

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

USABILIDADE APLICADA AO DESIGN ERGONÔMICO DE
TRANSDUTORES DE ULTRA-SONOGRAFIA: UMA PROPOSTA
METODOLÓGICA PARA AVALIAÇÃO E ANÁLISE DO PRODUTO

LUIS CARLOS PASCHOARELLI

TESE DE DOUTORADO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**USABILIDADE APLICADA AO DESIGN ERGONÔMICO DE
TRANSDUTORES DE ULTRA-SONOGRAFIA: UMA PROPOSTA
METODOLÓGICA PARA AVALIAÇÃO E ANÁLISE DO PRODUTO**

LUIS CARLOS PASCHOARELLI

**Tese de Doutorado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção da
Universidade Federal de São Carlos,
como parte dos requisitos para a
obtenção do título de Doutor em
Engenharia de Produção.**

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Helenice Jane Cote Gil Coury

SÃO CARLOS

2003

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária/UFSCar**

P279ua

Paschoarelli, Luis Carlos.

Usabilidade aplicada ao design ergonômico de transdutores de ultra-sonografia: uma proposta metodológica para avaliação e análise do produto / Luis Carlos Paschoarelli . -- São Carlos : UFSCar, 2003.

142 p.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2003.

1. Ergonomia. 2. Eletrogoniometria. 3. Design ergonômico. 4. Ultra-sonografia. I. Título.

CDD: 620.82 (20^a)

BANCA DE AVALIAÇÃO

Prof.^a Dr.^a Helenice Jane Cote Gil Coury
orientadora
Departamento de Engenharia de Produção - CCET
Universidade Federal de São Carlos

Prof. Dr. José Flávio Diniz Nantes
Departamento de Engenharia de Produção - CCET
Universidade Federal de São Carlos

Prof. Dr. José Carlos Plácido da Silva
Departamento de Desenho Industrial - FAAC
Universidade Estadual Paulista

Prof. Dr. José Jorge Boueri Filho
Departamento de Tecnologia - FAU
Universidade de São Paulo

Prof. Dr. João Cândido Fernandes
Departamento de Engenharia Mecânica / FEB
Universidade Estadual Paulista

**“E não podia fazer ali nenhum milagre, a não ser curar alguns poucos enfermos,
impondo-lhes as mãos”
Marcos, 6:5**

**“Ao pôr do sol, todos os que tinham enfermos de várias doenças lhos traziam, e Ele punha
as mãos sobre cada um deles e os curava”
Lucas, 4:40**

As melhores empunhaduras – aquelas que possibilitam a postura e a força mais adequadas, ou as condições mais confortáveis e agradáveis – devem ser uma meta constante para o design ergonômico de instrumentos manuais. Entretanto, algumas excelentes empunhaduras dependem, senão, da amizade, da paz e da tolerância humana, já que são representadas e materializadas pela própria mão do próximo. E só percebemos esta empunhadura magnífica, quando realizamos um dos cumprimentos mais antigos e universais da cultura humana: um sincero aperto de mão.

AGRADECIMENTOS

Dedico esse trabalho a Orlando Paschoarelli e Augusta Colomera Paschoarelli, os quais sempre me conduziram pelo caminho da ética, pela certeza da justiça e pela fé em Deus.

Agradecimentos especiais a minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Helenice Jane Cote Gil Coury, a qual confiou na minha pessoa através da sua amizade e da sua tolerância, e possibilitou-me o desenvolvimento desse trabalho, dentro de seu grupo de pesquisa.

Agradecimentos a UFSCar – Universidade Federal de São Carlos, especialmente aos alunos que participaram como sujeitos nessa pesquisa, aos meus grandes amigos do Laboratório de Fisioterapia Preventiva – Ergonomia do Departamento de Fisioterapia, aos professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção – Departamento de Engenharia de Produção, e professores dos Departamentos de Estatística, Engenharia de Materiais e Psicologia.

Agradecimentos a UNESP – Universidade Estadual Paulista, especialmente ao Prof. Dr. José Carlos Plácido da Silva, que sempre me conduziu pelos caminhos acadêmicos (da iniciação científica até esse momento) e a todos os meus alunos que nesses últimos três anos me auxiliaram, acompanharam e se interessaram por esse trabalho. Agradecimentos também a todos os membros da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, especialmente aos professores do Departamento de Desenho Industrial e Departamento de Artes e Representação Gráfica, bem como aos professores dos Departamentos de Engenharia Elétrica, Engenharia Mecânica e Engenharia de Produção – FEB, e Departamento de Matemática – FC.

Agradecimentos especiais a todos os meus irmãos e demais familiares, professores, alunos, amigos e outros colegas, que direta ou indiretamente colaboram para o alcance de mais essa etapa.

Lamento que por razões técnicas e de espaço, não poderei citar o nome de todos os colaboradores desse trabalho, mas espero tê-los, para sempre, guardados em meu coração. A todos, meus sinceros agradecimentos.

Agradecimentos a FAPESP, pelo auxílio na aquisição de equipamentos (processo 99/12147-7).

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Usabilidade de Produtos Manuais:	
a Interação Entre Ergonomia e Design Industrial.....	2
1.1.1 Usabilidade.....	3
1.1.2 Ergonomia.....	4
1.1.3 Design Industrial.....	5
1.2 Metodologias de Design Ergonômico.....	8
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 Ultra-sonografia.....	13
2.1.1 Conceituação e Histórico.....	13
2.1.2 Ultra-sonografia de mama.....	14
2.1.3 Atividades ocupacionais na ultra-sonografia de mama.....	16
2.1.3.1 Análise da tarefa.....	17
2.1.3.2 Compreensão da atividade de trabalho.....	18
2.1.4 Problemas decorrentes das atividades ocupacionais dos médicos ultra-sonografistas.....	19
2.2 Aspectos Biomecânicos.....	25
2.2.1 Postura em faixas de amplitude segura e crítica.....	27
2.2.1.1 Faixa de amplitude segura para movimentos de flexão do punho.....	27
2.2.1.2 Faixa de amplitude segura para movimentos de extensão do punho.....	29
2.2.1.3 Faixa de amplitude segura para movimentos em desvio radial.....	30
2.2.1.4 Faixa de amplitude segura para movimentos em desvio ulnar.....	31
2.2.1.5 Faixa de amplitude segura para os movimentos em supinação.....	31
2.2.1.6 Faixa de amplitude segura para os movimentos em pronação.....	32
2.2.1.7 Síntese das faixas de amplitudes segura e críticas dos movimentos do punho e antebraço.....	32
2.2.2 Pressão exercida na interface entre mão e dispositivo manual.....	35
2.3 Aspectos de Percepção.....	36
2.4 Micro-Macro Estrutura de Pesquisa.....	38

2.4.1	Justificativas.....	38
2.4.2	Questão da Pesquisa.....	38
2.4.3	Hipótese.....	38
2.4.4	Objetivos.....	38
2.4.5	Tipos/Técnicas de pesquisa.....	39
2.4.6	Estrutura da pesquisa.....	39
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
3.1	Primeira Experimentação - Materiais e Métodos.....	40
3.1.1	Sujeitos.....	40
3.1.1.1	CrITÉrios de inclusão.....	40
3.1.1.2	Caracterizao dos sujeitos.....	41
3.1.2	Materiais.....	42
3.1.2.1	Simulador do equipamento de ultra-sonografia.....	42
3.1.2.2	Transdutores lineares para ultra-sonografia de mama.....	43
3.1.2.3	Dispositivos de coleta, registro e análise de dados.....	45
3.1.2.3.1	DataLINK.....	45
3.1.2.3.2	Eletrogoniômetros.....	47
3.1.2.4	Aplicativo com os procedimentos.....	48
3.1.2.5	Demais equipamentos.....	50
3.1.3	Procedimentos.....	50
3.1.3.1	Preparao do sujeito.....	51
3.1.3.2	Simulao da atividade.....	53
3.1.3.3	Procedimentos para a análise dos dados.....	54
3.1.3.3.1	Análise dos movimentos.....	54
3.1.3.3.2	Análise estatística.....	54
3.2	Design Ergonômico - Materiais e Métodos.....	55
3.2.1	Análise e conceituao do problema.....	55
3.2.2	Gerao e análise de alternativas.....	57
3.2.2.1	Processo conceitualista (gerao de conceitos).....	58
3.2.2.2	Processo de desenvolvimento (gerao de desenhos).....	63
3.2.3	Aperfeiçoamento final da alternativa.....	65

3.2.3.1 Especificação dimensional do produto.....	65
3.2.3.2 Modelagem virtual.....	66
3.2.3.3 Modelagem física.....	67
3.3 Segunda Experimentação - Materiais e Métodos	70
3.3.1 Sujeitos.....	70
3.3.1.1 Critérios de inclusão.....	70
3.3.1.2 Caracterização dos sujeitos.....	70
3.3.2 Materiais.....	71
3.3.2.1 Simulador do equipamento de ultra-sonografia.....	71
3.3.2.2 Transdutores lineares para ultra-sonografia de mama.....	72
3.3.2.3 Dispositivos de coleta, registro e análise de dados.....	72
3.3.2.3.1 DataLINK.....	72
3.3.2.3.2 Sensores de carga FSRs.....	74
3.3.2.4 Aplicativo com os procedimentos.....	75
3.3.2.5 Demais equipamentos.....	75
3.3.3 Procedimentos.....	75
3.3.3.1 Preparação do sujeito.....	76
3.3.3.2 Simulação da atividade.....	77
3.3.3.3 Procedimentos para a análise dos dados.....	77
3.3.3.3.1 Análise dos movimentos e cargas.....	77
3.3.3.3.2 Análise estatística.....	79
3.4 Design Ergonômico/Revisão Projetual - Materiais e Métodos.....	79
3.4.1 Geração e análise de alternativas/processo de desenvolvimento.....	79
3.4.2 Aperfeiçoamento final das alternativas	81
3.4.2.1 Especificação dimensional do produto.....	81
3.4.2.2 Modelagem virtual.....	82
3.4.2.3 Modelagem física.....	83
3.5 Terceira Experimentação - Materiais e Métodos.....	85
3.5.1 Sujeitos.....	85
3.5.1.1 Critérios de inclusão.....	85
3.5.1.2 Caracterização dos sujeitos.....	85
3.5.2 Materiais.....	86

3.5.2.1 Transdutores lineares para ultra-sonografia de mama.....	86
3.5.3 Procedimentos.....	87
3.6 Quarta Experimentação/Avaliação Subjetiva - Materiais e Métodos.....	87
3.6.1 Sujeitos - critérios de inclusão e caracterização.....	88
3.6.2 Materiais.....	88
3.6.3 Procedimentos.....	89
3.6.4 Procedimentos para a análise dos dados.....	89
3.6.4.1 Análise dos níveis de percepção.....	89
3.6.4.2 Análise estatística.....	90
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	91
4.1 Resultados e Discussão da Primeira Experimentação.....	91
4.1.1 Amplitudes médias e máximas de movimento.....	91
4.1.2 Porcentagem de tempo em faixas de amplitude.....	92
4.1.3 Discussão das amplitudes médias e porcentagem tempo em faixas de amplitude.....	94
4.2 Resultados e Discussão do Design Ergonômico.....	96
4.2.1 Discussão do design ergonômico.....	99
4.3 Resultados e Discussão da Segunda Experimentação.....	99
4.3.1 Amplitudes médias e máximas de movimento.....	99
4.3.2 Porcentagem de tempo em faixas de amplitude segura e crítica.....	101
4.3.3 Médias de carga nos diferentes sensores FSRs.....	104
4.3.4 Discussão das amplitudes médias, porcentagem de tempo em faixas de amplitude segura e crítica e médias de carga nos diferentes sensores FSRs.....	105
4.4 Resultados e Discussão do Design Ergonômico/Revisão Projetual.....	107
4.4.1 Discussão do design ergonômico/revisão projetual.....	109
4.5 Resultados e Discussão da Terceira Experimentação.....	110
4.5.1 Amplitudes médias e máximas de movimento.....	110
4.5.2 Porcentagem de tempo em faixas de amplitude segura e crítica.....	113
4.5.3 Médias de carga nos diferentes sensores FSRs.....	116

4.5.4 Discussão das amplitudes médias, porcentagem de tempo em faixas de amplitude segura e crítica, e médias de carga nos diferentes sensores FSRs.....	117
4.6 Resultados da Quarta Experimentação/Avaliação Subjetiva.....	119
4.6.1 Valores médios do nível de desconforto.....	120
4.6.2 Valores médios do nível de agradabilidade.....	121
4.6.3 Discussão dos resultados da avaliação subjetiva.....	122
5 CONCLUSÃO.....	124
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	126
7 APÊNDICES.....	135
8 ANEXOS.....	140
9 GLOSSÁRIO.....	141

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 – Diagrama indicando onde as considerações do design ergonômico são aplicadas num processo típico do desenvolvimento de produto, baseado em NORRIS & WILSON (1997).....	09
FIGURA 2.1 – Representação gráfica das faixas de amplitude segura e crítica para movimentos e posturas do punho e antebraço.....	34
FIGURA 2.2 – Estrutura da pesquisa.....	39
FIGURA 3.1 – Simulador do equipamento de ultra-sonografia.....	42
FIGURA 3.2 – Características físicas do transdutor Hitachi utilizado na primeira experimentação.....	44
FIGURA 3.3 – Características físicas do transdutor Toshiba, utilizado na primeira experimentação.....	44
FIGURA 3.4 – Esquema de conexão entre os vários elementos do DataLINK para a primeira experimentação.....	46
FIGURA 3.5 – Slides com os procedimentos do exame de ultra-sonografia para a mama direita.....	49
FIGURA 3.6 – Slides com os procedimentos do exame de ultra-sonografia para a mama esquerda.....	50
FIGURA 3.7 – Local de fixação do eletrogoniômetro.....	52
FIGURA 3.8 – Local de fixação do torsiômetro.....	52
FIGURA 3.9 – Simulação da atividade de ultra-sonografia de mama.....	53
FIGURA 3.10 – Conjunto de conceitos gerados na primeira reunião de <i>brainstorming</i>	61
FIGURA 3.11 – Conjunto de conceitos gerados na segunda reunião de <i>brainstorming</i>	62
FIGURA 3.12 – Conceito geral do sistema de pega do transdutor.....	63
FIGURA 3.13 – Alguns desenhos de transdutor gerados no processo de desenvolvimento.....	64
FIGURA 3.14 – Desenho final para o transdutor.....	64
FIGURA 3.15 – Modelagem virtual da proposta de desenho para o transdutor.....	66
FIGURA 3.16 – Pré-modelos do <i>Mock-up</i> 01.....	68
FIGURA 3.17 – Modelos negativos do <i>Mock-up</i> 01.....	68
FIGURA 3.18 – Peças finais do <i>Mock-up</i> 01, modeladas em PRFV (azul) E PRFC (grafite).....	69
FIGURA 3.19 – Peças finais do <i>Mock-up</i> 01, com dimensões baseadas nas especificações dos dados antropométricos da mão humana.....	69
FIGURA 3.20 – Painel do Simulador do equipamento de ultra-sonografia.....	71
FIGURA 3.21 – Características físicas do transdutor <i>Mock-up</i> 01, utilizado na segunda experimentação.....	72
FIGURA 3.22 – Esquema de conexão entre os vários elementos do DataLINK para a segunda experimentação.....	73
FIGURA 3.23 – Sistema de fixação dos sensores FSRs (esquerda) e detalhe da fixação no indicador (direita).....	76

FIGURA 3.24 – Tela do software DataLINK PC V. 2.00 – Biometrics Ltd. – 1998/2001.....	78
FIGURA 3.25 – Conceito 02 (Proposta de empunhadura para as operações longitudinal e transversal).....	80
FIGURA 3.26 – Conceito 03 (Proposta de empunhadura para as operações longitudinal e transversal).....	80
FIGURA 3.27 – Proposta de empunhadura para as operações rotacionais.....	81
FIGURA 3.28 – Modelagem virtual do conceito 02.....	82
FIGURA 3.29 – Modelagem virtual do conceito 03.....	83
FIGURA 3.30 – Modelagem em PU de alternativas para os <i>Mock-ups</i> 02 e 03.....	84
FIGURA 3.31 – Peças finais do <i>Mock-up</i> 02 e 03, com dimensões baseadas nas especificações dos dados antropométricos da mão humana.....	84
FIGURA 3.32 – Características físicas do transdutor <i>Mock-up</i> 02, utilizado na terceira experimentação.....	86
FIGURA 3.33 – Características físicas do transdutor <i>Mock-up</i> 03, utilizado na terceira experimentação.....	87
FIGURA 4.1 – Médias de porcentagem de tempo mantido nas posturas (faixas) neutra ($\pm 3^\circ$) e não neutra ($>3^\circ$ de flexão e $>3^\circ$ de extensão), para cada um dos transdutores.....	93
FIGURA 4.2 – Médias de porcentagem de tempo mantido nas posturas (faixas) neutra ($\pm 3^\circ$) e não neutra ($>3^\circ$ de desvio ulnar e $>3^\circ$ de desvio radial), para cada um dos transdutores.....	93
FIGURA 4.3 – Médias de porcentagem de tempo mantido nas posturas (faixas) neutra ($\pm 3^\circ$) e não neutra ($>3^\circ$ de supinação e $>3^\circ$ de pronação), para cada um dos transdutores.....	94
FIGURA 4.4 – Representações virtuais do <i>Mock-up</i> 01.....	97
FIGURA 4.5 – Modelos tridimensionais de <i>Mock-up</i> 01.....	97
FIGURA 4.6 – <i>Mock-up</i> 01 (carenagem do transdutor) sendo utilizado na simulação das operações rotacionais na atividade de ultra-sonografia.....	98
FIGURA 4.7 – <i>Mock-up</i> 01 sendo utilizado na simulação das operações transversais (esquerda) e longitudinais (direita) na atividade de ultra-sonografia.....	98
FIGURA 4.8 - Comparação entre o <i>Mock-up</i> 01, Toshiba e Hitachi, observando-se a média de porcentagem de tempo mantida nas faixas de amplitudes segura e crítica ($>15^\circ$ de flexão e $>15^\circ$ de extensão).....	102
FIGURA 4.9 - Comparação entre o <i>Mock-up</i> 01, Toshiba e Hitachi, observando-se a média de porcentagem de tempo mantida nas faixas de amplitudes segura e crítica ($>10^\circ$ de desvio radial e $>15^\circ$ de desvio ulnar).....	102
FIGURA 4.10 - Comparação entre o <i>Mock-up</i> 01, Toshiba e Hitachi, observando-se a média de porcentagem de tempo mantida nas faixas de amplitudes segura e crítica ($>45^\circ$ de pronação e $>45^\circ$ de supinação).....	103
FIGURA 4.11 - Comparação entre o <i>Mock-up</i> 01 e os transdutores comerciais observando-se a média de carga (em kgf/1000) indicada para cada sensor FSR (e suas respectivas localizações).....	104

FIGURA 4.12 – Representação virtual do <i>Mock-up</i> 02.....	107
FIGURA 4.13 – Representação virtual do <i>Mock-up</i> 03.....	107
FIGURA 4.14 – Modelo da carenagem do transdutor do <i>Mock-up</i> 02 e <i>Mock-up</i> 03, particularmente destinado às operações rotacionais....	108
FIGURA 4.15 – Modelo tridimensional do <i>Mock-up</i> 02, durante simulação das operações transversais (direita) e longitudinais (esquerda) da atividade simulada de ultra-sonografia.....	108
FIGURA 4.16 – Modelo tridimensional do <i>Mock-up</i> 03, durante simulação das operações transversais (direita) e longitudinais (esquerda) da atividade de ultra-sonografia.....	109
FIGURA 4.17 – Comparação entre o <i>Mock-up</i> 02, <i>Mock-up</i> 03 e os transdutores comerciais, observando-se a média de porcentagem de tempo mantido nas faixas de amplitudes de flexão e extensão.....	114
FIGURA 4.18 – Comparação entre o <i>Mock-up</i> 02, <i>Mock-up</i> 03 e os transdutores comerciais, observando-se a média de porcentagem de tempo mantida nas faixas de amplitudes de desvio ulnar e desvio radial....	114
FIGURA 4.19 – Comparação entre o <i>Mock-up</i> 02, <i>Mock-up</i> 03 e os transdutores comerciais, observando-se a média de porcentagem de tempo mantida nas faixas de amplitudes de pronação e supinação.....	115
FIGURA 4.20 – Comparação entre o <i>Mock-up</i> 02, <i>Mock-up</i> 03 e os transdutores comerciais, observando-se a média de carga (em kgf/1000) indicada para cada sensor FSR (e suas respectivas localizações)....	116
FIGURA 4.21 – Taxa média total do nível de desconforto indicado pelos sujeitos na avaliação subjetiva, após simulação da atividade com os transdutores de ultra-sonografia.....	120
FIGURA 4.22 – Taxa média total do nível de agradabilidade indicado pelos sujeitos na avaliação subjetiva, após simulação da atividade com os transdutores de ultra-sonografia.....	121

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1.1 – Etapas para o desenvolvimento de projeto de produto ergonômico, baseado em FRISONI & MORAES (2002).....	11
TABELA 2.1 – Revisão com síntese das faixas de amplitude segura para movimentos e posturas do punho e antebraço.....	33
TABELA 3.1 – Principais características físicas dos sujeitos da primeira experimentação.....	41
TABELA 3.2 – Principais características físicas dos sujeitos da segunda experimentação.....	70
TABELA 3.3 – Principais características físicas dos sujeitos da terceira experimentação.....	85
TABELA 4.1 – Dados (em graus) das amplitudes médias para os movimentos de flexão e extensão do punho, em cada um dos transdutores.....	91
TABELA 4.2 – Dados (em graus) das amplitudes médias para os movimentos de desvio ulnar e radial do punho, em cada um dos transdutores.....	91
TABELA 4.3 – Dados (em graus) das amplitudes médias para os movimentos de rotação do antebraço, em cada um dos transdutores.....	92
TABELA 4.4 – Dados (em graus) das amplitudes máximas para os movimentos de flexão, extensão, desvio ulnar, desvio radial, pronação e supinação, em cada um dos transdutores.....	92
TABELA 4.5 – Tempo médio (em segundos) das atividades desenvolvidas pelos sujeitos, em cada um dos transdutores.....	93
TABELA 4.6 – Dados (em graus) das amplitudes médias para os movimentos de flexão e extensão do punho, em cada um dos transdutores.....	100
TABELA 4.7 – Dados (em graus) das amplitudes médias para os movimentos de desvio ulnar e desvio radial do punho, em cada um dos transdutores.....	100
TABELA 4.8 – Dados (em graus) das amplitudes médias para os movimentos de pronação e supinação do punho, em cada um dos transdutores.....	100
TABELA 4.9 – Dados (em graus) das amplitudes máximas para os movimentos de flexão, extensão, desvio ulnar, desvio radial, pronação e supinação, em cada um dos transdutores.....	100
TABELA 4.10 – Tempo médio (em segundos) de cada atividade desenvolvida pelos sujeitos, em cada um dos transdutores.....	101
TABELA 4.11 – Dados (em graus) das amplitudes médias para os movimentos de flexão e extensão do punho, em cada um dos transdutores.....	110
TABELA 4.12 – Dados (em graus) das amplitudes médias para os movimentos de desvio ulnar e desvio radial do punho, em cada um dos transdutores.....	110

TABELA 4.13 – Dados (em graus) das amplitudes médias para os movimentos de supinação e pronação do antebraço, em cada um dos transdutores.....	111
TABELA 4.14 – Dados (em graus) das amplitudes máximas para os movimentos de flexão, extensão, desvio ulnar, desvio radial, pronação e supinação, em cada um dos transdutores.....	111
TABELA 4.15 – Resultados do teste <i>post-hoc</i> de <i>Duncan</i> , entre médias de flexão com diferentes transdutores.....	112
TABELA 4.16 – Resultados do teste <i>post-hoc</i> de <i>Duncan</i> , entre médias de desvio ulnar com diferentes transdutores.....	112
TABELA 4.17 – Resultados do teste <i>post-hoc</i> de <i>Duncan</i> , entre médias de desvio radial com diferentes transdutores.....	113
TABELA 4.18 – Resultados do teste <i>post-hoc</i> de <i>Duncan</i> , entre médias de pronação com diferentes transdutores.....	113
TABELA 4.19 – Tempo médio (em segundos) das operações desenvolvidas pelos sujeitos, para cada um dos transdutores.....	113
TABELA 4.20 – Teste de <i>Wilcoxon</i> entre os resultados do nível de desconforto dos diferentes transdutores.....	121
TABELA 4.21 – Teste de <i>Wilcoxon</i> entre os resultados do nível de agradabilidade dos diferentes transdutores.....	122

RESUMO

USABILIDADE APLICADA AO DESIGN ERGONÔMICO DE TRANSDUTORES DE ULTRA-SONOGRAFIA: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA PARA AVALIAÇÃO E ANÁLISE DO PRODUTO. A usabilidade é um dos principais aspectos do desempenho e qualidade da interface mão/instrumentos, cuja aplicação baseia-se em metodologias de design ergonômico. Apesar da evolução tecnológica, alguns instrumentos manuais ainda não atendem aos critérios da usabilidade e podem gerar problemas ergonômicos em seus usuários. Um exemplo disso é o transdutor utilizado nas atividades ocupacionais da ultra-sonografia (US) de mama, o qual exige grandes esforços biomecânicos. Este estudo teve como objetivo propor um método de avaliação e análise, com base em registros fisiológicos e subjetivos, durante a aplicação de critérios de usabilidade no redesenho ergonômico do transdutor de US de mama. Para a realização dos registros fisiológicos, foi utilizado um eletrogoniômetro Biometrics, para análise dos movimentos do punho, e sensores FSRs para análise de pressão palmar. Para as avaliações subjetivas, foram aplicadas escalas gráficas de percepção. A coleta dos dados ocorreu em fases experimentais: Primeira experimentação - avaliação das posturas de punho durante simulação da atividade com dois modelos comerciais de transdutores (n = 18); Design ergonômico - aplicação dos critérios de usabilidade no redesenho e confecção de *mock-up*; Segunda experimentação - avaliação das posturas e pontos de pressão palmar, durante simulação da atividade com o novo *mock-up* e os transdutores comerciais (n = 10); Design ergonômico/Revisão projetual - revisão dos critérios de usabilidade e desenvolvimento de dois novos *mock-ups*; Terceira experimentação - avaliação de posturas e pontos de pressão palmar, durante simulação da atividade com os novos *mock-ups* e os transdutores comerciais (n = 10); Quarta experimentação - avaliação subjetiva de todos os transdutores (n = 11). Os resultados da Primeira experimentação demonstraram elevadas amplitudes médias e máximas. O Design ergonômico resultou no *Mock-up* 01. Os resultados da Segunda experimentação demonstraram que o *Mock-up* 01 não apresentou melhorias quanto a posturas de punho, mas uma melhor distribuição de pressão na região palmar. O Design ergonômico/Revisão projetual resultou em dois novos *Mock-ups*, 02 e 03, os quais apresentaram (nos resultados da terceira experimentação) uma menor amplitude de movimentos e uma melhor distribuição da porcentagem de tempo nas diferentes faixas de amplitude preestabelecidas, bem como da pressão na região palmar, principalmente quanto ao *Mock-up* 02. Diferenças estatisticamente significativas ($p \leq 0,05$) foram encontradas somente na terceira experimentação, indicando em quais situações os *Mock-up* 02 e 03 apresentaram melhor desempenho. Os resultados da quarta experimentação demonstraram o mesmo indicativo da avaliação fisiológica, corroborando seus resultados. Esses procedimentos caracterizaram um método de avaliação e análise de instrumentos manuais, expressivo e complementar para as metodologias de design ergonômico.

Palavras-chave: usabilidade, design ergonômico, ultra-sonografia, eletrogoniometria.

ABSTRACT

USABILITY APPLIED TO THE ERGONOMIC DESIGN OF TRANSDUCTORS OF ULTRASONOGRAPHY: A METHODOLOGICAL PROPOSAL FOR ASSESSMENT AND ANALYSIS OF THE PRODUCT. The usability is one of the main aspects of the performance and quality of the interface hand/instruments whose applicability is based on methodologies of ergonomic design. In spite of the technological evolution, some hand instruments still do not attend the criteria of usability and may generate ergonomic problems in users. An example of it is the transducer employed in breast ultrasonography (US) occupational activities, which requires large biomechanical efforts. This study aimed at proposing a method of assessment and analysis based on subjective and physiological records during the application of criteria of usability in the ergonomic redesign of the transducer for US breast examinations. In order to conduct the physiological records, a Biometrics electrogoniometer was used for the analysis of wrist movements, and FSRs sensors were used for the analysis of palmar pressure. As for the subjective assessments, graphic scales of perception were applied. The collection of data occurred in experimental phases: First Experimentation – assessment of wrist postures during the simulation of activity with two commercial types of transducers (n = 18); Ergonomic design – application of the criteria of usability in the redesign and preparation of the mock-up; Second Experimentation – assessment of the postures and points of palmar pressure during the simulation of activity with the new mock-up and the commercial transducers (n = 10); Ergonomic design/project revision – revision of the criteria of usability and development of two new mock-ups; Third experimentation – assessment of the postures and points of palmar pressure during the simulation of activity with the new mock-ups and the commercial transducers (n = 10); Fourth experimentation – subjective assessment of all the transducers (n = 11). The results of the first experimentation indicated high median and maximal amplitudes. The ergonomic design turned up into mock-up 01. The results of the second experimentation indicated that mock-up 01 did not present improvements in terms of wrist posture, but rather a better distribution of pressure in the palmar region. The ergonomic design/project revision turned up into two new mock-ups, 02 and 03, which presented (in the results of the third experimentation) a lower amplitude for movements and a better distribution of the percentage of time in the different pre-established ranges of amplitude, as well as in the pressure of the palmar region, mainly when mock-up 02 is concerned. Statistically meaningful differences ($p < 0,05$) were found only in the third experimentation, indicating that mock-ups 02 and 03 presented better performance. The results of the fourth experimentation indicated similar results from the physiological assessment, corroborating its results. Such procedures characterized a consistent alternative to the traditional methods for assessing and analyzing hand instruments in ergonomic design.

Key words: usability, ergonomic design, ultrasonography, electrogoniometry

1 INTRODUÇÃO

Equipamentos, ferramentas e/ou instrumentos manuais podem caracterizar-se por todos os objetos encontrados na interface física do homem com o meio ambiente construído, especialmente naqueles casos em que ocorre a ação da mão numa determinada atividade. Por esse motivo, o aspecto usabilidade destaca-se como um dos principais elementos de qualidade, desempenho e satisfação dessa interface.

A usabilidade, enquanto princípio, só pode ser aplicada a partir da ergonomia e do design industrial*. No primeiro caso, fundamenta-se na teoria e na abordagem ergonômica para conceituação do problema e para determinação dos critérios projetuais. No segundo caso, quanto ao design industrial, este se une à ergonomia, possibilitando implementar no produto, aqueles parâmetros próprios de segurança, conforto e desempenho.

É da relação entre usabilidade, ergonomia e design industrial que surgem algumas questões, como, por exemplo: De fato, como são definidos os critérios da usabilidade? Como devem ser aplicados os procedimentos da ergonomia na metodologia do design industrial? e, o mais importante: Todos esses aspectos garantem, efetivamente, a melhoria quantitativa de segurança, desempenho e satisfação nas atividades do trabalho manual humano?

Entende-se que o objeto de estudo dessas questões deve fundamentar-se na análise das atividades ocupacionais. No presente estudo, a atividade escolhida foi a do médico ultra-sonografista, com especial ênfase nas atividades de manipulação dos transdutores, visto que se observa uma grande evolução tecnológica desse processo de diagnóstico, concomitante a um aumento na carga de trabalho dessa atividade, bem como o surgimento de problemas biomecânicos e de saúde ocupacional nesses trabalhadores.

Assim, pretende-se, aqui, estabelecer parâmetros metodológicos que possam contribuir para a solução das questões levantadas anteriormente, de forma a ilustrar uma aplicação satisfatória da usabilidade no design ergonômico de instrumentos manuais.

* Segundo FERREIRA (1999), *design* é uma expressão da língua Portuguesa que antecede da língua Inglesa, e que é compreendido como Desenho Industrial ou Desenho de Produto. Nesse trabalho, a inclusão do termo “industrial” objetivou evitar outras compreensões coloquiais do termo *design*.

1.1 Usabilidade de Produtos Manuais: a Interação Entre Ergonomia e Design Industrial

Atividades que envolvem o manuseio de objetos são encontradas na maioria das ocupações do trabalho humano, caracterizando as primeiras manifestações tecnológicas do homem.

Retornando há aproximadamente meio milhão de anos – mais precisamente à era Paleolítica – encontra-se um homem pré-histórico “... imerso numa luta pelo domínio de seu meio, sempre em desvantagem física mediante outros seres da natureza...”, tendo que desenvolver uma capacidade para gerar formas úteis em objetos ou artefatos, então caracterizados como “... uma extensão dos membros do corpo humano” (FLORES, 1992, p. 19).

A criação do machado é um claro exemplo de objeto manual que surgiu há 500.000 anos e, até hoje, apresenta as mesmas características morfológicas. Dessa forma, desde a era paleolítica até a era tecnológica, diversos outros equipamentos manuais foram desenvolvidos, especialmente nos últimos 150 anos, com a caracterização progressiva do design industrial nos produtos de uso humano.

Um exemplo expressivo disso é a *Empunhadura Lamb*, caracterizada pelo primeiro design de empunhaduras cientificamente ergonômico (IDSA – *Industrial Designers Society of America*, 1996) e desenvolvida em 1941 por Thomas Lamb. Essa empunhadura foi considerada ícone de *bom design* no século XX, e começou a ser aplicada nos cabos de diversos produtos, incluindo eletrodomésticos, bagagens de mão, utensílios domésticos, ferramentas e outros.

Apesar de toda essa evolução de aproximadamente meio milhão de anos – em que se parte dos primeiros *choppers*: mais antigos cortadores criados pelo homem, até os mais modernos e atuais desenhos de empunhadura – vários instrumentos e ferramentas manuais ainda apresentam pegas e empunhaduras mal projetadas, especialmente quando se referem aos critérios de usabilidade do produto.

1.1.1 Usabilidade

O conceito de *usabilidade* ainda não apresenta uma definição consensual. Segundo MORAES (2001) “... alguns sugerem que usabilidade é simplesmente uma tentativa de introduzir *user friendliness* de novo no jargão do projeto de produtos. Outros colocam que as questões em torno da usabilidade já foram tratadas no *user-centred-design*” (p. 13).

De qualquer maneira, vários pesquisadores têm apresentado suas definições e compreensões sobre usabilidade. Para JORDAN (1998), esta área do conhecimento destacou-se inicialmente nas décadas de 1970 e 1980, entre os ergonomistas que projetavam computadores e sistemas. Atualmente, a usabilidade não é uma exclusividade da informática, uma vez que foi verificada a importância de sua aplicação em outros setores tecnológicos, com especial atenção ao desenvolvimento de produtos.

Nesse sentido, procurando apresentar um conceito mais amplo, a ISO - *International Organization for Standardization* define usabilidade como sendo “... a eficácia, eficiência e satisfação com que usuários específicos podem alcançar objetivos específicos em ambientes particulares” (ISO DIS 9241-11, in JORDAN, 1998, p. 25).

STANTON & BARBER¹ (1996, apud MORAES, 2001), ao delimitarem o conceito de usabilidade e definirem seu escopo, sugerem o atendimento aos seguintes fatores:

- Facilidade na aprendizagem do uso;
- Efetividade no desempenho;
- Custos humanos aceitáveis (fadiga, estresse, desconforto);
- Flexibilidade nas tarefas;
- Utilidade percebida do produto;
- Adequação às tarefas;
- Atendimento às caracterizações das tarefas; e
- Atendimento às caracterizações dos usuários.

Para MORAES (2001), a usabilidade, enquanto conceito, “... trata da adequação entre o produto e as tarefas (...) cujo desempenho (...) se destina, da adequação com os usuários que o utilizará, e da adequação ao contexto em que será usado” (p. 15). Afirma ainda que “... tradicionalmente, a preocupação com a usabilidade só ocorre no final do ciclo do design, durante a avaliação do produto já finalizado. Resulta que poucas modificações são implementadas e, se algumas realmente substitutivas o são, implicam em custos elevados”. Assim, “... desde o início da atividade projetual, a consideração com a usabilidade deve estar presente” (p. 15).

Diante dessa breve revisão, compreende-se por usabilidade a maximização da funcionalidade de um produto, na interface com seu usuário. Nesse sentido, é possível considerar que o princípio da usabilidade remonta ao desenvolvimento dos primeiros *choppers* – tal como mencionado anteriormente –, mas na atualidade apresenta-se aplicado através de procedimentos científicos e tecnológicos mais abrangentes.

1.1.2 Ergonomia

A ergonomia apresenta como objetivo a adequação de processos e produtos tecnológicos aos limites, capacidade e anseios humanos. Devido ao seu caráter trans e multidisciplinar, o conceito de ergonomia também não apresenta um consenso, principalmente quando se adotam diferentes enfoques.

