da mão em pega	9,9	12	14	12,8	1,1	1,2

3.3. Desenvolvimento do protótipo do motocoveador hidráulico

3.3.1. Motocoveador Hidráulico

O motor hidráulico é constituído internamente por um conjunto de palhetas que sofre a ação da pressão do óleo que gira seu eixo. A pressão do óleo é fornecida pela bomba hidráulica, que tem entre suas características um valor de vazão da bomba. Essa vazão determina a rotação do motor em rotações por minuto. Uma das vantagens do motor hidráulico, comparativamente a um motor de combustão interna, é permitir inversão de rotação.

O protótipo conta com duas partes, sendo a primeira o modulo hidráulico constituído, basicamente, de bomba hidráulica, reservatório de óleo e motor de ciclo Otto, à gasolina, de 5,0 cv, montados em berço em uma base móvel. Esse conjunto

fornece a potência necessária ao acionamento do motocoveador, sendo a conexão entre os mesmos feita por uma mangueira de duas vias.

A segunda parte é o motocoveador hidráulico propriamente dito, sendo que este foi adaptado às características ergonômicas dos operadores, baseado nas medidas antropométricas dos mesmos e em conceitos básicos relacionados ao carregamento manual de cargas. O motor hidráulico é o principal diferencial no modelo de concepção, o que resultou na redução de peso e redução considerável da temperatura, ruído e vibração do conjunto.

A estrutura do motocoveador é constituída de acionamento direcional com comandos de entrada e saída do óleo, conforme Figura 10, pesando 15 kg com o trado. Com o protótipo em funcionamento, realizou-se a análise ergonômica do trabalho do motocoveador hidráulico desenvolvido.



Figura 10: Motocoveador com motor hidráulico

3.3.1. Trado utilizado no coveamento

Como o desenvolvimento se deu apenas para o motocoveador, não foi desenvolvido um novo trado, visto que o existente no mercado é utilizado por várias empresas do setor florestal. Esse trado (Figura 11), após fixado ao eixo, foi marcado com uma fita branca para auxiliar o operador no controle da profundidade, que é de 0,30 m. Além disso, as lâminas de corte são dotadas de pastilhas de videa, o que

garante um aumento de eficiência e durabilidade do trado, visto que se reduz o desgaste promovido pelo atrito com o solo.



Figura 11: Trado padrão utilizado no coveamento

3.4. Variáveis mecânicas para o desenvolvimento do motocoveador hidráulico

Baseando-se no dimensionamento da demanda de potência do sistema, foram utilizadas as características mecânicas de motocoveadores de motor dois tempos monocilíndrico de marcas diferentes, conforme mostra o Quadro 4.

Quadro 4: Descrição do Motocoveador mecânico

Descrição	Marca A	Marca B
Potência (kW)	1,4	1,4
Rotação máx. s/ trado (rpm)	12400	10900
Baixa rotação (rpm)	2800	2800
Rotação do trado (rpm)	190	200
Peso c/ trado e abastecido (kg)	17	17

As principais variáveis utilizadas foram a rotação do trado e a potência útil do motor, respectivamente, 190 a 200 rpm e 1,4 kW. A partir desses valores, foi definida a potência do motor hidráulico a ser empregada na máquina, além do motor a gasolina e bomba utilizados na unidade geradora de potência, que terá um ajuste de rendimento da ordem de 90% de forma a garantir o suprimento de energia ao sistema.

3.5. Análise ergonômica do motocoveador hidráulico

A coleta de dados foi realizada nos dias 20 e 21 de Janeiro de 2009.

3.5.1. Avaliação da carga de trabalho

A operação da máquina foi realizada por um indivíduo de 29 anos, 83 kg, 1,78 m de altura e que pratica exercícios físicos esporadicamente, tendo recebido treinamento de todos os procedimentos antes do início da coleta de dados.

A avaliação foi realizada por intermédio do levantamento da frequência cardíaca durante a jornada de trabalho. Os dados foram coletados e analisados por meio do sistema finlandês "Polar Eletro Oy" (Figura 12). Esse equipamento é formado por três partes, um receptor digital de pulso, uma correia elástica e um transmissor com eletrodos. O transmissor foi fixado ao trabalhador na altura do tórax, por meio da correia elástica, e os sinais de frequência emitidos foram captados e armazenados pelo receptor de pulso em intervalos de tempo predeterminados, neste caso a cada 5 segundos.



Figura 12: Sistema “Polar Eletro Oy” utilizado no experimento

Ao término da coleta de dados, os sinais foram transferidos para um computador e analisados pelo software Polar Precision Performance SW, versão 4.03.040, desenvolvido para tal finalidade.

A carga cardiovascular é dada pela equação abaixo:

$$CCV = \frac{FCT - FCR}{FCM - FCR} \times 100 \quad (1)$$

Em que

CCV = Carga cardiovascular (%)

FCT = Frequência cardíaca de trabalho em bpm

FCM = frequência cardíaca máxima (220 – idade), em bpm

FCR = frequência cardíaca de repouso em bpm

Para uma CCV de 40%, a frequência cardíaca limite (FCL) é obtida da seguinte forma:

$$FCL = 0,40 \times (FCM - FCR) + FCR \quad (2)$$

Para os casos em que a CCV é superior a 40%, o tempo de recuperação ou de pausas deve ser determinado seguindo a seguinte equação:

$$Tr = \frac{Ht(FCT - FCL)}{FCT - FCR} \quad (3)$$

Em que

Tr = tempo de repouso, descanso ou pausas, em minutos

Ht = duração do trabalho em minutos

Essa ferramenta permite determinar a carga de trabalho físico imposta pela atividade e estabelecer os limites aceitáveis para o melhor desempenho, bem como ajustar a carga de trabalho físico à capacidade dos trabalhadores para melhoria dos seus níveis de saúde, bem-estar e satisfação.

De posse desses dados foi possível, então, calcular a carga cardiovascular no trabalho e classificá-la por meio da Tabela 1, conforme metodologia proposta por Apud (1997).

Tabela 1: Classificação da carga de trabalho físico através da frequência cardíaca

Carga de trabalho físico	Frequência cardíaca (bpm)
Muito leve	< 75
Leve	75 a 100
Moderadamente pesada	100 a 125
Pesada	125 a 150
Pesadíssima	150 a 175
Extremamente pesada	> 175

3.5.2. Avaliação biomecânica da atividade

A avaliação biomecânica foi realizada por meio de análise tridimensional, utilizando-se a técnica de gravação em vídeo. Os movimentos são “congelados” para medição dos ângulos dos diversos segmentos corpóreos. As forças envolvidas foram mensuradas por meio do programa computacional “3D Static Strength Prediction Program”, versão 6.0.2 (Figura 13) desenvolvido pela Universidade de Michigan.

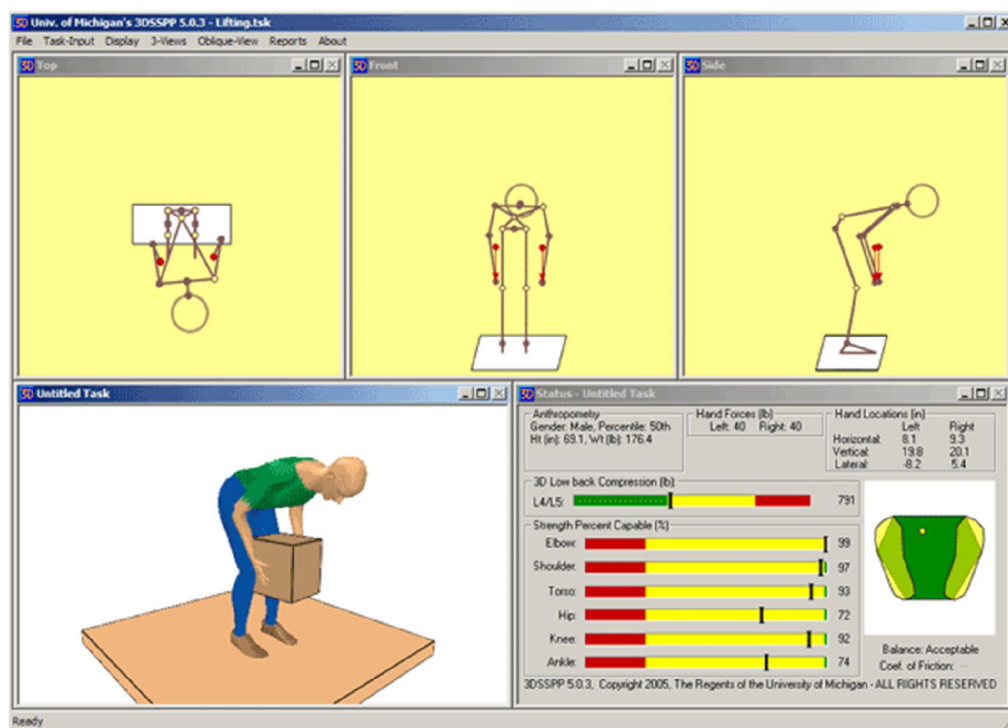


Figura 13: Tela do "3D Static Strength Prediction Program" (University of Michigan)

A análise realizada pelo referido “software” fornece a carga-limite recomendada (CLR), que corresponde ao peso que mais de 99% dos homens e mais de 75% das mulheres conseguem levantar sem causar danos às articulações do corpo; a carga-limite superior (CLS) que representa alto risco de lesão para determinada articulação, numa atividade em que menos de 25% das pessoas são capazes de realizá-la com segurança; a força de compressão no disco L4-L5 da coluna vertebral, sendo o valor máximo de 3425,0 N, o tolerável pela maioria dos trabalhadores jovens e em boas

condições de saúde, correspondente à carga-limite de compressão no disco (CLCD). A carga-limite de compressão superior no disco (CLCS) é de 6.361,0 N, sendo que os valores iguais ou superiores podem causar sérios danos ao sistema osteomuscular, inclusive ruptura do disco intervertebral.

Para a montagem do modelo computacional determinou-se os ângulos de abertura dos segmentos corporais, sendo utilizada uma técnica conhecida por fotogrametria, que consiste na medida dos ângulos por meio de software de tratamento de imagens, neste caso, o Gimp (GNU Image Manipulation Program), versão 2.6.7, conforme mostra a Figura 14.

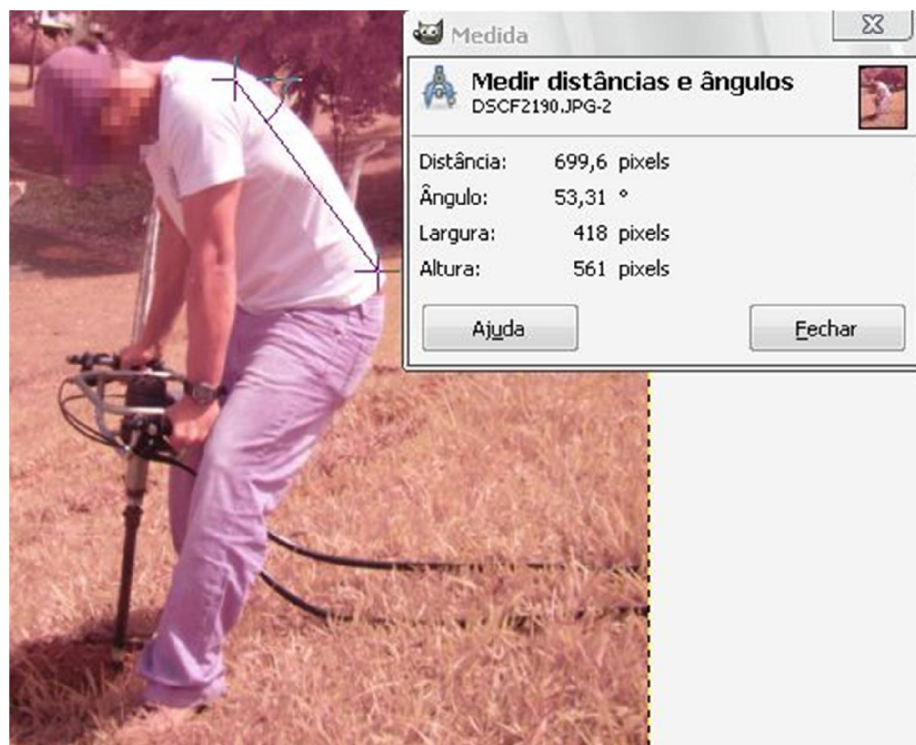


Figura 14: Determinação da angulação dos segmentos corporais por meio do Gimp

3.5.3. Ruído

Os níveis de ruído foram coletados utilizando-se um decibelímetro digital portátil da marca PeakTech, modelo 8000, que foi posicionado próximo ao operador na altura do canal auditivo, conforme mostra a Figura 15. Com intuito de manter o

rigor da análise, a unidade geradora foi posicionada a 2 metros do operador, o que garantiu a coleta na pior situação de exposição a este agente.