HENDRIK (1993) propõe um conceito particular para ergonomia, pois afirma que:

“... a única e específica tecnologia da ergonomia é a tecnologia da interface homem – sistema. A ergonomia como ciência trata de desenvolver conhecimentos sobre as capacidades, limites e outras características do desempenho humano e que se relacionam com o projeto de interfaces, entre indivíduos e outros componentes do sistema. Como prática, a ergonomia compreende a aplicação da tecnologia na interface homem-sistema, aos projetos ou modificações de sistemas, para aumentar a

¹ STANTON, N. & BARBER, C. Factors affecting the selection of methods and techniques prior to conducting a usability evaluation. In: JORDAN, P. W.; THOMAS, B.; WEERDMESTER, B. & MCCLELLAND, I. L. **Usability evaluation in industry**. London, Taylor & Francis: 39-48, 1996.

segurança, conforto e eficiência do sistema e da qualidade de vida” (p. 43).

O conselho da IEA (*The International Ergonomics Association*), após ampla discussão dentre suas associações afiliadas, adotou em agosto de 2000 uma definição oficial segundo a qual, “Ergonomia (ou Fatores Humanos) é uma disciplina científica preocupada com a interação entre os seres humanos e outros elementos de um sistema...”, e sua aplicação se dá através de “... teorias, princípios, dados e métodos de projeto com o objetivo de otimizar o desempenho do ser humano e de todo o sistema”. Os ergonomistas “... contribuem no projeto e na avaliação das tarefas, profissões, trabalho, produtos, ambientes e sistemas, a fim de torná-los compatíveis com as necessidades, as habilidades e as limitações das pessoas” (IEA, 2003).

A IEA destaca, ainda, que existem algumas especializações dentro da ergonomia:

- Ergonomia física – preocupada com os aspectos físicos da relação homem-sistema, incluindo: anatomia, antropometria, fisiologia, biomecânica, posturas funcionais, manipulação de materiais, movimentos repetitivos, doenças profissionais, postos de trabalho, segurança e saúde musculoesquelética;
- Ergonomia cognitiva – preocupada com os processos mentais, tais como: a percepção, a memória, o raciocínio; e
- Ergonomia organizacional – preocupada com a otimização dos sistemas sociotecnológicos, incluindo suas estruturas organizacionais, de políticas e de processos.

É importante destacar que o trabalho aqui desenvolvido segue uma linha de conhecimentos da ergonomia física que, associada à usabilidade e ao design industrial, caracteriza um paradigma quantitativo.

1.1.3 Design Industrial

Conforme o que ocorre com usabilidade e ergonomia, design industrial também não tem uma definição que apresente um consenso no meio acadêmico. Apesar

disso, entre as proposições de muitos estudiosos da área, percebe-se que o design industrial é uma área de conhecimento correlato ao desenvolvimento de produto (ou engenharia de produto), cujos princípios baseiam-se em atender às exigências e expectativas do homem (produtor, consumidor, usuário e expectador), em sua concepção produtiva.

Talvez um dos melhores conceitos para compreender design industrial, seja o apresentado por LÖBACH (2001). Para ele, design industrial pode ser entendido como “... toda atividade que tende a transformar em produto industrial passível de fabricação, as idéias para a satisfação de determinadas necessidades de um indivíduo ou grupo” (p. 17), ou seja, é “... um processo de adaptação dos produtos de uso, fabricados industrialmente, às necessidades físicas e psíquicas dos usuários ou grupo de usuários” (p. 21).

Tais necessidades “... têm origem em alguma carência e ditam o comportamento humano visando à eliminação dos estados não desejados. (...) Quando as necessidades são satisfeitas, o homem sente prazer, bem-estar, relaxamento” (p. 26).

Entretanto, o alcance dessa satisfação exige que o homem modifique a natureza, utilizando sua inteligência para idealizar objetos que ampliem suas capacidades e limitações. A produção desses objetos se dá por processos industriais, os quais se encontra a participação ativa do designer industrial.

Por fim, LÖBACH afirma que:

“Na sociedade industrial altamente desenvolvida, o objetivo de quase toda atividade é a elevação do crescimento econômico e do nível de vida. Aí a satisfação de necessidades e aspirações tem um papel substancial, motivando a criação e o aperfeiçoamento de objetos. O processo se inicia com a pesquisa de necessidades e aspirações, a partir das quais se desenvolverão as idéias para sua satisfação, em forma de produtos industriais (projeto de produtos). É na transformação destas idéias em produtos de uso (desenvolvimento de produtos) que o designer industrial participa ativamente” (p. 29).

Desse modo, o design industrial tem como objeto de estudo e intervenção, aqueles produtos que se caracterizam pela:

- Reprodutibilidade técnica: ou seja, são produzidos industrialmente;

- Funcionalidade: procuram atender às necessidades físicas dos indivíduos; e
- Estética: procuram atender às necessidades psíquicas dos indivíduos.

FRISONI & MORAES (2001) lembram que a atividade do design industrial será “... enriquecida, se o projetista não se limitar à configuração dos objetos, segundo parâmetros estéticos, funcionais e de materiais e processos. Há que se ter em mente que é da responsabilidade do designer pensar a relação Homem – Tarefa – Máquina, zelando pelas questões de usabilidade, conforto e segurança” (p. 196).

Outra importante característica do design industrial está vinculada ao seu processo, e denomina-se metodologia do projeto. Esta surgiu num momento em que se procurou sistematizar e tornar científico o desenvolvimento de produtos. JONES (1976), considerado um dos precursores da metodologia do projeto, apresentou na década de 1970, trinta e cinco propostas metodológicas, constituindo até então uma reunião fundamental para a teoria e para a prática do design industrial. Depois disso, muitos pesquisadores e designers desenvolveram e publicaram trabalhos sobre metodologia do projeto, como por exemplo, BOMFIM et al. (1977), BONSIPE (1978), QUARANTE (1992), entre outros.

Uma das mais completas e atuais propostas de metodologia de desenvolvimento do produto é denominada *Total Design* (PUGH, 1996). Esse processo caracteriza-se, dentre outros aspectos, pelo desenvolvimento de um produto, em que todas as variáveis do projeto são consideradas em todas as suas fases ou etapas – do início ao fim. Esse procedimento tem garantido melhores resultados, tanto no desenvolvimento quanto no produto final. Entretanto, esse tipo de metodologia é aplicado principalmente em setores produtivos, onde uma extensa possibilidade de recursos apresenta-se disponibilizada para o desenvolvimento do projeto.

Ao observar todas essas propostas de metodologia de projeto, deve-se considerar que a evolução tecnológica e os processos de relação entre o homem e a tecnologia foram se alterando ao longo do tempo e, conseqüentemente, novas necessidades metodológicas foram surgindo.

Com base no proposto por YAP et al. (1997), pode-se afirmar que enquanto produtos e outros dispositivos tecnológicos eram simples, seus designs podiam ser desenvolvidos por métodos puramente empíricos ou mais intuitivos. Com a evolução tecnológica e a complexidade dos sistemas e produtos, essa abordagem empírica tornou-se insuficiente, sendo necessária uma abordagem científica, baseada em considerações ergonômicas das capacidades e limitações do ser humano, aperfeiçoando e maximizando a segurança, funcionalidade e usabilidade dos produtos.

Assim, pode-se considerar que o design industrial caracteriza-se por um processo científico de desenvolvimento de produtos, que pode usar a ergonomia para aplicar os critérios de usabilidade na interface homem/tecnologia. Ao encontrar meios para tal, cria-se o denominado design ergonômico, definido como sendo a aplicação do conhecimento ergonômico no projeto de dispositivos tecnológicos, com o objetivo de alcançar produtos e sistemas seguros, confortáveis, eficientes, efetivos e aceitáveis.

1.2 Metodologias de Design Ergonômico

Sendo um segmento do design industrial, o design ergonômico também apresenta algumas alternativas metodológicas. De acordo com STANTON & YOUNG (1999), os métodos ergonômicos foram criados para melhorar o desenvolvimento de produtos, através da compreensão e predição da interação entre o homem e seus dispositivos tecnológicos. Esses pesquisadores apresentaram doze ferramentas metodológicas, sendo algumas delas destinadas particularmente a determinadas fases do desenvolvimento do produto. Eles afirmam também que, dentre essas fases, as ferramentas metodológicas podem causar maior impacto nos estágios do desenvolvimento do projeto, mais particularmente durante a geração de “protótipos analíticos”, momento em que as diferentes alternativas podem ser comparadas ou avaliadas.

Existem algumas metodologias de design ergonômico que podem ser consideradas mais completas, porque não são ferramentas complementares no desenvolvimento de produto, mas apresentam uma estrutura metodológica própria e com enfoque ergonômico.

Um primeiro exemplo é demonstrado pelo ERGONOMI DESIGN GRUPPEN (1997), da Suécia, que propõe uma seqüência de seis etapas metodológicas:

- Início do desenvolvimento de um novo produto, decorrente das necessidades do mercado;
- Análise do mercado e necessidades dos usuários;
- Criação de novas idéias, representadas bi e tridimensionalmente;
- Teste com modelos funcionais, incluindo *mock-ups* e/ou protótipos;
- Desenvolvimento do produto, incluindo o projeto técnico; e
- Preparação para a produção e introdução no mercado

Outra proposta desste gênero foi desenvolvida pelo *Product Safety and Testing Group*, da Universidade de Nottingham (Nottingham, UK), a qual é denominada “metodologia de produtos ergonômicos/seguros” (NORRIS & WILSON, 1997).

Nesse sentido, são apresentadas várias possibilidades de aplicação das recomendações ergonômicas no processo clássico de desenvolvimento de um produto (metodologia do projeto) e nos vários estágios em que isso pode ocorrer (FIGURA 1.1).

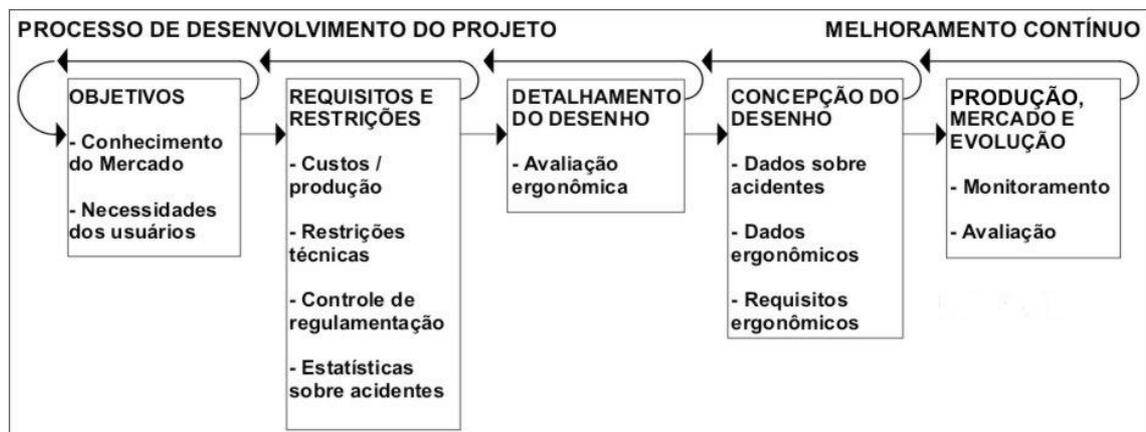


FIGURA 1.1 – Diagrama indicando onde as considerações do design ergonômico são aplicadas num processo típico do desenvolvimento de produto, baseado em NORRIS & WILSON (1997).

A SANDVIK (1997) apresenta um “programa científico” para o desenvolvimento de instrumentos manuais. Entre os objetivos desse programa, destaca-se a implementação de critérios ergonômicos no projeto desses equipamentos. Esse “programa” é caracterizado por 11 etapas:

- Especificações Preliminares: decorrentes de questionamentos sobre o uso, aspectos físicos dos equipamentos e interface com o usuário;
- Análise do mercado: observando a preferência dos equipamentos, incluindo a análise de similares;
- Revisão Científica: observando os resultados de pesquisas relacionadas às doenças ocupacionais, riscos e descrição das patologias;
- Projeto (desenho e prototipagem): desenvolvimento das etapas básicas da metodologia do projeto, incluindo a definição dos conceitos, a criação e evolução das propostas e a confecção de *mock-ups* e protótipos;
- Primeiro teste de usabilidade: aplicando técnicas de análise (VHS, questionários, eletrogoniometria, eletromiografia);
- Avaliação e modificação do protótipo: baseada nos resultados do primeiro teste de usabilidade;
- Segundo teste de usabilidade: envolvendo usuários especializados;
- Recomendações finais do projeto com a definição da proposta de produto para a engenharia/produção;
- Especificações da produção;
- Terceiro teste de usabilidade: junto com o lançamento do produto; e
- Revisão/*Feed-Back*.

No Brasil, FRISONI & MORAES (2001) apresentam 14 etapas “... para o desenvolvimento de um projeto de produto ergonômico...”, que caracterizam de modo

geral a metodologia do design industrial. Entretanto, há um destaque para aquelas sub-etapas, que têm na ergonomia sua prioridade (TABELA 1.1).

TABELA 1.1 – Etapas para o desenvolvimento de projeto de produto ergonômico, baseado em FRISONI & MORAES (2001).

Seqüência de etapas	Subetapas com prioridade ergonômica
Oportunidade de Negócios	
Planejamento do Projeto	
Planejamento do Produto	
Problematização	Problematização do sistema homem-máquina / Sistematização do sistema homem-máquina
Levantamento de dados	Perfil dos usuários / Identificação das necessidades dos usuários
Análise do Produto	Análise Macro-ergonômica / Análise da tarefa / Perfil e voz dos operadores / Análise operacional e funcional / Diagnóstico ergonômico / Recomendações ergonômicas / Explicitação de constrangimentos / Quadro de custos humanos, físicos, psíquicos e cognitivos / Custos humanos e carga de trabalho
Análise dos dados	Tratamento dos dados
Projetação do produto	Seleção do partido conceitual / Ideação e seleção da configuração do sistema homem-máquina / Projeto ergonômico
Avaliação e validação do produto	Testes ergonômicos / Experimentos com variáveis / Validação ergonômica
Detalhamento do projeto	Detalhamento, especificações e otimização ergonômica
Comunicação dos resultados / conclusões	Manual do usuário
Planejamento da produção	Avaliação do projeto
Produção do produto	Operações do sistema
Marketing e avaliação da usabilidade	Revisões do produto / Pesquisa com usuário / Treinamento dos distribuidores / Apoio ao consumidor

Ao observar as metodologias de design ergonômico, nota-se que elas apresentam, como principais características, a análise ergonômica da atividade como foco da problematização, e a determinação de critérios ergonômicos e de usabilidade como diretrizes para o desenvolvimento do produto. Os aspectos relacionados à avaliação e à análise do produto são citados, porém apresentam-se pouco explorados e discutidos.

Enquanto NORRIS & WILSON (1997) e FRISONI & MORAES (2001) propõem avaliações ergonômicas, e o ERGONOMI DESIGN GRUPPEN (1997) propõe testes com modelos funcionais, apenas a SANDVIK destaca os denominados “testes de usabilidade” durante o processo de desenvolvimento do produto, quando apresenta alguns equipamentos de avaliação, mas não detalha como poderiam ser empregados.

Considerando que o programa proposto pela SANDVIK (1997) evidencia o desenvolvimento de instrumentos manuais, e objetiva a aplicação dos aspectos gerais de usabilidade e ergonomia no projeto desses equipamentos, essa

metodologia servirá de parâmetro para o desenvolvimento projetual proposto neste trabalho, particularmente nas etapas que tratam da revisão científica, do projeto/prototipagem, do primeiro teste de usabilidade, da avaliação e modificação do protótipo (ou revisão projetual), do segundo teste de usabilidade e das recomendações finais.

Os resultados (produtos) da metodologia de design ergonômico são outro aspecto importante a ser considerado. Muitos produtos existentes já apresentam um bom design ergonômico, contudo existem vários outros que ainda não possuem quaisquer critérios ergonômicos ou de usabilidade destacando-se, dentre eles, alguns equipamentos médico-hospitalares. Segundo AKITA (1991), “... os equipamentos utilizados em hospitais, clínicas e agências de saúde (...) são produzidos com alta tecnologia e estão se tornando mais complexos de serem manuseados...” (p. 818). No entanto, considerando-se a variabilidade e as limitações cognitivas e biomecânicas dos usuários, esse tipo de equipamento deve ser projetado de maneira que seja mais confortável e mais eficiente.

Entre esses instrumentos médico-hospitalares, destacam-se aqueles empregados no diagnóstico médico por imagem, mais particularmente a ultrasonografia, cujos equipamentos caracterizam-se pela elevada tecnologia empregada na sua função (obtenção da imagem), em oposição às condições precárias observadas nas atividades ocupacionais dos operadores ou ultra-sonografistas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Ultra-sonografia

2.1.1 Conceituação e Histórico

A ultra-sonografia é um método de diagnóstico médico por imagem, baseado no uso do ultra-som para obtenção de imagens de tecidos não rígidos do interior do corpo humano.

De acordo com McDICKEN (1991):

“As técnicas de diagnose por ultra-sonografia têm sido aplicadas por serem poderosas, versáteis e úteis à prática médica. (...) A ultra-sonografia é a transmissão de vibração mecânica através da matéria. (...) Uma das aplicações mais importantes da ultra-sonografia está na produção de imagens de estruturas dos tecidos macios. Estas imagens são criadas, transmitindo o ultra-som no corpo e detectando os ecos que são produzidos pela reflexão dos limites desses tecidos. A partir dessas imagens é possível determinar o tamanho e natureza dos tecidos” (p. 1).

O ultra-som caracteriza-se por ondas sonoras de alta frequência, variando de 0,5 a 25 MHz, sendo inaudíveis para os seres humanos. Segundo KRENKAU (1989) e PALMER (1995), essas ondas sonoras são emitidas na forma de pulsos (ou feixes), por meio de cristais piezelétricos localizados no interior do transdutor, convertendo energia elétrica em ultra-sônica, e/ou vice-versa, e fazendo com que as moléculas vibrem e propagem o ultra-som de maneira longitudinal pelo corpo.

Ainda conforme esses autores, as ondas do ultra-som são refletidas (através de ecos) nos contornos dos diferentes tecidos. Tais ecos são captados pelo transdutor, transformados em energia elétrica, a qual é enviada ao equipamento de ultra-sonografia, onde as imagens são processadas, permitindo, assim, realizar o diagnóstico. As ondas que não forem refletidas continuam seguindo no sentido longitudinal, podendo ser refletidas em tecidos mais profundos.

A ultra-sonografia tem como princípio básico os sistemas de radares (uso de ondas de rádio) e sonares (uso de ondas de som de alta frequência), ambos desenvolvidos durante a Segunda Guerra Mundial (1939-1945). CRAIG (1990) afirma que essa técnica vem sendo utilizada como diagnóstico médico desde o final dos anos 40 do século XX.

Embora “... tenha sido introduzida na medicina na década de 1950, a ultra-sonografia transformou-se lentamente, tornando-se uma ferramenta prática na década de 60, principalmente nas áreas de cardiologia e obstetrícia...” (SUTTON, 1987, p. 1773). A ultra-sonografia foi reconhecida somente em 1974, com a criação de uma nova carreira na saúde pela *American Medical Association* (CRAIG, 1985), e de 1975 a 1985 observou-se um acelerado desenvolvimento com a melhoria da qualidade da imagem (SUTTON, 1987).

Atualmente, ela representa uma das mais avançadas tecnologias de diagnóstico médico por imagem, resultado de esforços dos produtores de equipamentos de ultra-som, dos médicos e dos pesquisadores desta área do conhecimento. Todavia, constata-se a inexistência de qualquer preocupação com o posto de trabalho do ultra-sonografista, principalmente do ponto de vista da ergonomia física. Além disso, SCHOENFELD et al. (1999) indicam que os avanços tecnológicos tornaram a ultra-sonografia uma valiosa ferramenta de diagnose, o que tem aumentado o número de exames e a duração deles, potencializando os problemas ergonômicos observados nessa atividade.

2.1.2 Ultra-sonografia de mama

A ultra-sonografia de mama pode ser considerada um importante método auxiliar no diagnóstico de patologias da mama. Segundo o Instituto Nacional do Câncer (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2003), esse tipo de câncer:

“... é provavelmente o mais temido pelas mulheres devido à sua alta frequência e sobretudo pelos seus efeitos psicológicos, que afetam a percepção de sexualidade e a própria imagem pessoal (...), segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), nas décadas de 1960 e 1970 registrou-se um aumento de 10 vezes em suas

taxas de incidência ajustadas por idade nos registros de câncer de base populacional de diversos continentes”.

O MINISTÉRIO DA SAÚDE (2002) afirma que no Brasil:

“... nas últimas duas décadas, a taxa bruta de mortalidade por câncer de mama apresentou uma elevação de 68%, passando de 5,77 em 1979, para 9,70 mortes por 100.000 mulheres em 1998. É a maior causa de óbitos por câncer na população feminina, principalmente na faixa etária entre 40 e 69 anos. Aproximadamente 80% dos tumores são descobertos pela própria mulher ao palpar suas mamas. Porém, um dos fatores que dificultam o tratamento é o estágio avançado em que a doença é descoberta. Cerca de 50% dos casos são diagnosticados em estágios avançados, gerando tratamentos muitas vezes mutilantes o que causa maior sofrimento à mulher”.

O principal método de prevenção do câncer de mama é a detecção precoce, que se caracteriza por várias técnicas:

- Auto-exame: a mulher examina as próprias mamas, através da apalpação, possibilitando a identificação de surgimento de nódulos e outras alterações;
- Exame Clínico: é similar ao auto-exame, contudo realizado por um profissional da saúde treinado;
- Exame Citopatológico: pode utilizar a punção aspirativa de tumores ou citologia de descarga capilar;
- Exame Histopatológico: também conhecido como biópsia;
- Mamografia: ou radiografia da mama realizada com raios X de baixa voltagem;
- Ressonância Magnética: realizada em conjunto com a mamografia, utilizando-se de campo magnético; e
- Ultra-sonografia.

Todos esses exames clínicos são realizados para a detecção precoce do câncer de mama. Entretanto, com exceção do auto-exame, que é sempre indicado para a mulher realizar mensalmente, a indicação dos demais depende de uma série de fatores, envolvendo conscientização, idade, condições físicas, entre outros. Além disso, essa indicação tem gerado uma série de discussões arbitrárias, principalmente quando são comparadas a mamografia e a ultra-sonografia.

Segundo CRAIG (1985), a comunidade médica aceitou o diagnóstico por ultra-som, favorecendo o desenvolvimento tecnológico de equipamentos. Isso porque, a ultra-sonografia de mama apresenta como principal vantagem o fato de não ser um exame invasivo, não utilizar radiação ionizante, não produzir lesão biológica e apresentar relativamente um baixo custo.

Do ponto de vista clínico, a ultra-sonografia de mama proporciona resultados sobre o estado dos tecidos subcutâneos, fibroglângular, celular e muscular. É também melhor aplicada e apresenta melhores resultados quando realizada em mamas de alta densidade (encontradas em mulheres jovens). Ademais, é eficiente na avaliação de nódulos clinicamente palpáveis, mas não detectados pela mamografia, principalmente em mulheres com mais de 50 anos.

2.1.3 Atividades ocupacionais na ultra-sonografia de mama

As atividades ocupacionais desenvolvidas na ultra-sonografia de mama objetivam a realização do diagnóstico médico por imagem, cuja confiabilidade apresenta-se estreitamente relacionada à qualidade das imagens ultra-sonográficas. MADJAR et al. (1999) apontam três aspectos que influenciam essa qualidade: o uso de equipamentos corretos, a técnica do exame e a interpretação das imagens.

A técnica do exame ultra-sonográfico de mama, a qual caracteriza a situação de trabalho do ultra-sonografista, depende da “sistematização e detalhamento” do exame e da reprodução das imagens. Portanto, tais atividades exigem uma compreensão completa dos princípios físicos do processo de diagnose por imagem e da anatomia da mama.

Do ponto de vista ergonômico, GUÉRIN et al. (2001) apontam que é necessário “... identificar as características da situação de trabalho que orientam a maneira pela qual o trabalhador realiza sua atividade” (p. 25). Nesse sentido, a situação

de trabalho do ultra-sonografista, durante o exame, pode ser analisada sob dois aspectos: análise da tarefa e análise da atividade de trabalho. Para GUÉRIN et al. (2001, p.15), a análise da tarefa envolve o “trabalho prescrito” e a análise da atividade de trabalho envolve o “trabalho real”.

2.1.3.1 Análise da tarefa

A análise da tarefa (trabalho prescrito) do exame ultra-sonográfico de mama envolve uma série de fatores e variáveis que exigem vários cuidados por parte do ultra-sonografista.

Considerando a técnica do exame de mama, descrita por MADJAR et al. (1999), é possível apontar várias características que envolvem essa tarefa:

- Os exames de mama devem ser realizados com transdutores lineares, com frequência de 7,5MHz (ou maior) e sensores com, no mínimo, 4cm de comprimento (sensores menores podem ser utilizados para exames de detalhes específicos);
- A paciente deve estar deitada sobre a maca e manter o braço (correspondente à mama que se examina) elevado para trás da cabeça ou da nuca, possibilitando esticar o músculo peitoral para melhor imobilização da mama;
- Ao realizar as operações (varreduras), o transdutor deve ser mantido perpendicular à anatomia da superfície da pele;
- O contato entre o sensor e a pele da paciente deve ser completo, aplicando-se uma pressão moderada sobre a mama. Pressões elevadas podem conduzir tecidos lesionados para baixo da faixa de exploração do transdutor, além de deformar as estruturas desses tecidos, tornando a interpretação mais difícil; e
- Os procedimentos podem envolver a sobreposição dos planos de exploração. Por isso, as operações devem ser realizadas no sentido transversal, longitudinal, rotacional e anti-rotacional. Tais operações seguem testes padrões anatômicos normais e auxiliam no reconhecimento de anormalidades, além de melhor demonstrarem as alterações estruturais.

Outros aspectos da tarefa da ultra-sonografia de mama são apresentados por KERR (2003). Para ele, esse exame deve ser realizado com um equipamento de alta resolução com transdutor linear de 7,5MHz, em tempo real. O exame deve ser iniciado pela mama patológica e, no caso de pacientes assintomáticas, pela mama direita. A varredura inicial dá-se com movimentos no sentido rotacional e, em seguida, no sentido transversal. A última varredura realiza-se na região das axilas.

KERR (2003) também menciona que, durante o exame, o transdutor deve ser mantido em compressão moderada nos tecidos mamários, visto que maximiza a diferenciação entre nódulos adiposos e verdadeiros. Apesar dessas recomendações, não oferece parâmetros precisos sobre o que pode ser considerada uma compressão “moderada”.

2.1.3.2 Análise da atividade de trabalho

Para a melhor compreensão da análise da tarefa, realizou-se uma análise das atividades de trabalho da ultra-sonografia de mama, onde foram realizadas observações *in loco* e de registro em VHS, na cidade de Ribeirão Preto (SP), que é um dos centros de referência para a ultra-sonografia no Brasil. Ocorreu também consulta com um ultra-sonografista na cidade de Bauru (SP), o qual relatou especificamente as atividades padrões executadas por ele durante esse tipo de exame.

Na maioria dos casos, verificou-se que, durante a atividade de trabalho, a paciente mantém-se deitada sobre a maca com o braço (correspondente à mama a ser analisada) elevado, mantendo a mão sob a nuca. O exame é usualmente iniciado pela mama patológica, ou pela mama direita, nas pacientes assintomáticas. Inicialmente o médico ultra-sonografista aplica (com a mão esquerda) uma camada de gel ultra-sonográfico em torno do mamilo e, em seguida, (com a mão direita) espalha o gel por toda a mama, utilizando o próprio transdutor.

As operações de varredura foram os principais procedimentos que não apresentaram uma seqüência em comum. Mas, de modo geral, observou-se que a tarefa é iniciada pelas operações no sentido transversal; seguida pelas operações no sentido longitudinal; na seqüência, por operações no sentido rotacional e concluindo com operações na região das axilas.

Enquanto realiza essas operações, o ultra-sonografista mantém uma atenção especial no monitor do equipamento ultra-sonográfico, por onde visualiza as imagens resultantes do exame. Com a mão esquerda, ele faz ajustes e registros dessas imagens no painel (teclado) do equipamento, as quais farão parte do protocolo de diagnóstico. De modo geral, pôde-se observar que a atividade de trabalho não apresenta discordâncias expressivas com relação à tarefa. No entanto, notou-se que as atividades físicas do trabalho exercem grande influência e são bastante expressivas nas atividades ocupacionais desse profissional.

De acordo com RUSSO et al. (2002), “... uma sessão típica de ultra-sonografia requer dos ultra-sonografistas a execução de várias atividades e movimentos, que podem ser fisicamente exigentes e árduos...” (p. 386). As tarefas de rastreamento envolvem “... a adoção e manutenção de posturas extremas, impróprias ao sustentar, manipular e ao aplicar a pressão com um transdutor sobre o paciente...” (p. 386), entre outros esforços.

Conforme RANSOM (2002), ultra-sonografistas experimentam:

“... problemas específicos, já que a realização de uma varredura envolve uma série de movimentos extremos, tais como a torção do corpo, o alongamento (operando teclado e realizando a varredura simultaneamente) e uma combinação de pressão, torção e rotação do punho e da mão durante a varredura” (p. 4).

Constata-se, assim, que essas atividades podem resultar na sobrecarga estática e dinâmica dos músculos, envolvendo principalmente o membro superior dominante.

2.1.4 Problemas decorrentes das atividades ocupacionais dos médicos ultra-sonografistas

As atividades ocupacionais do ultra-sonografista apresentam uma série de particularidades que, do ponto de vista ergonômico, podem potencializar a ocorrência de *Distúrbios Osteo-musculares Relacionados ao Trabalho* (DORTs). Dentre essas particularidades, destaca-se o fato de que a ultra-sonografia caracteriza-se por uma atividade relativamente nova e que tende a aumentar com as novas propostas e

tecnologias de diagnose por imagem, ou mesmo devido à crescente incidência de câncer de mama, uma vez que faz parte dos processos de detecção dessa patologia.

WIHLIDAL & KUMAR (1997) informam que o diagnóstico médico por imagem (ultra-sonografia) é relativamente novo e, em decorrência das novas tecnologias, houve um acréscimo significativo de pessoas que trabalham nessa atividade, as quais mantêm variadas posturas de corpo, especialmente durante a manipulação do transdutor, envolvendo repetitivos movimentos do braço, antebraço, punho, mão e dedos.

Além desses fatores, vários estudos têm indicado que ultra-sonografistas de várias partes do mundo estão apresentando sintomas musculoesqueléticos relacionados às suas atividades ocupacionais. Um dos primeiros estudos nessa área foi desenvolvido por CRAIG (1985), envolvendo aproximadamente 100 profissionais de ultra-sonografia nos EUA. Os resultados apontaram problemas de saúde ocupacional nos seguintes aspectos: estresse, visão, alergias e infecções, choques elétricos, tensão muscular (destacando-se problemas no membro superior dominante, especialmente punho e mão), problemas na coluna, entre outros.

Em 1993, VANDERPOOL et al. publicaram outro estudo, com 101 ultra-sonografistas da *American Registry of Diagnostic Medical Sonographers*, e demonstraram que 86% dos indivíduos pesquisados apresentaram sintomas de DORTs, e 63% já constatavam um ou mais sintomas da síndrome do túnel do carpo. Este estudo apresentou uma elevada correlação entre força de preensão e sintomas da síndrome do túnel do carpo. MERCER et al. (1997) apontam que "... a quantidade de pressão usada para segurar um transdutor poderia ser associada aos sintomas da síndrome do túnel do carpo. Uma preensão implicando elevada força demonstrou ter um efeito significativo e uma correlação positiva" (p. 365).

Estudo de VANDERPOOL et al. (1993) demonstra, também, uma correlação positiva, porém não significativa, entre posturas extremas e síndrome do túnel do carpo, no entanto relata uma expressiva relação com a ocorrência de outros DORTs. Entre as recomendações apresentadas, destaca-se a necessidade de oferecer equipamentos e ambiente de trabalho que proporcionem posturas mais adequadas.

Um estudo piloto desenvolvido por NECAS (1996) nos Estados de Washington e Oregon (EUA), com 149 ultra-sonografistas, constatou que 66% dos

participantes manifestaram sintomas de DORTs, dentre os quais 61% indicaram o punho como local desta manifestação. Os indivíduos diagnosticados com algum tipo de DORT totalizaram 15%. Destes, 35% indicaram o punho como região lesionada. Esse estudo recomenda a realização de pesquisas adicionais, identificando e localizando pontualmente os perigos ergonômicos dessa atividade ocupacional.

Com base numa investigação abrangendo 96 ultra-sonografistas da província de Alberta (Canadá), WIHLIDAL & KUMAR (1997) demonstraram que as doenças relacionadas ao trabalho são um problema comum entre esses profissionais, tendo constatado que, os indivíduos, além de apresentarem algum sintoma de DORTs (88,5% do total), demonstraram também insatisfação e alto nível de estresse no trabalho. Esses pesquisadores afirmam que há necessidade de mais estudos científicos, envolvendo aspectos clínicos e de prevenção das patologias profissionais dos ultra-sonografistas, o que poderia resultar em parâmetros para o design de equipamentos ou instrumentos de ultra-sonografia ergonômicos.

Uma pesquisa envolvendo 113 membros da *American Society of Echocardiography* (EUA) demonstrou que 80% dos ultra-sonografistas investigados relataram algum tipo de dor musculoesquelética (SMITH, et al. 1997a).

Com relação a ultra-sonografistas australianos, uma investigação apontou que 77,8% dos entrevistados apresentaram sintomas de DORTs (GREGORY, 1998). Entre as várias causas que contribuíram para esses distúrbios musculoesqueléticos, destacam-se: o “pobre design do equipamento” (principalmente quanto à pega do transdutor), posturas indevidas e forças aplicadas na preensão do equipamento. Dessa maneira, são sugeridas várias melhorias nas condições de trabalho, incluindo o redesenho da pega do transdutor. Esse estudo destaca que apesar de algumas melhorias desenvolvidas recentemente nos equipamentos de ultra-sonografia, os transdutores ainda mantêm uma pega deficiente, especialmente quando se considera a intensidade de uso desses instrumentos.

Em 1999, SCHOENFELD et al. desenvolveram um estudo em Israel, envolvendo 44 indivíduos que trabalhavam com ultra-sonografia e constataram que 65% desses indivíduos apresentaram algum tipo de lesão ou sintoma musculoesquelético em virtude da execução de suas tarefas. Além disso, observaram que a manipulação do transdutor está correlacionada com o aumento na incidência da síndrome do túnel do

carpo, e também que há uma correlação positiva entre essa patologia e a elevada pressão exercida sobre o transdutor.

Na Itália, MAGNAVITA et al. (1999) desenvolveram uma pesquisa com 2.041 ultra-sonografistas, com os objetivos de estabelecer a prevalência de sintomas musculoesqueléticos e verificar a necessidade de modificação dos equipamentos e/ou ambiente de trabalho, entre outros. Os resultados indicaram que 1/3 dos indivíduos investigados relataram sintomas musculoesqueléticos, afetando principalmente a mão dominante. O uso de “transdutores desconfortáveis” foi o fator com maior relação de probabilidade para a ocorrência de DORTs na região da mão e punho, sendo o principal determinante de queixas no membro superior.

RUSSO et al. (2002) desenvolveram uma pesquisa com 211 ultra-sonografistas da Província de British Columbia - Canadá, na qual 91% relataram a ocorrência de desconforto e de dor, principalmente no membro superior, pescoço e costas.

Elevados índices de desconforto na coluna e no punho também foram alguns dos resultados de uma pesquisa envolvendo 295 médicos norte-americanos especializados em ultra-sonografia cardíaca. Desse total, 82% apresentaram algum tipo de desconforto musculoesquelético (McCULLOH, et al. 2002).

No Reino Unido, as atividades ocupacionais do ultra-sonografista são desenvolvidas por radiologistas e vêm sendo objeto de estudos desde 1997, época em que a *Society of Radiographers* realizou uma abordagem preliminar, e concluiu que 71% desses profissionais apresentaram sintomas de dor e desconforto associados às suas atividades (RANSOM, 2002).

Em 2000, um novo estudo apontou que 79% de todos os ultra-sonografistas sofriam de doenças musculoesqueléticas, com destaque para uma elevada prevalência no punho e ombro (ARROWSMITH², 2000, *apud* RANSOM, 2002).

Outro estudo, com 300 ultra-sonografistas britânicos, demonstrou que 89% deles apresentaram problemas musculoesqueléticos, sendo 84% especialmente nas regiões do pescoço e membro superior. Os principais fatores de risco citados foram a

² ARROWSMITH, I. M. The prevalence of work-related upper limb disorders amongst radiographers. *Synergy* (Magazine of the Society of Radiographers), September, 2000.

“pobre postura de trabalho e esforço muscular (...) exacerbados por um pobre design do equipamento e fatores organizacionais” (FEATHER³, 2001, *apud* RANSOM, 2002).

O último estudo publicado pela *Society of Radiographers* do Reino Unido (RANSOM, 2002) baseou-se em entrevistas realizadas com 55 ultrasonografistas. Entre as várias informações obtidas, destacam-se aquelas referentes os locais onde os indivíduos indicaram a ocorrência de dor: 56,4% no pescoço, 56,4% no ombro direito e 50,9% no punho direito, observando que “... na maioria dos casos, a dor parece se manifestar no braço que realiza a varredura – geralmente o (...) ombro direito, punho e braço direito (49 respostas ou 89 por cento)”.

Considerando essa atividade profissional no Brasil, pode-se afirmar que “... não existem estatísticas nacionais publicadas sobre esse problema, mas resultados de um estudo preliminar indicam que 73% dos 111 ultra-sonografistas que participaram de um levantamento conduzido com profissionais do Estado de Minas Gerais apresentaram sintomas musculoesqueléticos relacionados ao trabalho” (GIL COURRY, 1999).

Outro trabalho que destaca a incidência de sintomas relacionados a DORTs entre ultra-sonografistas brasileiros é apresentado por MAZZONI et al. (2002). Esse estudo, envolvendo 114 profissionais, indica que 70% deles apresentaram algum sintoma de dor ou desconforto, sendo 26,31% apontados na região da mão e punho dominantes. Quanto à sensação de parestesia, 28,08% apresentaram essa sensação no membro superior dominante e em 53,13% ela foi localizada no punho e mão. O estudo sugere um levantamento ergonômico com enfoque nos fatores biomecânicos, psicossociais e organizacionais, que possa estabelecer critérios na intervenção do posto de trabalho do ultra-sonografista.

BARBOSA et al. (2001) apresentam uma abordagem ergonômica preliminar das atividades ocupacionais de ultra-sonografistas, a qual avalia a postura corporal adotada por esses profissionais e indica que tais atividades podem levar ao aparecimento de desconfortos que, associados a outros fatores de riscos, podem resultar em DORTs.

Em 2002, BARBOSA apresentou um completo estudo sobre as atividades ocupacionais em uma amostra de ultra-sonografistas no Brasil, envolvendo

³ FEATHER, C. WMSD: an occupational hazard for sonographers. *Synergy* (Magazine of the Society of Radiographers), October: 10-13. 2001.

uma análise epidemiológica e uma análise cinesiológica. A análise epidemiológica referiu-se a 41 sujeitos, e constatou que as atividades ocupacionais dos ultra-sonografistas apresentam “... uma série de riscos à saúde. Riscos esses que são corroborados pela alta taxa de sintomáticos (85%) identificada” (p. 83). A análise cinesiológica avaliou 02 sujeitos sintomáticos, utilizando-se a eletrogoniometria para registros dos movimentos de punho, tendo verificado intensiva repetitividade de movimentos e elevadas amplitudes dos movimentos do punho. Os resultados desse estudo apontaram vários aspectos, destacando-se:

- elevada taxa de sintomas musculoesqueléticos relatados pelos ultra-sonografistas;
- atividades ocupacionais apresentando aspectos potencializadores destes sintomas;
- fatores físicos (entre outros) potencializadores da ocorrência ou agravamento de DORTs, envolvendo a percepção de posturas inadequadas como elemento desencadeador de sintomas;
- movimentos de punho altamente repetitivos associados a altos valores de amplitudes máximas; e
- variabilidade individual indicando que a exposição dos indivíduos ao risco é diferente em uma mesma atividade.

Tal estudo aponta, ainda, algumas importantes recomendações quanto ao indivíduo, à organização do trabalho e ao ambiente de trabalho. Em relação a este último, destaca-se a escolha preferencialmente de equipamentos e transdutores com design ergonômico, que visam um maior conforto e menor esforço. Ademais, indica a necessidade de se realizarem estudos abordando os aspectos ergonômicos do ambiente de trabalho e as posturas corporais adotadas durante o trabalho, para que propostas de reestruturação mais amplas do ambiente possam ser feitas.

A revisão desses 18 trabalhos, desenvolvidos em vários países – EUA, Canadá, Austrália, Israel, Itália, Reino Unido e Brasil –, indica, de modo geral, os problemas encontrados nas atividades ocupacionais do ultra-sonografista, com destaque para aqueles relacionados aos sintomas de DORTs, constatados, principalmente, na extremidade do membro superior dominante.

A maioria das pesquisas apresenta diretrizes para minimizar esses problemas, as quais requerem intervenções físicas no ambiente, no posto e nos equipamentos de trabalho. Esta última intervenção se destaca, visto que não se conhecem estudos que tratam especificamente dos aspectos ergonômicos e de usabilidade dos equipamentos de ultra-sonografia, significando uma lacuna importante nas áreas científicas e tecnológicas que envolvem a ergonomia. Dessa forma, qualquer intervenção dessa natureza depende de parâmetros ergonômicos, envolvendo aspectos biomecânicos e perceptivos, cujos critérios devem ser cuidadosamente analisados e especificados.

É importante destacar que alguns outros problemas de ordem psicossocial e organizacional das atividades do ultra-sonografista também foram considerados em alguns estudos. Entretanto, em decorrência da própria abordagem quantitativa que caracteriza este trabalho, priorizou-se um enfoque físico.

2.2 Aspectos Biomecânicos

Conforme WINTER (1990), a biomecânica é uma disciplina científica que descreve, analisa e avalia o movimento humano. No âmbito ergonômico, a biomecânica “... estuda as interações entre o trabalho e o homem sob o ponto de vista dos movimentos músculo-esqueléticos envolvidos e suas conseqüências” (IIDA, 1990, p. 83), sendo bastante importante para se definirem parâmetros ergonômicos, uma vez que seus resultados buscam condições seguras e saudáveis na interface homem/tecnologia.

Segundo CACHA (1999) os “... princípios de ergonomia, particularmente aqueles da biomecânica, são aplicados no projeto de vários sistemas homem/máquina para o controle de incidências de doenças músculo-esqueléticas” (p. 79).

Os aspectos biomecânicos do membro superior humano – mais precisamente do antebraço, punho e mão – são de total interesse ao design ergonômico de instrumentos manuais. Por isso, com base em CHAFFIN & ANDERSON (1991), é possível correlacionar os esforços biomecânicos observados em atividades manuais – como por exemplo, a repetitividade – com a ocorrência de DORTs, uma vez que “... o

suporte epidemiológico para sustentar esta opinião está incompleto, mas a teoria biomecânica aponta que esforço e postura das mãos estão associados a forças anormais nos tecidos intra-carpal” (p. 239).

Os DORTs são as lesões mais freqüentemente relacionadas à manipulação e/ou às atividades manuais. Segundo a norma técnica sobre DORT (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 1998), eles são caracterizados por vários quadros clínicos, destacando-se a síndrome do túnel do carpo, lesão do nervo mediano na base da mão, síndrome do canal cubital e síndrome do canal de *Guyon*. Com relação às tendinites e às tenossinovites, destacam-se as doenças de *De Quervain* e o dedo em gatilho, a tenossinovite dos extensores e flexores dos dedos e do carpo.

Há ainda outros DORTs relacionados especificamente às atividades manuais, incluindo os cistos sinoviais, a câimbra do escritor e a contratura fibrosa do fâscia palmar, a síndrome da vibração, ou “dedo branco decorrente de vibrações” (McCORMICK & SANDERS, 1992).

Os DORTs são considerados, entre outros aspectos, uma conseqüência do uso intensivo e excessivo de determinadas articulações, muitas vezes induzido por equipamentos manuais impróprios, envolvendo danos progressivos em músculos, tendões, nervos e ligamentos (CANADIAN SAFETY COUNCIL, 1984; MITAL & SANGHAVI, 1986 e LEWIS & NARAYAN, 1993).

Ao considerar o nexo causal entre DORTs e esforços biomecânicos do membro superior, nota-se que essa relação se baseia em situações críticas de quatro variáveis físicas: postura, força/pressão, repetitividade e duração. Para CACHA (1999), a postura é considerada uma das mais importantes e mais problemáticas variáveis.

MACCAULEY BELL & CRUMPTON (1997) utilizaram um modelo lingüístico *Fuzzy* para prever o risco de ocorrência da síndrome do túnel do carpo e relataram que, dentre os fatores de risco relacionados às tarefas, as posturas inadequadas apresentam maior peso, podendo ser consideradas como um dos principais fatores de riscos biomecânicos.

Analisando particularmente a postura, CACHA (1999) afirma que “... o *stress* biomecânico relacionado à ferramenta manual não pode ser totalmente eliminado, mas deve ser ao menos controlado e mantido a um mínimo” (p. 25).

Assim, ao aplicar princípios de biomecânica no design de instrumentos manuais, a mão deve assumir uma postura aceitável, favorecendo a segurança e a saúde ocupacional.

HEDGE (1998), com base nos estudos de PUTZ-ANDERSON (1988), destaca, entre outros requisitos ergonômicos, que o design de instrumentos manuais deve minimizar as posturas extremas e maximizar as posturas neutras.

2.2.1 Postura em faixas de amplitude segura e crítica

Do ponto de vista ergonômico, a discussão donexo causal entre posturas extremas e ocorrência de DORTs na extremidade dos membros superiores deve ser conduzida com a finalidade de apresentar faixas de amplitude segura e crítica. Dessa forma, a partir da revisão da literatura, baseada em estudos epidemiológicos e experimentais, foi possível propor faixas de amplitude segura e crítica para os quatro planos de movimento do punho e dois planos de movimento do antebraço.

A determinação dessas faixas de amplitude segura e crítica em relação a posturas e movimentos da extremidade do membro superior (antebraço e mão), fez-se necessário visando à análise das condições biomecânicas durante a simulação da atividade ocupacional com o uso de instrumentos manuais; servindo de referência para a avaliação de posturas adotadas em determinadas atividades. Para cada movimento básico do antebraço e da mão, foi definido um ângulo limite para determinar as faixas de amplitude segura e crítica.

2.2.1.1 Faixa de amplitude segura para movimentos de flexão do punho

Um ângulo de **15°** é proposto como limite de faixa de amplitude segura [0° - 15°] para movimentos de flexão. Isso se baseia nos estudos de ARMSTRONG & CHAFFIN (1979) e HEDGE (1998), que consideram até 15° uma amplitude “neutra”, enquanto ARMSTRONG et al. (1982) e ARMSTRONG (1986) consideram esse limite como funcional, não havendo, portanto ocorrências

de DORTs, para JUUL-KRISTENSEN et al. (1996), 15° encontram-se dentro dos parâmetros para análise de postura em relação à porcentagem do ciclo da atividade.

GENAIDY et al.⁴ (1993, apud JUUL-KRISTENSEN, et al. 1997) indicam que 15° apresentam-se dentro de uma faixa de amplitude considerada “suave” e McATEMENY & CORLETT (1993) consideram acima desse limite uma situação de postura “severa”.

Já DRURY (1987) apresenta alguns parâmetros para definir “zonas” de exposição, a partir de limites de ADMs (amplitude de movimentos). Nesse sentido, com base nas ADMs apresentadas por MARQUES (1997), observa-se que o índice de 15° situa-se dentro da “zona de baixa exposição”, proposta por DRURY [9° - 22,50°].

Quanto aos parâmetros propostos por CAREY & GALLWEY⁵ (2000, apud CAREY & GALLWEY, 2002), aplicados aos limites de ADMs de MARQUES (1997), observa-se que 15° estão dentro da faixa (25% da ADM, ou 22,5° para flexão) que não apresenta aumento expressivo de desconforto na região do punho durante esforços repetitivos.

Ainda, se observa que o valor de 15° encontra-se abaixo dos limites de amplitude segura apresentado por GIL COURY (1995), que sugere 25°, por KAPANDJI (1982), GELBERMAN et al.⁶ (1984; apud HEDGE, 1998) e REMPEL et al. (1994), que indicam 20° e por COLOMBINI (1998), que apresenta 45°.

Portanto, o limite de 15° apresenta-se mais restritivo em uma avaliação biomecânica e, em consequência disso, pode ser considerado um parâmetro mais seguro do ponto de vista ergonômico. Apenas KETOLA et al. (1996) apresentam um limite inferior a 15°, justificando que 10° devem ser o limite para posturas mantidas por períodos superiores a 1/3 do ciclo de trabalho.

⁴ GENAIDY, A. M., GOU, L. ECKART, R. & TISCHBEIN, D. A Postural stress analysis system for evaluating body segments and positions in industry. **Proceedings of the Ergonomics Society Conference**. Edinburg, pp.346-351. 1993.

⁵ CAREY, E. J. & GALLWEY, T. J. The relationship of wrist posture to discomfort during repetitive exertions. In: McCABE, P. T.; HANSON, M. A. & ROBERTSON, S. A. (Eds.) **Contemporary Ergonomics 2000**. London, Taylor & Francis: 286-290. 2000.

⁶ GELBERMAN, R. H.; SZABO, R.M. & MORTENSON, W.W. Carpal tunnel pressures and wrist position in patients with Colle’s fractures. **Journal of Trauma**, 24 (08): 747-749, 1984.

Neste último e em outros casos, é importante citar que, os riscos envolvidos na manutenção de uma determinada postura podem variar expressivamente em função do tempo em que essa postura é mantida. Assim, alguns autores admitem um percentual do ciclo de trabalho como parâmetro de análise.

2.2.1.2 Faixa de amplitude segura para movimentos de extensão do punho

Para os movimentos de extensão também foi proposto ângulo de **15°** como limite de faixa de amplitude segura. Nesse caso, ARMSTRONG & CHAFFIN (1979) e HEDGE (1998) consideram esse limite de amplitude para uma situação “neutra”.

Já ARMSTRONG et al. (1982) e ARMSTRONG (1986) consideram esse limite de amplitude como funcional, sendo corroborados por REMPEL & HORIE (1994). Por sua vez, JUUL-KRISTENSEN et al. (1996) indicam que 15° estão dentro dos limites, considerando a porcentagem do ciclo da atividade e GENAIDY et al. (1993, apud JUUL-KRISTENSEN, et al. 1997) afirmam que o limite de 15° apresenta-se dentro de uma faixa de amplitude considerada “suave”.

McATEMENY & CORLETT (1993) consideram acima deste limite uma situação de postura “severa”. O índice de 15°, comparado aos parâmetros de DRURY (1987), aplicados aos limites de ADMs de MARQUES (1997), apresenta-se dentro da “zona de baixa exposição” para a extensão (ou seja, entre 7° e 17,5°). Inclusive, quando comparado aos parâmetros de CARREY & GALLWEY (2000, apud CARREY & GALLWEY, 2002), também aplicados aos limites de ADMs de MARQUES (1997), observa-se que esse índice está dentro de uma faixa (25% da ADM, ou 17,5° para extensão) que não apresenta aumento expressivo de desconforto do punho durante esforços repetitivos.

Apesar disso, outras referências definem amplitudes de extensão consideradas aceitáveis, e que são superiores a 15°, incluindo GIL COURRY (1995), que determina 25°; KAPANDJI (1982), GELBERMAN et al. (1984; apud HEDGE, 1998) e REMPEL et al. (1994), que propõem 20°; PALMER et al. (1985), que

define 35°; COLOMBINI (1998), que determina 45° e SMITH et al.⁷ (1977, apud HAGBERG, et al. 1995), indicando que acima de 45° há um aumento de estresse no nervo mediano.

Isto significa também que o limite de 15° apresenta uma maior restrição no que se refere às amplitudes de movimentos de extensão e, conseqüentemente, torna-se um parâmetro mais seguro do ponto de vista ergonômico. Apenas KETOLA et al. (1996) apresentam o limite de 10°, justificando que este serve para limitar aquelas situações em que o indivíduo se mantém nessa amplitude por períodos acima de 1/3 do ciclo de trabalho.

2.2.1.3 Faixa de amplitude segura para movimentos de desvio radial

Em relação ao desvio radial, definiu-se o ângulo de 10° para determinação de faixa segura nesse movimento. Segundo ARMSTRONG et al. (1982), até o limite de 9°, as posturas são consideradas aceitáveis, contudo para KETOLA et al. (1996), o índice de 10° deve ser considerado seguro para uma situação em que a postura se mantém nesta faixa até durante 1/3 do ciclo da atividade.

Já PALMER et al. (1985) indicam o mesmo ângulo de amplitude, justificando sua proposição pelo “aspecto funcional” dos movimentos do punho. Por outro lado, REMPEL et al. (1994), HEDGE (1998) e COLOMBINI, (1998) indicam o ângulo de 15° como seguro, ou seja, superior ao limite proposto. JUUL-KRISTENSEN et al. (1996), por sua vez, indicam um ângulo máximo de 5°, enquanto GENAIDY et al. (1993, apud JUUL-KRISTENSEN, et al. 1997) e McATEMENY & CORLETT (1993) determinam que qualquer postura diferente da neutra é considerada “severa”.

Observa-se que o índice de 10°, quando comparado aos parâmetros de DRURY (1987), aplicados aos limites de ADMs de MARQUES (1997), apresenta-se também dentro da “zona de exposição moderada” para o Desvio Radial [5° - 10°], o que significa que esse ângulo determina um parâmetro seguro do ponto de vista ergonômico.

⁷ SMITH, E. M.; SONSTEGARD, D. & ANDERSON, W. Carpal Tunnel syndrome: contribution of flexor tendons. *Archives Physical Medicine Rehabilitation*. 58 (): 379-385, 1977.

2.2.1.4 Faixa de amplitude segura para movimentos de desvio ulnar

Quanto ao desvio ulnar foi proposto um limite de **15°** para determinação de faixa segura nesse movimento. De acordo com ZIPP et al. (1983), até aproximadamente 15° é observada uma baixa atividade elétrica muscular (*músculo extensor carpi ulnaris* e *músculo flexor carpi ulnaris*) e, portanto, um baixo esforço muscular para atividades nessa faixa.

Já ARMSTRONG et al. (1982) e PALMER et al. (1985) consideram a amplitude de 15° como limite funcional para o desvio ulnar. Outros autores apresentam limites seguros para movimentos em desvio ulnar superiores a 15°, destacando-se HUNTING et al. (1981), REMPEL et al. (1994) e COLOMBINI (1998), que propõem 20°.

Todavia, algumas referências apontam índices abaixo de 15°, incluindo HEDGE (1998) que determina 5° e GENAIDY et al. (1993, apud JUUL-KRISTENSEN, et al. 1997) juntamente com McATEMENY & CORLETT (1993) os quais consideram “severo” qualquer valor não neutro.

Comparado aos parâmetros de DRURY (1987) aplicados aos limites de ADMs de MARQUES (1997), observa-se que 15° apresenta-se dentro da “zona de exposição moderada” para o desvio ulnar [11° - 22,5°], o que também pode ser considerado um parâmetro seguro do ponto de vista ergonômico.

2.2.1.5 Faixa de amplitude segura para os movimentos de supinação

Para os movimentos de supinação, foi definido o ângulo de **45°** como limite de faixa segura, uma vez que é o mesmo valor apresentado por ARMSTRONG et al. (1982) e por McATEMENY & CORLETT (1993), os quais o consideram como “limítrofe” para valores médios de amplitude deste movimento.

Além disso, ao comparar esse valor com os parâmetros de DRURY (1987), aplicados aos limites de ADMs de MARQUES (1997), observa-se que o índice de 45° apresenta-se dentro da “zona de moderada exposição” para a supinação [22,5° - 45°].

Já COLOMBINI (1998) propõe um limite de 60°, significando assim que o valor definido de 45° encontra-se dentro de uma faixa segura e mais significativa do ponto de vista ergonômico. Somente GENAIDY et al. (1993, apud JUUL-KRISTENSEN, et al. 1997) consideram o valor de 15° como limite.

2.2.1.6 Faixa de amplitude segura para os movimentos de pronação

No que refere aos movimentos em pronação, também se definiu o ângulo de 45° como limite da faixa segura. Nesse caso, baseou-se apenas nos parâmetros de DRURY (1987) aplicados aos limites de ADMs de MARQUES (1997), porque esse valor apresenta-se no limite da denominada “zona de elevada exposição” para a supinação [22,5° - 45°].

Por outro lado, tanto COLOMBINI (1998) como ZIPP (et al. 1983) apresentam um ângulo de 60°. Segundo ZIPP até aproximadamente essa faixa de amplitude é observada uma baixa atividade elétrica muscular.

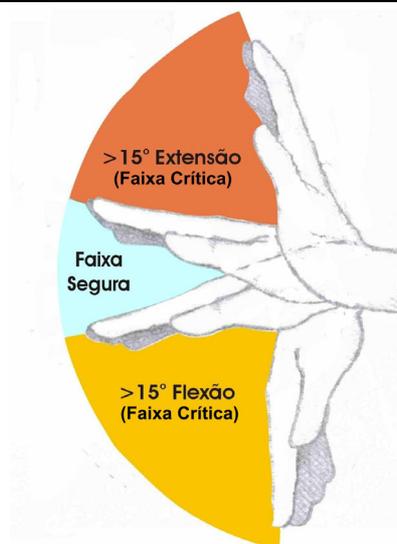
2.2.1.7 Síntese das faixas de amplitude segura e crítica dos movimentos do punho e antebraço

A síntese da revisão para determinar as faixas de amplitude seguras para movimentos do punho e antebraço é apresentada na TABELA 2.1. e FIGURA 2.1. Deverão ser consideradas **críticas** aquelas faixas de amplitudes acima dos limites seguros propostos anteriormente. Nesse caso, posturas e movimentos realizados em faixas críticas podem ser considerados inadequados e/ou desaconselháveis do ponto de vista da biomecânica, quando se busca a realização de atividades mediante condições livres de maiores riscos de desconforto e lesões.

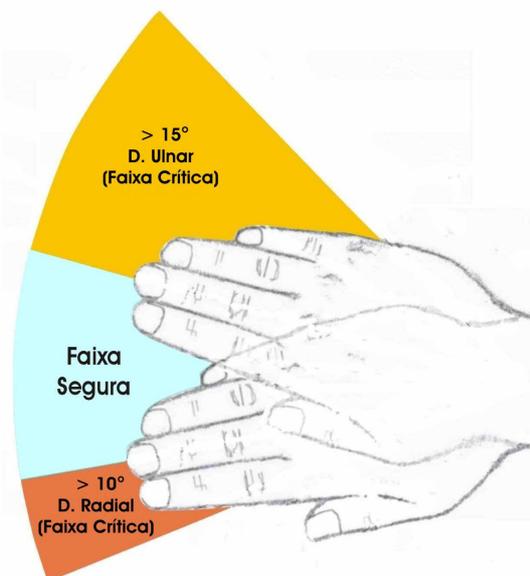
TABELA 2.1 – Revisão com síntese das faixas de amplitude segura para movimentos e posturas do punho e antebraço (FL - flexão, EX - extensão, DU - desvio ulnar, DR - desvio radial, SU - supinação, PR - pronação).

Referências	FL	EX	DU	DR	SU	PR	Observações (baseadas nas referências)
ARMSTRONG et al. (1982)	15° (func) 45° (extr)	15° (func) 45° (extr)	15°	9°	45°	15°	Baseadas em protocolo de avaliação.
ARMSTRONG (1986)	15° (func) 45° (extr)	15° (func) 45° (extr)	-	-	-	-	Nessas faixas encontra-se a situação neutra, na qual não há incidência de sintoma musculoesquelético.
ARMSTRONG & CHAFFIN (1979)	15°	15°	-	-	-	-	Considera como postura Neutra entre 15°/FL e 15°/EX.
COLOMBINI (1998)	45°	45°	20°	15°	60°	60°	Postura extrema em relação à % de tempo do ciclo
GIL COURY (1995)	25°	25°	-	-	-	-	Acima disso, aumenta os fatores de risco.
GELBERMAN et al. (1981)	-	90°	-	-	-	-	Aumento da pressão intracarpal além desse limite.
GELBERMAN et al. (1984)	20°	20°	-	-	-	-	Flexão > que 20° aumenta ocorrência de DORTs.
GENAIDY et al. (1993)	15-45° (suave)	15-45° (suave)	> 0°	> 0°	15°	15°	Acima da faixa suave, são consideradas severas.
HEDGE (1998)	15°	15°	5°	15°	-	-	Limite da zona neutra de amplitude para um bom design ergonômico de instrumentos manuais.
HUNTING et al. (1981)	-	-	20°	-	-	-	Acima desse valor, há a ocorrência de sintomas no antebraço
JUUL-KRISTENSEN et al. (1996)	15°	15°	10°	5°	-	-	Parâmetro para análise de postura em relação à % do ciclo da atividade
KAPANDJI (1982)	20°	20°	-	-	-	-	Amplitude de máxima utilidade (parâmetro funcional).
McATEMENY & CORLETT, (1993)	15°	15°	> 0°	> 0°	45°	45°	Acima desses valores, as posturas são extremas, indicando um acréscimo nos fatores de riscos.
PALMER et al. (1985)	-	35°	10°	-	-	-	Considerado aceitável até esses limites.
REMPEL et al. (1994)	20°-40°	15°-20°	20°-25°	15°	-	-	Dentro desses limites, é considerada zona neutra de movimentos das mãos.
REMPEL & HORIE (1994)	-	15°	-	-	-	-	Baixa ocorrência de DORTs até esse limite.
SMITH et al. (1977)	-	45°	-	-	-	-	Aumento de estresse no nervo mediano.
ZIPP et al. (1983)	-	-	15°	-	-	60°	Acima desses valores há um acréscimo da atividade elétrica muscular.
Limites de ADMs (MARQUES, 1997)	90°	70°	45°	20°	90°	90°	Parâmetros de DRURY (1987)
Faixas de amplitudes	0°-9°	0°-7°	0°-4,5°	0°-2°	0°-9°	0°-9°	Até 10%, sem exposição
	9°-22,5°	7°-17,5°	4,5°-11°	2°-5°	9°-22,5°	9°-22,5°	10 e 25%, baixa exposição
	22,5°-45°	17,5°-35°	11°-22,5°	5°-10°	22,5°-45°	22,5°-45°	25 e 50%, moderada exposição
	>45°	>35°	>22,5°	>10°	>45°	>45°	Acima de 50% elevada exposição
Limites adotados no presente trabalho	15°	15°	15°	10°	45°	45°	Até esses valores, as amplitudes de movimento são consideradas seguras.

No plano da extensão/flexão, a faixa segura é compreendida entre 15° de flexão e 15° de extensão. Acima desses valores, as amplitudes são consideradas críticas.



No plano do desvio ulnar/desvio radial, a faixa segura é compreendida entre 15° de desvio ulnar e 10° de desvio radial. Acima desses valores, as amplitudes são consideradas críticas.



No plano da supinação/pronação, a faixa segura é compreendida entre 45° de supinação e 45° de pronação. Acima desses valores, as amplitudes são consideradas críticas.

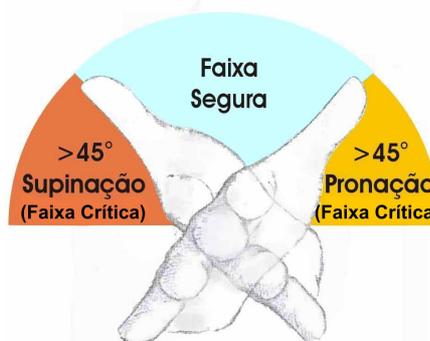


FIGURA 2.1 – Representação gráfica das faixas de amplitude segura e crítica para movimentos e posturas do punho e antebraço.

2.2.2 Pressão exercida na interface entre mão e instrumento manual

Outro importante aspecto biomecânico a ser considerado no design ergonômico de instrumentos manuais trata da pressão exercida sobre os tecidos da região palmar e das falanges, no momento da preensão da mão durante atividades ocupacionais.

TICHAUER & GAGE (1977) apresentam algumas considerações quanto à distribuição de pressão de contato e destacam a importância de se observar a pressão exercida em pontos freqüentes na interface mão/instrumento manual. Como justificativa, indicam que uma pressão excessiva na região palmar pode comprimir artérias, veias e nervos, resultando em inflamações e calos, além de outras lesões que poderão ser propagadas para outras regiões anatômicas da mão.

Segundo HALL (1997), as propriedades da superfície do instrumento manual apresentam uma grande influência nos pontos de pressão exercidos sobre as mãos. Por isso, tais propriedades são de grande importância para a usabilidade desse instrumento. Esse aspecto é corroborado por MURALIDHAR et al. (1999), pois afirmam que a distribuição de força aplicada sobre a superfície palmar não é uniforme em nenhuma atividade manual, assim como o risco relativo de traumas biomecânicos também não é uniforme nessa superfície.

PUTZ-ANDERSON (1988) relata que a pressão excessiva ou contínua na palma e/ou nas falanges, é indicadora de um instrumento manual mal desenhado ou problemático. Essa situação pode resultar no surgimento de vesículas, bolhas ou calosidades (FRASER⁸, 1980, apud HALL, 1997), além de desconforto e ineficiência da atividade (YUN⁹, et al. 1992, apud HALL, 1997). CACHA (1999) afirma, inclusive, que as pressões exercidas por instrumentos com pequena superfície podem causar isquemias, minimizando a circulação sanguínea local. Para TICHAUER & GAGE (1977), a avaliação e o projeto satisfatório de instrumentos manuais depende do conhecimento do modo de preensão – para definição dos pontos de contato freqüentes –, bem como da intensidade de pressão exercida nesses pontos.

⁸ FRASER, T. M. Ergonomic principle in the design of hand tools. **Occupational Safety and Health Series**. Geneva: International labor Office, 1980.

2.3 Aspectos de Percepção

Além dos aspectos biomecânicos, outro conjunto de fatores que podem auxiliar a abordagem ergonômica numa situação de trabalho são os aspectos de percepção dos sujeitos, o que caracteriza uma avaliação subjetiva do problema. De acordo com a ISO – *International Organization for Standardization* (ISO 6385, 1981, in BORG, 1998, p. 82) ao se aplicar em princípios de ergonomia no projeto das condições e equipamentos de trabalho, devem-se realizar tanto avaliações objetivas mensuráveis, quanto “avaliações subjetivas”. Para BORG (1998), o uso de métodos para avaliar subjetivamente as tarefas e determinar cargas aceitáveis de trabalho tornou-se um procedimento comum em abordagens ergonômicas, uma vez que as atividades de trabalho “... são estudadas não somente com métodos fisiológicos, mas também com estimativas de percepção” (p. 81), já que seus resultados podem ser considerados um “... importante sinal de uma carga real ou objetiva” (p. 82).

As avaliações subjetivas envolvem medidas de “sentimento” ou “percepção”, já que, segundo IIDA (2000), dependem do julgamento individual dos sujeitos. Assim, as avaliações subjetivas podem ser realizadas por intermédio do uso de escalas de percepção.

SELLTIZ et al. (1990) afirmam que as escalas podem ser consideradas como “... técnicas empregadas na combinação de uma ou mais mensurações com o objetivo de estabelecer um único escore para cada indivíduo” (p. 49). Ainda conforme esses autores, as escalas podem ser organizadas em categorias – tais como são apresentadas as escalas “RPE” e “CR10” de BORG –, ou então na forma gráfica nas quais o sujeito realiza sua avaliação assinalando um ponto numa linha horizontal que vai de uma extremidade à outra de um critério em questão.

As escalas gráficas foram descritas em 1923, por FREYD, o qual propôs que poderiam ser aplicadas nos mais variados estudos psicológicos. Atualmente, essas escalas são empregadas em estudos de percepção, visto que sua aplicabilidade é considerada fácil e as respostas são diretas e simples, o que supera a dificuldade de

⁹ YUN, M., KOTANI, K. & ELLIS, D. Using force sensitive resistors to evaluate hand tool grip design. In: **Proceedings Human Factors Society 36th Annual Meeting**. Santa Monica, Human Factors Society, pp. 806-810. 1992.

interpretar certas categorias. Além disso, COLLINS et al. (1997) afirmam que as escalas desse gênero são “... mais sensíveis que escalas de categoria” (p. 95).

Segundo IIDA (2000), as escalas gráficas permitem que os sujeitos possam “... assinalar seu julgamento por interpolação”. Dessa forma, com a indicação de um determinado ponto da linha horizontal (a qual deverá ter uma dimensão predeterminada), será possível obter as avaliações a partir da medida do comprimento da linha interpolada.

Além dos aspectos operacionais das avaliações subjetivas, sua aplicabilidade na abordagem ergonômica depende dos critérios de percepção que serão avaliados. Considerando o enfoque do design ergonômico, ao menos dois critérios de percepção devem ser respeitados, podendo um deles envolver um conceito negativo – por exemplo, desconforto – e outro, um conceito positivo – por exemplo, agradabilidade.

De acordo com FERREIRA (1999), desconforto é definido como “falta de conforto”, ou o oposto de conforto. Para IIDA (2000), a definição de conforto é bastante variável, dependendo da área de estudo em que é formulada. Além disso “... não se conhecem bem as variáveis em que as pessoas se baseiam para julgar o conforto” (p. 384), o que justifica a aplicação de uma avaliação subjetiva quando se pretende avaliar se um produto é confortável ou desconfortável.

Nesse sentido, LUEDER (1983), baseado num estudo envolvendo a avaliação do design de mobiliário, sugere que uma avaliação de conforto terá melhores resultados se realizada com um pequeno número de sujeitos treinados, ao invés de uma grande amostra de indivíduos que apresentam critérios diversificados.

Para o critério positivo de percepção, denominado agradabilidade, não há uma definição disponível na literatura. Entretanto pode ser baseado em experiências agradáveis, ou seja, aquelas que promovem satisfação, são gostosas, prazerosas e/ou agradáveis – durante o uso de um produto. Assim, o termo agradabilidade, por sua vez, é derivado do termo agradável, ou seja, aquilo que agrada.

Dessa forma, quando aplicados os conceitos de desconforto e agradabilidade como critérios de percepção em avaliações subjetivas de produtos, é possível obter resultados críticos e/ou satisfatórios desse produto que, possivelmente, devem comprovar os resultados das análises objetivas.

2.4 Micro-Macro Estrutura da Pesquisa

2.4.1 Justificativas

Diante da revisão apresentada anteriormente, pode-se considerar que todas as informações descritas não somente justificaram esta pesquisa, mas também fundamentaram o início dos procedimentos de experimentação, uma vez que se definiu o objeto da pesquisa ergonômica: atividades de manipulação do ultra-sonografista, e caracterizou-se o problema: instrumentos manuais de trabalho com desenho insatisfatório do ponto de vista da usabilidade/ergonomia.

2.4.2 Questão da pesquisa

A questão da pesquisa surgiu da compreensão da problemática apresentada: *Como se deve caracterizar o processo de redesenho de transdutores de ultra-sonografia, a fim de garantir que esse equipamento apresente aspectos ergonômicos e de usabilidade que minimizem os fatores de risco para a ocorrência de DORTs?*

2.4.3 Hipótese

A hipótese testada neste trabalho foi: *A aplicação de critérios de usabilidade, **associada** à avaliação e análise durante o processo do design ergonômico no redesenho do transdutor de ultra-sonografia, **resulta** em instrumentos (produtos) que podem ser considerados ergonômicos, visto que minimizam as cargas biomecânicas e perceptivas da atividade.*

2.4.4 Objetivos

Como objetivos, propôs-se: *testar a hipótese, bem como aplicar e estudar um método de avaliação e análise de design ergonômico de instrumentos manuais, baseado em registros eletrogoniométricos do punho e em medidas de pressão em áreas da mão, e percepção de desconforto e agradabilidade, durante a aplicação de*

critérios de usabilidade no redesenho do transdutor de ultra-sonografia, em exames simulados de ultra-sonografia de mama.

2.4.5 Tipo/Técnicas de pesquisa

A pesquisa aqui relatada caracterizou-se como *aplicada e/ou experimental*, pois procurou simular as atividades ocupacionais do ultra-sonografista e nelas interferir, para analisar aspectos biomecânicos e perceptivos, bem como avaliar os *mock-ups* desenvolvidos. Além disso, tal como informado anteriormente, a estrutura metodológica baseia-se no programa de desenvolvimento de produtos proposto pela SANDVIK (1997). É importante destacar que o projeto de pesquisa foi aprovado sem restrições pelo Comitê de Ética em Pesquisa – CEP, da Universidade Federal de São Carlos (ANEXO A).

2.4.6 Estrutura da pesquisa

A estrutura da pesquisa pode ser compreendida na FIGURA 2.2.

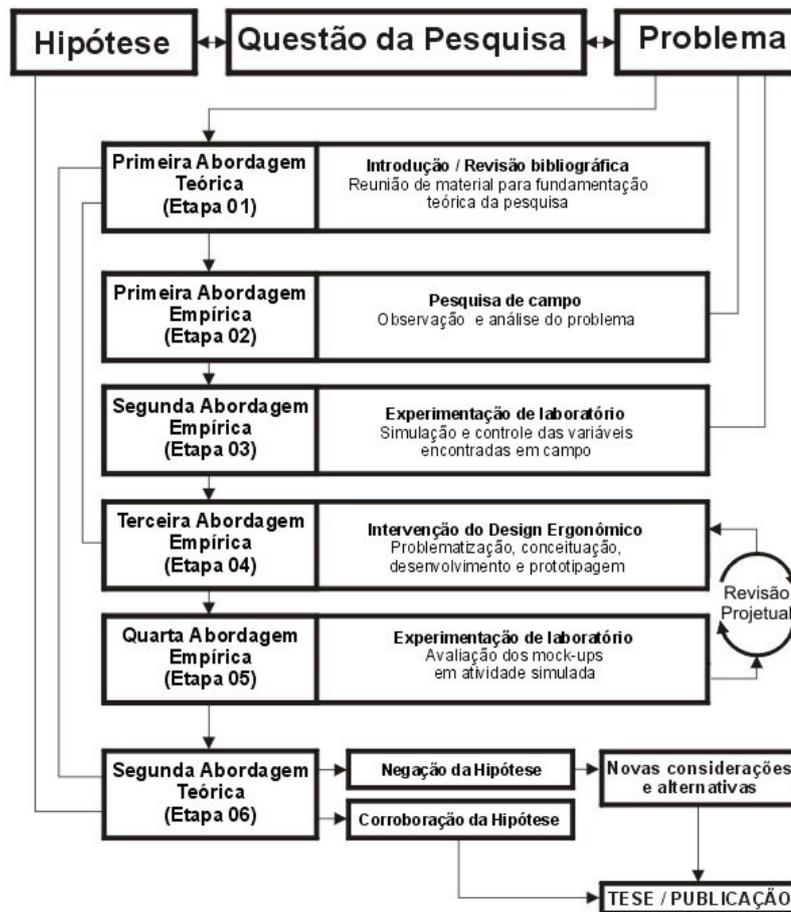


FIGURA 2.2 – Estrutura da pesquisa.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais e métodos específicos foram elaborados, verificados e aplicados de acordo com os objetivos de cada uma das fases experimentais da estrutura da pesquisa, a saber, primeira experimentação, design ergonômico, segunda experimentação, design ergonômico/revisão projetual, terceira experimentação e quarta experimentação.