Figura 15: Coleta dos níveis de ruído com decibelímetro digital

Os dados foram registrados durante a execução de cada cova e, ao final da coleta, foram tabulados em uma planilha do Excel 2007. Os dados foram analisados e confrontados com os limites determinados pela Legislação Brasileira de Atividades e Operações Insalubres (NR 15 – anexo nº 1, da Portaria nº 4.214/78, do Ministério do Trabalho e Emprego).

3.5.4. Vibração

Para a medição da vibração, foi utilizado um medidor de vibração MAESTRO 01dB (Figura 16), acoplado a um acelerômetro triaxial montado, conforme as normas internacionais, no local de transmissão da energia às mãos. Esse instrumento fornece os valores da magnitude de aceleração em $m\ s^{-2}$ ponderada nas frequências de 5 a 1.500Hz.



Figura 16: Sensor e medidor de vibração 01dB Maestro

A coleta se deu com a fixação do sensor no mesmo ponto em que as mãos seguram a máquina, conforme mostra a Figura 17, sendo a primeira coleta de vibração na mão esquerda e posteriormente na mão direita, para cada uma das inclinações.



Figura 17: Montagem do sensor de vibração no motocoveador na região das mãos

A avaliação é baseada nas determinações da Diretiva 2002/44/EC da Comunidade Européia, que determinam os limites de exposição baseadas nos níveis globais de aceleração, como se pode visualizar no Quadro 5. De acordo com essa norma, ainda, deve-se avaliar os riscos, evitar ou reduzir a exposição, e informar e formar os seus trabalhadores no sentido de minimizarem os riscos decorrentes deste agente físico.

Quadro 5: Limites de exposição à vibração determinada pela Diretiva 2002/44 da Comunidade Européia

	Nível de ação	Limite de exposição
Mãos e Braços	2,5 m s ⁻²	5,0 m s ⁻²
Corpo inteiro	0,5 m s ⁻² A(8) ou 9,1 VDV	1,13 m s ⁻² A(8) ou 21 VDV

3.6. Capacidade Operacional Efetiva

É a unidade de rendimento, ou seja, é a quantidade de trabalho (produção) realizado por unidade de tempo e pode ser expresso pela equação 4.

$$C_e = \frac{A}{t} \quad (4)$$

Em que

C_e = Capacidade operacional efetiva (ha h⁻¹)

A = área (ha)

t = tempo (h)

Para este cálculo, foi utilizada uma área de 9 m² (3 m x 3 m) com espaçamento entre covas de 1 x 1 metro, como mostrado na Figura 18. O tempo total para coveamento dessa área, com 9 covas, foi cronometrado, e seu valor convertido em horas para ser utilizado no cálculo da capacidade operacional efetiva. Foram utilizados quatro níveis de inclinações: de 0-10°, 10-20°, 20-30° e 30-40°.

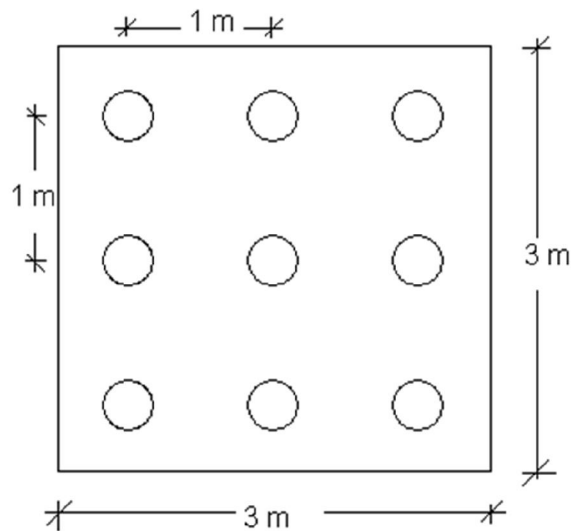


Figura 18: Área utilizada para o cálculo da capacidade operacional efetiva

3.6.1. Determinação dos tempos

Os tempos de execução foram cronometrados por meio de um cronometro digital da marca Oregon Scientific, modelo SL928M, sendo considerado como ciclo de trabalho a execução completa de cada cova, tendo seu início a partir do acionamento da máquina e o término após o transporte da mesma até o outro ponto de coveamento; desta forma, obteve-se nove registros para cada uma das cinco repetições, num total de 45 observações para cada inclinação.

Os dados foram tabulados e tratados estatisticamente pelo método de estudo dos tempos e movimentos proposto por Barnes (1977). A equação abaixo fornece a quantidade de amostras necessárias para que a média destas seja representativa ao nível de confiança de 95% e erro relativo de 10%.

$$N' = \left(\frac{20 \sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2}}{\sum X} \right)^2 \quad (5)$$

Em que

N' = número de amostras necessárias

N = número de amostras utilizadas

X = leitura do cronômetro centesimal

3.7. Análise estatística

Os experimentos foram montados no delineamento inteiramente casualizado e os dados dependentes de efeito quantitativo avaliados por regressão. Os resultados foram submetidos à análise de variância, pelo teste F, adotando-se o nível de 5% de probabilidade.

Foi analisado o efeito da inclinação do solo e tempo de perfuração em função do valor observado Y, que é a capacidade operacional, compressão no disco vertebral, níveis de ruído e vibração e carga física do trabalho. Deu-se importância ao efeito do tempo pelo fato de que na área experimental havia grande quantidade de pedras, o que fazia com que o tempo aumentasse consideravelmente em função destas.

A inclinação do solo utilizada no experimento esteve na faixa entre 0 e 40°, com 5 repetições em cada faixa de valores.

A equação de regressão (7) que representa o efeito das variáveis segue o seguinte modelo:

$$y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 a_i + \beta_2 b_j + \beta_3 a_i^2 + \beta_4 b_j^2 + \beta_5 ab + e_{ij} \quad (7)$$

Onde:

y_{ij} = valor observado da variável Y no nível I_i e no nível T_j ;

β_0 = constante de regressão;

β_1 = coeficiente de regressão para a variável I (inclinação);

β_2 = coeficiente de regressão para a variável T (tempo);

β_3 = coeficiente de regressão para a variável I^2 ;

β_4 = coeficiente de regressão para a variável T^2 ;

β_5 = coeficiente de regressão para a variável IT;

a_i = valor do nível i da variável I;

b_j = valor do nível j da variável T;

e_i = erro ou desvio associado à distância entre o valor observado Y_i e o valor estimado \hat{Y}_{ij} com base na equação de regressão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Construção do motocoveador hidráulico

O diagrama esquemático de funcionamento do motocoveador é apresentado pela Figura 19, com as funções descritas abaixo:

- A) Tanque de Óleo - Responsável por armazenamento do óleo hidráulico, com volume de 22 L (ISO VG 68)
- B) Filtro de sucção - Protege a bomba de contaminações (125 microns)
- C) Bomba de engrenagem – Constituída por carcaça de alumínio de deslocamento volumétrico de 6 centímetros cúbicos por revolução (cc/ver). É responsável pelo fornecimento de energia hidráulica.
- D) Válvula de alívio - Limita a pressão de trabalho do sistema hidráulico e o torque máximo exercido pela broca, podendo ser regulada manualmente, numa faixa de operação de 3,5 à 34,5 bar.
- E) Válvula direcional MP1 - Responsável pela liberação de energia hidráulica ao motor, sendo acionada manualmente por meio de um sistema de alavancas, com sentido horário de rotação do motor.
- F) Válvula direcional MP2 - Responsável pela liberação de energia hidráulica ao motor, sendo acionada manualmente por meio de um sistema de alavancas, com sentido anti-horário de rotação do motor.

G) Motor orbital bi-direcional - É o atuador que converte energia hidráulica em energia mecânica para ser utilizada pelo trado, com deslocamento volumétrico de 80 cc/rev.

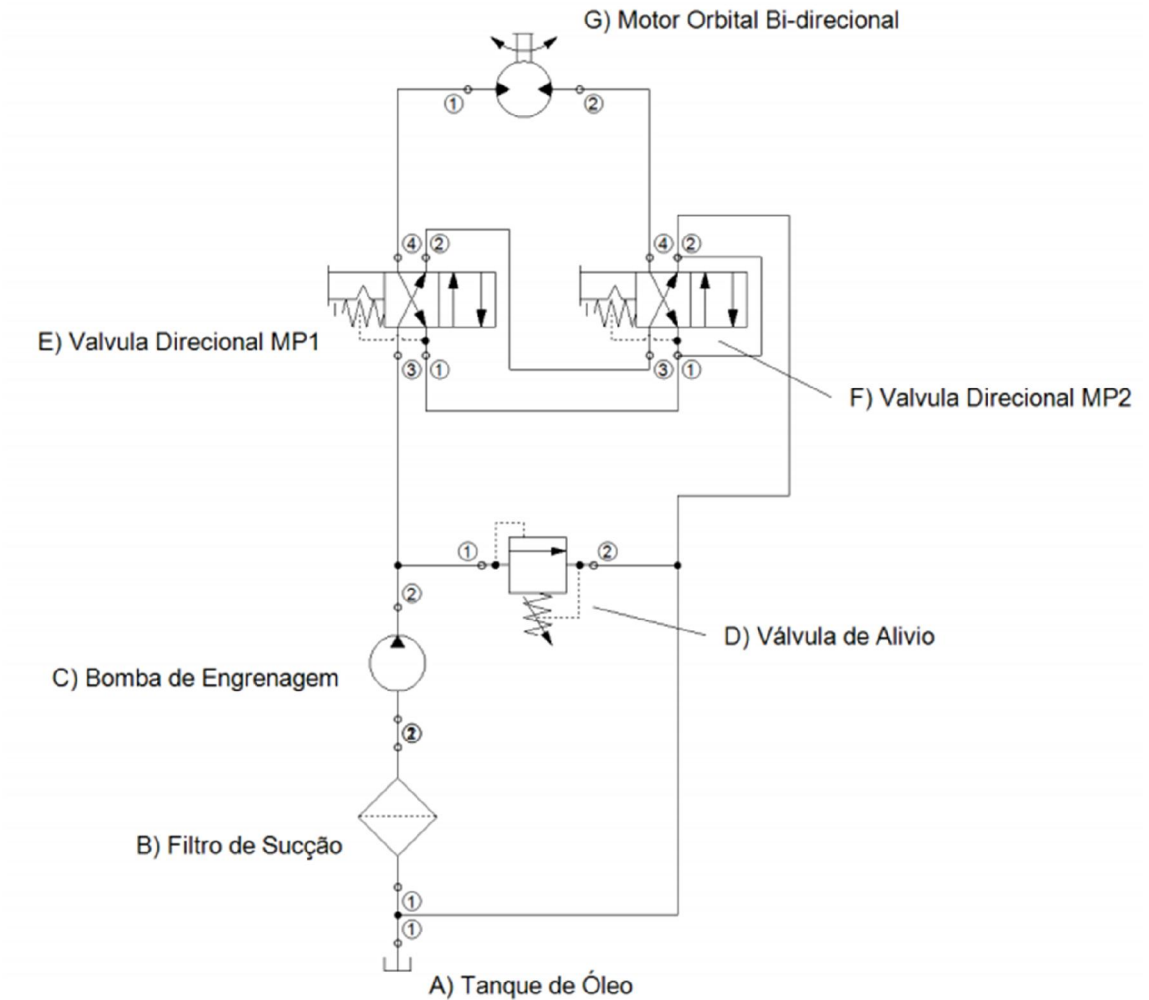


Figura 19: Diagrama esquemático de funcionamento do motocoveador

Partindo do esquema apresentado, foram adquiridas e construídas todas as peças necessárias para a montagem do protótipo. Inicialmente montou-se o módulo hidráulico para a alimentação do motocoveador, constituído pelos elementos A, B, C e D do esquema de funcionamento da Figura 19.