3.1 Primeira Experimentação - Materiais e Métodos

Os objetivos da primeira experimentação foram simular a tarefa em laboratório, possibilitando isolar as variáveis necessárias para avaliação cinesiológica dos movimentos de punho, para os diferentes transdutores analisados. Além disso, identificar tendências de movimentos e posturas, que apontassem situações inadequadas

do ponto de vista ergonômico, indicando, assim, possíveis diretrizes para o redesenho do transdutor.

Nesse sentido, todos os esforços estiveram direcionados para reproduzir as condições físicas num simulador, o que caracterizou o aspecto “experimental” dessa fase da pesquisa.

3.1.1 Sujeitos

3.1.1.1 Critérios de inclusão

Os sujeitos indicados para a primeira experimentação deveriam necessariamente apresentar características físicas particulares, que passaram a ser os critérios de inclusão da primeira experimentação: indivíduos saudáveis do gênero masculino ou feminino, com índice de massa corporal (IMC) indicando “peso normal” (18,5 – 24,9) ou “sobrepeso” (25,0 – 29,9) e com medidas antropométricas do antebraço superiores a 250mm, isto é, compatíveis com o uso do equipamento de coleta de dados (torsiômetro). O critério de exclusão foi a presença de sintomas musculoesqueléticos no membro superior e pescoço, ocorridos no último ano.

3.1.1.2 Caracterização dos sujeitos

Participaram da primeira experimentação 18 sujeitos, sendo 9 do gênero feminino e 9 do gênero masculino, com idade variando entre 19 e 32 anos (média = 23,72 e d.p. = 3,01). A amostra foi definida, considerando os critérios de inclusão/exclusão dos participantes. Levando em conta o treinamento oferecido para a simulação, o volume de dados coletados e a característica da experimentação laboratorial, considera-se essa amostra representativa.

As características antropométricas gerais e da extremidade do membro superior direito desses sujeitos podem ser observadas na TABELA 3.1. Eles eram, em sua maioria, estudantes universitários (graduação e pós-graduação), residentes nas cidades de Bauru (SP) ou São Carlos (SP).

TABELA 3.1 – Principais características físicas dos sujeitos da primeira experimentação.

Variáveis	Média	DP	Máximo	Mínimo
Idade (set/2001 – anos)	23,72	3,01	32	19
Estatura (m)	1,70	0,05	1,78	1,63
Peso (kg)	66,19	10,96	84,50	51,50
IMC (Índice Massa Corporal – kg/m ²)	22,82	3,03	28,69	18,24
Comprimento Antebraço (mm)	261,67	10,71	290	250
Comprimento Mão (mm)	180,56	7,44	196	168
Comprimento Palmar (mm)	104,44	6,35	116	96
Comprimento dedo Polegar (mm)	61,72	3,59	67	53
Comprimento dedo Indicador (mm)	68,94	4,58	78	59
Comprimento dedo Médio (mm)	76,11	3,60	84	69
Comprimento dedo Anular (mm)	70,89	3,89	77	62
Comprimento dedo Mínimo (mm)	57,33	3,45	64	51
Largura Metacarpal (mm)	82,72	5,74	94	74
Largura Palmar (mm)	103,89	8,85	119	92

Dos sujeitos da primeira experimentação, 17 apresentaram predominância na mão direita (destro) e apenas 01 apresentava predominância na mão esquerda (canhoto). Outra característica observada é que apenas 04 sujeitos realizavam alguma atividade física com as mãos, como por exemplo, práticas esportivas, enquanto os demais não realizavam qualquer tipo de atividade física com as mãos.

3.1.2 Materiais

3.1.2.1 Simulador do equipamento de ultra-sonografia

Segundo NORRIS & WILSON (1997), a simulação é um processo útil na avaliação física entre usuários e produtos. Para GAWRON et al. (1996), a demonstração de problemas na interface usuário/produto pode se dar através de um simulador, visto que reúne todos os aspectos do uso do produto.

Assim, diante a impossibilidade de se obter um conjunto completo do equipamento de ultra-sonografia, optou-se pela confecção de um simulador (FIGURA 3.1), caracterizado por um *mock-up* (modelo em escala real) do equipamento de ultra-sonografia, uma maca, um busto/manequim e um assento.

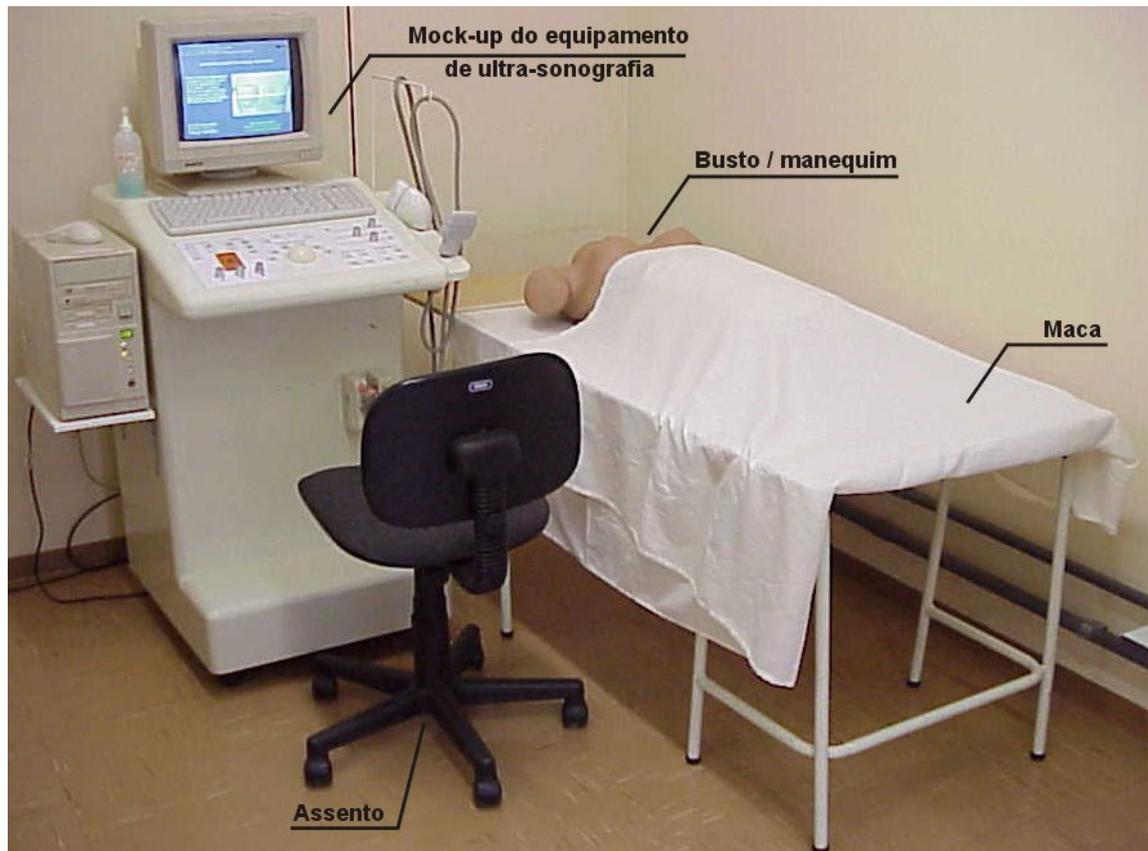


FIGURA 3.1 – Simulador do equipamento de ultra-sonografia.

O *mock-up* do equipamento de ultra-sonografia teve seu desenho e dimensões baseados na maioria dos equipamentos de ultra-sonografia encontrados no mercado. Foi confeccionado em MDF (*Medium Density Fiber*), tendo como equipamentos complementares um monitor (centro da tela a 1200mm do piso) e um teclado de computador (940mm do piso).

Uma maca foi confeccionada (em aço e MDF), apresentando dimensão baseada nas macas utilizadas em exames de ultra-sonografia de mama (700mm do piso). Utilizou-se também um busto/manequim, modelo S230.4, fornecido pela *Gaumard Scientific* (Miami, USA), utilizado na simulação de exames de apalpação da mama, por apresentar mamas com características clínicas normais e alteradas.

A opção pelo uso desse busto/manequim, disposto sobre a maca, foi para padronizar a interface de contato dos transdutores durante a simulação dos exames de ultra-sonografia – determinando sobre a sua superfície as

operações padrões que deveriam fazer parte da simulação – e para eliminar questões operacionais que poderiam ocorrer com o auxílio de uma voluntária – modelo vivo.

3.1.2.2 Transdutores lineares para ultra-sonografia de mama

Foram utilizados na primeira experimentação 02 transdutores lineares, sendo um da marca Hitachi, modelo EUP – L34T (frequência 5,0 – 13,0MHz), fornecido pela Medical Image Importação e Comércio Ltda. (FIGURA 3.2) e outro da marca Toshiba, modelo PLF-805-ST (frequência 8MHz) fornecido pela Toshiba Medical do Brasil Ltda. (FIGURA 3.3). Segundo os fornecedores, esses modelos são específicos para ultra-sonografia de mama.

Características		HITACHI
Modelo	EUP – L34T	
Frequência (MHz)	5,0 – 13,0	
Tipo	Linear	
Peso	74gramas	
Comprimento do sensor de leitura	38,0mm	
Largura do sensor de leitura	10,0mm	
Comprimento total do transdutor	88,4mm	
Comprimento da empunhadura	65,0mm	
Largura da empunhadura	28,0mm	
Espessura da empunhadura	26,0mm	

FIGURA 3.2 – Características físicas do transdutor Hitachi, utilizado na primeira experimentação.

Características		TOSHIBA	
Modelo	PLF – 805ST		
Frequência (MHz)	8,0		
Tipo	Linear		
Peso	157gramas		
Comprimento do sensor de leitura	60,0mm		
Largura do sensor de leitura	6,0mm		
Comprimento total do transdutor	122,0mm		
Comprimento da empunhadura	55,0mm		
Largura da empunhadura	44,0mm		
Espessura da empunhadura	26,0mm		

FIGURA 3.3 – Características físicas do transdutor Toshiba, utilizado na primeira experimentação.

3.1.2.3 Dispositivos de coleta, registro e análise de dados

3.1.2.3.1 DataLINK

Na primeira experimentação, utilizou-se um equipamento de aquisição e conversão de dados denominado DataLINK/DLK800, modelo M01733/June2000, fornecido pela Biometrics Ltd. (Gwent, UK). Esse equipamento caracteriza-se por um sistema que converte sinais analógicos em digitais, proporcionando a versatilidade de um processo de coleta de dados com precisão e sem interferências quanto a ruídos (BIOMETRICS, 2000).

O sistema DataLINK é constituído de vários dispositivos, destacando-se:

- DataLINK Base Unit (DLK 800 – M01733/Biometrics Ltd. – June 2000) – unidade de conversão de dados analógicos em

digitais, cuja principal característica técnica é apresentar um sistema de conversão com isolamento, uma conexão RS232/cabo R2500 para um computador, uma conexão bidirecional RS422/cabo R7000 para o “DataLINK Subject Unit”, uma conexão com uma fonte de alimentação módulo DC-DC/Power Supply – 110-240V para 9V – Modelo SW171 e saídas analógicas (0,5 a 4,5 V) e digitais (0,0 a 5,0 V).

- DataLINK Subject Unit (DLK 800 – M01733/Biometrics Ltd. – June 2000) – unidade de aquisição de dados, que pode ser condicionado ao sujeito durante a atividade e caracteriza-se por possuir 8 canais de entrada analógica de variável independente, uma entrada digital onde é conectado o sinalizador de registro e uma saída digital conectando o cabo R 7000, até o “DataLINK Base Unit”.

A FIGURA 3.4 apresenta o esquema de conexão, utilizado na primeira experimentação, entre os vários dispositivos que compõem o DataLINK/DLK800.

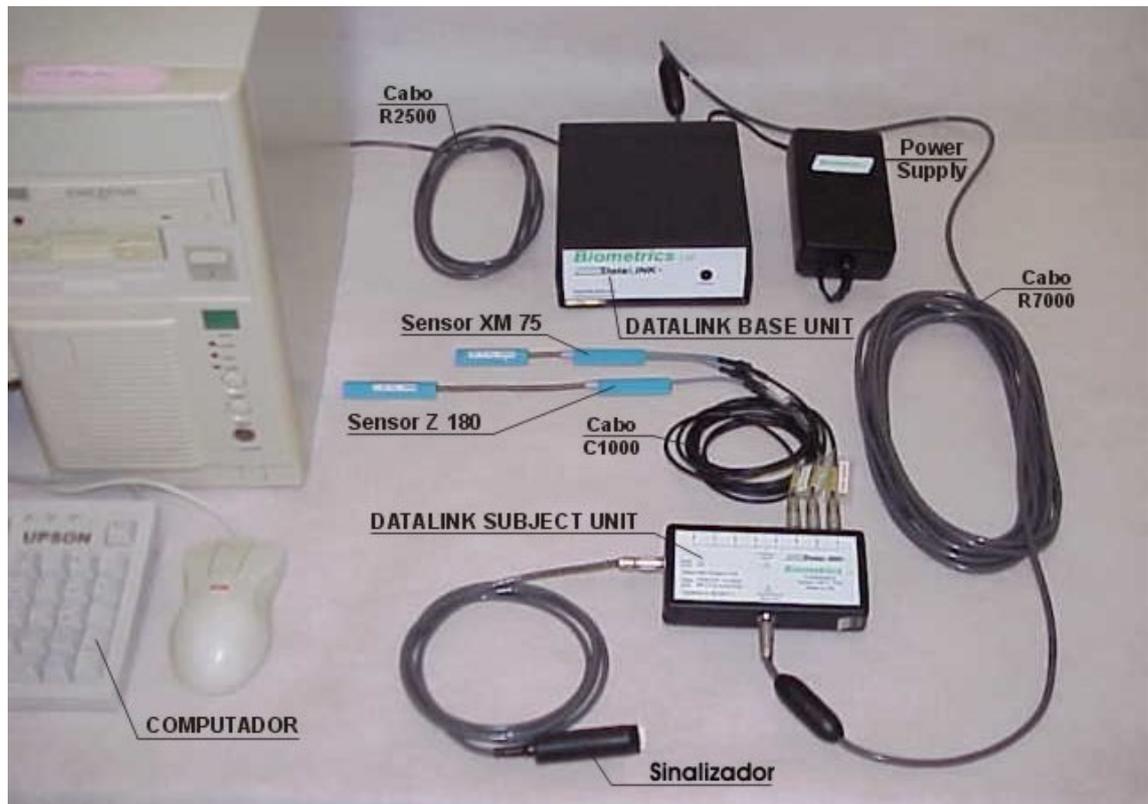


FIGURA 3.4 – Esquema de conexão entre os vários elementos do DataLINK para a primeira experimentação.

Para a primeira experimentação, o DataLINK foi conectado a um computador com sistema operacional Windows 98 e software DataLINK PC V. 1.00 – 1998/2000 (Biometrics Ltd. – Gwent/UK). A janela principal desse software permite visualizar os dados recebidos pelo sistema em tempo real de coleta. Portanto, essa versão permitiu apenas configurar a coleta de dados analógicos – especificamente para cada um dos canais utilizados: sensibilidade do canal, taxa de amostragem (100/s), “excitação” de saída (2000 mV) e calibragem dos sensores – e gravar os dados coletados em formato “Data File (.dat)”. Entretanto, esse software não possibilita leitura de um arquivo com essa extensão, tornando necessário converter os dados em planilha do Excel (.xls) para análise posterior. Os dados coletados na primeira experimentação com o DataLINK foram convertidos em valores angulares através da fórmula: “valor angular = número inteiro resultante do DataLINK x 180/4000”, segundo indicação da BIOMETRICS (2000).

3.1.2.3.2 Eletrogoniômetros

Os eletrogoniômetros utilizados na primeira experimentação foram equipamentos fornecidos também pela Biometrics Ltd. (Gwent, UK), particularmente aplicados na mensuração de ângulos e movimentos das articulações, tanto em situações estáticas quanto dinâmicas, de maneira contínua ao longo do tempo, possibilitando analisar posturas e movimentos no decorrer de uma atividade. Esses equipamentos caracterizam-se pela leveza, facilidade de aplicação e não comprometimento dos movimentos da articulação onde serão fixados.

Cada sensor do eletrogoniômetro é constituído por dois terminais, um telescópico e outro fixo, os quais são acoplados sobre as regiões dos segmentos adjacentes à articulação que será avaliada. Os sensores são interligados por uma mola protetora, dentro da qual existe um fio com uma série de *strain gauge*, montados em dois planos ortogonais ao fio. A mola é flexível e o fio desliza para dentro e para fora do terminal telescópico, ajustando-se às alterações de comprimento apresentadas durante os movimentos angulares (BUCHHOLZ & WELLMAN, 1997).

De acordo com NICOL (1987), os valores registrados pelo eletrogoniômetro representam uma relação de direção de um terminal ao outro. Assim, com o movimento da articulação, os dois terminais devem apresentar diferentes ângulos de direção, promovendo, então, uma deformação no comprimento da mola. Segundo a BIOMETRICS (1997), a deformação é mensurada pelos *strain gauge*, resultando em valores angulares, ou seja, o ângulo do movimento será aquele formado pelo prolongamento da posição dos terminais.

Para PAQUET et al. (1991), RAWES et al. (1996) e CHRISTENSEN (1999), a eletrogoniometria caracteriza-se por ser um método não invasivo, com elevado grau de precisão e confiabilidade. Suas limitações referem-se ao efeito denominado *cross-talk*, ou interferência de sinais quando várias articulações são medidas simultaneamente (BIOMETRICS, 1997).

Para a obtenção dos ângulos de movimento do punho, nos planos de flexo/extensão e desvios ulnar/radial, foi utilizado um eletrogoniômetro biaxial modelo XM 65 (Patente 10094), possibilitando o registro simultâneo dos dois planos. Já para o plano rotacional – pronação e supinação do antebraço – utilizou-se um torsiômetro uniaxial, modelo Z 180 (Patente 10098).

Os sensores eletrogoniômetros foram conectados ao “DataLINK Subject Unit” através de cabos C1000 (DLK), a partir da seguinte seqüência: sensor XM 75, com a flexão/extensão conectada ao Canal 01 e desvios ulnar/radial conectado ao Canal 02, e sensor Z 180 conectado ao Canal 03.

3.1.2.4 Aplicativo com os procedimentos

A fim de orientar os sujeitos durante os procedimentos de simulação do exame de ultra-sonografia de mama, foi desenvolvido um aplicativo a partir do software “PowerPoint 97”, apresentando em tempo real os procedimentos a serem realizados.

Nesse sentido, tal aplicativo ao mesmo tempo em que orientava a tarefa simulada, exigia que os sujeitos mantivessem as posturas de tronco e coluna cervical de forma similar àquelas observadas na atividade de trabalho, uma vez que seria necessário ficar atento ao monitor do *mock-up* do equipamento de ultra-sonografia, que demonstrava seqüencialmente cada uma das operações.

Foram consideradas as características das tarefas e das atividades de trabalho, e, a partir de *slides* com textos explicativos, figuras e animações de cada um dos procedimentos, o aplicativo era ilustrado de forma particular.

O primeiro slide demonstrou que a mama direita seria examinada, indicando a região em que o sujeito deveria passar gel ultra-sonográfico e como espalhá-lo sobre a mama.

No segundo slide, foi apresentada a região que seria analisada e a direção de movimentos (varredura) com o transdutor (no caso, no sentido transversal, do esterno para a lateral). Uma animação sobre a imagem demonstrou em qual local o sujeito deveria, simultaneamente, passar o transdutor, auxiliando tanto na seqüência das operações, quanto na padronização do tempo da tarefa.

O terceiro slide apresentou as mesmas características, no entanto o sentido de movimentos deu-se na direção longitudinal, sempre do ponto superior para o inferior.

No quarto slide foram apresentadas informações similares, mas os procedimentos se alteraram para a direção rotacional. E, nesse caso, o início da varredura deu-se próximo à região do esterno e seguiu no sentido horário sobre toda a mama até completar toda a tarefa (FIGURA 3.5).

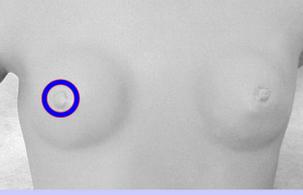
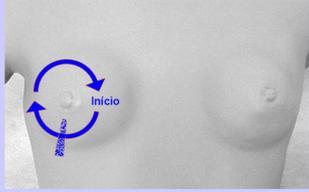
<p>UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção Laboratório de Fisioterapia Preventiva e Ergonomia Experimentação de Laboratório / Simulação das atividades de ultra-sonografia de mama</p> <p>Inicialmente, V. deve tomar o transdutor linear na mão direita.</p> <p>Com a mão esquerda pegue o tubo de gel e passe uma pequena camada em torno do mamilo da mama direita (tal como marcado no desenho ao lado).</p> <p>Com o próprio transdutor, espalhe todo o gel pela mama direita.</p> <p>A partir de então, mantenha sua mão esquerda sobre o painel do equipamento de ultra-sonografia e siga as orientações para iniciar a simulação propriamente dita.</p> <p>TECLE "ENTER"</p> <p>NÃO SE ESQUEÇA, AO PASSAR O TRANSDUTOR SOBRE O MANEQUIM, MANTENHA-O SEMPRE PERPENDICULAR EM RELAÇÃO A SUPERFÍCIE.</p> 	<p>UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção Laboratório de Fisioterapia Preventiva e Ergonomia Experimentação de Laboratório / Simulação das atividades de ultra-sonografia de mama</p> <p>MOVIMENTOS NA DIREÇÃO TRANSVERSAL / MAMA DIREITA</p> <p>Passa o Transdutor (mantendo-o perpendicular a superfície do manequim) sobre os setores representados na mama DIREITA, na direção transversal, no sentido do esterno para a lateral, tal como apresenta a animação. Siga aproximadamente a animação para ajustar-se ao tempo real da atividade.</p>  <p>DURANTE A SIMULAÇÃO, MANTENHA SEMPRE O TRANSDUTOR PERPENDICULAR À SUPERFÍCIE DO MANEQUIM.</p>
<p>UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção Laboratório de Fisioterapia Preventiva e Ergonomia Experimentação de Laboratório / Simulação das atividades de ultra-sonografia de mama</p> <p>MOVIMENTOS NA DIREÇÃO LONGITUDINAL / MAMA DIREITA</p> <p>Agora, passe o Transdutor (mantendo-o perpendicular a pele do manequim) sobre a mama DIREITA, na direção longitudinal, de cima para baixo, tal como apresenta a animação. Siga aproximadamente a animação para ajustar-se ao tempo real da atividade.</p>  <p>DURANTE A SIMULAÇÃO, MANTENHA SEMPRE O TRANSDUTOR PERPENDICULAR À SUPERFÍCIE DO MANEQUIM.</p>	<p>UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção Laboratório de Fisioterapia Preventiva e Ergonomia Experimentação de Laboratório / Simulação das atividades de ultra-sonografia de mama</p> <p>MOVIMENTOS NA DIREÇÃO ROTACIONAL / MAMA DIREITA</p> <p>Agora, passe o Transdutor (mantendo-o perpendicular a pele do manequim) sobre a mama DIREITA, na direção rotacional, sentido radial (horário), tal como apresenta a animação. Siga aproximadamente a animação para ajustar-se ao tempo real da atividade.</p>  <p>DURANTE A SIMULAÇÃO, MANTENHA SEMPRE O TRANSDUTOR PERPENDICULAR À SUPERFÍCIE DO MANEQUIM.</p>

FIGURA 3.5 – Slides com os procedimentos do exame de ultra-sonografia para a mama direita.

Todos esses procedimentos são repetidos para o exame simulado da mama esquerda, alterando-se apenas o movimento rotacional, que nesse caso, foi realizado no sentido anti-horário (FIGURA 3.6).

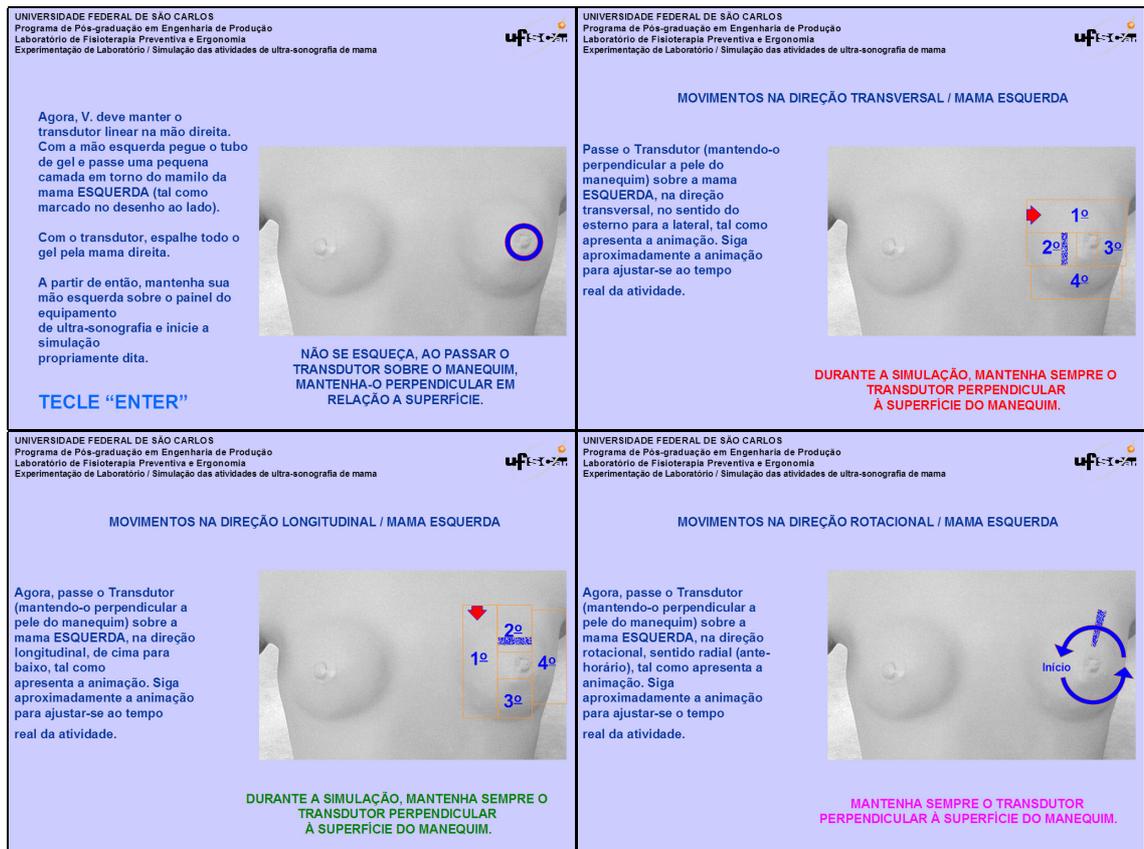


FIGURA 3.6 – Slides com os procedimentos do exame de ultra-sonografia para a mama esquerda.

3.1.2.5 Demais equipamentos

Além dos equipamentos anteriormente citados, foram empregados, também, microcomputadores, televisão (Sony-Trinitron), videocassete (JVC), equipamento fotográfico (Sony MVC-FD91), balança antropométrica (Welmy), paquímetro (Mitutoyo), fita dupla-face e gel ultra-sonográfico.

3.1.3. Procedimentos

Vários procedimentos caracterizaram a simulação na primeira experimentação, sendo realizados com cada um dos sujeitos isoladamente no “Laboratório de Fisioterapia Preventiva/Ergonomia” da UFSCar – Universidade Federal de São Carlos. Os sujeitos compareceram duas vezes ao Laboratório.

Na primeira vez, foram ocupados 10 minutos em média para cada indivíduo, quando foram preenchidas suas informações básicas no “Protocolo de Recrutamento” (APÊNDICE A), além da coleta de peso, estatura e comprimento do antebraço, bem como o questionamento sobre a ocorrência de sintomas musculoesqueléticos no último ano, verificando, assim, sua inclusão como sujeito.

Na segunda vez, foram ocupadas 2 horas, em média para cada sujeito, quando foram esclarecidos sobre o contexto do experimento, manifestando então o aceite e consentimento de participação por meio do preenchimento e assinatura da “Declaração de Consentimento” (APÊNDICE B).

Na seqüência, através do “Protocolo de Identificação” (APÊNDICE C) e paquímetro, foram coletados dados antropométricos da mão direita do sujeito, assim como outras informações complementares relacionadas às suas atividades físicas.

Também foi apresentado vídeo de um exame real de ultra-sonografia de mama, com duração aproximada de 3 minutos e 25 segundos, esclarecendo as principais operações e cuidados que o sujeito deveria tomar durante a simulação.

Ao final desta etapa, o sujeito foi convidado a realizar um treinamento no simulador, onde, então, executava uma ou mais séries dos procedimentos padrões de acordo com a compreensão individual da atividade.

3.1.3.1 Preparação dos sujeitos

Para a preparação, o sujeito foi posicionado com o antebraço direito em pronação e a mão em postura neutra, apoiada sobre um plano horizontal. O terminal telescópico do eletrogoniômetro (sensor XM 75) foi fixado sobre a linha média do dedo médio, dorsal e distalmente à articulação do punho e o terminal fixo disposto próximo à articulação do punho, dorsal, sobre a linha média do antebraço (FIGURA 3.7).

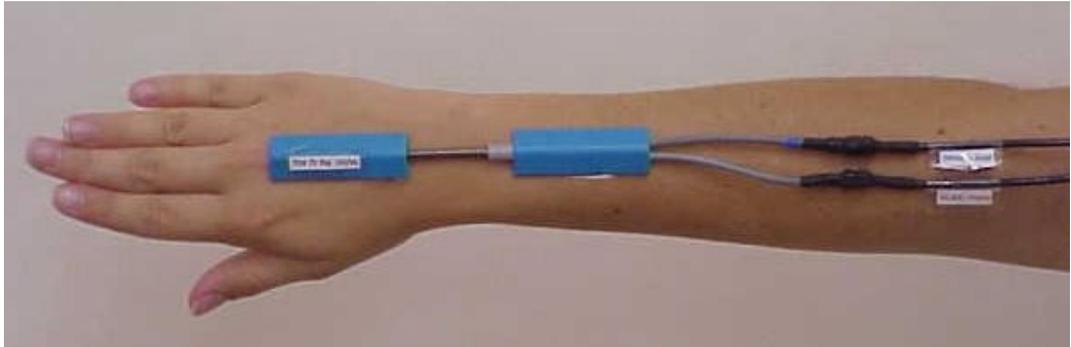


FIGURA 3.7 – Local de fixação do eletrogoniômetro.

Em seguida, com o antebraço em supinação, foi acoplado o torsiômetro (sensor Z 180), sendo o terminal telescópico fixado transversalmente sobre a linha média do antebraço, nas proximidades da extremidade do rádio, e o terminal fixo, próximo ao epicôndilo medial (FIGURA 3.8). Todos os terminais foram fixados com fita dupla face.

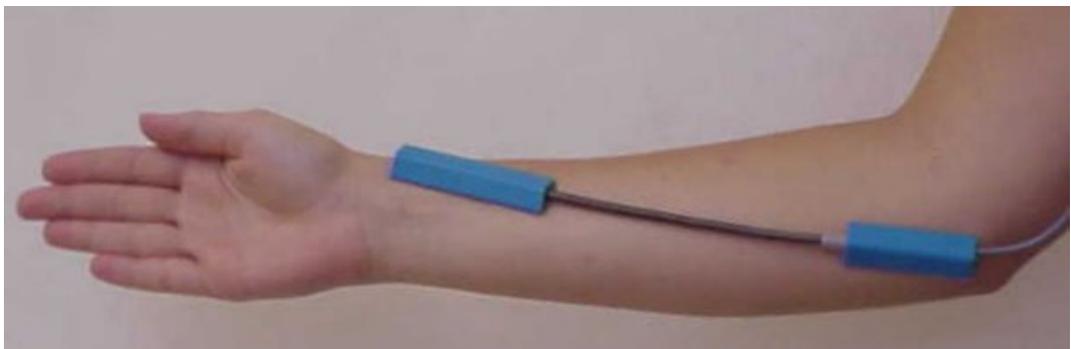


FIGURA 3.8 – Local de fixação do torsiômetro.

Depois de verificada a não-restrição de movimentos do membro superior direito, os sensores do eletrogoniômetro foram conectados com os cabos C1000 até o “DataLINK Subject Unit”, o qual foi fixado com um cinto na região do quadril do indivíduo. Uma braçadeira em velcro foi utilizada para manter os vários cabos de conexão junto ao braço do indivíduo, evitando sua interferência nos movimentos do membro superior direito, durante a simulação.

Por último, a calibragem dos sensores eletrogoniômetros deu-se mantendo o sujeito com o antebraço apoiado, a mão em pronação e alinhada ao

antebraço (posição neutra). Esta posição foi estabelecida com o valor “zero” para os canais 01 e 02 (respectivamente flexão/extensão e desvio ulnar/radial). Em seguida, ainda com o braço apoiado e antebraço em postura neutra, determinou-se no software o valor “zero” para o canal 03 (pronação/supinação).

3.1.3.2 Simulação da atividade

Uma vez preparados, os sujeitos foram novamente encaminhados para o simulador, onde deveriam iniciar a execução das atividades de ultra-sonografia de mama. Acompanhando o aplicativo com os procedimentos da simulação, cada sujeito foi executando a tarefa, sempre com a mão direita manipulando o transdutor e a mão esquerda sobre o *mock-up* do equipamento de ultra-sonografia (FIGURA 3.9).



FIGURA 3.9 – Simulação da atividade de ultra-sonografia de mama. À esquerda, sujeito do gênero masculino, realizando o exame na mama esquerda, com o transdutor “Toshiba”. À direita, sujeito do gênero feminino, realizando o exame na mama direita, com o transdutor “Hitachi”.

Cada conjunto de operações foi repetido três vezes, e, a cada repetição, acionava-se o sinalizador de registro, possibilitando separar cada um dos conjuntos de operações. Apenas o último conjunto foi considerado para a análise dos dados, os demais foram considerados fase de familiarização com os procedimentos. Todos os sujeitos iniciavam a simulação pela mama direita, mas a seqüência dos transdutores foi randomizada.

Após a execução de todos os procedimentos para as duas mamas e para os dois transdutores, o sujeito foi caminhado para a retirada de todo o conjunto de sensores e equipamentos.

3.1.3.3 Procedimentos para a análise dos dados

3.1.3.3.1 Análise dos movimentos

Os dados coletados foram analisados através do *software* “Excel 97”, por meio do qual receberam tratamento para a obtenção dos seguintes resultados:

- Amplitudes médias dos movimentos em cada uma das operações realizadas durante a simulação da atividade do ultra-sonografista, indicadas individualmente para cada um dos transdutores utilizados (Hitachi e Toshiba);
- Amplitudes máximas de movimento em cada uma das operações realizadas durante a simulação da atividade do ultra-sonografista; e
- Porcentagem de tempo mantido em posturas nos três planos de movimentos: flexão ($> 3^\circ$), neutro ($\pm 3^\circ$) e extensão ($> 3^\circ$), desvio ulnar ($> 3^\circ$), neutro ($\pm 3^\circ$) e desvio radial ($> 3^\circ$), e supinação ($> 3^\circ$), neutro ($\pm 3^\circ$) e pronação ($> 3^\circ$). Observa-se que o valor de $\pm 3^\circ$ para as posturas “neutras” foi estabelecido a partir do erro máximo de 3° proposto pelos fabricantes do eletrogoniômetro (BIOMETRICS, 1997).

3.1.3.3.2 Análise estatística

Os dados coletados foram analisados por meio de estatística descritiva e foi aplicado o teste de *ANOVA* (análise de variância) nos resultados de amplitudes médias de movimento, obtidos com os diferentes transdutores, cuja finalidade foi identificar diferenças estatisticamente significativas entre esses resultados. Para isso, considerou-se um valor de significância de $p \leq 0,05$. No caso em que foram

identificadas diferenças estatisticamente significativas, aplicou-se o teste *post-hoc* de *Duncan*, com o objetivo de verificar em quais situações a diferença ocorreu.

3.2 Design Ergonômico - Materiais e Métodos

Os materiais e métodos aplicados nesta fase têm como parâmetro as metodologias de Design Ergonômico apresentadas e discutidas na introdução deste trabalho. Assim, os procedimentos metodológicos foram adaptados e dirigidos para a situação aqui proposta, incluindo desde a definição do problema do projeto e suas variáveis ergonômicas, até a apresentação de alternativas para a solução deste problema.

Para tanto, três principais etapas foram executadas: análise e conceituação do problema, geração e análise de alternativas, e aperfeiçoamento final das alternativas.