Na Figura 20 é mostrado um corte da montagem do módulo hidráulico. O motor de combustão, ciclo Otto de 4 tempos, à gasolina, acoplado à bomba hidráulica, sendo que este se encontra dentro do reservatório de óleo.

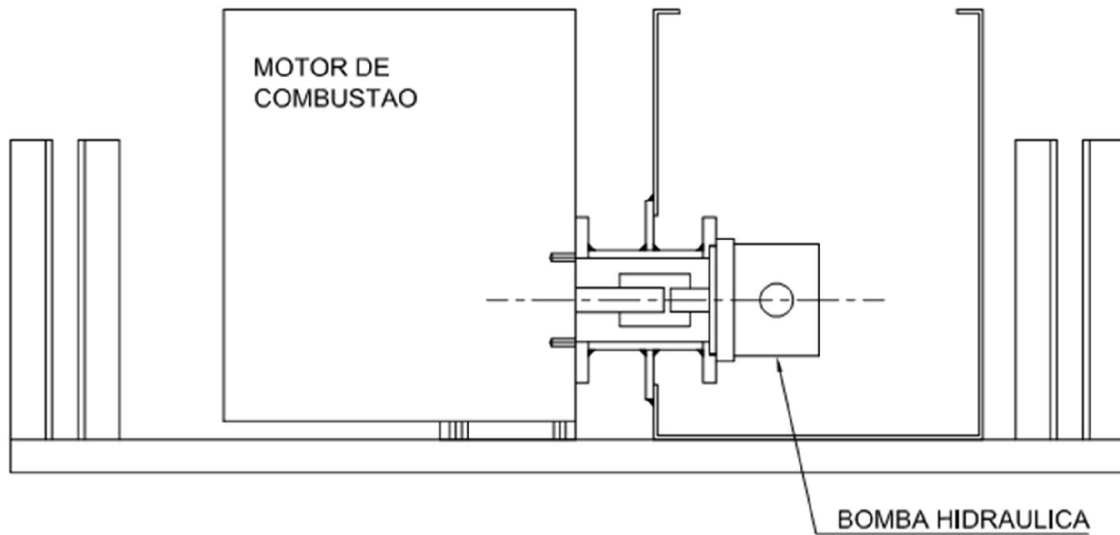


Figura 20: Corte longitudinal do módulo hidráulico

O reservatório de óleo, fabricado em aço, possui apenas um orifício para o acoplamento do motor e da bomba hidráulica, conforme mostrado na Figura 21.

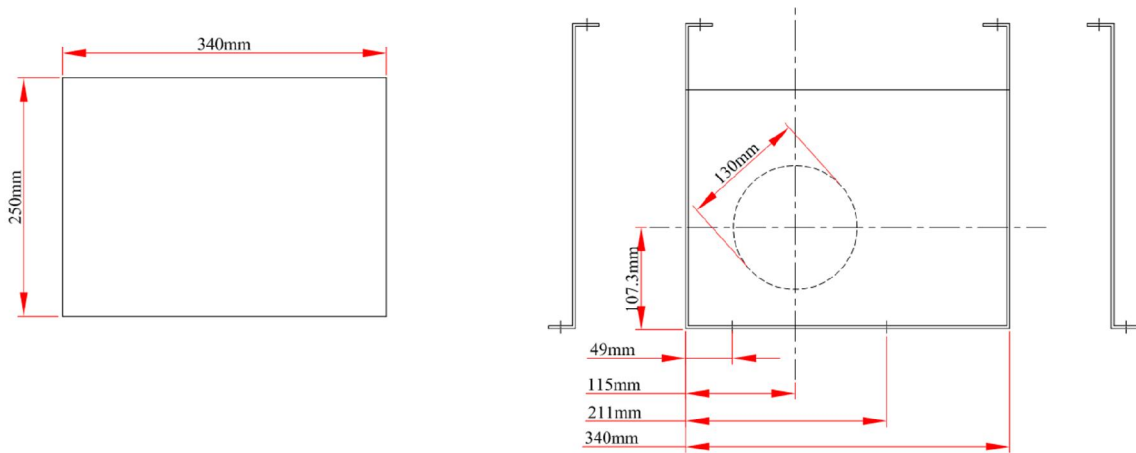


Figura 21: Dimensões do reservatório hidráulico

O elemento de conexão entre o motor e a bomba hidráulica é mostrado na Figura 22 com sua respectiva vista lateral esquerda, corte longitudinal e vista lateral direita.

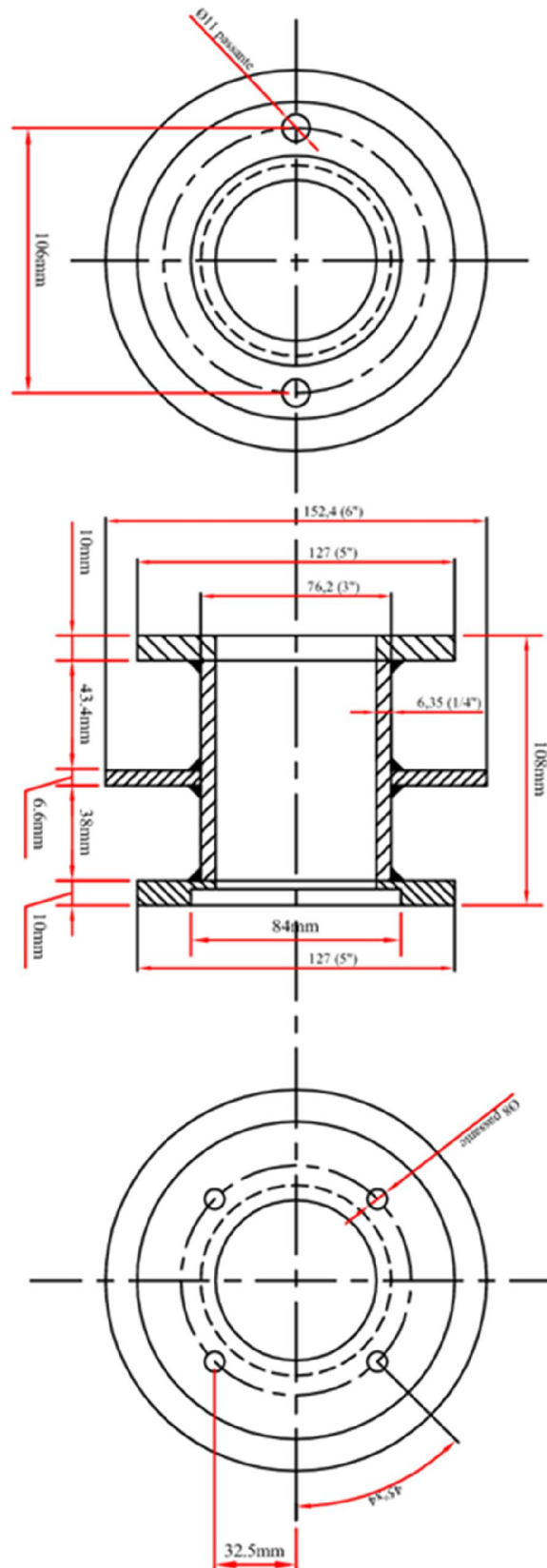


Figura 22: Vista lateral esquerda, corte longitudinal e vista lateral direita

Na Figura 23 é mostrado a montagem real do reservatório de óleo, o acoplamento entre o motor e a bomba hidráulica, com vistas exterior e interior.

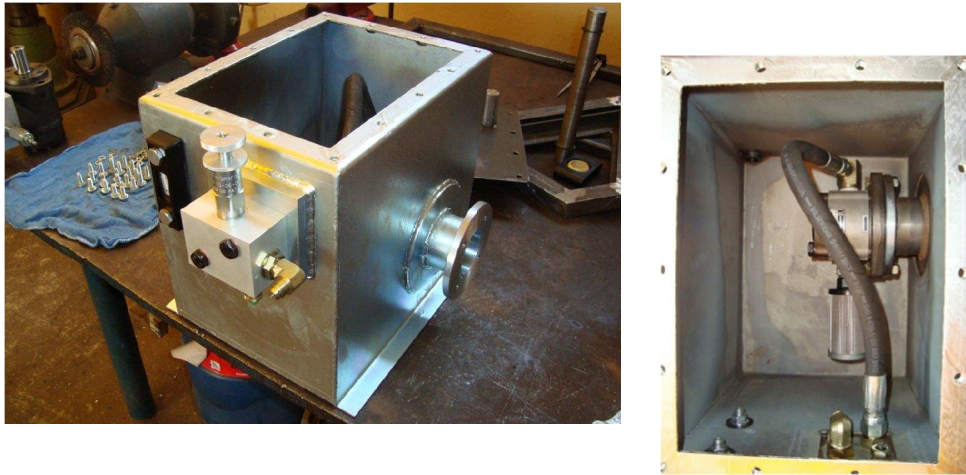


Figura 23: Reservatório e bomba de óleo

A estrutura de suporte e transporte do conjunto motor e bomba hidráulica foi acoplado em uma sistema conhecido por “berço”, o que garante que o conjunto sempre fique na mesma posição, independente da inclinação do terreno ou deslocamento do mesmo (Figura 24).

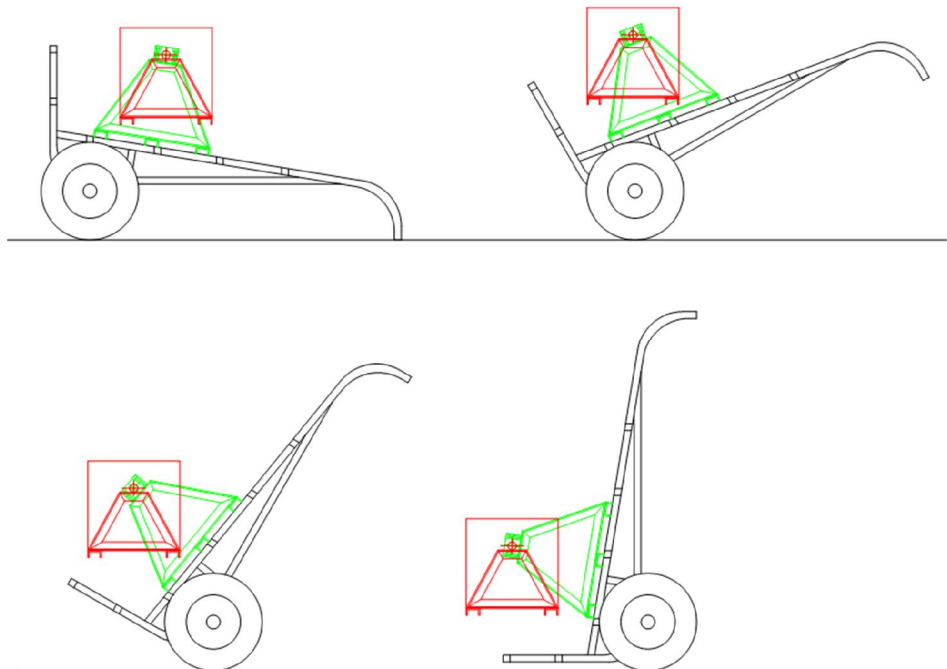


Figura 24: Sistema tipo “berço” do módulo hidráulico

As dimensões do sistema responsável pela articulação do “berço” é mostrado na Figura 25.

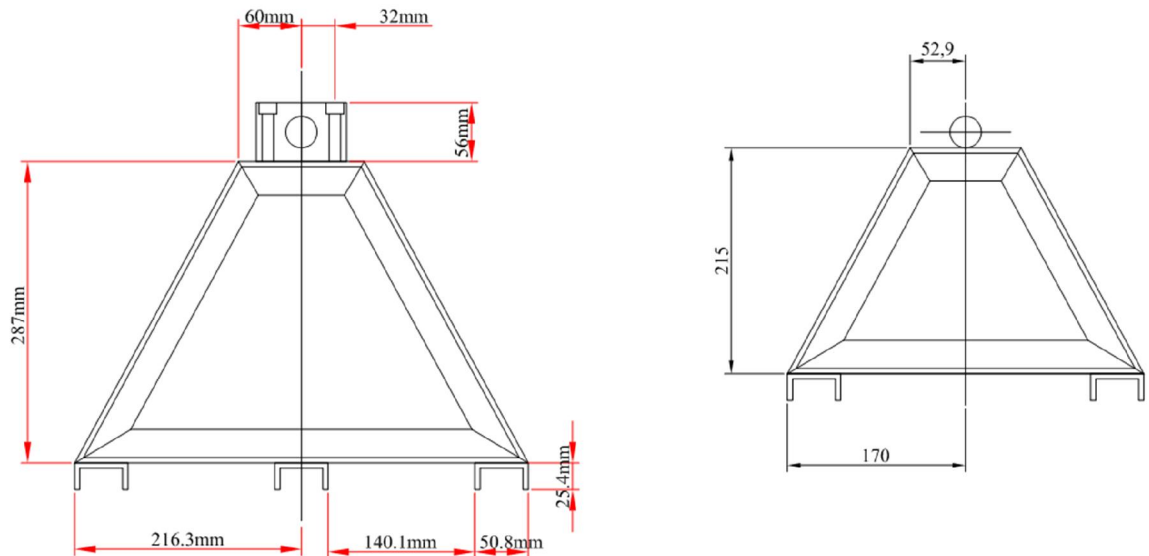


Figura 25: Dimensões das partes responsáveis pela articulação do berço

O motocoveador propriamente dito foi montado pelos elementos E, F e G do esquema mostrado na Figura 19, sendo os elementos E e F montados em um bloco chamado de “manifold”, usinado em alumínio 6082-T2.

Na Figura 26 é mostrado o detalhamento da usinagem do bloco “manifold”, realizado em uma máquina de controle numérico por computador (CNC). Esse bloco é um gerenciador hidráulico dedicado, que abriga as válvulas de controle do fluxo de óleo.

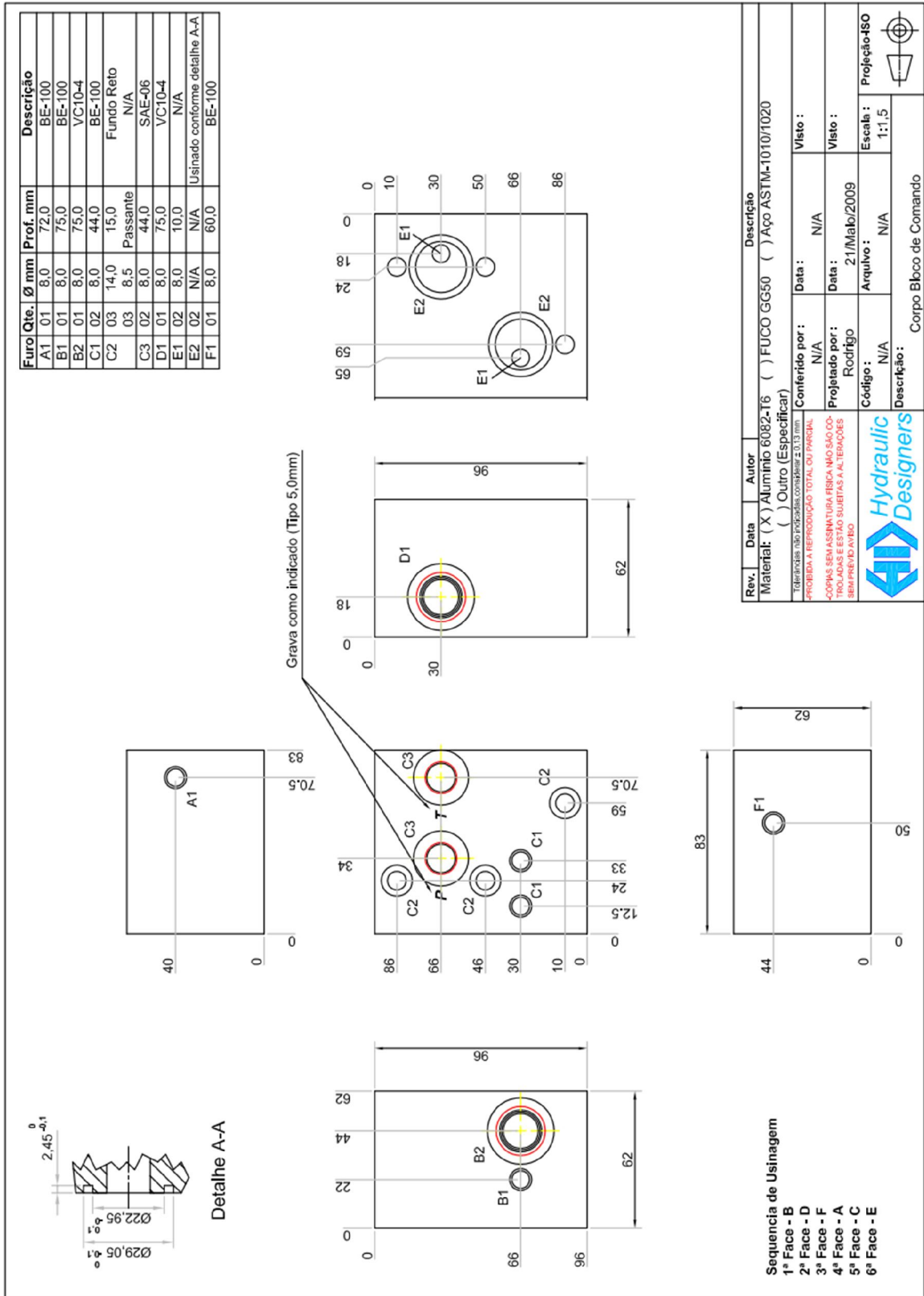


Figura 26: Representação esquemática para usinagem do bloco "manifold"

As dimensões da estrutura do motocoveador foram concebidas a partir do levantamento antropométrico realizado no presente trabalho, e são mostradas nas Figura 27 e 28.

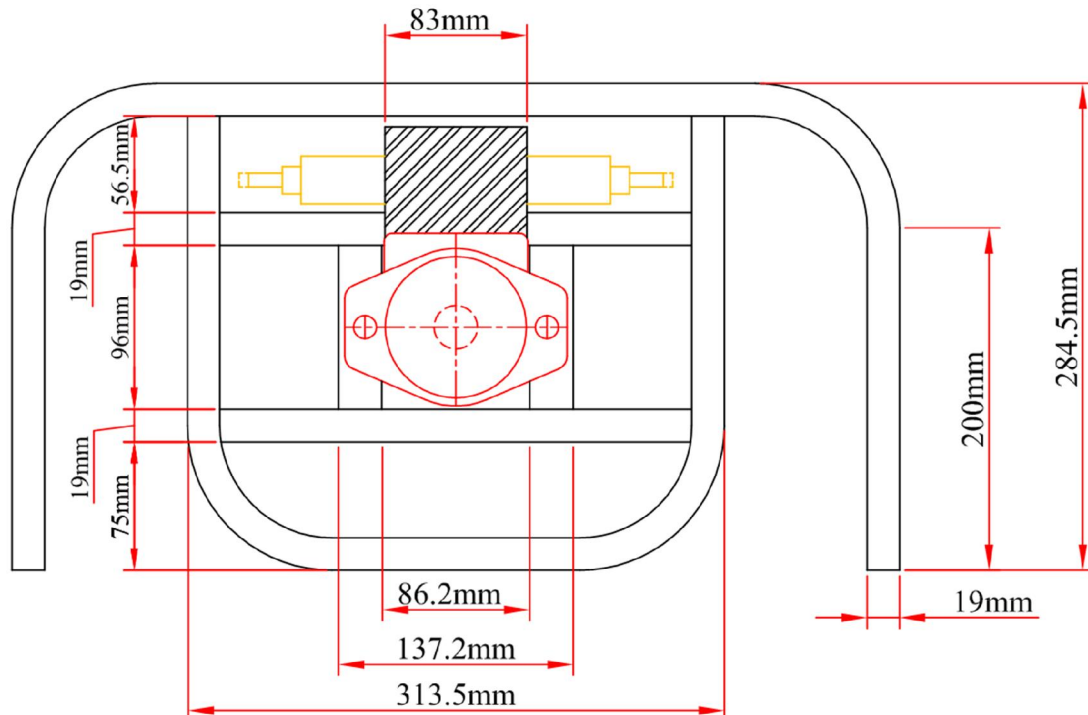


Figura 27: Dimensões utilizadas na montagem da estrutura do motocoveador

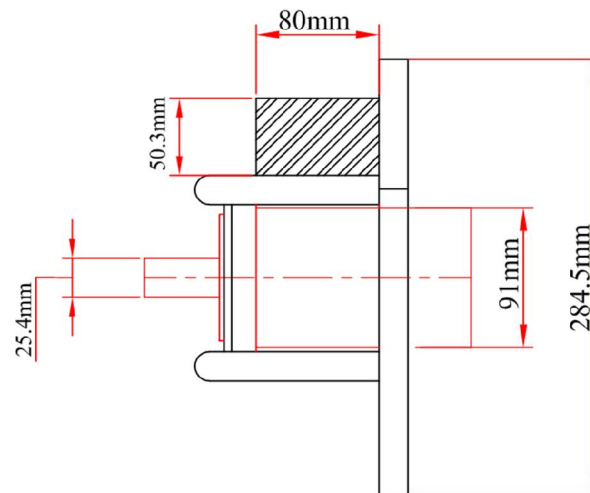


Figura 28: Detalhes das dimensões do motor hidráulico e bloco manifold

Para o acoplamento entre o eixo do motor hidráulico e o trado de perfuração, foi construído um adaptador em aço, mostrado pela Figura 29.