3.2.1 Análise e conceituação do problema

Tal como observado na introdução deste trabalho, os problemas ergonômicos das atividades ocupacionais do ultra-sonografista são potencializados por uma série de fatores de ordem organizacional e/ou físicos, que podem ser abordados por qualquer um dos enfoques. Além disso, vários autores indicam a importância de se aplicar em conceitos e critérios ergonômicos no design dos equipamentos de ultra-sonografia, destacando principalmente os transdutores.

Outro aspecto importante a ser considerado é que as evoluções tecnológicas observadas nos equipamentos de ultra-sonografia objetivaram particularmente, a melhoria da qualidade técnica do diagnóstico por imagem, porém não se observaram quaisquer alterações que possibilitassem a melhoria na interface física entre o ultra-sonografista e o equipamento.

Por isso, o problema projetual foi analisado e demonstrado, respectivamente na introdução e na primeira experimentação, a partir do enfoque físico (biomecânico) na interface entre ultra-sonografista e transdutor, sendo necessário especificar os principais aspectos ou requisitos ergonômicos e de usabilidade para o desenho de um produto desse gênero.

Os requisitos ergonômicos podem ser fundamentados a partir dos resultados da primeira experimentação, na qual sob o ponto de vista biomecânico, foram constatadas elevadas amplitudes máximas de movimento do punho, bem como a maioria das amplitudes médias nos movimentos de extensão, desvio-radial e pronação, acima das faixas seguras de amplitude de movimento, descritas anteriormente. Além disso, verificou-se, também, uma elevada porcentagem de tempo em que posturas de extensão, desvio-radial e pronação foram mantidas, caracterizando tendências de movimentos inadequados.

PHEASANT (1996) apresenta um requisito ergonômico clássico para o projeto de dispositivos manuais que, satisfatoriamente, pode ser aplicado ao projeto do transdutor de ultra-sonografia: toda pega ou empunhadura deve propiciar que, durante a execução da tarefa, o punho se mantenha em seu “ângulo natural”, ou seja, numa postura mais próxima à neutra.

Desse modo, o principal requisito ergonômico indica a necessidade de os transdutores de ultra-sonografia apresentarem um desenho que propicie menores amplitudes de movimento, em que as médias se mantenham preferivelmente dentro (ou o mais próximo possível) das faixas seguras e as porcentagens de tempo mantidas nas posturas analisadas sejam mais bem distribuídas, indicando uma variabilidade natural de posturas. Em resumo, as amplitudes médias e máximas dos movimentos do punho e antebraço devem ser minimizadas.

Quanto ao requisito da usabilidade de equipamentos manuais, vários autores destacam recomendações gerais para o design de dispositivos manuais, que podem ser aplicadas no design do transdutor de ultra-sonografia (KONZ, 1979; MEAGHER, 1987; PUTZ-ANDERSON, 1988; MITAL & KILBOM, 1992; McCORMICK & SANDERS, 1992; LEWIS & NARAYAN, 1993; SANDVIK, 1997; HEDGE, 1998; CACHA, 1999). Assim, o transdutor deve:

- apresentar empunhadura tão extensa quanto possível, permitindo distribuir as pressões através da superfície da mão e transmitindo a força com menor esforço possível;
- apresentar formas e tamanhos corretos para a sua função;
- não apresentar cantos agudos e/ou ressaltos;

- ser aderente e apresentar peso equilibrado; e
- apresentar facilidade e segurança de pega.

Junto com essas recomendações, PASCHOARELLI & GIL COURRY (2000) apresentam uma série ampla de “considerações genéricas” para o design de dispositivos manuais, entre as quais destaca-se a necessidade de adequação (especificação) dimensional do transdutor, com base em critérios antropométricos da mão humana. Esses aspectos, ou requisitos projetuais, são parâmetros fundamentais para geração, análise e aperfeiçoamento de alternativas, sendo considerados diretrizes para o design ergonômico dos transdutores de ultra-sonografia.

É importante lembrar, mais uma vez, que vários outros elementos deveriam ser considerados na especificação do design, em decorrência da sua influência e do seu significado no desenvolvimento do produto, com destaque para os citados por PUGH (1996): ambiente, patentes, armazenamento, confiabilidade da qualidade, embalagem, competitividade, manutenção, peso, mercado, políticas, produção, perdas, concorrência, transporte, dimensão, processo, consumidor, ciclo de produção, custos de produção, performance do produto, ciclo de vida, instalação, estética, especificações padrões, materiais, volume de produção, documentação, legislação, segurança, testes.

Todavia, o objetivo deste trabalho está focado nos aspectos ergonômicos e de usabilidade do produto, além disso, a metodologia de design utilizada – baseada na metodologia de design ergonômico – enfatiza a aplicação desses critérios, pelos quais a qualidade dos resultados do produto é verificada a partir da melhoria na interface produto x usuário.

3.2.2 Geração e análise de alternativas

Considerando a mesma perspectiva da verificação inicial do problema e tendo como suporte operacional os requisitos de projeto, deu-se início à fase de geração e análise de alternativas.

Essa fase, quando observada em qualquer processo de desenvolvimento de produto, caracteriza-se, principalmente, pela possibilidade de expansão de novas idéias, objetivando atender as expectativas de solução do problema e caracterizando-se,

particularmente, pela criatividade. Muitas vezes, é o próprio processo criativo quem substitui o processo de geração de alternativas no desenvolvimento de um produto, apesar do consenso de que a criatividade deve ser aplicada em todas as fases desse desenvolvimento.

De qualquer maneira, a geração de alternativas depende muito do processo criativo, porque busca uma solução satisfatória e normalmente inédita para um problema proposto. Assim, estabeleceu-se o processo criativo como ferramenta projetual para a geração de alternativas. Apesar dessa opção, vale destacar que esse processo criativo foi acompanhado de uma análise paralela, possibilitando uma revisão contínua baseada nos requisitos ergonômicos e de usabilidade, os quais serviram de parâmetro evolutivo dos conceitos gerados.

Conforme KAMINSKI (2000), o processo criativo pode ser subdividido em três situações: individual, grupo de indivíduos e organizacional (empresas). Com base nessa subdivisão e na condição operacional desta pesquisa como um todo, propôs-se que a geração de alternativas fosse desenvolvida a partir de duas situações: inicialmente, um processo criativo com um grupo de indivíduos, denominado *processo conceitualista* e, na seqüência, um processo criativo individual, denominado *processo de desenvolvimento*.

A primeira situação caracterizou-se pela compreensão e análise global do problema, bem como pela geração de alternativas ou conceitos de soluções executadas por um grupo de indivíduos que tenham envolvimento em menor ou maior intensidade com design de produto e com a problemática em discussão.

Já a segunda situação caracterizou-se pela compreensão e pelo desenvolvimento dos conceitos gerados no *processo conceitualista*, a partir da atuação de um único indivíduo, aquele que coordenou o processo anterior, o qual se utilizou de ferramentas de representação, para definir o desenho do produto.

3.2.2.1 Processo conceitualista (geração de conceitos)

O *processo conceitualista* foi caracterizado pela aplicação do *brainstorming*, técnica clássica de criatividade desenvolvida por OSBORN (1975) e do *brainwriting*, que BAXTER (1998) considera uma evolução do *brainstorming*.

Segundo CSILLAG (1988), o *brainstorming* é uma técnica “... baseada em dois princípios e quatro regras básicas...” (p. 149), sendo os princípios relacionados à suspensão de julgamento e à correlação entre quantidade e qualidade das idéias e as regras básicas, destacadas pela ausência de críticas, desinibição, elevado volume de idéias e associação – combinação de idéias.

Para BAXTER (1998), o *brainstorming* pode ser desenvolvido a partir de sete etapas: orientação, preparação, análise, ideação, incubação, síntese e avaliação, as quais “não precisam ser seguidas rigidamente”, o que permitiu adaptar essa ferramenta às condições deste trabalho. Esse autor destaca, ainda, três aspectos importantes dessa ferramenta:

- a qualidade da idéia depende de uma boa preparação;
- a quantidade de idéias é maior quando a geração se processa livre de julgamentos; e
- a importância de conceder um certo tempo ao grupo para o afastamento deliberado do problema.

Esses três aspectos foram considerados na aplicação do *processo conceitualista* aqui descrito:

- os integrantes do *processo conceitualista* eram estudantes de graduação e pós-graduação em Desenho Industrial e participaram como sujeitos na primeira experimentação, no qual simularam a atividade ocupacional do ultra-sonografista e, conseqüentemente, se familiarizaram com o problema apresentado;
- a coordenação das sessões conduziu o grupo a constante discussão do problema e dos requisitos projetuais, intervindo apenas nas situações em que surgiram censura de idéias ou bloqueios percebidos entre os participantes. O julgamento das idéias foi permitido apenas ao final de cada sessão; e
- duas sessões ocorreram com um intervalo de aproximadamente quinze dias, possibilitando o “relaxamento e desligamento” dos integrantes.

O *brainwriting* se caracteriza por uma adaptação do *brainstorming*, por meio do qual, segundo BAXTER (1998), as idéias geradas são registradas graficamente, através de escrita ou desenho, pelos participantes durante a sessão.

De acordo com VANGUNDY (1999), o *brainwriting* apresenta um maior número de geração de idéias, se comparado ao *brainstorming* clássico, pois o registro de cada uma dessas idéias é realizado pelo próprio participante da reunião, otimizando o processo como um todo. A aplicação desta técnica foi necessária pelas próprias circunstâncias da geração de conceitos aqui proposta e pelos próprios objetivos do design ergonômico. Assim, em todas as sessões, foram disponibilizados materiais para o registro gráfico (lápiz, caneta e papel), facilitando a compreensão e discussão de tais idéias ao final das sessões. As sessões foram realizadas no Laboratório Didático de Ergonomia da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da UNESP – Campus Bauru, a partir de agendamento prévio com os participantes.

Participaram da primeira sessão quatro sujeitos, todos reunidos numa ampla mesa, na qual ficou disponibilizado o material para registro gráfico das idéias. Essa sessão foi registrada via VHS. Por iniciativa do coordenador, a reunião iniciou-se com a revisão dos principais procedimentos realizados durante a atividade simulada de ultra-sonografia da mama, junto ao busto/manequim, modelo S230.4, fornecido pela Gaumard Scientific (Miami, USA) e aos dois transdutores comerciais (Hitachi e Toshiba) utilizados na primeira experimentação. Nessa revisão, os sujeitos foram informados sobre os principais problemas verificados na primeira experimentação, junto com os requisitos para o redesenho do transdutor.

Após a livre discussão da problemática apresentada, procedeu-se à geração de alternativas, propriamente dita, com os sujeitos tendo que manifestar suas propostas (FIGURA 3.10) em 4 períodos de 10 minutos. A cada intervalo, o coordenador revisava alguns aspectos do problema e dos requisitos e solicitava que as idéias fossem apresentadas e as folhas de papel A3 fossem trocadas entre os sujeitos. Isso possibilitou uma maior interação entre os participantes, além de facilitar o fluxo e seqüência de idéias. Ao final da primeira sessão, todas as idéias foram reunidas e discutidas, não havendo qualquer proposta definitiva, mas, sim, alguns conceitos e o consenso de que aquela sessão se caracterizaria como uma “reunião de aquecimento”.

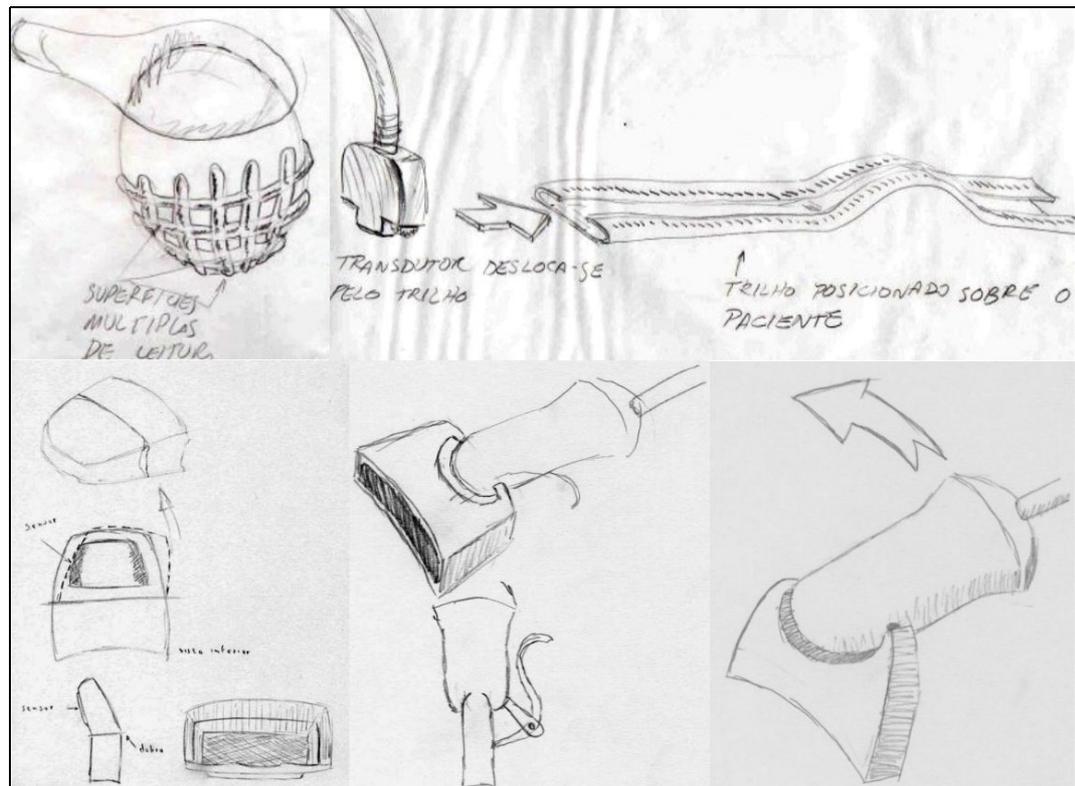


FIGURA 3.10 – Conjunto de conceitos gerados na primeira reunião de *brainstorming*.

Na segunda sessão, participaram também quatro sujeitos, dos quais três eram participantes da primeira sessão, então reunidos numa sala com material para registro gráfico e grandes folhas de papel fixadas nas paredes, nas quais foram desenvolvidas as propostas (FIGURA 3.11), permitindo a visualização completa de todas as manifestações de criação.

Novamente, a sessão iniciou-se com a revisão dos principais procedimentos da atividade simulada em questão e de alguns conceitos criados na primeira sessão. A geração de alternativas começou com os sujeitos manifestando suas idéias de forma livre e espontânea, cabendo ao coordenador a responsabilidade de conduzir o fluxo e a seqüência de idéias. A reunião foi conduzida por aproximadamente 40 minutos.

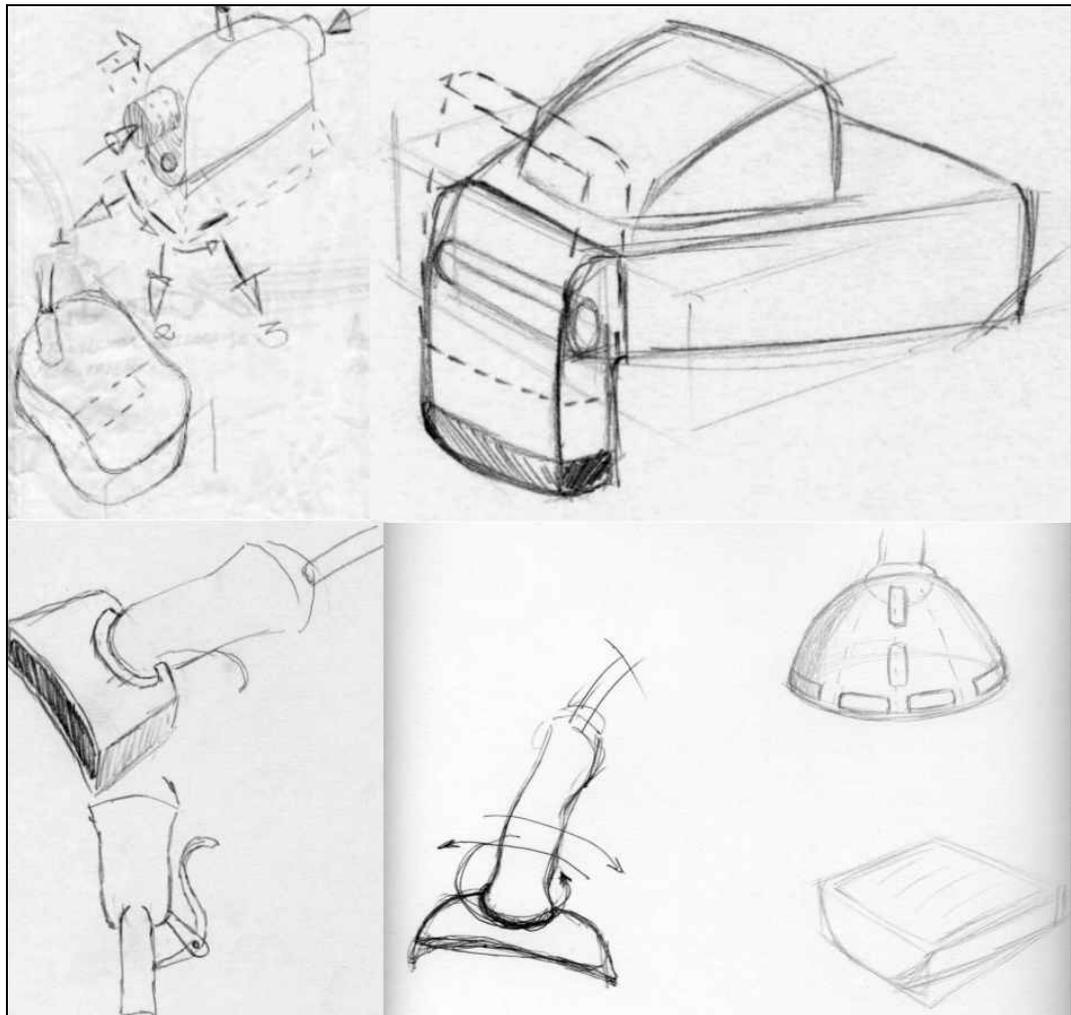


FIGURA 3.11 – Conjunto de conceitos gerados na segunda reunião de *brainstorming*.

Após a análise e discussão geral de todas as propostas, chegou-se a um consenso de que uma alternativa de desenho de transdutor aceitável deveria considerar que, durante as operações transversais e longitudinais, o alinhamento da pega fosse diferente do alinhamento do transdutor (sensor), visto que, ao se apresentarem alinhados, tal como observado com o transdutor Toshiba, o punho se mantém em elevada flexão nas operações longitudinais e elevada extensão nas operações transversais. Esse princípio de não-alinhamento (FIGURA 3.12), que objetiva a transferência dos ângulos de flexão e extensão do punho para a flexão dos dedos, é corroborado pela denominada “posição de função da mão”, a qual se caracteriza por

uma flexão natural dos dedos e que “... corresponde a um estado de equilíbrio muscular e articular que favorece a eficácia muscular...” (KAPANDJI, 1980, p. 204).

Já considerando as operações no sentido rotacional, uma alternativa de transdutor aceitável seria um desenho de pega cilíndrica ou formato similar, o qual facilitaria a rotação do transdutor durante a operação.

Demais recomendações (requisitos de usabilidade) deveriam ser aplicadas nas fases de aperfeiçoamento do produto, ou seja, no momento do desenho ou de sua modelagem.

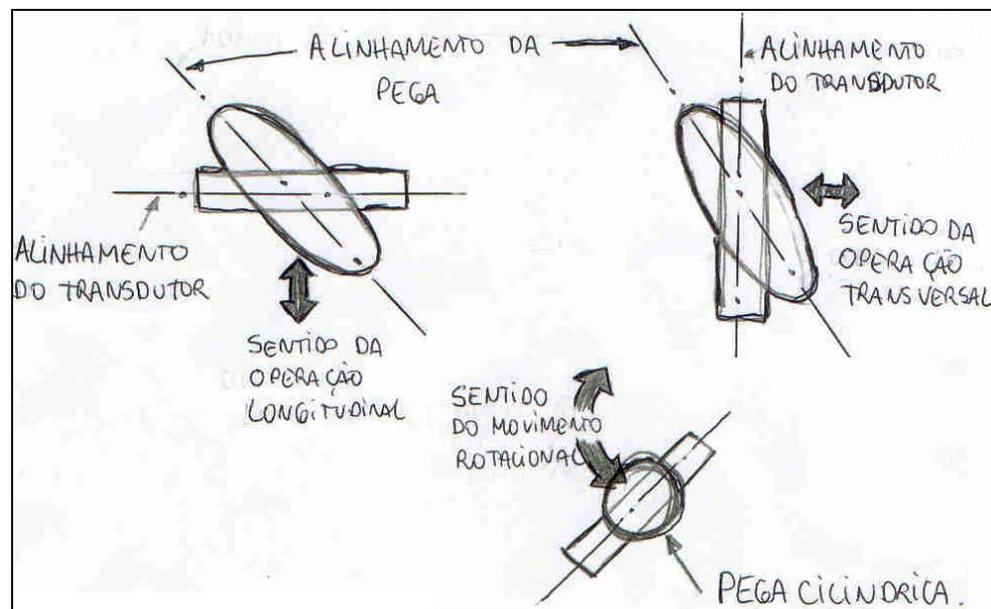


FIGURA 3.12 – Conceito geral do sistema de pega do transdutor.

3.2.2.2 Processo de desenvolvimento (geração de desenhos)

A partir da proposta e dos conceitos gerados no *processo conceitualista*, deu-se início ao *processo de desenvolvimento* por intermédio da geração de desenhos. Essa fase foi caracterizada pela aplicação da criatividade individual, mais precisamente uma adaptação da técnica de “combinação de elementos” descrita por KAMINSKI (2000), o qual “... trata da combinação casual de vários elementos pertencentes a um ou mais subsistemas, seguida de seleção” e “... uma vez fixados os elementos iniciais, eles não variam, pois o método é uma recombinação desses elementos” (p. 19).

Assim, foram sendo desenvolvidos vários esboços e croquis, transformando os conceitos genéricos na proposta de produto, a qual se caracterizou por um transdutor com a região de manipulação em formato cilíndrico para as operações rotacionais e uma pega para as operações longitudinais e transversais que se encaixaria na região cilíndrica do transdutor (FIGURAS 3.13 e 3.14).

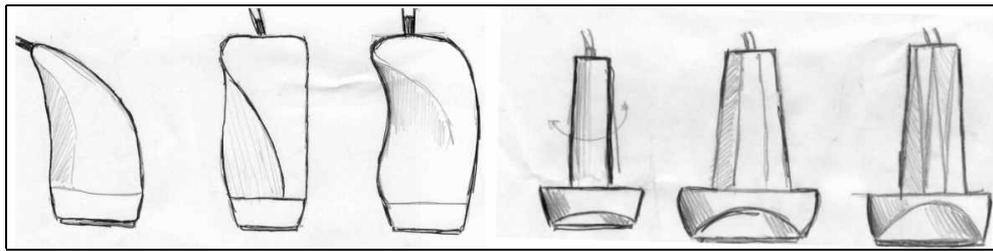


FIGURA 3.13 – Alguns desenhos de transdutor gerados no *processo de desenvolvimento*.

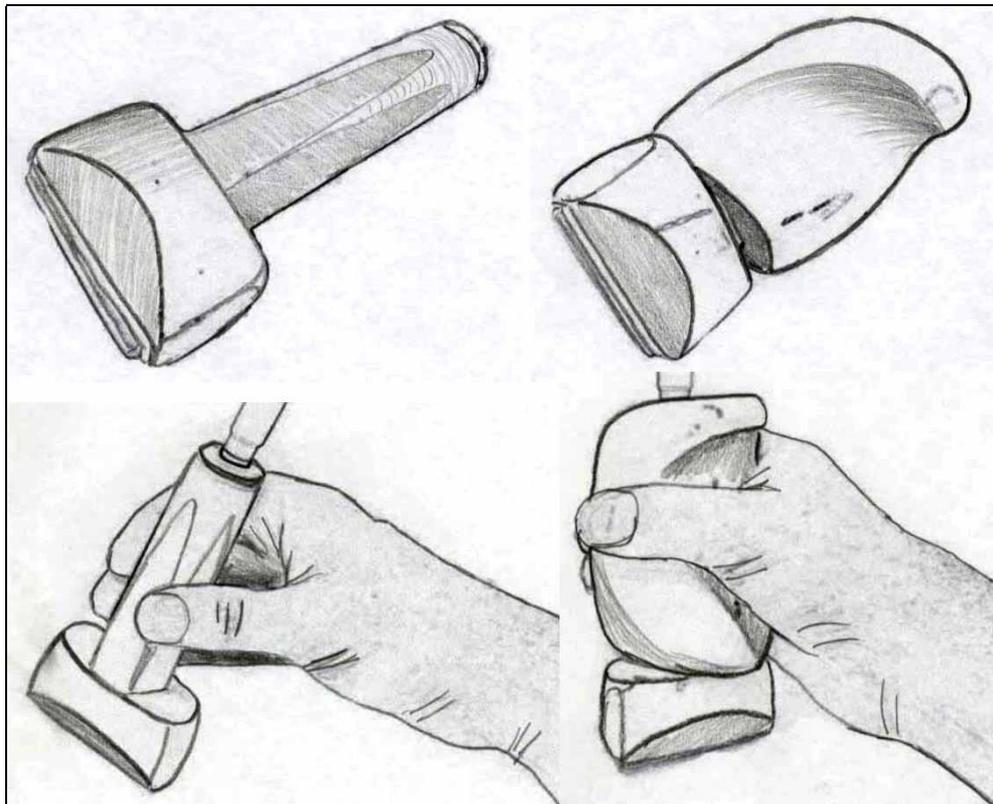


FIGURA 3.14 – Desenho final para o transdutor, caracterizado por duas peças: transdutor (para movimento rotacional) e pega (para movimentos longitudinais e transversais).

3.2.3. Aperfeiçoamento final da alternativa

A partir da definição do desenho para transdutor, procedeu-se o aperfeiçoamento final da alternativa, com a especificação dimensional do produto, a modelagem virtual e a modelagem física.

3.2.3.1 Especificação dimensional do produto

Para a especificação dimensional da alternativa de transdutor, foram consideradas as bases de dados antropométricos específicos das mãos, os critérios de aplicação de dados antropométricos, descritos por IIDA (1990), bem como os aspectos funcionais do produto e os operacionais da atividade.

Várias bases de dados antropométricos que apresentam variáveis dimensionais das mãos foram analisadas, destacando-se GORDON et al. (1989), PEEBLES & NORRIS (1998) e CACHA (1999) dos EUA, PHEASANT (1996) do Reino Unido e LBDI – Laboratório Brasileiro de Desenho Industrial (1990), do Brasil.

Os critérios de aplicação de dados antropométricos foram considerados especialmente para a definição do percentil populacional utilizado, bem como da origem dos dados coletados, quando se definiu que a base de dados de origem brasileira ofereceu informações mais apropriadas ao público alvo.

Ao considerar o formato cilíndrico do transdutor para as operações rotacionais, notou-se que o diâmetro da empunhadura era um referencial importante a ser definido. Assim, a partir do 5.º %il (percentil) da população e da referência antropométrica relacionada ao diâmetro de empunhadura apresentada pelo LBDI (1990), especificou-se que o diâmetro adequado deveria apresentar no máximo 34mm.

Já quanto ao desenho da alternativa escolhida para atender às operações no sentido longitudinal e transversal, observou-se que alguns parâmetros básicos deveriam ser considerados, a saber: o comprimento da empunhadura baseado na largura da região metacarpal e a largura da empunhadura baseada no comprimento do dedo médio. Estes parâmetros dimensionais foram definidos a partir do 95.º %il da população, pois segundo CACHA (1999), quanto maior a região de contato para este tipo de prensão, melhor a distribuição de cargas pela superfície da mão.

Quanto ao comprimento da empunhadura, este foi definido a partir da largura da região metacarpal, descrita pelo LBDI (1990), o qual propõem 94mm. Quanto à largura da empunhadura, esta foi definida pelo comprimento do dedo médio da mesma base de dados, ou seja, 86mm.

Decidiu-se que o ângulo entre o alinhamento do transdutor e o alinhamento da empunhadura, para as operações transversais e longitudinais, deve ser de 60°, uma vez que, considerando as operações no sentido longitudinal, a flexão dos dedos deverá ficar ao máximo em 30°. Já quanto às operações no sentido transversal, a flexão dos dedos deverá ficar ao máximo em 60°.

3.2.3.2 Modelagem virtual

Com os parâmetros dimensionais e desenhos mais definidos da proposta para o novo transdutor, iniciou-se a modelagem virtual (FIGURA 3.15) através do software 3D StudioMAX ® R3.

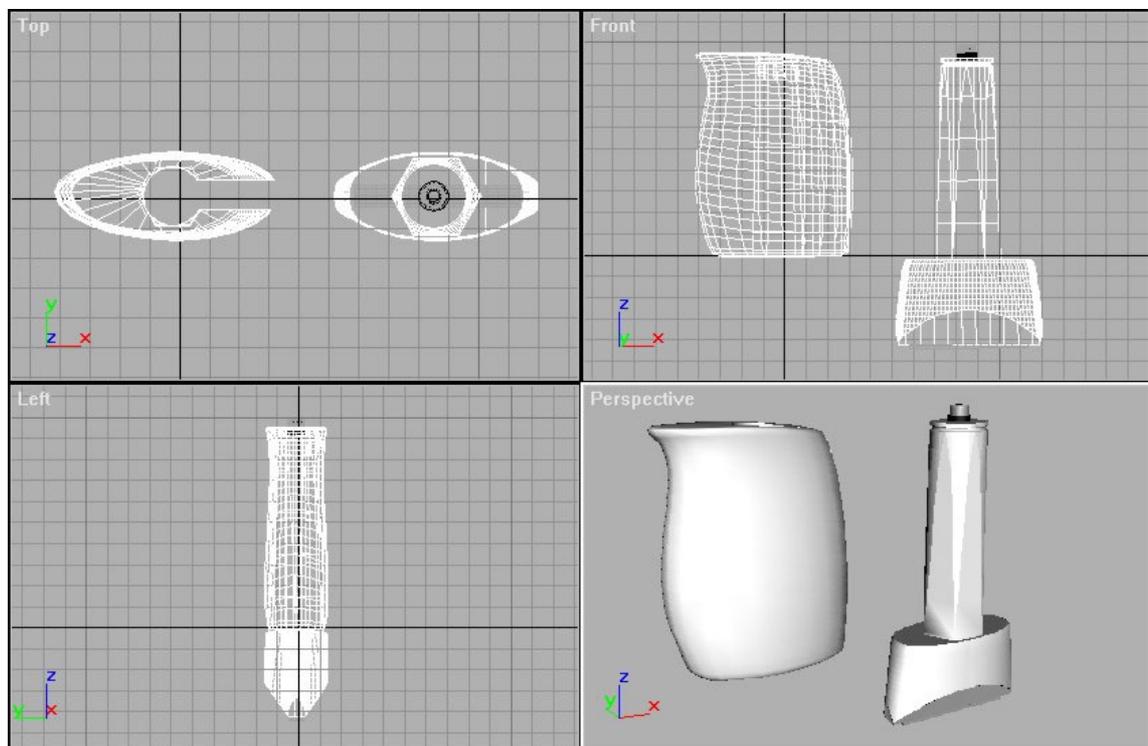


FIGURA 3.15 – Modelagem virtual da proposta de desenho para o transdutor.

De acordo com PETERSON (1998), esse software é desenvolvido pela *Kinetix*, especializado para plataforma Windows e possibilita modelar, animar e controlar objetos tridimensionais virtuais num “espaço cibernético” definido pelo processador (computador), permitindo gerar os mais diversos formatos de arquivos, entre eles o “STL”, normalmente utilizado na prototipagem rápida.

O uso desse software permitiu, inicialmente, visualizar e compreender o objeto do projeto (transdutor de ultra-sonografia), viabilizar o processo de modelagem física, além de manter registrada, digitalmente, a proposta de desenho.

3.2.3.3 Modelagem física

A modelagem física caracterizou-se pelo desenvolvimento de *mock-ups* (modelos tridimensionais em escala natural, cujas características físicas e operacionais são simuladas, permitindo a verificação da usabilidade do produto na interface ergonômica), os quais puderam ser confeccionados por meio da prototipagem convencional.

Segundo SILVA et al. (2002), os “protótipos convencionais” possibilitam simular situações de uso com um produto, e aspectos físicos similares àqueles determinados em projeto, com rapidez e sem grandes custos, permitindo a avaliação cognitiva do produto e a realização de análises ergonômicas.

Apesar da modelagem virtual possibilitar a confecção de protótipos *Hi-fi* (de alta fidelidade), a opção pela prototipagem convencional deu-se pela caracterização da abordagem aqui realizada e pelas vantagens que esse tipo de prototipagem oferece. Segundo SÄDE et al. (1998), os protótipos de baixa fidelidade (ou *mock-ups*) “... provaram ser uma maneira eficiente de detectar problemas de usabilidade...” (p. 59-60).

SILVA et al. (2002) sugerem que somente depois de realizada a otimização do projeto através dos protótipos convencionais é que poderiam ser confeccionados protótipos *Hi-fi*, os quais permitem maior precisão nas dimensões, já que são obtidos com a prototipagem rápida. As duas peças do “*Mock-up 01*” (como foi denominado), foram confeccionadas no Laboratório Didático de Madeira e Plástico da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da UNESP – Campus Bauru, sendo inicialmente modeladas em PU (espuma de poliuretano), MDF, metal e massa plástica (FIGURA 3.16).



FIGURA 3.16 – Pré-modelos do *Mock-up* 01.

A partir da definição da forma, foram obtidos modelos negativos destas peças (FIGURA 3.17), utilizando-se borracha de silicone e caixas em MDF.



FIGURA 3.17 – Modelos negativos do *Mock-up* 01.

As peças finais foram modeladas em PRFV (plástico reforçado com fibra de vidro) e PRFC (plástico reforçado com fibra de carbono), possibilitando obter *mock-ups* com acabamento (FIGURA 3.18) e dimensionamento satisfatórios (FIGURA 3.19).



FIGURA 3.18 – Peças finais do *Mock-up* 01, modeladas em PRFV (azul) e PRFC (grafite).



FIGURA 3.19 – Peças finais do *Mock-up* 01 com dimensões baseadas nas especificações dos dados antropométricos da mão humana.

3.3 Segunda Experimentação - Materiais e Métodos

3.3.1 Sujeitos

3.3.1.1 Critérios de inclusão

Para a definição dos sujeitos participantes da segunda experimentação foram empregados os mesmos critérios de inclusão e o mesmo “Protocolo de Recrutamento” (APÊNDICE A) utilizados na primeira experimentação.

3.3.1.2. Caracterização dos sujeitos

Participaram da segunda experimentação 10 sujeitos, sendo 5 do gênero feminino e 5 do gênero masculino, com idade variando entre 20 e 25 anos (média de 22,25 e d.p. de 1,49). Esses sujeitos eram, em sua maioria, estudantes universitários de graduação e pós-graduação, residentes na cidade de São Carlos (SP). Demais características físicas podem ser obtidas na TABELA 3.2.

TABELA 3.2 – Principais características físicas dos sujeitos da segunda experimentação.

Variáveis	Média	DP	Máximo	Mínimo
Idade (ago/2002 – anos)	22,25	1,49	25	20
Estatura (m)	170,89	6,03	178	163
Peso (kg)	67,72	11,70	83,8	53,9
IMC (Índice Massa Corporal – kg/m²)	23,74	2,89	27,67	19,24
Comprimento Antebraço (mm)	262,00	11,60	280	250
Comprimento Mão (mm)	179,60	8,06	187	163
Comprimento Palmar (mm)	102,50	4,95	108	92
Comprimento dedo Polegar (mm)	61,10	5,24	67	51
Comprimento dedo Indicador (mm)	69,30	2,83	74	64
Comprimento dedo Médio (mm)	77,10	4,04	83	71
Comprimento dedo Anular (mm)	71,80	4,02	76	64
Comprimento dedo Mínimo (mm)	58,60	3,44	62	52
Largura Metacarpal (mm)	84,70	5,77	93	75
Largura Palmar (mm)	104,10	9,23	118	90

Dos sujeitos da segunda experimentação, todos apresentavam predominância na mão direita (destros) e apenas 02 realizavam alguma atividade física

com as mãos, como por exemplo, práticas esportivas. Nenhum deles havia participado da primeira experimentação.

3.3.2 Materiais

Para a segunda experimentação, foram utilizados alguns equipamentos da primeira experimentação. Entretanto, alguns foram alterados para melhorar as condições de simulação e outros foram complementados, conforme as novas necessidades ou mesmo devido aos aperfeiçoamentos tecnológicos.

3.3.2.1 Simulador do equipamento de ultra-sonografia

Para a segunda experimentação, o sinalizador de registro foi instalado sobre o painel do simulador (FIGURA 3.20), transferindo para os sujeitos a função de marcar a mudança de operações da atividade, tornando mais preciso o processo de simulação e coleta de dados.