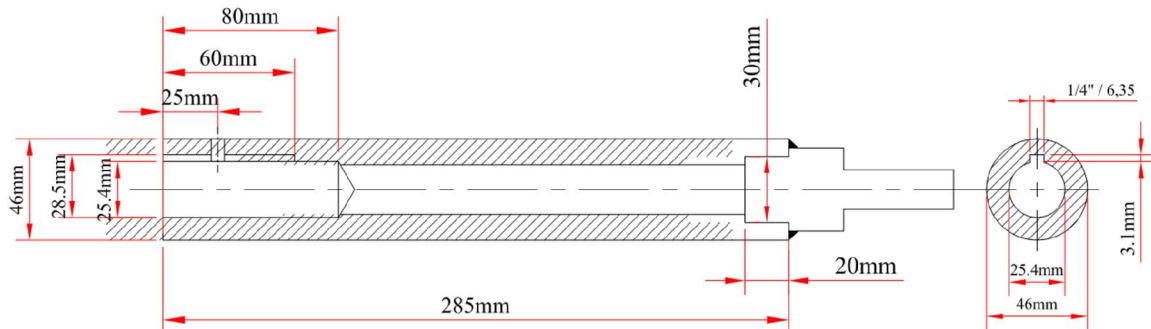


Figura 29: Adaptador utilizado para o acoplamento do motor hidráulico ao trado

4.2. Protótipo do motocoveador hidráulico

Na Figura 30 é apresentada a versão final do motocoveador hidráulico.



Figura 30: Versão final do conjunto do motocoveador hidráulico

4.3. Carga física de trabalho

A atividade de coveamento semi-mecanizado com a utilização do protótipo, exige grande esforço físico por parte dos trabalhadores florestais, entretanto, a maior carga cardiovascular exigida, entre as inclinações do terreno estudadas, foi de 28,05% (Tabela 2), ou seja, estes valores estão abaixo do limite máximo de 40% estabelecido por Apud (1989) para execução de atividades florestais.

Tabela 2: Avaliação da carga física de trabalho exigido em função da inclinação do terreno na operação de coveamento

INCL.	IDADE (anos)	FCT (bpm)	FCR (bpm)	FCM (bpm)	CCV (%)	FCL (bpm)	Classificação do trabalho
0°	29	94,2	57	124	27,77	110,6	Leve
15°	29	94,3	57	115	27,81	110,6	Leve
24°	29	94,4	57	121	27,87	110,6	Leve
34°	29	94,6	57	125	28,05	110,6	Leve

Em que: FCT = Frequência cardíaca no trabalho; FCR= frequência cardíaca em repouso; FCM = frequência cardíaca máxima; CCV = carga cardiovascular; FCL = frequência cardíaca limite

A maior frequência cardíaca média encontrada se deu na inclinação de 34°, que correspondeu a 94,59 bpm, sendo que a frequência cardíaca limite foi de 110,6 bpm para todas as inclinações, ou seja, para todas as situações a frequência cardíaca foi inferior a FCL, o que demonstra que o protótipo não expõe os trabalhadores a situações de risco que possam comprometer a integridade de sua saúde, reduzindo a possibilidade de torná-los susceptíveis às DORT's, ao estresse, ao cansaço mental, a problemas cardiovasculares, entre outras patologias.

Conforme se pode observar na Figura 31, houve oscilações na frequência cardíaca que superaram a FCL, ou seja, superiores a 110,6 bpm; isto se deve ao fato da necessidade do operador impor mais força no manejo da máquina devido à presença de pedras e raízes no solo.

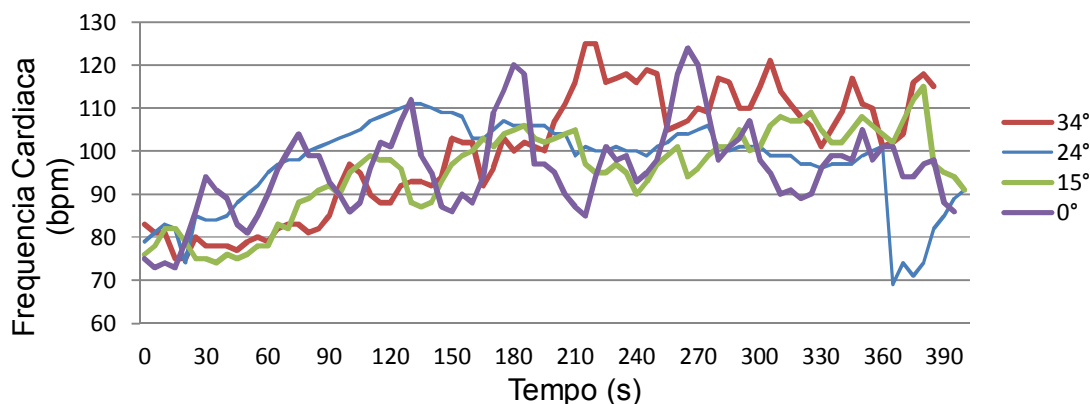


Figura 31: Frequência cardíaca observada na atividade de coveamento semimecanizado em função do tempo

Quando se compara esse resultado com o encontrado por Silva et al. (2007), analisando um motocoveador semimecanizado comercial em condições semelhantes, percebe-se que houve melhoria das condições de trabalho no que se refere à carga de trabalho físico, visto que os autores identificaram a necessidade de grande esforço físico por parte do trabalhador, culminando em uma carga cardiovascular de 50%, superior aos 40% recomendados por Apud (1989).

Como a carga cardiovascular não ultrapassou os 40%, não há necessidade de reorganização ergonômica do trabalho, ou seja, a inserção de outras pausas além daquelas já existentes na jornada, sendo assim, a operação da máquina pode ocorrer normalmente durante uma jornada de trabalho de 8 horas sem comprometer a saúde do operador, podendo ocasionar um aumento de produtividade.

De posse dos dados estimou-se a equação que explica o comportamento da frequência cardíaca em função apenas da inclinação ($p < 0,05$), visto não haver efeito do tempo de perfuração. Essa equação possui um coeficiente de explicação de 83,4% e é mostrada abaixo:

$$\hat{Y} = 94,2 + 0,0106 * I$$

Em que;

\hat{Y} = frequência cardíaca em bpm

I = Inclinação do terreno em graus

Como se pode ver, quanto maior a inclinação, maior o valor da frequência cardíaca, isto se deve à necessidade de suprimento do acréscimo de demanda energética do corpo, ou seja, há um acréscimo de 0,0106 bpm para cada grau de inclinação do terreno devido ao aumento de esforço físico para executar a tarefa.

4.4. Avaliação biomecânica

A sobrecarga postural e o trabalho estático podem gerar fadiga muscular, transtornos músculo–esqueléticos, compressão de estruturas nervosas e até mesmo o agravamento de lesões prévias nos tecidos moles (músculos, ligamentos) dos membros inferiores (COUTO, 1995).

Gonçalves (1998) afirma que as lesões nas costas, provenientes de levantamentos de peso, são responsáveis por praticamente 12% das lesões industriais, sendo que 85% a 99% de todas as lesões graves nesta região ocorrem nos níveis das vértebras L4/L5 e L5/S1.

Como pode ser visto na Figura 32, o resultado da modelagem das posturas iniciais, nas diferentes inclinações, indicam que a compressão discal na coluna lombar está abaixo da carga limite de compressão no disco (CLCD) de 3425 N. Entretanto, para a segunda postura (com o trado a 0,30 m de profundidade) observa-se que o valor da compressão aumenta consideravelmente com o aumento da inclinação, chegando a superar o valor da CLCD na inclinação de 34° (Figura 32), representando riscos de lesão na coluna.

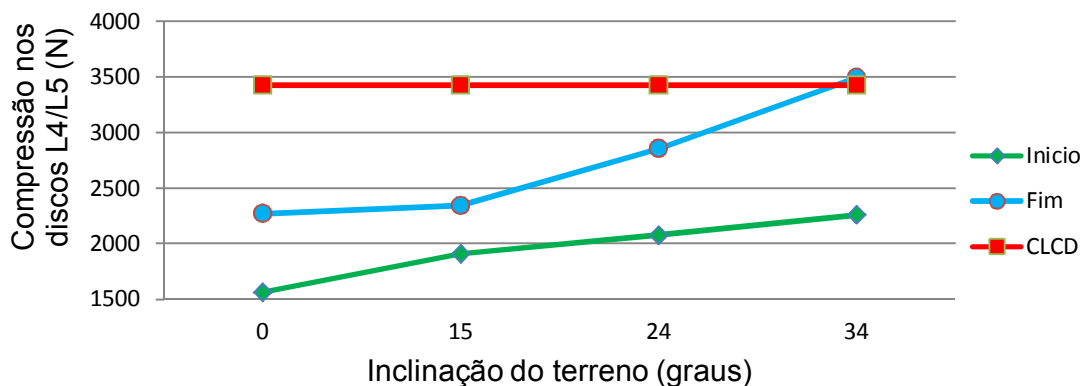


Figura 32: Compressão nos discos intervertebrais L4/L5 em função da inclinação do terreno

Tabela 3: Simulação da carga no disco intervertebral L4/L5 e segmentos afetados por meio do software 3DSSPP

















Incl.	Foto	Simulação	Carga nos discos L4/L5 (N)	Estimativa da população capaz de executar a postura sem se lesar	
				Segmento	Percentual
0°			1560	Pulso	94
	Início			Cotovelo	99
				Ombro	98
				Tronco	98
				Quadril	97
				Joelho	99
				Tornozelo	97
			2267	Pulso	99
	Fim			Cotovelo	99
				Ombro	99
				Tronco	96
				Quadril	93
				Joelho	99
				Tornozelo	94
15°			1909	Pulso	93
	Início			Cotovelo	99
				Ombro	99
				Tronco	97
				Quadril	95
				Joelho	99
				Tornozelo	93
			2341	Pulso	95
	Fim			Cotovelo	99
				Ombro	99
				Tronco	95
				Quadril	90
				Joelho	97
				Tornozelo	90

Tabela 3 - Continuação

24°			2076	Pulso	93
	Início			Cotovelo	99
				Ombro	99
				Tronco	95
				Quadril	95
				Joelho	91
				Tornozelo	49
24°			2854	Pulso	98
	Fim			Cotovelo	99
				Ombro	99
				Tronco	95
				Quadril	88
				Joelho	88
				Tornozelo	98
34°			2257	Pulso	95
	Início			Cotovelo	99
				Ombro	99
				Tronco	96
				Quadril	92
				Joelho	94
				Tornozelo	89
34°			3492	Pulso	97
	Fim			Cotovelo	99
				Ombro	99
				Tronco	84
				Quadril	55
				Joelho	34
				Tornozelo	69

Ainda que apenas uma postura tenha apresentado um valor de compressão discal acima da CLCD, os outros valores ainda podem ser considerados elevados, principalmente aquelas que utilizam flexão do tronco, apresentando riscos ao operador.

Esse mesmo software informa o percentual da população que consegue executar tais posturas sem sofrer lesão, entretanto, quando o resultado está abaixo de 99% da população capaz de realizar tal tarefa, é indicativo para novas intervenções ergonômicas de forma a solucionar ou amenizar os problemas relacionados às condições de trabalho.

O resultado mostrou que o cotovelo não é afetado em nenhuma das situações, entretanto, o ombro apresentou 98% em uma delas. Os resultados mais preocupantes se concentram na segunda postura, principalmente quando mais se aumenta a inclinação; isto se deve ao fato de que o operador necessita de uma postura que ofereça estabilidade e segurança em terrenos acidentados.

Em análise semelhante, Silva et al. (2007) também detectaram que não houve sobrecargas nos cotovelos e em apenas um caso houve acometimento nos ombros, enquanto para o quadril, joelho e tornozelo detectou-se grande variação do percentual de pessoas capazes, motivados pelos mesmos fatores já citados. Estes autores, afirmam, ainda, que trabalhos nessas condições expõe os operadores “a lesões do tipo distensões músculo-ligamentares, compressão de estruturas nervosas, desinserção da extremidade de fixação do tendão no osso, torções e fraturas”.