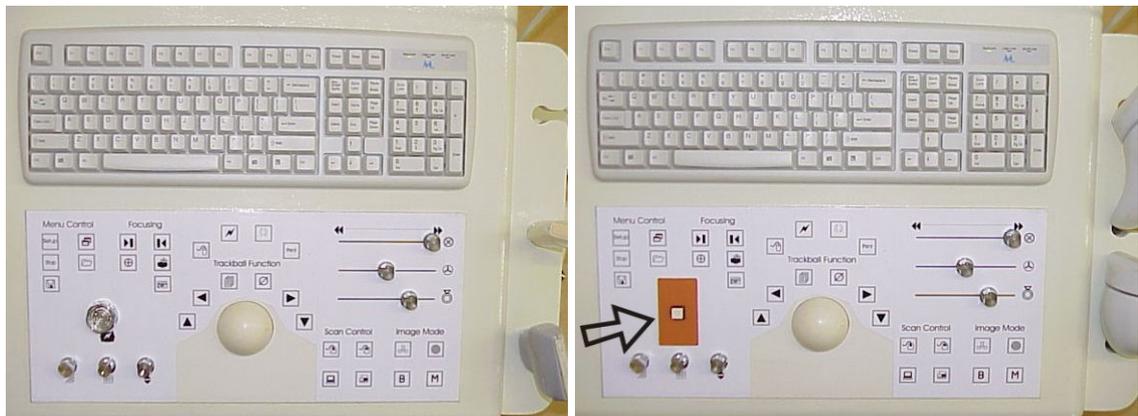


FIGURA 3.20 – Painel do Simulador do equipamento de ultra-sonografia. À esquerda, *layout* utilizado na primeira experimentação; à direita, *layout* utilizado a partir da segunda experimentação, com destaque para o posicionamento do sinalizador de registro.

3.3.2.2. Transdutores lineares para ultra-sonografia de mama

Além dos transdutores da marca Hitachi e Toshiba, utilizou-se o denominado *Mock-up* 01, desenvolvido na fase denominada “Design Ergonômico”. As principais características físicas desse *Mock-up* 01 são apresentadas na FIGURA 3.21.

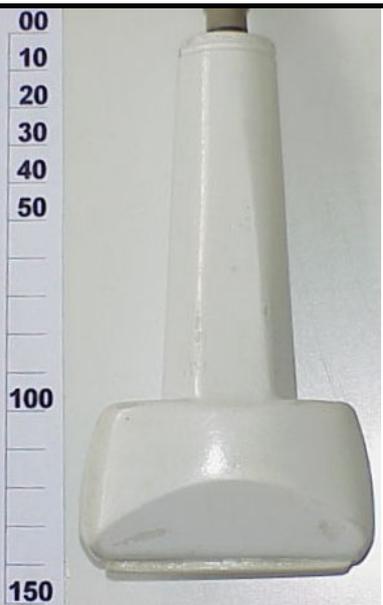
Características <i>Mock-up</i> 01		
	Operações	transversal e longitudinal
Tipo	Linear	Linear
Peso	212gramas (total)	157gramas
Compr. sensor de leitura	60,0mm	60,0mm
Larg. sensor de leitura	6,0mm	6,0mm
Altura do transdutor	137,0mm	137,0mm
Compr. da empunhadura	94,0mm	94,0mm
Circ. da empunhadura	210,0mm (Max)	110,0mm (Max)

FIGURA 3.21 – Características físicas do transdutor *Mock-up* 01, utilizado na segunda experimentação.

3.3.2.3 Dispositivos de coleta, registro e análise de dados

3.3.2.3.1 DataLINK

Na segunda experimentação, foi utilizado o mesmo equipamento de aquisição e conversão de dados DataLINK/DLK800, modelo M01733/June2000, fornecido pela Biometrics Ltd. (Gwent, UK). No entanto, o “DataLINK Subject Unit” e

o software DataLINK PC V. 1.00 – Biometrics Ltd. – 1998/2000) foram substituídos, em razão do aperfeiçoamento tecnológico apresentado.

O novo DataLINK Subject Unit (DLK 800 – M01733/Biometrics Ltd. – Oct2001) apresenta as mesmas características físicas da versão anterior. Modificações técnicas foram realizadas exclusivamente na plataforma física interna do equipamento.

A FIGURA 3.22 apresenta o esquema de conexão utilizado na segunda experimentação, entre os vários dispositivos que compõem o DataLINK/DLK800.

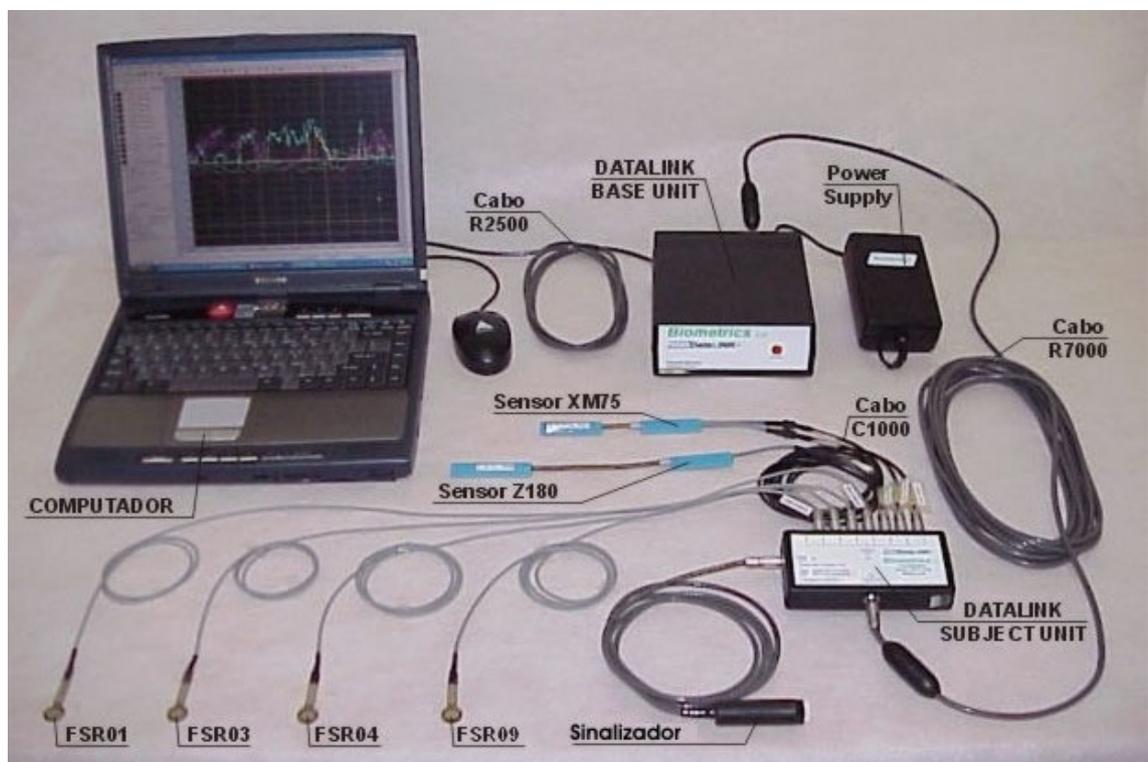


FIGURA 3.22 – Esquema de conexão entre os vários elementos do DataLINK para a segunda experimentação.

Para a segunda experimentação, o DataLINK foi conectado a um computador com sistema operacional Windows XP e software DataLINK PC V. 2.00 – Biometrics Ltd. – 1998/2001).

Como na versão anterior, a janela principal desse software permite visualizar os dados recebidos pelo sistema em tempo real de coleta, configurar a coleta de dados analógicos (especificamente para cada um dos canais utilizados: sensibilidade do canal, taxa de amostragem (100/s) e “excitação” de saída (2000 mV), calibragem dos

sensores) e gravar os dados coletados em formato *text document* (.txt), o que possibilitou a leitura dos arquivos gerados na própria interface do referido software, facilitando e agilizando o processo de análise de dados. Os mesmos sensores eletrogoniômetros utilizados na primeira experimentação foram utilizados na segunda experimentação.

3.3.2.3.2 Sensores de carga FSRs

Em decorrência da disponibilidade de um novo dispositivo de avaliação física, a partir da segunda experimentação foram utilizados os sensores de carga FSRs (*Force Sensing Resistors*). Esses sensores são fornecidos pela Biometrics Ltd. (Gwent, UK), caracterizados por dispositivos finos e robustos, que podem ser colocados entre um dispositivo manual e a mão do usuário, possibilitando identificar e mensurar forças de reação dos tecidos das mãos, no momento em que essa região é pressionada contra o dispositivo.

De acordo com FELLOWS & FREIVALDS (1991), os sensores FSRs servem para mensurar as cargas – ou pressões – em algumas áreas da mão, principalmente na região palmar, quando o indivíduo realiza o movimento de preensão ao manipular um objeto. Com base em estudos desenvolvidos por BISHU et al. (1993), FELLOWS & FREIVALDS (1991), JENSEN et al. (1991) e RADWIN & OH (1992), HALL (1997), o uso de sensores FSRs é a técnica mais utilizada para medidas de pressão dessa natureza.

Segundo a Interlink Electronics, empresa que fabrica este tipo de sensor, o FSR não é um *strain gauge*, célula de carga ou transdutor de pressão, apesar de apresentar propriedades similares a estes dispositivos. Mas, os resultados obtidos em levantamentos dinâmicos devem considerar que sua precisão pode variar de $\pm 5\%$ a $\pm 25\%$, dependendo da consistência das medidas e atuação do sistema. Já a precisão dos resultados obtidos em situações estáticas apresenta-se em torno de $\pm 5\%$ da carga total.

Esse tipo de sensor exige a interação com outros dispositivos de conversão de sinal elétrico em sinal digital, como o DataLINK, para a obtenção de dados que possam interagir com outros dispositivos de avaliação, como, por exemplo, os eletrogoniômetros. Foram empregados quatro FSRs, produzidos pela Interlink

Electronics, modelo #402, circulares e com área ativa de 12,7mm de diâmetro, individualmente identificados pelos números FSR 01, FSR 03, FSR 04 e FSR 09.

Os sensores FSRs possuem terminais próprios e foram diretamente conectados ao “DataLINK Subject Unit”, a partir da seguinte sequência: FSR 01 conectado ao canal 04, FSR 03 conectado ao canal 05, FSR 04 conectado ao canal 06 e FSR 09 conectado ao canal 07.

3.3.2.4 Aplicativo com os procedimentos

O mesmo aplicativo foi utilizado para procedimento de simulação do exame de ultra-sonografia de mama. Todavia, apenas a nova função de acionamento do sinalizador de registro pelos sujeitos foi introduzida para aparecer nos slides ao final de cada sequência das operações.

3.3.2.5 Demais equipamentos

Assim como na primeira experimentação, outros equipamentos foram utilizados, tais como: microcomputadores, televisão (Sony-Trinitron), videocassete (JVC), equipamento fotográfico (Sony MVC-FD91), balança antropométrica (Welmy), paquímetro (Mytutoio), fita dupla-face, luvas cirúrgicas e gel ultra-sonográfico.

3.3.3. Procedimentos

Vários procedimentos caracterizaram a simulação durante a segunda experimentação. O local dos procedimentos (Laboratório de Fisioterapia Preventiva/Ergonomia da UFSCar – Universidade Federal de São Carlos) foi o mesmo da primeira experimentação e o tempo gasto para a execução do conjunto de procedimentos com cada um dos sujeitos foi de aproximadamente 1 hora e 30 minutos.

Com exceção de alguns detalhes, esses procedimentos foram bastante similares àqueles desenvolvidos na primeira experimentação. A contextualização (recepção e apresentação do experimento para os sujeitos) não sofreu qualquer alteração, entretanto a preparação dos sujeitos, a simulação da atividade real e os procedimentos para a análise de dados apresentaram procedimentos novos.

3.3.3.1 Preparação do sujeito

A fim de fixar os sensores FSRs, foi considerado o tipo preponderante de pega do transdutor durante a atividade real do médico ultra-sonografista (preensão palmar), observando que nesse caso o “... polegar opõe-se a um ou mais dedos...” sendo que “... o contato é feito pelas superfícies palmares das falanges distais dos dedos” (SMITH, et al. 1997b, p. 253). Assim, optou-se por posicioná-los na região palmar da mão, mais precisamente na face palmar das falanges distais dos dedos, sendo o FSR 01 posicionado no polegar, o FSR 03 posicionado no indicador, o FSR 04 posicionado no médio e o FSR 09 posicionado no anular. Para isso, o sujeito foi mantido com o antebraço direito em supinação e a mão em estado relaxado. Cada FSR foi “fixado” nas respectivas posições e envolvido pela extremidade cortada de uma luva cirúrgica (FIGURA 3.23).

Após fixação de todos os FSRs, verificou-se a não-restrição dos movimentos dos dedos e mão. Na seqüência, foram realizados os procedimentos de fixação dos sensores eletrogoniômetros, exatamente do mesmo modo como fora executado na primeira experimentação.

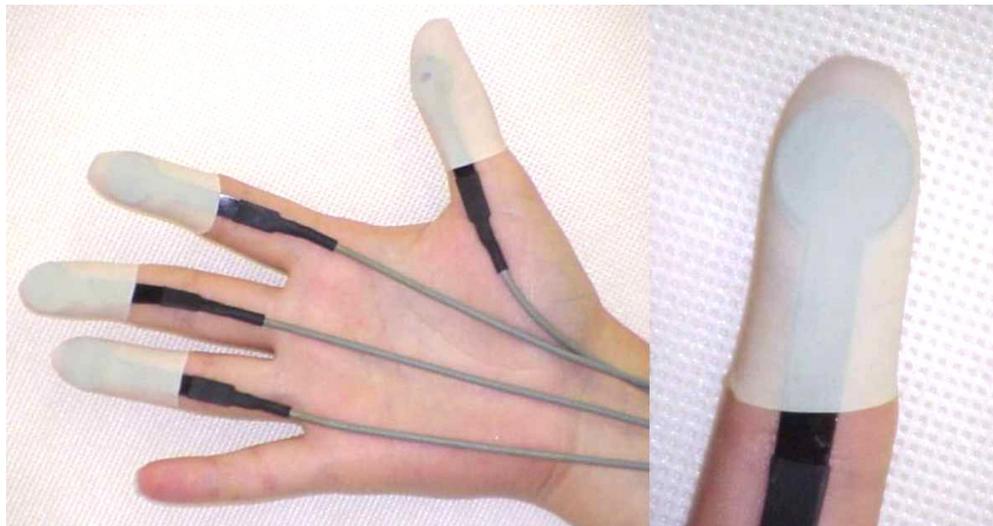


FIGURA 3.23 – Sistema de fixação dos sensores FSRs (esquerda) e detalhe da fixação no indicador (direita).

Os sensores FSRs e eletrogoniômetros foram conectados (os últimos com cabos C1000) ao “DataLINK Subject Unit”, o qual foi fixado na região do quadril do

indivíduo por um cinto. Uma braçadeira com velcro foi utilizada para manter os vários cabos empregados junto ao braço do indivíduo, a fim de evitar que eles interferissem nos movimentos do membro superior direito durante a simulação.

Por último, executou-se a calibragem dos sensores eletrogoniômetros, exatamente como na primeira experimentação. Na calibragem dos sensores FSRs foi solicitado ao sujeito que mantivesse a mão em supinação e relaxada, determinando, no software, o valor “zero” para os canais 04, 05, 06 e 07.

3.3.3.2 Simulação da atividade

Os sujeitos foram encaminhados ao simulador para realizarem as atividades de ultra-sonografia de mama. Através do acompanhamento do aplicativo com os procedimentos da simulação, eles foram executando a tarefa, tal como na primeira experimentação.

Cada conjunto de operações foi executado apenas uma única vez, e para iniciar um novo conjunto de movimentos, o sujeito acionava um botão sobre o painel do *mock-up* do equipamento de ultra-sonografia para marcação daquele instante de registro. Todos iniciavam a simulação pela mama direita, mas a seqüência dos transdutores foi randomizada. Após a execução de todos os procedimentos para as duas mamas e para os dois transdutores, o conjunto de sensores e equipamentos era retirado.

3.3.3.3 Procedimentos para a análise dos dados

3.3.3.3.1 Análise dos movimentos e cargas

Os dados brutos foram obtidos diretamente pelo software DataLINK PC V. 2.00 – Biometrics Ltd. – 1998/2001 (FIGURA 3.24), por onde é possível visualizar, individualmente, cada um dos canais, marcar períodos específicos de tempo (em segundos, no eixo X), marcar faixas de amplitudes específicas (em graus no eixo Y) e, a partir dessas marcas, obter amplitudes máximas e médias, bem como a porcentagem de tempo em faixas de amplitudes preestabelecidas, entre outras informações.

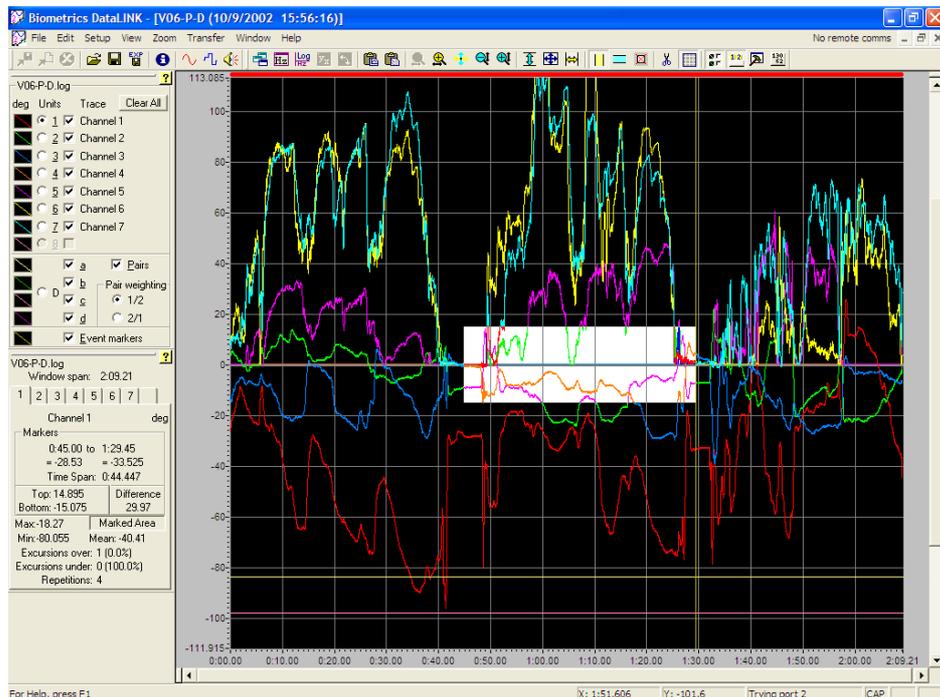


FIGURA 3.24 – Tela do software DataLINK PC V.2.00 – Biometrics Ltd. – 1998/2001.

O tratamento dos dados coletados na segunda experimentação visou obter os seguintes resultados:

- Amplitudes médias dos movimentos em cada uma das operações realizadas durante a simulação da atividade do ultra-sonografista, indicadas para cada um dos transdutores utilizados (*Mock-up* 01, Hitachi e Toshiba);
- Amplitudes máximas de movimento em cada uma das operações realizadas durante a simulação da atividade do ultra-sonografista;
- Porcentagem de tempo gasto em faixas de amplitude segura e críticas nos três planos de movimentos: flexão (15°) e extensão (15°); desvio ulnar (15°) e desvio radial (10°); supinação (45°) e pronação (45°);
- Médias de cargas (em kgf) nos diferentes sensores FSRs, aplicando aos resultados do DataLINK as equações de regressão obtidas por PASCHOARELLI e GIL COURRY (2002 e 2003), para a calibração dos FSRs.

3.3.3.3.2 Análise estatística

Os mesmos procedimentos de análise estatística desenvolvidos na primeira experimentação foram aplicados aos resultados da segunda experimentação. Também foi adotado um valor de significância de $p \leq 0,05$.

3.4. Design Ergonômico/Revisão Projetual - Materiais e Métodos

A partir de uma análise preliminar dos resultados da segunda experimentação, realizou-se uma revisão projetual dos critérios aplicados no design ergonômico, por meio do qual se considerou que a preensão do transdutor poderia ocorrer com o antebraço levemente em pronação e o desenho da pega do transdutor poderia ser alongado, possibilitando uma maior área de contato na região metacarpal, a fim de se obter resultados mais satisfatórios dos FSRs.

Observou-se, também, que o conceito de não-alinhamento entre o transdutor e a pega deveria ser mantido para as operações no sentido longitudinal e transversal, bem como a pega na forma cilíndrica, para as operações no sentido rotacional, podendo haver dois transdutores para um mesmo exame.

Dessa forma, o processo projetual foi retornado a partir das atividades do *processo de desenvolvimento* e do aperfeiçoamento final de novas alternativas.

3.4.1 Geração e análise de alternativas/processo de desenvolvimento

O *processo de desenvolvimento* objetivou transformar os conceitos gerados a partir das observações anteriores em novos desenhos da pega do transdutor, utilizando técnicas de representação gráfica bidimensional (esboços e croquis). Assim, foram desenvolvidas duas alternativas de empunhadura (conceitos 02 e 03, respectivamente FIGURAS 3.25 e 3.26), as quais seriam utilizadas particularmente nas operações longitudinal e transversal. Para as operações rotacionais uma única alternativa de empunhadura foi apresentada, a qual seria associada tanto ao conceito 02 quanto ao conceito 03, (FIGURA 3.27).

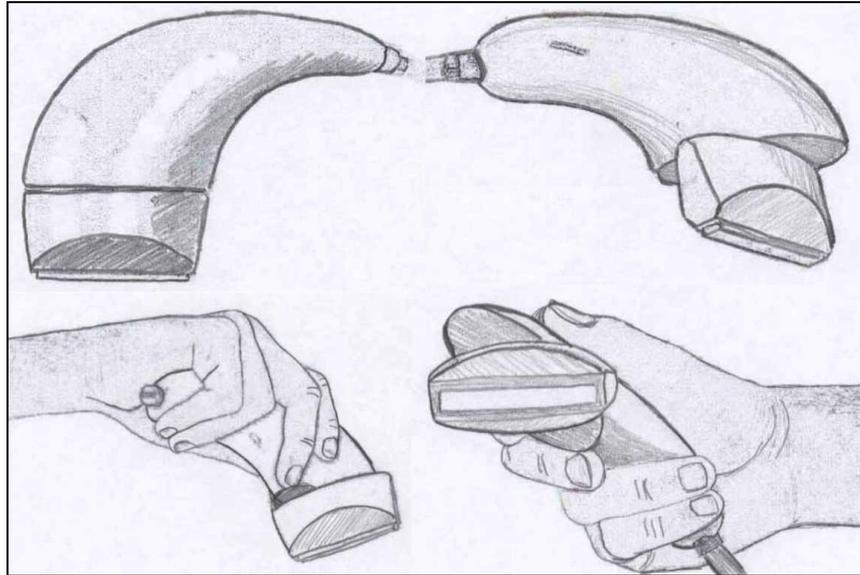


FIGURA 3.25 – Conceito 02 (Proposta de empunhadura para as operações longitudinal e transversal).

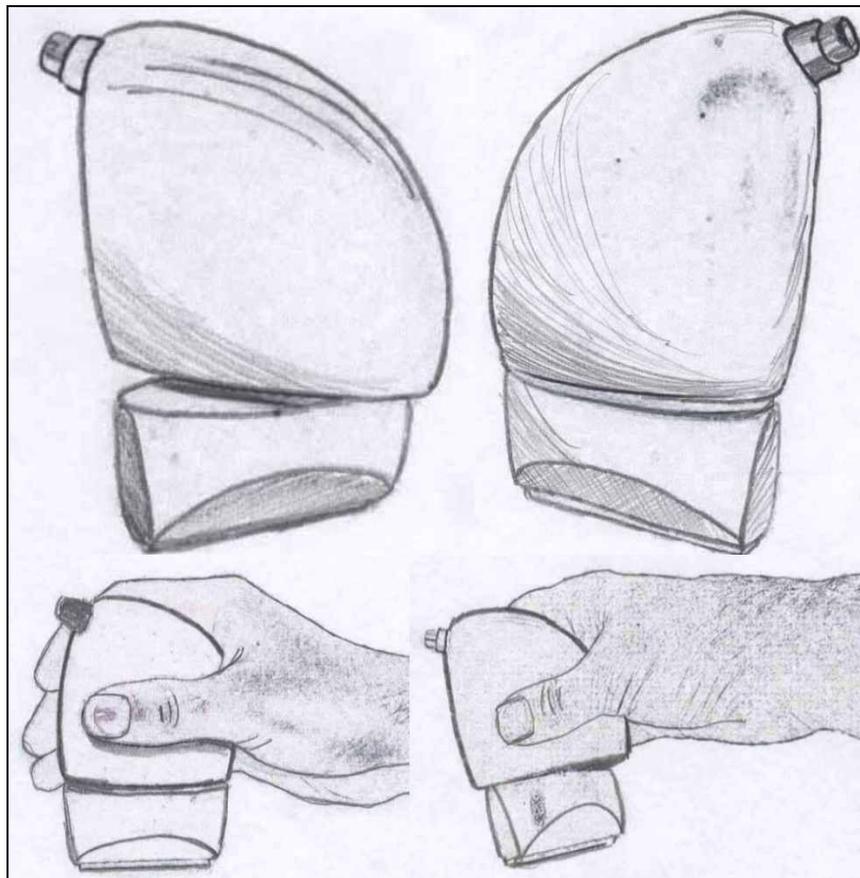


FIGURA 3.26 – Conceito 03 (Proposta de empunhadura para as operações longitudinal e transversal).

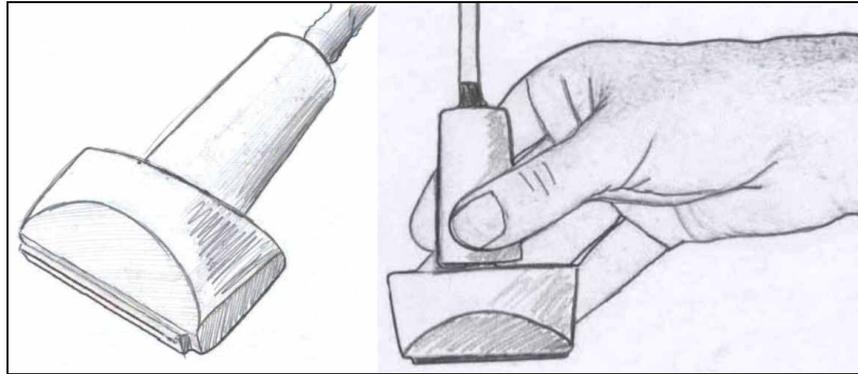


FIGURA 3.27 – Proposta de empunhadura para as operações rotacionais, utilizada tanto para o conceito 02 quanto para o conceito 03.

3.4.2 Aperfeiçoamento final das alternativas

A partir da definição dos desenhos para o transdutor, iniciou-se o aperfeiçoamento final das alternativas, com a especificação dimensional do produto, a modelagem virtual e a modelagem física.

3.4.2.1 Especificação dimensional do produto

Os mesmos fatores de especificação dimensional (base de dados antropométricos, critérios de aplicação, aspectos funcionais do produto e aspectos operacionais da atividade) foram considerados para configuração dos conceitos 02 e 03. A especificação dimensional da região cilíndrica do transdutor para as operações rotacionais considerou a análise do conceito 01 e manteve o diâmetro máximo de 34mm.

Como a pega do conceito 02 “sugere” uma preensão completa da mão, observou-se que ao menos o comprimento da borda superior deveria ter como parâmetro básico o comprimento total da mão (do centro da base palmar à base do dedo médio, mais o comprimento do dedo médio), baseado no 50.º %il da população, da base de dados do LBDI (1990). Assim, ficou definido o comprimento de 180mm. A especificação desse percentil se deu, uma vez que não se trata de uma preensão de precisão.

Já a pega do conceito 03, ao sugerir uma “preensão por oposição subterminal” (KAPANDJI, 1980, p. 200), exigiu que o comprimento transversal da superfície frontal da pega do transdutor fosse baseado no comprimento do dedo médio do 95.º %il da população da base de dados do LBDI (1990), ou seja, aproximadamente 86mm. O mesmo ângulo de 60° aplicado no conceito 01, entre o sensor do transdutor e o eixo da mão, foi mantido para os conceitos 02 e 03.

3.4.2.2 Modelagem virtual

A modelagem virtual também foi desenvolvida com o software 3D StudioMAX ® R3 (conceito 02-FIGURA 3.28 / conceito 03-FIGURA 3.29). Esse procedimento foi necessário para o registro digital da proposta de desenho, proporcionando maiores referências para a modelagem física.

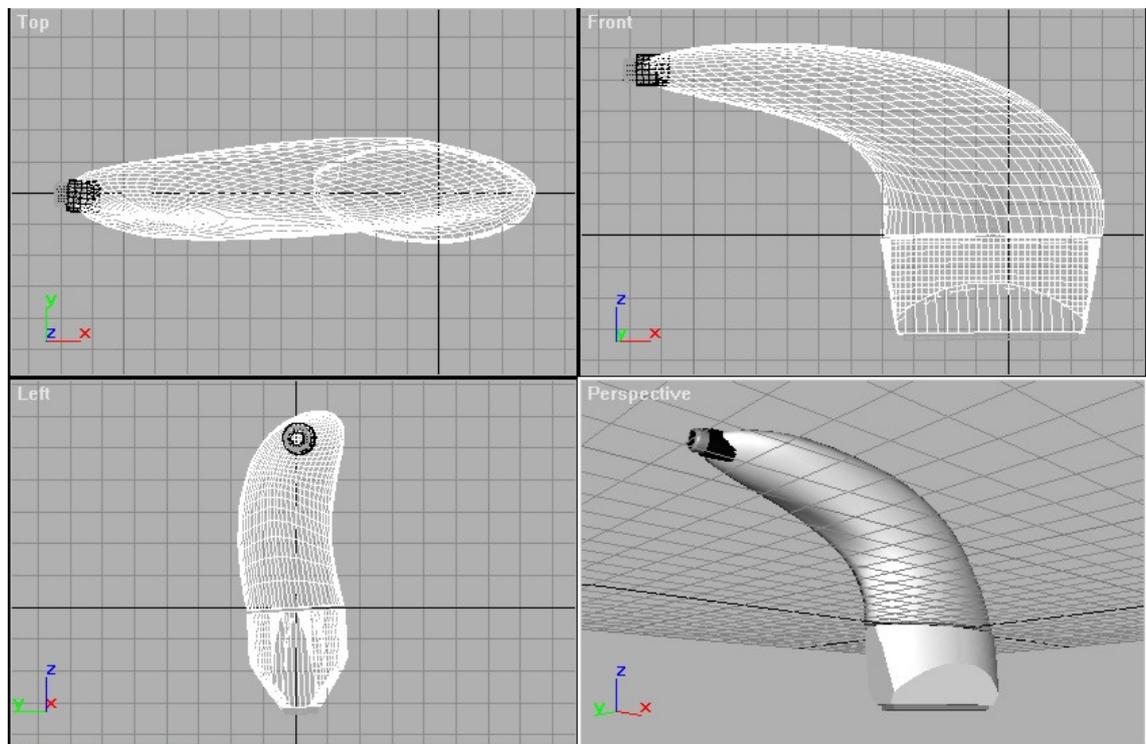


FIGURA 3.28 – Modelagem virtual do conceito 02.

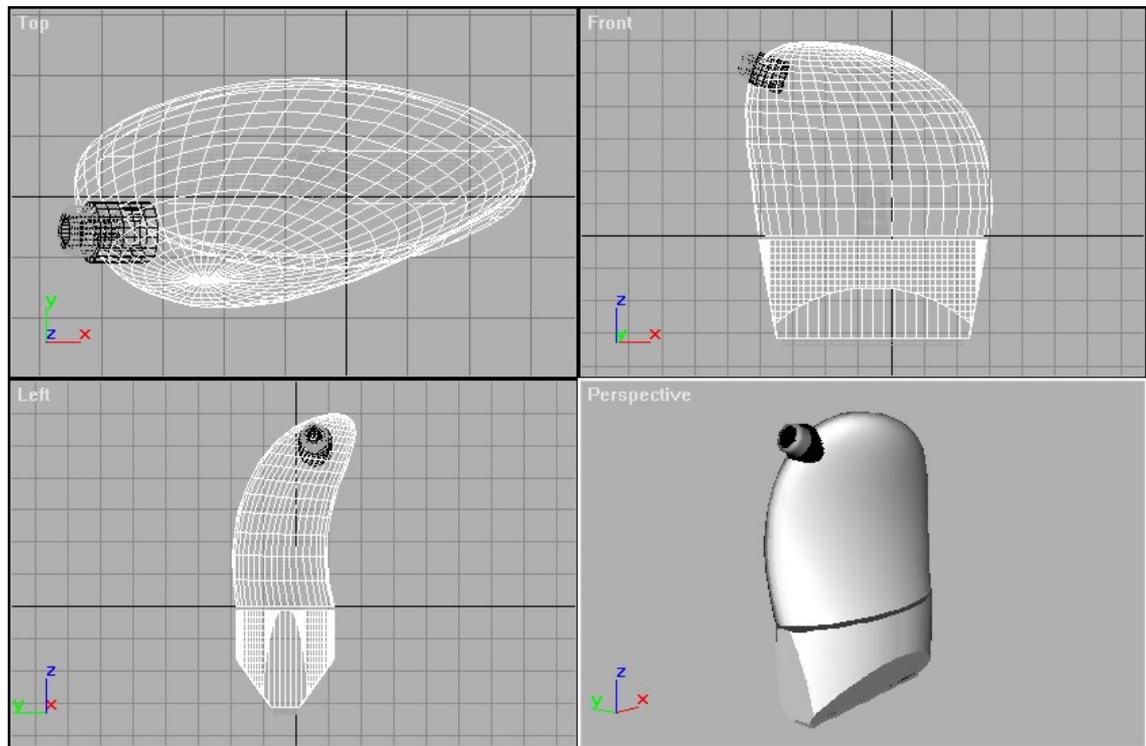


FIGURA 3.29 – Modelagem virtual do conceito 03.

3.4.2.3 Modelagem física

Novos modelos físicos foram desenvolvidos a partir dos conceitos 02 e 03 e respectivamente denominados *Mock-up* 02 e *Mock-up* 03. Eles foram confeccionados no Laboratório Didático de Madeira e Plástico da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da UNESP – Campus Bauru.

Inicialmente foram modelados em PU (FIGURA 3.30), para posterior revestimento com massa plástica e acabamento com pintura automotiva. O controle dimensional dos transdutores foi considerado a partir da especificação dimensional (FIGURA 3.31).

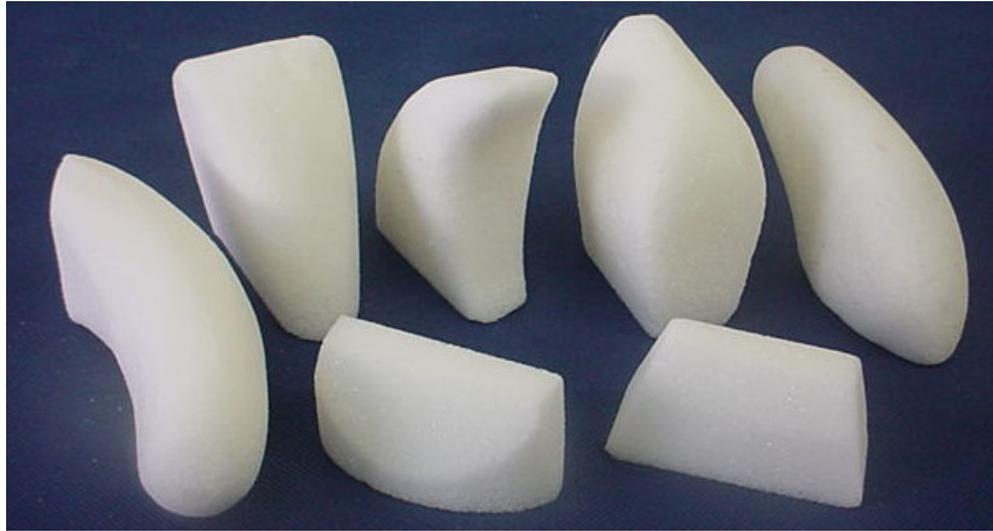


FIGURA 3.30 – Modelagem em PU de alternativas para os *Mock-ups* 02 e 03.



FIGURA 3.31 – Peças finais do *Mock-up* 02 e 03, com dimensões baseadas nas especificações dos dados antropométricos da mão humana.

3.5 Terceira Experimentação - Materiais e Métodos

3.5.1 Sujeitos

3.5.1.1 Critérios de inclusão

Assim como na primeira e segunda experimentação, foram empregados os mesmos critérios de inclusão e o mesmo “Protocolo de Recrutamento” (APÊNDICE A) para definição dos sujeitos.

3.5.1.2 Caracterização dos sujeitos

Participaram da terceira experimentação 10 sujeitos, sendo 5 do gênero feminino e 5 do gênero masculino, com idade variando entre 22 e 29 anos (média de 24,00 e d.p. de 2,05). Esses sujeitos eram, em sua maioria, estudantes universitários de graduação e pós-graduação, residentes na cidade de São Carlos (SP). Demais características físicas podem ser obtidas na TABELA 3.3.

TABELA 3.3 – Principais características físicas dos sujeitos da terceira experimentação.