Na inclinação do solo de 34° os segmentos mais afetados são joelho, quadril e tornozelo, devido ao fato de que o operador sempre busca uma postura mais firme, entretanto, acaba por sobrecarregar estes segmentos ao flexionar o joelho direito, rotacionar o quadril, sobrecarregando os tornozelos.

O grande problema encontrado nas maiores inclinações se deve ao fato de que o operador necessita flexionar o tronco para poder realizar o coveamento, sendo assim, seu ângulo em relação à vertical se torna muito grande (36,7°), sobrecarregando a mesma. Para esses casos é necessário aumentar a altura do eixo do trado, fazendo com se reduza a flexão do tronco.

Para confirmar o efeito do ângulo de flexão do tronco, foi simulada a mesma postura apenas variando a flexão para 15° (Figura 33), resultando em uma melhoria

de todos os índices, principalmente na redução da compressão discal que, neste caso, equivale a 67,2% do valor anterior.

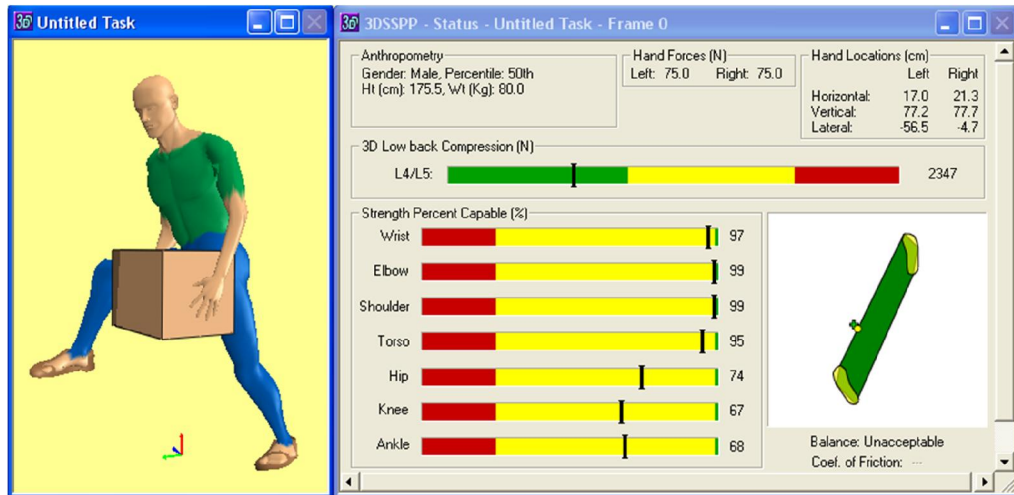


Figura 33: Simulação da pior postura em 34° para a proposta de aumento do eixo do trado

Como se pode ver na Tabela 4 a estimativa do valor de compressão nos discos intervertebrais L4/L5, para o início e fim do trabalho, sofre efeito apenas da inclinação do terreno, ou seja, há aumento de 20,5 e 35,9 N, respectivamente, para cada unidade de inclinação. Este efeito é gerado devido à utilização de posturas com maior flexão de tronco, além do peso da máquina, sobrecarregando estes discos.

Tabela 4: Estimativa dos valores de compressão no disco intervertebral L4/L5 devido ao efeito da inclinação do terreno

Compressão discal	Equação de Regressão	R ² (%)
Inicial	$\hat{Y} = 1576 + 20,5 * I$	99,5
Final	$\hat{Y} = 2083 + 35,9 * I$	83,7

* Significativo pelo teste t ($p < 0,05$)

4.5. Antropometria

As medidas antropométricas são estabelecidas em várias faixas, entre o mínimo e o máximo. O uso desses critérios depende do tipo de projeto, das aplicações e das finalidades das medidas.

Dessa forma, procurou-se relacionar algumas variáveis do levantamento antropométrico estático que podem contribuir para um dimensionamento adequado tanto da máquina de trabalho, quanto da atividade envolvida.

De posse dos dados antropométricos, pôde-se determinar as dimensões da máquina que melhor atendesse a população trabalhadora, contudo, ao longo dos estudos percebeu-se que na verdade seriam necessários apenas as medidas mostradas no Quadro 6.

Quadro 6: Variáveis antropométricas utilizadas na construção do motocoveador

Variável	Percentis			Média (cm)	Dimensões utilizadas	
	5%	50%	95%		Medidas	Valor (cm)
Altura do punho	75,0	81,0	88,0	81,2	Altura mínima	80,0
Altura do cotovelo	97,6	105,0	113,9	105,5	Altura máxima	110,0
Largura da mão no metacarpo	8,0	9,0	9,6	8,9	Largura média da pega	11,0
Largura da mão no polegar	9,5	10,5	11,5	10,5	Largura máxima da pega	
Largura da mão fechada	7,0	8,0	8,8	7,8	Largura mínima da pega	
Comprimento da mão na extremidade do dedo mínimo	14,2	15,5	17,0	15,6	Comprimento Max. da extremidade da pega a manete	8,0
Comprimento da mão na extremidade do polegar	11,4	13,5	15,3	13,4		
Comprimento da mão na base do polegar	5,5	6,8	7,7	6,7		
Diâmetro interno da pega	5,3	7,1	11,4	6,9	Diâmetro da pega	3,2

Com intuito de definir a altura adequada para construção do motocoveador, foi utilizado o percentil de 95%. Dessa forma, para a altura máxima da máquina, ou seja, aquela altura da ponta do trado até a pega foi baseada na altura do cotovelo, utilizando a medida de 0,11 m. Como a cova possui 0,30 m de profundidade, a altura mínima é de 0,80 m, o que se aproxima da média da altura do punho.

Para o diâmetro da pega utilizou-se um “punho” padrão utilizado em motocicletas com diâmetro de 0,032 m, sendo menor que a média do diâmetro interno

da pega (0,069 m) o que garantiu melhor firmeza das mãos e possibilitou um melhor acionamento das manetes de acionamento.

O “comprimento da mão na extremidade do dedo mínimo” foi de 0,17 m, então para se definir o comprimento útil da mão (CUM), posicionada no “punho”, para o acionamento da manete, deveremos diminuir este valor pelo “Comprimento da mão na base do polegar”, ou seja, $CUM = 0,17 - 0,077 = 0,093$ m, sendo assim, foi definido um valor de 0,080 m entre a extremidade superior do “punho” ou pega e a inferior da manete, conforme ilustra a Figura 34.

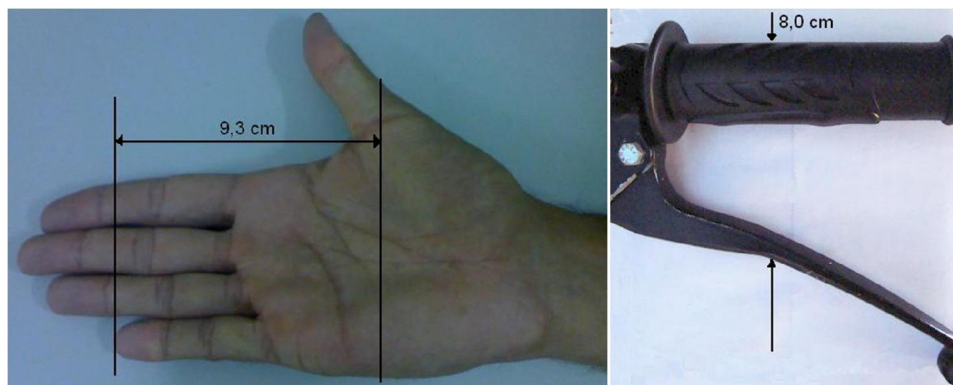


Figura 34: Medida do comprimento útil da mão e dimensões da pega e manete

4.6. Agentes físicos

4.6.1. Ruído

Este agente físico é o responsável pelas perdas auditivas induzidas pelo ruído (PAIR) a que acometem os trabalhadores a ele expostos, sendo aquele que mais indicam nexos causais positivos em perícias ocupacionais, além disto, a redução ou perda deste sentido é algo irreparável para a pessoa afetada.

As análises de ruído para diferentes inclinações resultaram no gráfico descrito pela Figura 35, onde todos os níveis registrados se encontraram abaixo do limite preconizado pelas normas vigentes, ou seja, não superior a 85 dB para uma jornada de trabalho contínuo de 8 horas diárias. Caso este limite fosse extrapolado, haveria a

necessidade de utilização de protetores auriculares ou atenuação da fonte de ruído de forma a atender a NR6 (Equipamento de Proteção Individual).

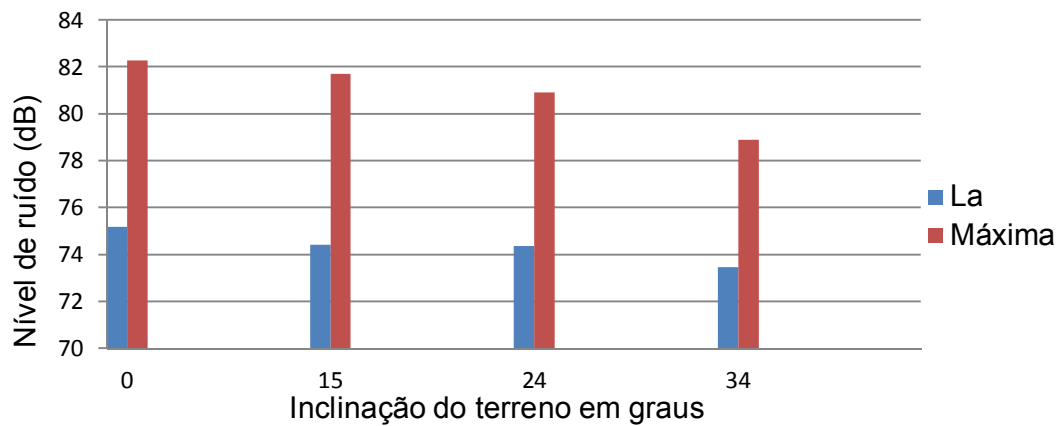


Figura 35: Nível de ruído médio (La) e Nível máximo de ruído

Como proposto por Kroemer e Grandjean (2005) a melhor forma de combater o ruído é reduzir a sua geração, desta forma, o protótipo do motocoveador hidráulico atendeu a este princípio com níveis abaixo do limite máximo, para uma jornada de 8 horas diárias, permitido pela Legislação Brasileira (NR15).

Estudos de níveis de ruído em equipamentos manuais apresentaram valores superiores aos encontrados para o motocoveador em questão, como o trabalho desenvolvido por Cunha (2000) que analisou diversas motosserras e encontrou níveis médios de ruído, em aceleração, entre 103,4 e 105,6 dB(A),

Os níveis de ruído possuem um comportamento decrescente em relação ao aumento da inclinação, ou seja, para cada aumento de unidade de inclinação há uma redução de 0,0471 dB, isto se deve ao fato de que, provavelmente, durante a coleta, na parcela de inclinação zero, estava ocorrendo uma sobreposição das ondas acústicas geradas pelo módulo hidráulico, que eram refletidas pela inclinação do terreno. Para as outras inclinações, o módulo estava posicionado na parte mais alta do terreno, não ocorrendo esse efeito.

A equação 8 mostra a estimativa para o nível de ruído em função da inclinação do terreno.