Variáveis	Média	DP	Máximo	Mínimo
Idade (set/2002 – anos)	24,00	2,05	29	22
Estatura (m)	170,30	8,15	187	160
Peso (kg)	66,03	9,22	77,5	51,5
IMC (Índice Massa Corporal – kg / m ²)	22,67	2,40	26,91	19,9
Comprimento Antebraço (mm)	260,00	13,33	290	250
Comprimento Mão (mm)	180,60	11,51	195	160
Comprimento Palmar (mm)	104,70	8,25	116	93
Comprimento dedo Polegar (mm)	60,50	3,92	67	52
Comprimento dedo Indicador (mm)	69,00	5,33	76	59
Comprimento dedo Médio (mm)	76,90	6,14	86	67
Comprimento dedo Anular (mm)	71,70	5,62	81	64
Comprimento dedo Mínimo (mm)	58,50	3,44	64	55
Largura Metacarpal (mm)	81,30	4,92	90	74
Largura Palmar (mm)	103,70	6,17	113	96

Dos sujeitos da terceira experimentação, todos apresentavam predominância na mão direita (destros), e apenas 02 realizavam alguma atividade física com as mãos, como por exemplo, práticas esportivas. Apenas dois deles haviam participado da primeira experimentação.

3.5.2 Materiais

Com exceção dos transdutores lineares para ultra-sonografia de mama, nesta terceira experimentação foram utilizados exatamente os mesmos equipamentos da segunda experimentação.

3.5.2.1 Transdutores lineares para ultra-sonografia de mama

Foram utilizados na terceira experimentação mais dois modelos de transdutor linear – *Mock-up 02* e *Mock-up 03* –, além dos transdutores lineares da marca Hitachi e Toshiba, empregados nas duas primeiras experimentações. As principais características físicas do *Mock-up 02* e *Mock-up 03* são apresentadas, respectivamente, nas FIGURAS 3.32 e 3.33.

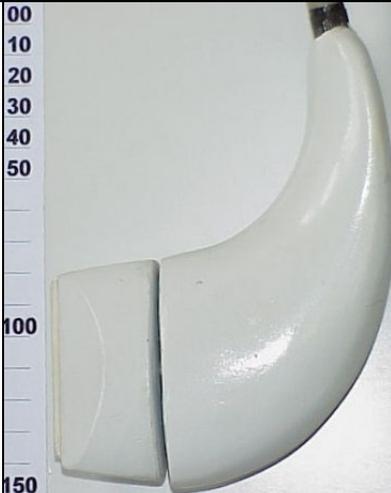
Características <i>Mock-up 02</i>		
Operações	transversal e longitudinal	rotacional
Tipo	Linear	Linear
Peso	153gramas (total)	132gramas
Compr. sensor de leitura	60,0mm	60,0mm
Larg. sensor de leitura	6,0mm	6,0mm
Comprimento da pega	180mm	57,0mm
Circunferência da pega	(desenho antropomorfo)	110,0mm (Máx)

FIGURA 3.32 – Características físicas do transdutor *Mock-up 02*, utilizado na terceira experimentação.

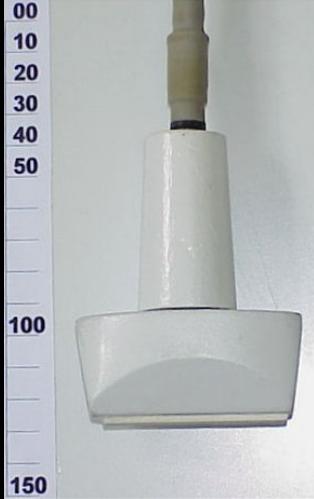
Características Mock-up 03			
Operações	transversal e longitudinal	rotacional	
Tipo	Linear	Linear	
Peso	146gramas (total)	132gramas	
Compr. sensor de leitura	60,0mm	60,0mm	
Larg. sensor de leitura	6,0mm	6,0mm	
Comprimento da pega	90mm	57,0mm	
Circunferência da pega	(desenho antropomorfo)	110,0mm (Máx)	

FIGURA 3.33 – Características físicas do transdutor *Mock-up 03*, utilizado na terceira experimentação.

3.5.3 Procedimentos

Todos os procedimentos realizados durante a segunda experimentação foram igualmente repetidos nesta terceira experimentação. O local e o tempo gasto para a execução do conjunto de procedimentos com cada um dos sujeitos também não foram alterados. Para a análise dos dados, mantiveram-se também os mesmos procedimentos adotados anteriormente – análise dos movimentos e de cargas e análise estatística. Para esta última foi adotado um valor de significância de $p \leq 0,05$.

3.6 Quarta Experimentação/Avaliação Subjetiva - Materiais e Métodos

O objetivo da quarta experimentação foi realizar uma avaliação subjetiva de percepção dos aspectos negativos (desconforto) e dos aspectos positivos (agradabilidade) da pega dos transdutores avaliados nas experimentações anteriores, a partir da simulação da atividade de ultra-sonografia de mama.

3.6.1 Sujeitos – critérios de inclusão e caracterização

Os sujeitos indicados para a quarta experimentação deveriam, necessariamente, ter participado da segunda ou da terceira experimentação, uma vez que já estariam familiarizados com a simulação. Assim, participaram 11 sujeitos, dos quais 7 eram do gênero feminino e 4 do gênero masculino.

3.6.2 Materiais

Na quarta experimentação, foram utilizados os transdutores analisados anteriormente, a saber: Toshiba, Hitachi, *Mock-up 01*, *Mock-up 02* e *Mock-up 03*; o simulador do equipamento de ultra-sonografia, demonstrado na FIGURA 3.1 e outros materiais, incluindo caneta esferográfica e régua milimetrada em acrílico (marca Trident, modelo 7230). Ademais, foram utilizados dois protocolos para a avaliação subjetiva.

Um dos protocolos foi destinado a avaliar os aspectos negativos da “pega do transdutor”, utilizando-se, para isso, uma escala gráfica cujo critério de avaliação foi o “desconforto” (APÊNDICE D). Tal escala caracterizou-se por uma linha reta horizontal com 100mm de comprimento, em cuja extremidade inferior estava escrito “ausência de desconforto”, à esquerda e “máximo desconforto”, à direita. Além disso, o protocolo apresentava o enunciado da avaliação, explicando quais aspectos seriam avaliados (no caso os aspectos negativos, ou de desconforto), como estavam organizados na escala, o que considerar como desconforto máximo e como preencher ou indicar o nível de desconforto percebido ao final do manuseio do transdutor.

O outro protocolo apresentava o mesmo conteúdo e diagramação, entretanto o critério empregado foi o de “agradabilidade” (APÊNDICE E), pois o objetivo era avaliar os aspectos positivos da pega. Nesse caso, a escala gráfica apresentou na extremidade inferior esquerda a inscrição “ausência de agradabilidade” e na extremidade inferior direita, “máxima agradabilidade”.

3.6.3 Procedimentos

Os procedimentos da quarta experimentação foram realizados com cada um dos sujeitos isoladamente no “Laboratório de Fisioterapia Preventiva/Ergonomia” da UFSCar – Universidade Federal de São Carlos. Os sujeitos compareceram duas vezes ao Laboratório (etapas 01 e 02), repetindo, assim, os mesmos procedimentos num intervalo mínimo de duas semanas, o que possibilitou observar a replicabilidade intra-sujeitos nesse tipo de avaliação.

Em cada etapa, o sujeito foi dirigido ao simulador para ser esclarecido dos procedimentos que deveria realizar com cada um dos transdutores. Em seguida, foi explicado como seria realizada a avaliação, e demonstrado, detalhadamente, os protocolos de avaliação. Os sujeitos, então, iniciaram a simulação tal qual realizaram nas experimentações anteriores. Após a simulação com cada um dos transdutores, um dos protocolos era disponibilizado ao sujeito, que realizava sua avaliação. Não houve qualquer instrução durante entrega do protocolo, com exceção da “atenção à leitura do enunciado”. Assim, os sujeitos liam o enunciado e marcavam a escala gráfica.

Os protocolos de “desconforto” e de “agradabilidade” foram empregados separadamente. A seqüência dos transdutores e a aplicação dos protocolos foram randomizadas. O tempo de duração de cada etapa foi de aproximadamente 20 minutos.

3.6.4 Procedimentos para a análise dos dados

3.6.4.1 Análise dos níveis de percepção

Os dados foram obtidos a partir da mensuração com a régua milimetrada do traço vertical aplicado sobre a reta da escala gráfica, para os critérios de agradabilidade e desconforto. O tratamento desses dados visou obter os valores médios indicados para cada um dos transdutores utilizados, a saber: Hitachi, Toshiba, *Mock-up* 01, *Mock-up* 02 e *Mock-up* 03.

3.6.4.2 Análise estatística

Os dados coletados foram analisados através de estatística descritiva e foi aplicado o teste de *Wilcoxon* (para valores não paramétricos), a fim de identificar diferenças estatisticamente significativas entre os resultados das etapas 1 e 2, bem como diferenças estatisticamente significativas entre os valores médios dos diferentes transdutores. Para isso, considerou-se um valor de significância de $p \leq 0,05$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados e Discussão da Primeira Experimentação

Durante a primeira experimentação foram obtidos resultados referentes à amplitude média e máxima de movimentos e à porcentagem de tempo nas posturas de flexão, extensão, desvio ulnar, desvio radial, pronação e supinação.

4.1.1 Amplitudes médias e máximas de movimento

Os dados das amplitudes médias de movimento são apresentados para cada um dos transdutores utilizados. Inicialmente apresentam-se os movimentos de flexão e extensão (TABELA 4.1), em seguida os de desvio ulnar e desvio radial (TABELA 4.2) e, na seqüência, os de pronação e supinação (TABELA 4.3). Dados das amplitudes máximas de todas as operações são apresentados na TABELA 4.4.

TABELA 4.1 – Dados (em graus) das amplitudes médias para os movimentos de flexão e extensão do punho, em cada um dos transdutores.

Transdutores	Flexão		Extensão	
	Média	DP	Média	DP
Hitachi	8,88	7,75	24,82	8,02
Toshiba	11,12	9,20	26,60	8,29

TABELA 4.2 – Dados (em graus) das amplitudes médias para os movimentos de desvio ulnar e radial do punho, em cada um dos transdutores.

Transdutores	Desvio Ulnar		Desvio Radial	
	Média	DP	Média	DP
Hitachi	7,19	4,70	9,52	5,10
Toshiba	7,29	5,56	10,76	4,64

TABELA 4.3 – Dados (em graus) das amplitudes médias para os movimentos de rotação do antebraço, em cada um dos transdutores.

Transdutores	Supinação		Pronação	
	Média	DP	Média	DP
Hitachi	5,07	5,47	19,18	8,04
Toshiba	5,70	5,59	19,27	8,17

TABELA 4.4 – Dados (em graus) das amplitudes máximas para os movimentos de flexão (FL), extensão (EX), desvio ulnar (DU), desvio radial (DR), pronação (PR) e supinação (SU), em cada um dos transdutores.

Transdutor	FL	EX	DU	DR	PR	SU
Hitachi	68,26	76,45	37,12	44,68	67,90	29,88
Toshiba	59,08	90,99	41,76	44,19	70,02	41,17

Os resultados das amplitudes médias apontam uma expressiva variabilidade (DP elevado), com amplitudes médias mais elevadas nos movimentos de extensão em relação aos de flexão (TABELA 4.1). Isso também é observado nos movimentos de lateralidade, em que prevalecem amplitudes médias de desvio radial superiores às de desvio ulnar (TABELA 4.2). Quanto aos movimentos de rotação do antebraço, as amplitudes médias da pronação são expressivamente superiores às da supinação (TABELA 4.3). Já as amplitudes máximas (TABELA 4.4) apresentam-se relativamente elevadas, ou bem superiores às médias verificadas.

A análise estatística (ANOVA) apontou que não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) entre os resultados das amplitudes médias obtidas com os diferentes transdutores, Hitachi e Toshiba.

4.1.2 Porcentagem de tempo em faixas de amplitude

O tempo médio das operações desenvolvidas foi de 39,24 segundos (d.p. 0,56). Os tempos médios para cada transdutor são apresentados na TABELA 4.5.

TABELA 4.5 – Tempo médio (em segundos) das operações desenvolvidas, em cada um dos transdutores.

Transdutores	Média	DP
Hitachi	39,47	0,44
Toshiba	39,02	0,61

Também foram obtidas as médias de porcentagens do tempo em que o punho permaneceu em faixas de postura neutra (0° – 3°) e não neutra ($>3^{\circ}$) nos planos de movimentos de flexo-extensão (FIGURA 4.1); desvio ulnar-radial (FIGURA 4.2) e prono-supinação (FIGURA 4.3).

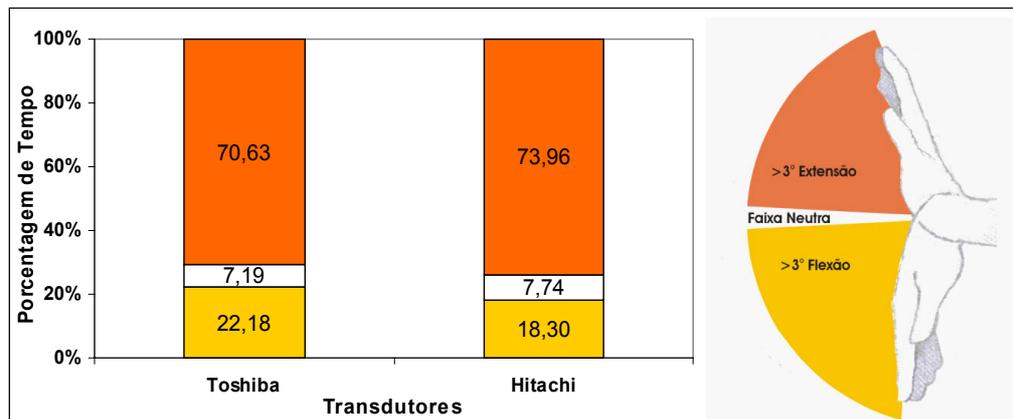


FIGURA 4.1 – Médias de porcentagem de tempo mantido nas posturas (faixas) neutra ($\pm 3^{\circ}$) e não neutra ($>3^{\circ}$ de flexão e $>3^{\circ}$ de extensão), para cada um dos transdutores.

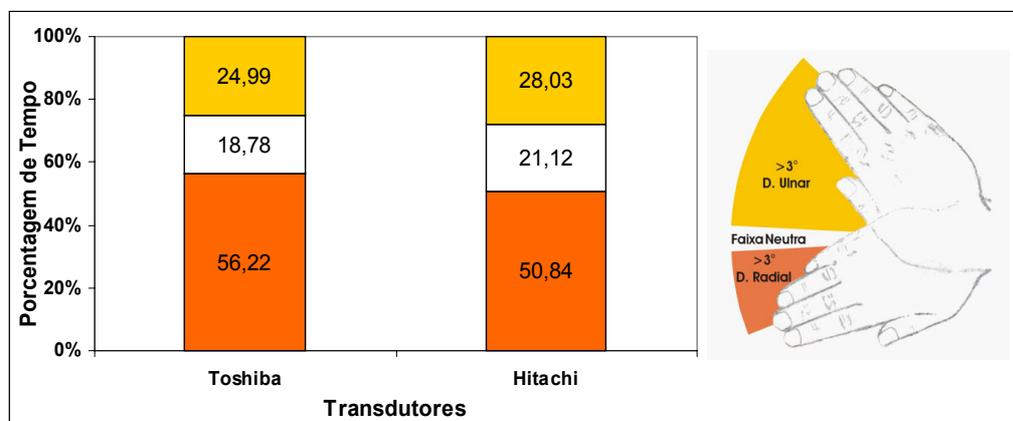


FIGURA 4.2 – Médias de porcentagem de tempo mantido nas posturas (faixas) neutra ($\pm 3^{\circ}$) e não neutra ($>3^{\circ}$ de desvio ulnar e $>3^{\circ}$ de desvio radial), para cada um dos transdutores.

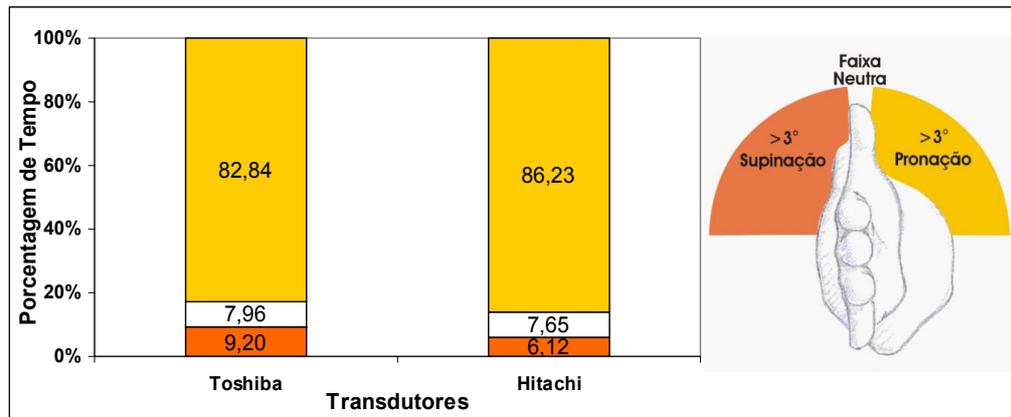


FIGURA 4.3 – Médias de porcentagem de tempo mantido nas posturas (faixas) neutra ($\pm 3^\circ$) e não neutra ($>3^\circ$ de supinação e $>3^\circ$ de pronação), para cada um dos transdutores.

O tempo médio das operações desenvolvidas apresentou uma variabilidade relativamente baixa e, quanto ao tempo médio das atividades desenvolvidas com os diferentes transdutores (TABELA 4.5), foi constatada uma pequena diferença: Hitachi 39,47' e Toshiba 39,02'.

Observa-se, também, que o tempo mantido em posturas de extensão é relativamente maior (em média 70,63% para o Toshiba e 73,96% para o Hitachi) em relação à faixa neutra (FIGURA 4.1). No caso da lateralidade (FIGURA 4.2), observa-se uma situação um pouco mais equilibrada entre as posturas em desvio ulnar, faixa neutra e desvio radial, no entanto constata-se que o período de tempo médio geral é maior em desvio radial (56,22% para o Toshiba e 50,84% para o Hitachi) do que na faixa neutra ou em desvio ulnar. Já o tempo mantido em posturas de pronação é substancialmente maior (82,84% para o Toshiba e 86,23% para o Hitachi) do que naquelas mantidas na faixa neutra ou supinação (FIGURA 4.3). Nota-se nesses casos que a tarefa exige posturas de flexão, desvio radial e pronação por um maior período de tempo.

4.1.3 Discussão das amplitudes médias e porcentagem tempo em faixas de amplitude

Considerando os estudos sobre as condições ergonômicas e ocupacionais dos médicos ultra-sonografistas, desenvolvidos por CRAIG (1985), VANDERPOOL et

al. (1993), NECAS (1996), MERCER (1997), WIHLIDAL & KUMAR (1997), SMITH et al. (1997), GREGORY (1998), SCHOENFELD et al. (1999), GIL COURY (1999) MAGNAVITA et al. (1999), RUSSO et al. (2002), McCULLOH et al. (2002), RANSON (2002) e MAZZONI et al. (2002), observa-se que, apesar de todos terem apontado problemas biomecânicos envolvidos nessa atividade, nenhum deles realizou uma análise cinesiológica que resultasse em dados que pudessem ser correlacionados aos resultados aqui apresentados.

Como se observou, os resultados do presente estudo podem ser considerados de natureza exploratória, uma vez que se originaram de situações experimentais e, portanto, qualquer discussão depende de se observar a relação entre eles e suas possíveis correlações com outros estudos, tais como os desenvolvidos por BARBOSA et al. (2001) e BARBOSA (2002), os quais envolveram avaliações cinesiológicas da extremidade dos membros superiores em atividades de ultrasonografia.

Os resultados das amplitudes médias apontaram uma elevada variabilidade, que pode ser derivada de vários fatores, mas pressupõe-se que esteja relacionada especialmente ao modo de pega do transdutor pelos sujeitos, já que esta foi, deliberadamente, a única variável não controlada durante a primeira experimentação. Elevadas variabilidades de amplitudes médias também foram observadas por BARBOSA (2002) durante as atividades reais de trabalho com ultra-sonografistas.

Essa diversidade, supostamente decorrente das diferentes possibilidades de pegas, sugere que não só alternativas de transdutores mais ergonômicos deveriam ser exploradas, como também maior atenção deveria ser oferecida ao treinamento desses usuários.

Apesar dessa variabilidade generalizada, observam-se amplitudes médias mais elevadas em alguns movimentos específicos, como: extensão, desvio radial e pronação, indicando a necessidade de atenção especial a esses movimentos no design ergonômico do transdutor. Além disso, ao considerar as recomendações biomecânicas sobre faixas de amplitude segura e crítica apresentadas no capítulo 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA – observa-se que os resultados das amplitudes médias de extensão para ambos os transdutores e de desvio radial para o transdutor Toshiba, ocorreram

dentro da faixa considerada crítica, isto é, propícia ao surgimento de sintomas de DORTs.

Considerando, ainda, as amplitudes médias de extensão, desvio radial e pronação, e, principalmente, as amplitudes máximas em todos os sentidos, constata-se que elas se apresentam elevadas. Nesse caso, independentemente das possibilidades de pegadas, essas amplitudes são consideradas inadequadas, o que reforça a justificativa de redesenho dos transdutores como alternativa da minimização dos problemas ergonômicos dos médicos ultra-sonografistas, apontados por BARBOSA (2002).

Quanto aos resultados da análise da porcentagem de tempo gasto por faixa de amplitude, observa-se uma predominância de movimentos de extensão, desvio radial e pronação. Isso é igualmente verificado nos resultados de uma análise ergonômica preliminar das atividades do médico ultra-sonografista, apresentados por BARBOSA et al. (2001), nos quais se verificou a mesma predominância de movimentos de extensão e desvio radial, embora no referido estudo não tenham sido avaliados os movimentos de prono-supinação.

Assim, os resultados da análise da porcentagem de tempo gasto por faixa de amplitude, associados às amplitudes médias e máximas, possibilitaram identificar a natureza dos movimentos de punho realizados, caracterizar a situação biomecânica da região do punho durante a atividade simulada e, conseqüentemente, identificar os problemas ergonômicos dessa situação e fornecer subsídios a serem considerados nos parâmetros do design ergonômico do transdutor.

4.2 Resultados e Discussão do Design Ergonômico

A partir dos procedimentos caracterizados pelo design ergonômico, um novo conceito para o transdutor foi desenvolvido, tanto na forma de representação virtual (FIGURA 4.4), quanto na forma de representação tridimensional, denominado *Mock-up* 01 (FIGURA 4.5).



FIGURA 4.4 – Representações virtuais do *Mock-up 01*. Da esquerda para a direita: empunhadura para movimentos transversais e longitudinais; transdutor com empunhadura para movimentos rotacionais; empunhadura acoplada ao transdutor.



FIGURA 4.5 – Modelos tridimensionais do *Mock-up 01*. Da esquerda para a direita: modelo do transdutor (com empunhadura para movimentos transversais e longitudinais não acoplada ao transdutor) e modelos acoplados.

Esse conceito se caracterizou por um transdutor subdividido em duas peças, sendo, uma delas, a própria carenagem do transdutor (FIGURA 4.5/esquerda), caracterizado por dois distintos volumes: o inferior, que armazenaria os dispositivos eletrônicos – principalmente o cristal piezelétrico – do transdutor e o superior, que conteria os demais dispositivos eletrônicos, porém com um formato cilíndrico, facetado hexagonalmente, desenhado em forma de pega para as operações rotacionais na atividade de ultra-sonografia (FIGURA 4.6), possibilitando a acoplagem da outra peça.



FIGURA 4.6 – *Mock-up* 01 (carenagem do transdutor) sendo utilizado na simulação das operações rotacionais na atividade de ultra-sonografia.

A peça complementar do *Mock-up* 01 (FIGURA 4.5/centro) caracteriza-se por um único volume, de formato irregular, porém anatômico/antropomorfo, que permite a acoplagem na carenagem do transdutor (FIGURA 4.5/direita); e a regulação da pega para as operações transversais (FIGURA 4.7/esquerda) e longitudinais (FIGURA 4.7/direita).



FIGURA 4.7 – *Mock-up* 01 sendo utilizado na simulação das operações transversais (esquerda) e longitudinais (direita) na atividade de ultra-sonografia.

4.2.1 Discussão do design ergonômico

Os resultados do design ergonômico, caracterizado pelo *Mock-up* 01, podem ser considerados satisfatórios. Além do aspecto conceitual e visual do novo produto, que evoluiu expressivamente, verificou-se, também, que o resultado físico final demonstrou uma satisfatória fidedignidade projetual, então destacada por SÄDE et al. (1998) e SILVA et al. (2002) como importante para a avaliação ergonômica e de usabilidade, o que se apresentou adequado na segunda experimentação.

Outro aspecto a ser destacado no *Mock-up* 01 é o fato de a empunhadura desenvolvida para movimentos transversais e longitudinais (FIGURA 4.5/centro e FIGURA 4.7), ser complementar e acoplável à carenagem do transdutor e poder ser confeccionada em diferentes tamanhos, como por exemplo: pequeno, médio e grande, para melhor atender aos diferentes padrões antropométricos da mão humana encontrados na população geral, tal qual recomenda LEWIS & NARAYAN (1993), PHEASANT (1996) e outros autores.

4.3 Resultados e Discussão da Segunda Experimentação

A partir da segunda experimentação, foram obtidos resultados referentes a amplitudes médias e máximas de movimentos, a porcentagem de tempo gasto em posturas ou faixas de amplitude segura e crítica e a médias de cargas nos diferentes sensores FSRs para os transdutores: *Mock-up* 01, Toshiba e Hitachi.

4.3.1 Amplitudes médias e máximas de movimento

Os dados das amplitudes médias de movimento são apresentados para cada um dos transdutores utilizados. Inicialmente apresentam-se os movimentos de flexão e extensão (TABELA 4.6), em seguida os de desvio ulnar e radial (TABELA 4.7); e, na seqüência, os de pronação e supinação (TABELA 4.8). As amplitudes máximas são apresentadas na TABELA 4.9.

TABELA 4.6 – Dados (em graus) das amplitudes médias para os movimentos de flexão e extensão do punho, em cada um dos transdutores.

Transdutores	Flexão		Extensão	
	Média	DP	Média	DP
<i>Mock-up 01</i>	12,77	4,36	24,32	7,11
Toshiba	10,96	3,80	21,54	5,31
Hitachi	10,64	2,99	23,18	6,85

TABELA 4.7 – Dados (em graus) das amplitudes médias para os movimentos de desvio ulnar e desvio radial do punho, em cada um dos transdutores.

Transdutores	Desvio Ulnar		Desvio Radial	
	Média	DP	Média	DP
<i>Mock-up 01</i>	7,72	1,98	10,98	3,37
Toshiba	8,68	2,44	11,23	3,07
Hitachi	8,12	1,70	10,26	2,85

TABELA 4.8 – Dados (em graus) das amplitudes médias para os movimentos de pronação e supinação do punho, em cada um dos transdutores.

Transdutores	Supinação		Pronação	
	Média	DP	Média	DP
<i>Mock-up 01</i>	5,43	2,74	12,24	5,23
Toshiba	6,26	3,75	12,48	3,88
Hitachi	4,92	5,43	12,94	4,99

TABELA 4.9 – Dados (em graus) das amplitudes máximas para os movimentos de flexão (FL), extensão (EX), desvio ulnar (DU), desvio radial (DR), pronação (PR) e supinação (SU), em cada um dos transdutores.

Transdutores	FL	EX	DU	DR	SU	PR
<i>Mock-up 01</i>	52,74	93,55	32,22	40,77	29,38	48,46
Toshiba	59,58	85,05	34,33	35,77	35,14	50,80
Hitachi	52,83	75,78	29,83	33,75	27,63	46,44

Nas TABELAS 4.6, 4.7 e 4.8, observam-se os valores das amplitudes médias para os diferentes transdutores avaliados (*Mock-up* 01, Toshiba e Hitachi). A partir desses resultados, constata-se, de modo geral, uma variabilidade pequena dos dados coletados e ainda menor que aquela observada na primeira experimentação. Também foram observadas amplitudes médias mais elevadas nos movimentos de extensão (TABELA 4.6), nos movimentos de desvio radial (TABELA 4.7) e nos movimentos de pronação (TABELA 4.8).

Além dessas informações, observa-se que as amplitudes médias de extensão e flexão obtidas com o uso do *Mock-up* 01 (respectivamente 12,77° e 24,32°) são superiores à dos demais transdutores analisados (TABELA 4.6). Somente nos movimentos de desvio ulnar é que se observa um menor valor de amplitude média para o *Mock-up* 01 (7,72°), em comparação com os demais transdutores (Toshiba 8,68° e Hitachi 8,12°) (TABELA 4.7). Nos demais movimentos, não foram encontradas diferenças expressivas entre os transdutores avaliados.

Os resultados da análise estatística (ANOVA) indicaram que não houve diferença estatisticamente significativa ($p > 0,05$) entre as amplitudes médias obtidas com os diferentes transdutores, *Mock-up* 01, Hitachi e Toshiba.

4.3.2 Porcentagem de tempo em faixas de amplitude segura e crítica

O tempo médio geral das operações desenvolvidas na segunda experimentação pelos sujeitos foi de 41,53 segundos (d.p. 1,01). Para cada um dos transdutores, o tempo médio é apresentado na TABELA 4.10.

TABELA 4.10 –Tempo médio (em segundos) de cada atividade desenvolvida pelos sujeitos, em cada um dos transdutores.

Transdutores	Média	DP
<i>Mock-up</i> 01	42,63	4,91
Toshiba	41,29	3,69
Hitachi	40,65	3,75

Também foram obtidas as médias de porcentagens do tempo em que o punho permaneceu em faixas de amplitude segura e crítica nos planos de movimentos

de flexo-extensão (FIGURA 4.8), desvios ulnar e radial (FIGURA 4.9) e antebráço em prono-supinação (FIGURA 4.10).

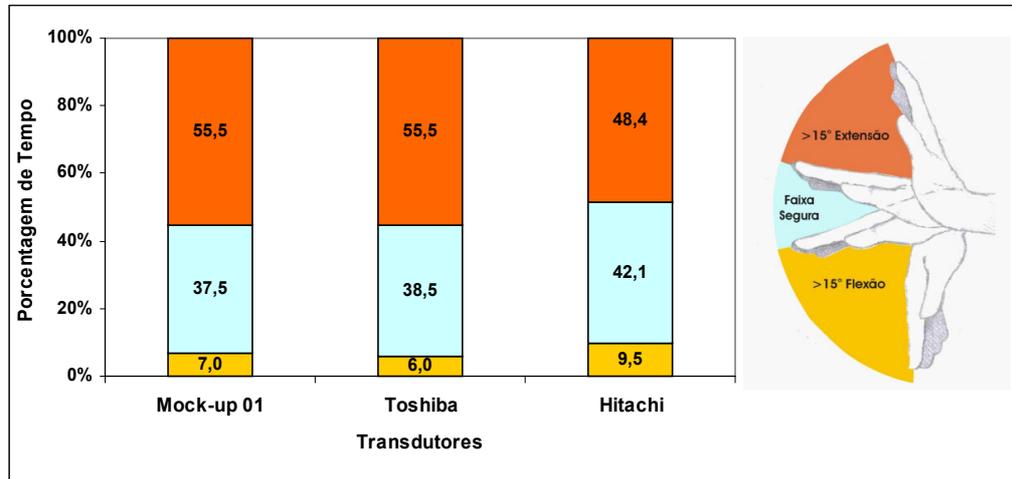


FIGURA 4.8 - Comparação entre o *Mock-up* 01, Toshiba e Hitachi, observando-se a média de porcentagem de tempo mantida nas posturas (faixas) de amplitude segura e crítica (>15° de flexão e >15° de extensão).

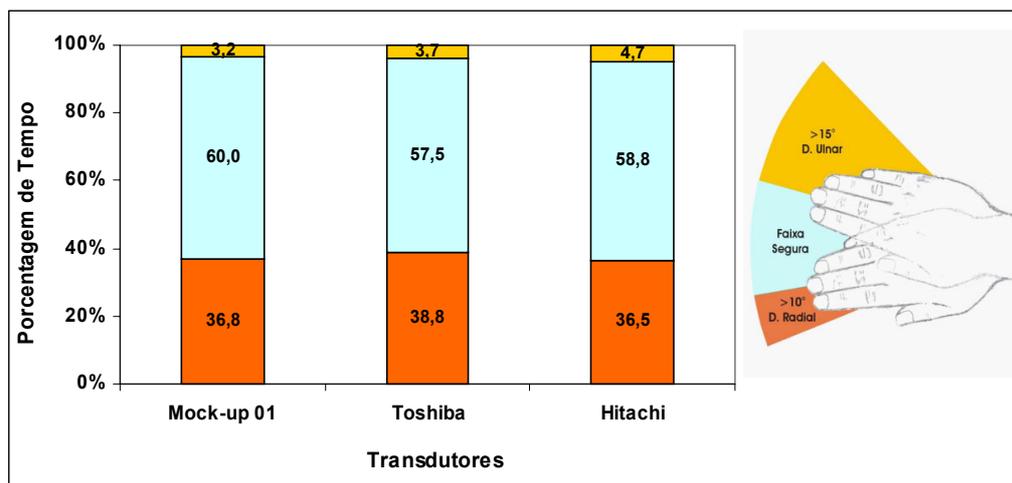


FIGURA 4.9 - Comparação entre o *Mock-up* 01, Toshiba e Hitachi, observando-se a média de porcentagem de tempo mantida nas posturas (faixas) de amplitude segura e crítica (>10° de desvio radial e >15° de desvio ulnar).

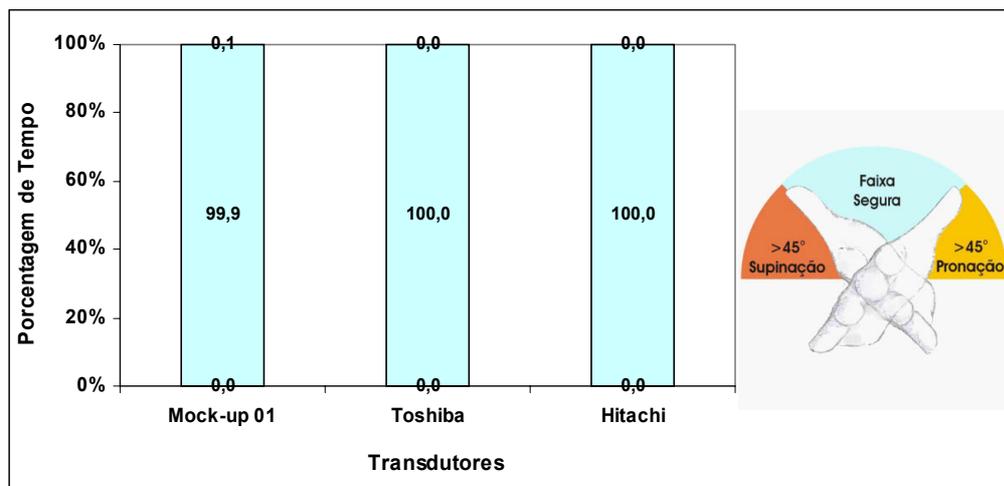


FIGURA 4.10 - Comparação entre o *Mock-up* 01, Toshiba e Hitachi, observando-se a média de porcentagem de tempo mantida nas posturas (faixas) de amplitude segura e crítica (>45° de pronação e >45° de supinação).

O tempo médio geral e o tempo médio das operações para cada um dos transdutores (TABELA 4.10) apresentaram uma baixa variabilidade, assim como a porcentagem de tempo mantida em determinadas posturas, onde foram verificadas semelhanças entre os dados apresentados pelos distintos transdutores.

Observa-se, com isso, que o tempo mantido em posturas críticas de extensão é igual entre o *Mock-up* 01 (55,5%) e Toshiba (55,5%), e maior que o verificado com o transdutor Hitachi (48,4%). Quanto ao tempo mantido na faixa de amplitude segura, o *Mock-up* 01 apresentou desempenho inferior (37,5%) em relação aos transdutores comerciais (Toshiba 38,5% e Hitachi 42,1%) (FIGURA 4.8).

No plano dos desvios, observa-se uma condição mais equilibrada entre as posturas em faixas de amplitude crítica em desvio radial (*Mock-up* 01 36,8%, Toshiba 38,8% e Hitachi 36,5%), ou mesmo na faixa de amplitude segura (*Mock-up* 01 60,0%, Toshiba 57,5% e Hitachi 58,8%) (FIGURA 4.9).

Já no plano dos movimentos de rotação do antebraço, para os três transdutores, o tempo mantido na faixa de amplitude segura é relativamente igual (*Mock-up* 01 99,9%, Toshiba 100,0% e Hitachi 100,0%). Todos os transdutores avaliados induzem movimentos de prono-supinação dentro da amplitude segura, ou seja, abaixo de 45° de pronação e abaixo de 45° de supinação (FIGURA 4.10).

4.3.3 Médias de carga nos diferentes sensores FSRs

Foram obtidas, também, médias de carga em diferentes sensores FSRs, localizados na falange distal dos dedos polegar, indicador, médio e anular. Essas médias podem ser observadas na FIGURA 4.11, a qual apresenta as médias de cargas em kgf/1000.