De posse dos dados estimou-se a equação que explica o comportamento do ruído em função apenas da inclinação ($p < 0,05$), visto não haver efeito do tempo de perfuração. Essa equação possui um coeficiente de explicação de 92,2% e é mostrada abaixo:

$$\hat{Y} = 75,2 - 0,0471 * I \quad (8)$$

Onde:

\hat{Y} = Ruído (dB)

I = Inclinação em graus

* Significativo pelo teste t ($p < 0,05$)

O comportamento do nível de ruído em relação ao aumento de inclinação pode ser visualizado na Figura 36.

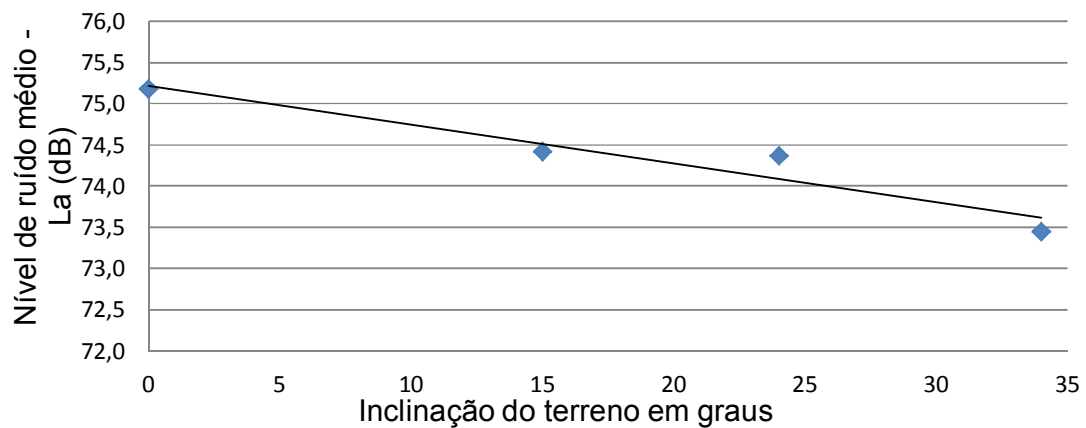


Figura 36: Estimativa do ruído em função da inclinação do terreno

4.6.2. Vibração

De acordo com a Diretiva 2002/448EC da Comunidade Européia, os valores de exposição que desencadeiam a ação ao sistema mão-braço para um período de referência de 8 horas A(8) é fixado em $2,5 \text{ m s}^{-2}$. Quando a vibração ultrapassa este nível os efeitos sobre a saúde e a segurança dos trabalhadores poderão estar sujeitas a riscos especialmente sensíveis.

Por meio dos dados coletados e descritos no Quadro 7, referente à vibração na mão direita e mão esquerda, para cada uma das faixas de inclinação do terreno.

Quadro 7: Aceleração nos três eixos e limite máximo de exposição para 8 horas

Incl.	Mão	Aceleração (m s ⁻²)	Exposição 8h	
		Global A(8)	Nível de Alerta	Nível Limite
0°	esquerda	6,59	1h9m	4h37m
	direita	7,42	54m	3h38m
15°	esquerda	6,92	1h3m	4h11m
	direita	7,19	58m	3h52m
24°	esquerda	6,59	1h9m	4h36m
	direita	7,15	59m	3h55m
34°	esquerda	6,96	1h 2m	4h 8m
	direita	7,88	48m	3h13m

O nível de Alerta equivale a 2,5 m s⁻² e o Nível Limite equivale a 5,0 m s⁻²

Como se pode perceber, o nível de vibração Global A(8) do protótipo hidráulico para todas as inclinações, tanto na mão esquerda quanto na direita, foram superiores aos valores recomendados pela Diretiva Européia. Quando se analisa a vibração da máquina em função de uma dose diária de 5,0 m s⁻², percebe-se que o menor tempo de exposição diária passa de 3 horas e a maior de 4,5 horas.

Ressalta-se que estes valores podem variar muito em função do tipo de solo, umidade, compactação e presença de pedras, tocos e raízes.

A estimativa da vibração nas mãos esquerda e direita sofre efeito apenas da inclinação, entretanto há baixa qualidade de explicação sobre os valores das características (Tabela 5), pois existem outros fatores que afetam o seu valor, principalmente a quantidade de pedras e raízes presentes no solo perfurado, visto que estas causam pequenos choques e travamentos no trado, transmitindo vibrações, das mais variadas amplitudes e freqüências pela estrutura da máquina.

Tabela 5: Estimativa dos valores de vibração em função da inclinação do terreno

Variável	Equação de Regressão	R ² (%)
Vibr. mão esquerda	$\hat{Y} = 6,63 + 0,00761 * I$	29,4
Vibr. mão direita	$\hat{Y} = 7,22 + 0,0103 * I$	19,7

* Significativo pelo teste t (p < 0,05)

4.7. Capacidade Operacional Efetiva

A determinação da capacidade operacional efetiva é de grande importância quando se trata de equipamentos, visto que é desejável saber efetivamente qual a área por unidade de tempo que o mesmo é capaz de executar sob certas condições, pois esta informação poderá ser crucial durante a decisão de se investir na compra deste equipamento e/ou no dimensionamento do número de equipamentos a serem utilizados.

Primeiramente, determinou-se o tempo médio a partir dos dados e da metodologia proposta por Barnes (1977). Na Tabela 6 é mostrado, para todas as faixas de inclinação, o número de amostras necessárias para que a média seja representativa. Todas as inclinações necessitaram de um número de amostras inferior as 45 coletadas, sendo assim pôde-se calcular o tempo médio sem a necessidade de novas cronometragens, inclusive para todas as 180 amostras juntas.

Como todos os tempos foram coletados em segundos e a área do experimento é dada por m², a equação de cálculo de capacidade operacional padrão foi multiplicada por 0,36 para se obter a unidade ha h⁻¹, sendo assim, os resultados são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Resultados do número da amostra (N'), tempo médio (Tm) e capacidade operacional efetiva (Ce)

Inclinação	N'	Tm (s)	Ce (ha/h)
0°	28,23	35,01	0,0925
15°	36,63	29,64	0,1093
24°	22,97	35,50	0,0913
34°	27,59	35,27	0,0919
Média	30,44	32,33	0,0962

Como pode ser visto, os cálculos da capacidade operacional efetiva foram realizados para cada uma das quatro inclinações, além destes, foi calculado uma C_e média, independente da inclinação, pelo fato de que os tempos médios indicam não terem sido afetados pela inclinação, entretanto, pôde-se perceber durante o experimento que o fator de maior influencia foi a presença de pedras e restos de raízes.

Para a capacidade operacional efetiva, a equação estimada não explica o seu comportamento, não havendo efeito ($p > 0,05$) da inclinação e tempo de perfuração, por isso, o valor estimado é a média dos valores da C_e para as quatro inclinações (Figura 37), ou seja, 0,0962 ha/h.

Esse resultado se deve ao fato de que a C_e é inversamente proporcional ao valor do tempo de coveamento, tempo este que é afetado diretamente por variações de compactação, umidade e, principalmente, pela presença de pedras, tocos e raízes, fato este que ocorreu principalmente na inclinação de 15° o que explica um decréscimo no tempo médio de perfuração e o conseqüente aumento da capacidade operacional efetiva.

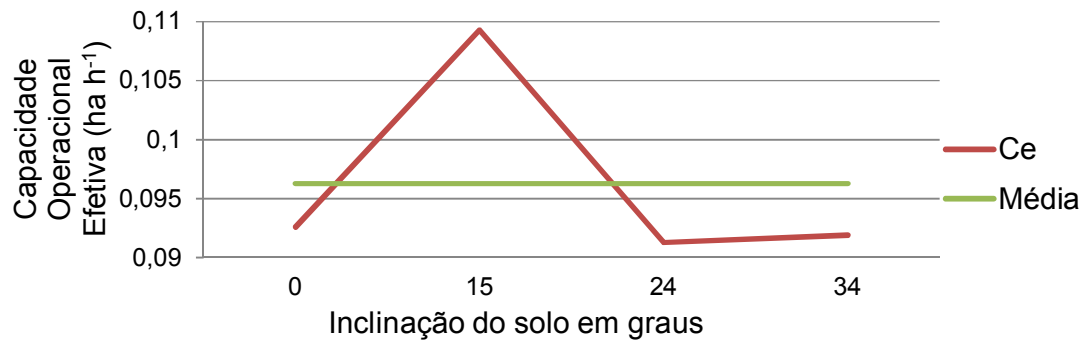


Figura 37: Capacidade operacional efetiva em função da inclinação do terreno

4.8. Determinação do teor de água no solo

Para a caracterização da área amostral foram coletadas a 0,30 metros de profundidade, 20 amostras de solo, sendo cinco para cada parcela, e determinado seu teor médio, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7: Resultados do teor médio de água no solo (%) em função das diferentes inclinações do terreno

Inclinação	0°	15°	24°	34°
Umidade média(%)	20,96	20,88	19,25	18,72

5. CONCLUSÕES

O protótipo desenvolvido do motocoveador hidráulico apresentou-se eficaz e eficiente frente às variáveis mecânicas utilizadas e mostrou-se adaptado ao perfil da população fonte das variáveis antropométricas.

Quanto ao quesito de carga física de trabalho, o protótipo foi considerado leve em todas as inclinações do terreno.

A avaliação biomecânica apresentou valor superior à carga limite de compressão no disco (CLCS) apenas na postura final na inclinação de 34°.

Com relação aos níveis de ruído, a máquina mostrou-se adequada frente às normas brasileiras e internacionais.

Os níveis de vibração, entretanto, ficaram acima do limite máximo permitido pela norma europeia, o que demandará futuros estudos para redução desse fator.

A capacidade operacional efetiva média foi de 0,0962 ha h⁻¹ sendo, entretanto, a presença de pedras e raízes o fator que mais afeta o desempenho do motocoveador.

O protótipo desenvolvido mostrou-se eficiente para todas as inclinações analisadas, podendo ser uma alternativa viável para as empresas florestais.

Nenhuma das variáveis analisadas sofrem efeito do tempo de coveamento e apenas a capacidade operacional efetiva não é explicada pelo efeito da inclinação. Para a vibração, há efeito da inclinação, porém o modelo possui baixa qualidade de explicação. Para as outras variáveis houve efeito da inclinação e apresentaram boa qualidade de explicação.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF, **Anuário estatístico da ABRAF**: Ano base 2008 / ABRAF, Brasília, 2009.

ALMACINHA, J. A., **Bomba de engrenagens exteriores de dentado recto utilizada em transmissões hidrostáticas**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2003. Disponível em: < <http://www.fe.up.pt/si/> >. Acesso em: 05 nov. 2009.

ALVES, J. U., **Análise ergonômica da produção de mudas de eucalipto em viveiro, no vale do Rio Doce, MG**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, MG, 2004.

AÑES, C. R. R., **Antropometria na Ergonomia**, Revista Virtual de Ergonomia, UFSC, 2000.
Disponível em: < http://www.eps.ufsc.br/ergon/revista/artigos/Antro_na_Ergo.PDF >.
Acesso em: 04 nov. 2009.

APUD, E. S. **Guidelines on ergonomic study in forestry**. Genebra: ILO, 1989. 241p.

APUD, E. S. **Temas de ergonomia aplicados al aumento de la productividad de la mano de obra en cosecha forestal**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE

COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 3., Vitória, 1997. **Anais...** Vitória: SIF, 1997. p. 46-60.

BARNES, R. M. **Estudo de movimentos e de tempos:** projeto e medida do trabalho. 6. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1977.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora 6 – Equipamento de proteção individual**, Portaria n.º 3214, de 08 de junho de 1978.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora 15 - Atividades e operações insalubres**, Portaria n.º 3214, de 08 de junho de 1978.

BRIDGER, R. S., **Introduction to ergonomics**. 2.ed. New York: Taylor & Francis, 2003. 548 p.

BRITO, A. B., Avaliação e redesenho da cabine do “Feller-Buncher” com base em fatores ergonômicos. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, MG, 2007.

BROWNE, C. D.; NOLAN, B. M.; FAITHFULL, D. K., **Occupational repetition strain injuries**. Guidelines for diagnosis and management. Medical Journal of Australia, 1984

BURLA, E. R., **Avaliação técnica e econômica do “Harvester” na colheita do eucalipto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, MG, 2008.

CARROCCI, L. R., **Roteiro de ensaio de bombas Hidráulicas**, UNESP, 2005. Disponível em: < <http://www.feg.unesp.br/~caec/> >. Acesso em: 24 nov. 2009.

CARVALHAES, M. A.; OLIVEIRA, R. E.; SANTOS, J. D.; CAMILO, D. R.; VEDOVETO, M.; MAZZELLA, P. R. M.; KORMAN, V., **Produtos florestais madeireiros e não madeireiros da mata atlântica brasileira: oportunidades para**

a conservação e a restauração florestal, Florestar Estatístico, v.11, n.20, junho/2008.

CASTANHO FILHO, E. P., **Eucalipto: Demanda Crescente**, Florestar Estatístico, v.9, n.18, São Paulo, nov/2006.

CASTANHO FILHO, E. P., **Cartilha de introdução ao plantio do eucalipto**. Florestar. São Paulo, 2008. Disponível em: < <http://www.floresta.org.br/textos/cartilhaeucaliptoneo.doc> >. Acesso em: 10 maio 2009.

CENFIM, **Introdução à Óleo-Hidráulica**. Núcleo de Ermesinde, 2005. Disponível em: < <http://www.leonardo.th.schule.de/> >. Acesso em: 12 nov. 2009.

COSTA JUNIOR, E. S., **Hidráulica**, CEFET-MG, 2005. Disponível em: < <http://academicos.cefetmg.br/admin/downloads/> >. Acesso: 23 nov. 2009.

COUTO, H. A., **Ergonomia Aplicada ao Trabalho: O Manual Técnico da Máquina Humana**, v.1, Ergo Editora, Belo Horizonte, 1995.

COUTO, H. A., **Ergonomia Aplicada ao Trabalho: O Manual Técnico da Máquina Humana**, v.2, Ergo Editora, Belo Horizonte, 1996.

COUTO, H. A.; NICOLETTI, S. J.; LECH, O., **Como gerenciar a questão das L.E.R./D.O.R.T**, Ergo Editora, Belo Horizonte, MG, 1998.

CUNHA, I. A., **Níveis de vibração e ruído gerados por motosserras e sua utilização na avaliação da exposição ocupacional do operador à vibração**. 2000. 175f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2000.

DOUROJEAMI, M. **O eucalipto não é vilão**. [S.l.]: Agrosoft, 2009. Disponível em: < <http://agrosoft.com/pdf.php/?node=211362> >. Acesso em: 02 out. 2009.

EDHOLM, O. G., **A biologia do trabalho**. Tradução de Ilídio Sardoeira. Porto: Inova, 1968. 258 p.

FERREIRA, J. H., **Pólos de desenvolvimento florestal: fator de multiplicação das oportunidades no Brasil**. Florestar São Paulo, Disponível em: < http://www.florestar.org.br/textos/Artigo_Hernon_Opinioes.doc >. Acesso em: 18 maio 2009.

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

FONTES, J. M. **Desenvolvimento de um sistema informatizado para planejamento e controle de manutenção em máquinas florestais: SBPLAM**. 1996. 134f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 1996.

GONÇALVES, M. **Variáveis biomecânicas analisadas durante o levantamento manual de carga**. Revista Motriz, v.4, n.2, p.85-90, 1998.

GRIFFIN, M. J., **Handbook of Human Vibration**. London: Academic Press, 1990.

IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. 2.ed. São Paulo: Blücher, 2005. 614 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration**. Genève, 1985. ISO-2631

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Mechanical vibration - guidelines for the measurement and assessment of human exposure to hand - transmitted vibration**. Genève, 1986. ISO-5349

KAYSER, K.; CORRÊA, M. J. U.; ANDRADE, L. E. C., **Fenômeno de Raynaud**. Revista Brasileira de Reumatologia, v.49, n.1, p.48-63, 2009,.

KOPPEN, W. **Climatologia com um estúdio de los climas de La tierra**. México: Fondo de cultura Econômica, 1948. 478 p.

KROEMER, K. H. E; GRANDJEAN, E. **Manual de ergonomia**: adaptando o trabalho ao homem. 5.ed, Porto Alegre: Bookman, 2005. 327 p.

LAURIG, W.; VEDDER, J. **Ergonomia: Herramientas y enfoques**. In: ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO. OIT, Madrid, 1998.

LAVILLE, A., **Ergonomia**. Tradução de Márcia Maria Neves Teixeira. São Paulo, EPU, Ed. da Universidade de São Paulo, 1977.

LOPES, S. E., **Análise técnica e econômica de um sistema de colheita florestal**. 2007. 124f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

MINETTI, L. J.; SOUZA, A. P. de; ALVES, J. U.; FIEDLER, N. C. **Estudo antropométrico de operadores de motosserra**. Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental. v.6, n.1, p.166-170, 2002.

MINETTE, L; J. **Análise de fatores operacionais e ergonômicos na operação de corte florestal com motosserra**. 1996. 211f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, MG, 1996.

MORAES A.; MONT'ALVÃO C. **Ergonomia, conceitos e aplicações**. 2.ed. Rio de Janeiro: 2AB, 2000.

MOREIRA, A. T., **Análise técnica e operacional de colheitadeiras florestais**. Rio de Janeiro: UFFJ, p.261-278, 1992.

ROYAS, A. D. V.; MARZIALE, M. H. P. **A situação de trabalho do pessoal de enfermagem no contexto de um hospital argentino: um estudo sob a ótica da ergonomia.** Revista Latino-Americana de Enfermagem, Ribeirão Preto, v.9, n.1, p. 102-108, 2001.

SALMERON, A. **A mecanização da exploração florestal.** Piracicaba:IPEF, 1980.

SANTOS, N.; FIALHO, F. **Manual de Análise Ergonômica do Trabalho.** Curitiba: Genesis, 1995. 283 p.

SCHLOSSER, J. F.; DEBIASI, H.; PARCIANELLO, G.; RAMBO, L., **Antropometria aplicado aos operadores de tratores agrícolas.** Ciência Rural, Santa Maria, v.32, n.6, p. 983-988, 2002.

SEBASTIÃO, B. A.; MARZIALE, M. H.; ROBAZZI, M. L. C. C.; **Uma revisão sobre os efeitos adversos ocasionados na saúde de trabalhadores expostos à vibração.** Revista Baiana de Saúde Pública, v.31, n.1, p. 178-186, jan./jun. 2007.

SILVA, E. P.; MINETTI, L. J.; SOUZA, A. P., **Análise ergonômica do trabalho de coveamento semimecanizado para o plantio de eucalipto,** Scientia Forestalis., Piracicaba, n.76, p. 77-83, dez/2007.

SILVA, K. R.; MINETTE, L. J.; FIEDLER, N. C.; VENTUROLI, F.; MACHADO, E. G. B.; SOUZA, A. P., **Custos e rendimentos operacionais de um plantio de eucalipto em região de cerrado.** Revista Árvore. v.28, n.3, p. 361-366, 2004,

SILVA FILHO, J. F. **Gestão Participativa e Produtividade: Uma Abordagem da Ergonomia.** 1995. 132f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 1995.

VENDRAME, A. C., **Exposição ocupacional às vibrações,** 2005. 4 p. Disponível em < http://www.vendrame.com.br/downloads/exposicao_ocupacional_as_vibracoes.pdf >. Acesso em: 20 out. 2009.

VENDRAME, A. C., PIANELLI, C., **Vibrações em corpo inteiro em operadores de empilhadeiras**, 2008. 69 p. Disponível em: <
http://www.abiquim.org.br/12cong/pdfs/cristiana_pianelli.pdf >. Acesso em: 18 out. 2009.

XIMENES, G. M., **Gestão ocupacional da vibração no corpo humano, aspectos técnicos e legais relacionados à saúde e segurança**. 2006. 157f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2006.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Tabela 8: Amostras de tempo (segundos) para a coleta de dados em função da inclinação do terreno e o número de covas por parcela

Incl.	Rep.	AMOSTRAS								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	R1	27,34	26,81	41,49	25,16	24,68	28,36	26,42	20,31	25,21
	R2	26,08	51,45	34,29	29,69	29,6	29,47	28,6	26,29	24,31
	R3	24,06	53,47	56,08	43,21	47,34	37,56	45,76	52,54	28,9
	R4	41,16	35,48	30,94	27,03	46,99	28,11	35,44	49,57	43,83
	R5	32,14	29,72	28,71	38,67	36,74	40,76	44,14	39,06	32,64
15	R1	29,31	22,89	30,38	29,68	29,46	24,75	25,09	34,38	27,55
	R2	25,35	50,41	39,16	25,64	36,61	23,44	29,95	22	37,51
	R3	37,81	28,28	29,69	55,54	29,49	26,83	38,45	21,6	35,82
	R4	26,86	32,98	44,98	23,45	21,44	18,06	17,88	23,51	43,3
	R5	18,16	24,28	19,88	52,28	23,49	27,45	23,01	20,81	24,98
24	R1	31,93	38,06	37,78	21,03	23,16	40,49	39	42,97	33,61
	R2	30,19	31,49	35,35	36,47	40,2	40,77	42,06	32,69	35,57
	R3	38,65	54,79	46,98	46,96	38,97	34,97	35,47	34,58	17,58
	R4	15,96	23,8	31,16	30,53	42,07	35,88	37,35	40,47	52,7
	R5	26,95	35,96	37,18	20,62	39,8	50,38	40,43	30,01	24,29
34	R1	32,48	27,84	31,86	26,51	30,46	44,16	44,79	41,35	22,56
	R2	22,41	28,67	26,69	29,96	24,71	40,14	30,46	30,52	52,61
	R3	55,19	51,2	53,51	37,21	25,69	60,1	46	37,04	23,1
	R4	24,36	29,58	35,1	27,77	32,5	46,22	37,05	30,9	32,02
	R5	30,3	40,68	36,36	26,22	35,09	39,96	33,83	40,24	31,9

APÊNDICE B

Tabela 9: Resultados da umidade média do solo (%) em função das diferentes inclinações do terreno

Inclinação	Cápsulas	Tara (g)	Peso úmido (g)	Peso seco (g)	Umidade (%)	Umidade média (%)
0°	290	40,82	165,0	142,96	21,58	20,96
	291	39,55	186,64	158,34	23,82	
	292	39,43	285,60	246,19	19,06	
	293	43,30	254,07	220,64	18,85	
	294	40,87	267,33	227,28	21,48	
15°	295	39,52	217,89	186,65	21,23	20,88
	296	39,46	249,32	216,49	18,54	
	297	44,27	234,04	198,74	22,85	
	298	41,93	220,72	191,36	19,65	
	299	39,39	219,79	187,12	22,11	
24°	280	39,55	191,74	167,57	18,88	19,25
	281	40,31	189,92	168,11	17,07	
	282	43,60	185,12	157,85	23,87	
	283	40,62	129,77	116,16	18,02	
	284	41,76	204,34	179,04	18,43	
34°	285	42,65	128,84	114,24	20,39	18,72
	286	39,01	167,66	145,32	21,01	
	287	39,33	141,96	127,81	15,99	
	288	40,40	148,68	134,71	14,81	
	289	41,45	134,04	117,74	21,37	