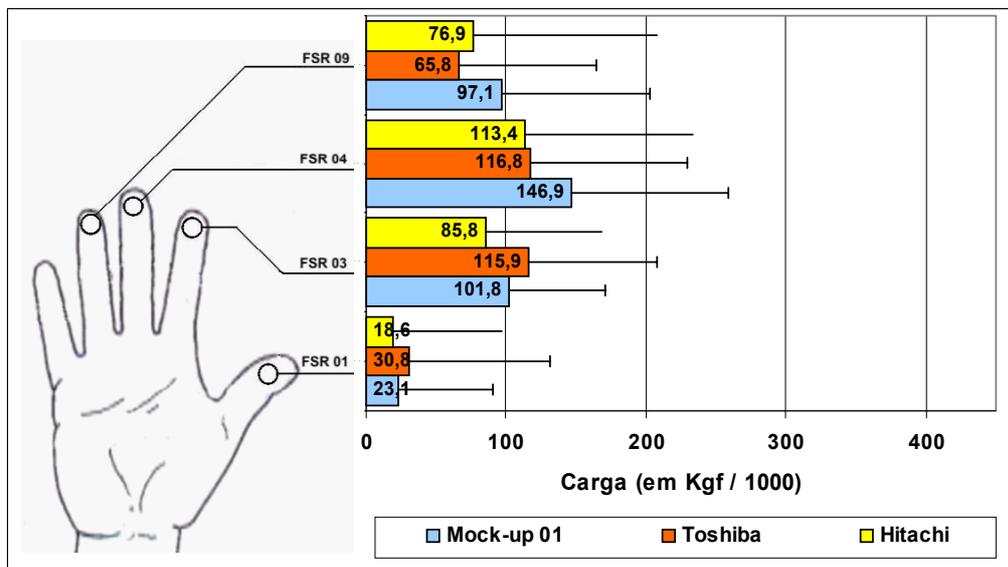


FIGURA 4.11 – Comparação entre o *Mock-up* 01 e os transdutores comerciais observando-se a média de carga (em kgf/1000) indicada para cada sensor FSR (e suas respectivas localizações).

Na FIGURA 4.11, observa-se com o sensor FSR 01 – polegar, uma carga média de 0,0231kgf para o *Mock-up* 01, que é inferior se comparado ao Toshiba (0,0308kgf) e superior ao Hitachi (0,0186kgf). No caso do sensor FSR 03 – indicador, também a carga média do *Mock-up* 01 (0,1018kgf) é inferior se comparada ao Toshiba (0,1159kgf) e superior ao Hitachi (0,0858kgf). Para os sensores FSR 04 – médio e FSR 09 – anular, o *Mock-up* 01 apresentou carga superior aos dois transdutores comerciais. No primeiro caso (FSR 04 – médio), a carga média para o *Mock-up* 01 foi de 0,1469kgf, ao passo que para o Toshiba foi de 0,1168kgf e para o Hitachi foi de 0,1134kgf. Já no caso do sensor FSR09 – anular, a carga média para o *Mock-up* 01 foi de 0,0971kgf, enquanto que para o Toshiba foi de 0,0658kgf e para o Hitachi foi de 0,0769kgf.

Observa-se, também, uma elevada variabilidade dos dados coletados, para todos os transdutores e, principalmente, para os sensores FSR 01 – polegar e FSR 09 – anular.

4.3.4 Discussão das amplitudes médias, porcentagem de tempo em faixas de amplitude segura e crítica e médias de carga nos diferentes sensores FSRs

De modo geral, os resultados das amplitudes médias da segunda experimentação apontaram uma variabilidade menor que na primeira experimentação, porém ainda expressiva, o que pode estar também relacionado ao modo de pega do transdutor durante a simulação da atividade.

Outro aspecto indicativo desses resultados é que o *Mock-up* 01 não apresentou benefícios do ponto de vista cinesiológico, principalmente pelo fato de não contribuir para minimizar as amplitudes médias e máximas dos movimentos. Ao analisar esses resultados, com base nas recomendações biomecânicas sobre faixas de amplitude segura e crítica, o *Mock-up* 01 continua mantendo amplitudes médias de extensão e desvio radial dentro da faixa considerada crítica, ou seja, considerada inadequada para o controle da ocorrência de sintomas de DORTs. Além disso, ao observar os resultados da análise estatística, constata-se que não houve diferença significativa entre os transdutores avaliados. Isso corrobora a avaliação de que o *Mock-up* 01 proporciona condições posturais similares aos transdutores comerciais (Hitachi e Toshiba).

No que concerne ao tempo mantido em faixas seguras e críticas dos planos de movimentos analisados, constata-se, também, que o *Mock-up* 01 não apresentou melhorias, quando comparado aos outros dois modelos de transdutores analisados (Toshiba e Hitachi), principalmente no plano da flexo-extensão, onde a média da porcentagem de tempo na faixa segura foi menor para o *Mock-up* 01.

Quanto aos resultados dos sensores de carga, pressupõe-se que a elevada variabilidade observada decorre, dentre vários fatores, do fato de o sensor manter-se fixo a uma região anatômica específica, enquanto que o modo de pega e, conseqüentemente, a região de contato entre mão e transdutor variam muito de operação para operação. Essa variável não sofreu qualquer controle devido às próprias circunstâncias das atividades, as quais exigem variação na manipulação do

equipamento, conforme afirma MURALIDHAR et al. (1999). Nesse sentido, apesar das recomendações descritas por BISHU et al. (1993), FELLOWS & FREIVALDS (1991), JENSEN et al. (1991) RADWIN & OH (1992) e HALL (1997) quanto à aplicação de sensores FSRs para identificar e mensurar pontos de pressão na mão, observa-se que esse tipo de instrumento apresenta algumas limitações quanto aos seus resultados.

De qualquer maneira, pode-se considerar que o *Mock-up* 01 apresentou uma melhor distribuição de carga, quando comparado aos modelos comerciais, uma vez que foram observadas cargas superiores nos sensores FSR 04 e FSR 09, respectivamente localizados no dedo médio e anular, cuja “participação” nos tipos de “preensão palmar” (como se caracteriza o tipo de preensão observada nesta atividade) normalmente é pequena significando, portanto, que a atuação desses dedos foi mais ativa.

De modo geral, apesar de ser desenvolvido com base em critérios da usabilidade, aplicados a partir do design ergonômico, verifica-se que o *Mock-up* 01 não apresentou grandes benefícios do ponto de vista biomecânico, visto que não contribuiu para minimizar as amplitudes médias e máximas de movimentos e não apresentou melhorias quanto ao tempo mantido em faixas seguras e críticas nos planos de movimentos analisados. Por outro lado, pôde-se notar uma melhor distribuição de carga, quando analisados os resultados dos FSRs.

Com uma melhor distribuição de carga durante a manipulação do *Mock-up* 01 – que é um dos critérios de usabilidade destacados por MEAGHER, 1987; PUTZ-ANDERSON, 1988; MITAL & KILBOM, 1992; McCORMICK & SANDERS, 1992; LEWIS & NARAYAN, 1993; SANDVIK, 1997; HEDGE, 1998; CACHA, 1999 – verificou-se que novas soluções ergonômicas poderiam ser obtidas com a continuidade do processo de design ergonômico.

A partir da observação de todas as operações da atividade simulada de ultra-sonografia de mama, constatou-se que a empunhadura do *Mock-up* 01 apresentou o local da pega relativamente distante da base do transdutor, agravando a extensão do punho, principalmente ao final das operações no sentido longitudinal, bem como as posturas extremas em outras faixas de amplitude de movimentos do punho. Nesse sentido, diminuir o volume da pega do transdutor ou proporcionar novos desenhos ou formatos para a pega poderia ser uma das alternativas para esta questão.

4.4 Resultados e Discussão do Design Ergonômico/Revisão Projetual

A partir dos resultados da segunda experimentação e dos procedimentos caracterizados pela nova aplicação do design ergonômico/revisão projetual, dois novos conceitos foram desenvolvidos, sendo denominados de *Mock-up 02* (FIGURA 4.12) e *Mock-up 03* (FIGURA 4.13).

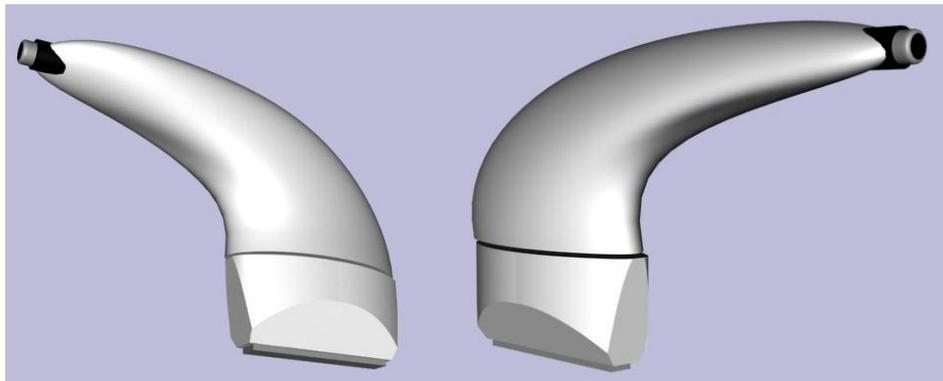


FIGURA 4.12 – Representação virtual do *Mock-up 02*.

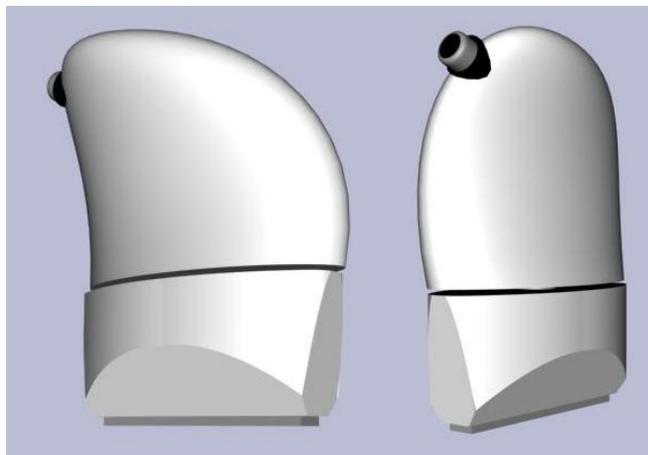


FIGURA 4.13 – Representação virtual do *Mock-up 03*.

Ambos os conceitos, *Mock-up 02* e *Mock-up 03* caracterizam-se por duas peças: a carenagem do transdutor e a empunhadura, para operações no sentido longitudinal e transversal. Tanto o *Mock-up 02* como o *Mock-up 03* apresentam a mesma carenagem para o transdutor, cujo formato é similar àquele desenvolvido no *Mock-up 01*: dois volumes, sendo um deles próprio para conter os dispositivos

eletrônicos (o cristal piezelétrico) do transdutor e o outro volume, considerado a região do manípulo para as operações rotacionais na atividade de ultra-sonografia, geometricamente caracterizado como o tronco de um cone (FIGURA 4.14).



FIGURA 4.14 – Modelo da carenagem do transdutor do *Mock-up* 02 e *Mock-up* 03, particularmente destinado às operações rotacionais.

O manípulo para as operações longitudinais e transversais do *Mock-up* 02, caracteriza-se pelo formato anatômico, geometricamente oval e alongado, que exige o envolvimento de toda a palma da mão durante a pega (FIGURA 4.15).



FIGURA 4.15 – Modelo tridimensional do *Mock-up* 02, durante simulação das operações transversais (direita) e longitudinais (esquerda) da atividade simulada de ultra-sonografia.

O *Mock-up* 03 apresenta a carenagem do transdutor semelhante ao *Mock-up* 02. Já o manípulo para as operações longitudinais e transversais, caracteriza-se, também, por um formato anatômico, geometricamente oval, mas não alongado, que permite, principalmente, a preensão palmar, com destaque para os dedos, os quais mantêm contato físico direto com o equipamento (FIGURA 4.16).



FIGURA 4.16 – Modelo tridimensional do *Mock-up* 03, durante simulação das operações transversais (direita) e longitudinais (esquerda) da atividade de ultrassonografia.

4.4.1 Discussão do design ergonômico/revisão projetual

Os resultados do design ergonômico/revisão projetual, geraram *mock-ups* confeccionados em espuma de poliuretano e acabamento automotivo, diferente do *Mock-up* 01, confeccionado em PRFV. Essas alterações proporcionaram uma qualidade satisfatória no modelo tridimensional de representação destinado à simulação física.

Outro aspecto a ser considerado é que o conceito de empunhadura para movimentos transversais e longitudinais, acoplável à carenagem do transdutor se manteve como no *Mock-up* 01, o que também visou possibilitar a produção em diferentes tamanhos para atendimento de diferentes padrões antropométricos.

4.5 Resultados e Discussão da Terceira Experimentação

A partir da terceira experimentação foram obtidos resultados referentes às amplitudes médias e máximas de movimentos, porcentagem de tempo em posturas ou faixas de amplitude segura e crítica e médias de cargas nos diferentes sensores FSRs, para os transdutores *Mock-up 02*, *Mock-up 03*, Toshiba e Hitachi.

4.5.1 Amplitudes médias e máximas de movimento

As amplitudes médias de movimento são apresentadas para cada um dos transdutores avaliados. Inicialmente apresentam-se os movimentos de flexão e extensão (TABELA 4.11), em seguida, os de desvio ulnar e radial (TABELA 4.12) e na seqüência, os de pronação e supinação (TABELA 4.13). Dados das amplitudes máximas de todos os transdutores são apresentados na TABELA 4.14.

TABELA 4.11 – Dados (em graus) das amplitudes médias para os movimentos de flexão e extensão do punho, em cada um dos transdutores.

Transdutores	Flexão		Extensão	
	Média *	DP	Média	DP
<i>Mock-up 02</i>	13,93	2,98	19,50	4,21
<i>Mock-up 03</i>	11,56	2,16	20,93	3,68
Toshiba	15,37	7,10	23,05	5,05
Hitachi	11,36	3,01	23,02	4,81

* p = 0,00566279

TABELA 4.12 – Dados (em graus) das amplitudes médias para os movimentos de desvio ulnar e radial do punho, em cada um dos transdutores.

Transdutores	Desvio Ulnar		Desvio Radial	
	Média *	DP	Média **	DP
<i>Mock-up 02</i>	9,21	1,65	9,49	1,81
<i>Mock-up 03</i>	7,90	1,87	9,45	1,62
Toshiba	10,20	2,23	11,46	2,48
Hitachi	9,22	1,14	11,26	2,28

* p = 0,011801239 ** p = 0,013773486

TABELA 4.13 – Dados (em graus) das amplitudes médias para os movimentos de supinação e pronação do antebraço, em cada um dos transdutores.

Transdutores	Supinação		Pronação	
	Média	DP	Média *	DP
Mock-up 02	7,58	2,40	12,64	2,48
Mock-up 03	8,26	3,60	12,59	3,38
Toshiba	6,82	2,73	14,03	3,33
Hitachi	5,42	3,05	13,70	3,39

* p = 0,01335289

TABELA 4.14 – Dados (em graus) das amplitudes máximas para os movimentos de flexão (FL), extensão (EX), desvio ulnar (DU), desvio radial (DR), pronação (PR) e supinação (SU), em cada um dos transdutores.

Transdutores	FL	EX	DU	DR	SU	PR
Mock-up 02	70,24	79,15	41,31	38,65	52,51	47,97
Mock-up 03	60,21	81,40	42,21	36,63	42,39	48,82
Toshiba	74,34	84,55	44,19	38,16	42,52	45,09
Hitachi	60,34	82,30	45,67	35,01	37,62	44,05

Nas TABELAS 4.11, 4.12 e 4.13, observam-se os valores das amplitudes médias para os diferentes transdutores avaliados (*Mock-up 02*, *Mock-up 03*, Toshiba e Hitachi). A partir desses resultados, constata-se, de modo geral, uma pequena variabilidade dos dados coletados, assim como observado nos resultados da segunda experimentação. Observou-se, também, que as amplitudes médias de flexão (TABELA 4.11) são diversificadas nos quatro transdutores avaliados (*Mock-up 02*, 13,93°; *Mock-up 03*, 11,56°; Toshiba 15,37° e Hitachi 11,36°). Já as amplitudes médias em extensão são maiores nos transdutores Toshiba (23,05°) e Hitachi (23,02°) que no *Mock-up 02* (19,50°) e *Mock-up 03* (20,93°).

Nos movimentos de lateralidade (TABELA 4.12), especificamente nos de desvio ulnar, a amplitude média é menor no *Mock-up 03* (7,90°), que no *Mock-up 02* (9,21°), Hitachi (9,22°) e Toshiba (10,20°). Mas, quanto às amplitudes médias em desvio radial, o *Mock-up 02* e o *Mock-up 03* apresentam resultados menores (respectivamente 9,49° e 9,45°) que o Toshiba (11,46°) e o Hitachi (11,26°).

Quanto à supinação (TABELA 4.13), as amplitudes médias obtidas com o *Mock-up 02* (7,58°) e *Mock-up 03* (8,26°) são superiores às obtidas com o Toshiba

(6,82°) e com o Hitachi (5,42°). Já no plano de movimentos em pronação as diferenças se invertem, pois as amplitudes médias do *Mock-up 02* (12,64°) e do *Mock-up 03* (12,59°) são inferiores às obtidas com o Toshiba (14,03°) e com o Hitachi (13,70°).

Os resultados da análise estatística (*ANOVA*) indicaram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre as amplitudes médias dos movimentos de flexão, desvio ulnar, desvio radial e pronação, obtidas com os diferentes transdutores, *Mock-up 02*, *Mock-up 03*, Hitachi e Toshiba (TABELAS 4.11, 4.12 e 4.13). Considerando a ocorrência dessas diferenças estatisticamente significativas, aplicou-se o teste *post-hoc* de *Duncan* para verificar em quais situações a diferença ocorreu. A TABELA 4.15 demonstra as diferenças observadas nos movimentos em flexão, entre os transdutores Toshiba X Hitachi e Toshiba X *Mock-up 03*. A TABELA 4.16 demonstra a diferença observada nos movimentos de desvio ulnar, entre os transdutores Toshiba X *Mock-up 03*. A TABELA 4.17 demonstra as diferenças observadas nos movimentos de desvio radial, entre os transdutores Toshiba X *Mock-up 02*, Toshiba X *Mock-up 03*, Hitachi X *Mock-up 02* e Hitachi X *Mock-up 03*. A TABELA 4.18 demonstra as diferenças ocorridas nos movimentos de pronação, entre os transdutores Hitachi X *Mock-up 02* e Hitachi X *Mock-up 03*.

TABELA 4.15 – Resultados do teste *post-hoc* de *Duncan*, entre médias de flexão com diferentes transdutores.

Transdutores	Toshiba	Hitachi	<i>Mock-up 02</i>	<i>Mock-up 03</i>
Hitachi	0,004241	--		
<i>Mock-up 02</i>	NS	NS	--	
<i>Mock-up 03</i>	0,005276	NS	NS	--

NS – Não houve diferença estatisticamente significativa.

TABELA 4.16 – Resultados do teste *post-hoc* de *Duncan*, entre médias de desvio ulnar com diferentes transdutores.

Transdutores	Toshiba	Hitachi	<i>Mock-up 02</i>	<i>Mock-up 03</i>
Hitachi	NS	--		
<i>Mock-up 02</i>	NS	NS	--	
<i>Mock-up 03</i>	0,002028	NS	NS	--

NS – Não houve diferença estatisticamente significativa.

TABELA 4.17 – Resultados do teste *post-hoc* de *Duncan*, entre médias de desvio radial com diferentes transdutores.

Transdutores	Toshiba	Hitachi	Mock-up 02	Mock-up 03
Hitachi	NS	--		
Mock-up 02	0,019077	0,027546	--	
Mock-up 03	0,019822	0,030872	NS	--

NS – Não houve diferença estatisticamente significativa.

TABELA 4.18 – Resultados do teste *post-hoc* de *Duncan* – entre médias de pronação com diferentes transdutores.

Transdutores	Toshiba	Hitachi	Mock-up 02	Mock-up 03
Hitachi	NS	--		
Mock-up 02	NS	0,020393	--	
Mock-up 03	NS	0,003452	NS	--

NS – Não houve diferença estatisticamente significativa.

4.5.2 Porcentagem de tempo em faixas de amplitude segura e crítica

O tempo médio total das operações desenvolvidas pelos sujeitos foi de 40,40 segundos (d.p. 1,40) e para cada um dos transdutores, o tempo médio é apresentado na TABELA 4.19.

TABELA 4.19 – Tempo médio (em segundos) das operações desenvolvidas pelos sujeitos, em cada um dos transdutores.

Transdutores	Média	DP
Mock-up 02	41,92	3,16
Mock-up 03	41,23	3,76
Toshiba	39,51	2,35
Hitachi	38,94	2,86

Também foram obtidas as médias de porcentagens de tempo em que o punho permaneceu em faixas de amplitude segura e crítica nos planos de movimentos

de flexo-extensão (FIGURA 4.17), desvios ulnar e radial (FIGURA 4.18) e pronosupinação (FIGURA 4.19).

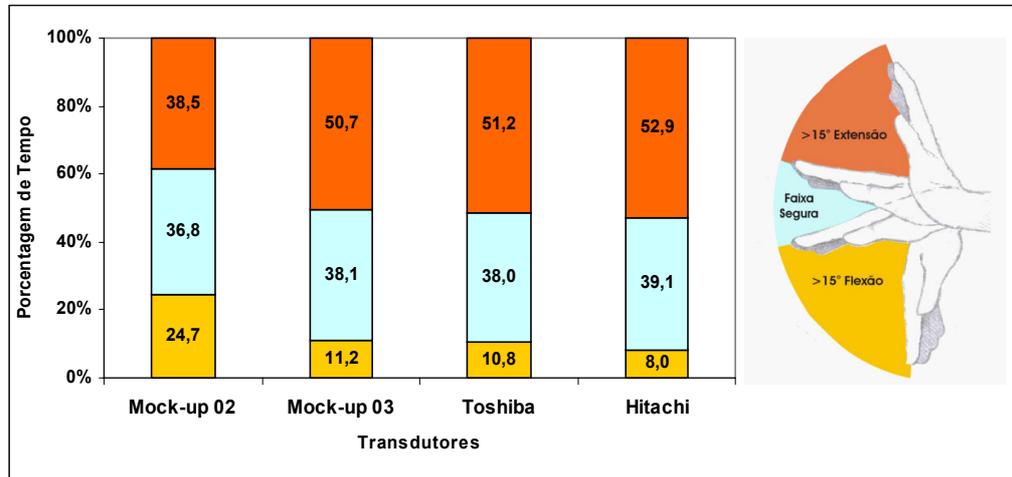


FIGURA 4.17 – Comparação entre o *Mock-up 02*, *Mock-up 03*, Toshiba e Hitachi, observando-se a média de porcentagem de tempo mantida nas faixas posturas (faixas) de amplitude segura e críticas (>15° de flexão e >15° de extensão).

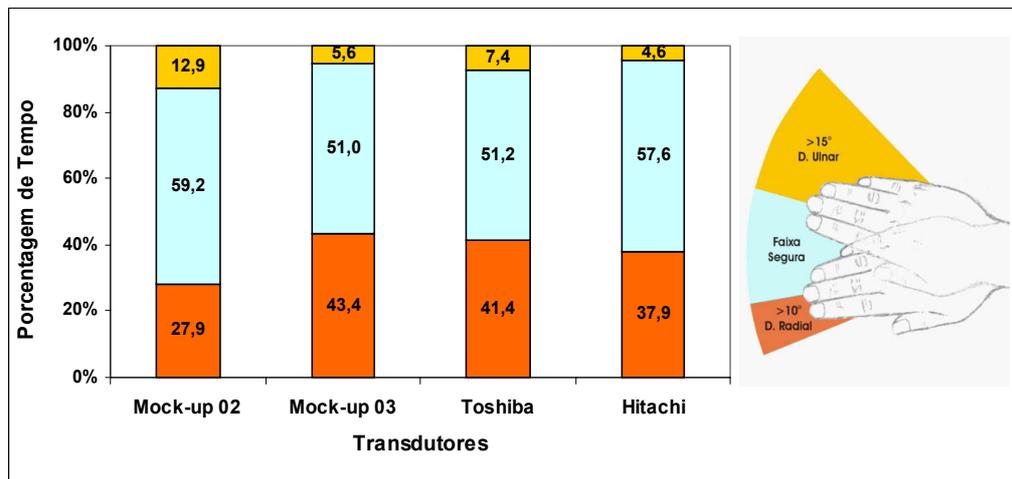


FIGURA 4.18 – Comparação entre o *Mock-up 02*, *Mock-up 03*, Toshiba e Hitachi, observando-se a média de porcentagem de tempo mantida nas posturas (faixas) de amplitude segura e crítica (>10° de desvio radial e >15° de desvio ulnar).

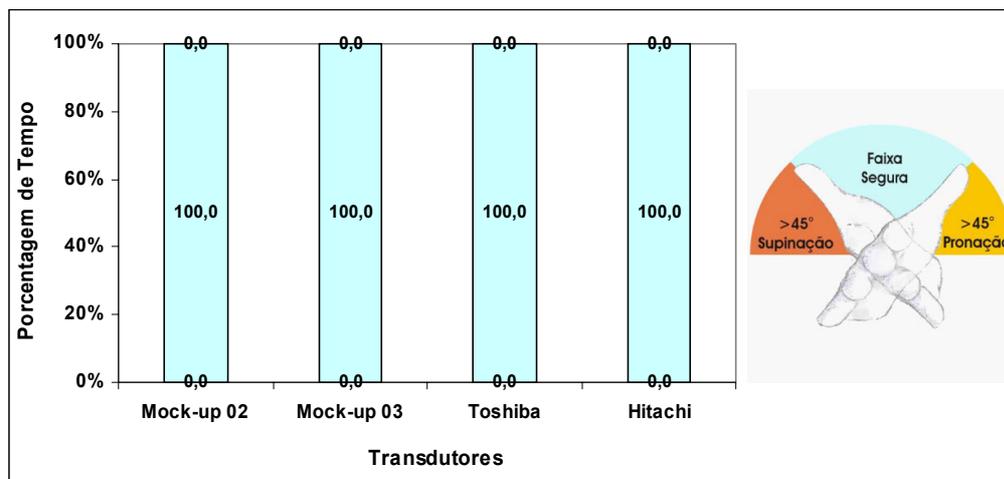


FIGURA 4.19 – Comparação entre o *Mock-up* 02, *Mock-up* 03, Toshiba e Hitachi, observando-se a média de porcentagem de tempo mantida nas posturas (faixas) de amplitude segura e crítica (>45° de pronação e >45° de supinação).

Assim como na primeira e segunda experimentação, o tempo médio geral e o tempo médio das operações para cada um dos transdutores (TABELA 4.19) apresentaram baixa variabilidade. Já quanto à porcentagem de tempo mantido em determinadas posturas, observou-se uma expressiva diferença entre os transdutores avaliados.

No plano da flexo-extensão (FIGURA 4.17), observa-se que a média da porcentagem de tempo mantido em faixas seguras (< 15° flexão e < 15° extensão) é relativamente menor nos resultados do *Mock-up* 02 (36,8%) que nos demais transdutores, entretanto há uma diminuição expressiva da média da porcentagem de tempo mantido na faixa crítica > 15° de extensão do *Mock-up* 02 (38,5%), em relação ao *Mock-up* 03 (50,7%), ao Toshiba (51,2%) e ao Hitachi (52,9%) e, inversamente, um aumento expressivo do tempo mantido na faixa crítica > 15° flexão do *Mock-up* 02 (24,7%) em comparação ao *Mock-up* 03 (11,2%), ao Toshiba (10,8%) e ao Hitachi (8,01%).

No plano da lateralidade (FIGURA 4.18), observa-se que a média da porcentagem de tempo mantido em faixas seguras (< 10° desvio radial e < 15° desvio ulnar) é maior nos resultados do *Mock-up* 02 (59,2%) e do Hitachi (57,6%) que nos do *Mock-up* 03 (51,0%) e do Toshiba (51,2%). Por outro lado, nota-se uma diminuição da

média da porcentagem de tempo mantido na faixa crítica $> 10^\circ$ desvio radial nos resultados do *Mock-up 02* (27,9%), em relação aos demais.

No plano da rotação do antebraço (FIGURA 4.19), todos os 4 transdutores avaliados proporcionaram posturas dentro da faixa segura ($< 45^\circ$ supinação e $< 45^\circ$ pronação), durante 100% do tempo analisado.

4.5.3 Médias de carga nos diferentes sensores FSRs

As médias de carga obtidas pelos sensores FSRs são apresentadas na FIGURA 4.20, em kgf/1000.

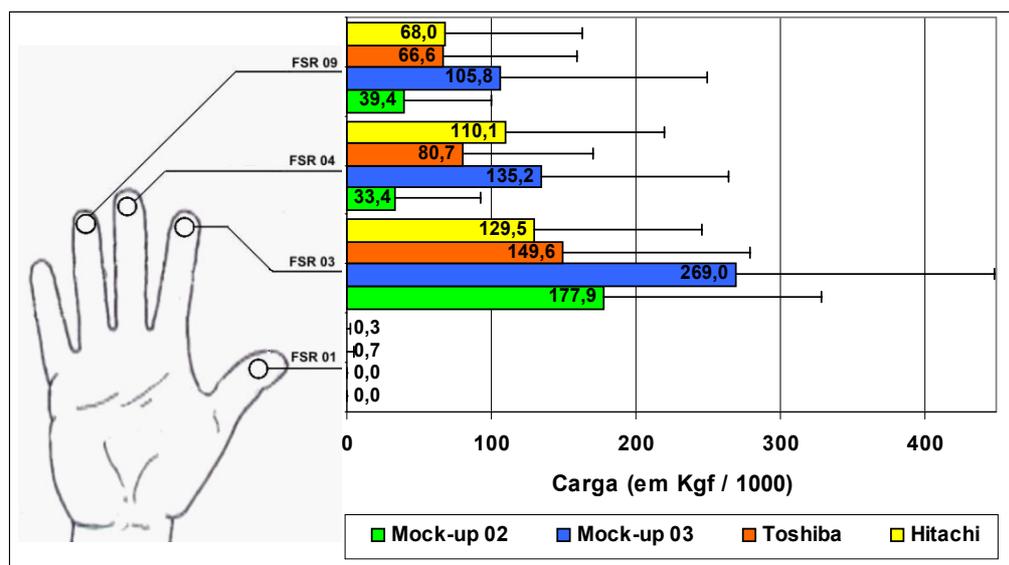


FIGURA 4.20 – Comparação entre o *Mock-up 02*, *Mock-up 03* e os transdutores comerciais, observando-se a média de carga (em kgf/1000) indicada para cada sensor FSR (e suas respectivas localizações).

O sensor FSR 03 – indicador apontou cargas médias do *Mock-up 02* (0,1779kgf) e principalmente do *Mock-up 03* (0,2690kgf) superiores aos demais transdutores (Toshiba 0,1496kgf e Hitachi 0,1295kgf). Para o sensor FSR 04 – médio, o *Mock-up 02* apresentou carga inferior (0,0334kgf) em comparação a todos os demais transdutores (*Mock-up 03* 0,1352kgf; Toshiba 0,0807kgf e Hitachi 0,1101kgf); o mesmo ocorrendo com o FSR 09 – anular, em que o *Mock-up 02* apresentou carga média de

0,0394kgf, inferior aos demais transdutores (*Mock-up* 03 0,1058kgf; Toshiba 0,0666kgf e Hitachi 0,0680kgf).

4.5.4 Discussão das amplitudes médias, porcentagem de tempo em faixas de amplitude segura e crítica e médias de carga nos diferentes sensores FSRs

Os resultados gerais das amplitudes médias obtidas durante a terceira experimentação indicam que tanto o *Mock-up* 02, quanto o *Mock-up* 03 proporcionam diferentes padrões de postura do membro superior, quando comparados aos transdutores comerciais e essa diferença é estatisticamente significativa.

Considerando-se os movimentos de flexão (TABELA 4.12), observa-se que os resultados obtidos com o transdutor Toshiba é o mais elevado, principalmente se comparado aos transdutores *Mock-up* 03 e Hitachi. Essa diferença foi considerada estatisticamente significativa (TABELA 4.16). Além disso, a amplitude média apresentada com o transdutor Toshiba mantém-se dentro da faixa crítica considerada na revisão deste estudo.

Quanto aos movimentos de extensão (TABELA 4.11), apesar de não serem apontadas diferenças estatisticamente significativas, observa-se que as amplitudes médias obtidas com o Toshiba e com o Hitachi são, expressivamente, superiores aos valores obtidos com o *Mock-up* 02 e 03. Nesse caso, todos os transdutores avaliados mantiveram amplitudes médias dentro da faixa considerada crítica para esse sentido de movimento, indicando riscos para o sistema musculoesquelético.

Os resultados das amplitudes médias de desvio ulnar (TABELA 4.12) também apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre o transdutor Toshiba e o *Mock-up* 03 (TABELA 4.16), indicando que o *Mock-up* 03 apresentou menor amplitude média. O mesmo pode ser considerado ao analisar as amplitudes médias de desvio radial (TABELA 4.12), onde também foram verificadas diferenças estatisticamente significativas entre o Toshiba X *Mock-up* 02 e 03, e Hitachi X *Mock-up* 02 e 03 (TABELA 4.17). Nesse caso, observa-se que as amplitudes médias obtidas com os transdutores Toshiba e Hitachi apresentaram-se dentro da faixa considerada crítica (> que 10°), enquanto o *Mock-up* 02 e 03 apresentaram melhor desempenho, com amplitudes médias dentro da faixa considerada segura.

Nos movimentos de supinação, não foram identificadas diferenças entre os transdutores. No entanto, nas amplitudes médias de pronação uma diferença estatisticamente significativa foi observada entre os transdutores Toshiba X *Mock-up* 02 e 03. Esses últimos apresentaram menor valor. Nesse plano de movimento (prono-supinação), as amplitudes médias para todos os transdutores mantiveram-se dentro da faixa considerada segura na revisão bibliográfica apresentada anteriormente.

Observa-se que as análises das amplitudes médias na terceira experimentação demonstraram que o redesenho dos *mock-ups* propostos apresentam algumas melhorias em relação aos transdutores comerciais, visto observar-se uma diminuição nas amplitudes de movimento com o uso do *Mock-up* 02 e 03, especialmente nos movimentos de flexão, extensão, desvio ulnar e radial, e pronação. Tal diminuição é considerada estatisticamente significativa nos movimentos de flexão, desvio ulnar, desvio radial e pronação.

No que refere ao tempo mantido em faixas segura e crítica dos planos de movimentos analisados, verifica-se que no plano da flexo-extensão (FIGURA 4.17), o *Mock-up* 02 apresentou menor tempo dentro da considerada faixa segura, contudo há uma maior distribuição entre o tempo mantido na faixa crítica de flexão e extensão, se comparado aos demais transdutores avaliados (*Mock-up* 03, Toshiba e Hitachi), os quais proporcionaram posturas na faixa crítica de extensão acima de 50% do tempo.

Já no plano dos desvios ulnar e radial (FIGURA 4.18), observa-se, também, uma menor distribuição de tempo mantido nas faixas críticas durante a manipulação do *Mock-up* 02, quando comparado aos demais transdutores. Além disso, o *Mock-up* 02 proporcionou a manutenção de posturas dentro da faixa considerada segura para esse plano de movimentos por um maior tempo (59,2 %). No plano rotacional da prono-supinação (FIGURA 4.19), todos os transdutores favoreceram a manutenção de posturas dentro da faixa considerada segura, em 100% do tempo.

De modo geral, essas considerações associadas à análise das amplitudes médias já demonstram uma expressiva melhora nas condições cinesiológicas quando se utilizam o *Mock-up* 03 e, principalmente, o *Mock-up* 02.

Quanto aos resultados dos sensores de carga, dois aspectos importantes foram observados: em primeiro lugar, houve uma baixa ativação do FSR 01 –Polegar e uma elevada variabilidade nos dados coletados, para todos os sensores. Esses aspectos

parecem decorrer do mesmo fato já discutido com os resultados da segunda experimentação, na qual o sensor é mantido fixo numa região anatômica específica, enquanto o modo de pega (e região de contato entre mão e transdutor) varia muito de operação para operação, ou seja, os pontos de contato entre os transdutores e mão variaram muito, podendo ser distribuídos em diferentes regiões. Em segundo, observou-se que a extensão – ou área de cobertura – do sensor é relativamente pequena e, em muitas situações, o contato pode ter se dado em regiões não cobertas pelo sensor.

Para analisar os resultados com os demais sensores FSR, é necessário, antes, considerar a forma de pega preponderante que cada um dos transdutores favorece. Com o *Mock-up* 02, foram observadas: uma elevada carga no sensor FSR 03 – indicador e pequenas cargas nos sensores FSR 04 – médio e FSR 09 – anular, o que pode ser decorrente da própria forma da pega utilizada nesse transdutor, pois sua empunhadura estende-se até a região palmar, o que proporciona uma melhor distribuição de carga na região palmar e gera, conseqüentemente, uma diminuição da carga na região das falanges dos dedos médios e anular.

Quanto ao *Mock-up* 03, foram observadas elevadas cargas em todos os demais sensores (FSR 03 – indicador, FSR 04 – médio e FSR 09 – anular), o que também pode ser decorrente do tipo de pega que o desenho desse *mock-up* induz, ou seja, uma “preensão palmar”, pela qual as cargas tendem a ser mais distribuídas na região das falanges. Assim, apesar de numericamente maior, constata-se que as cargas verificadas nos *Mock-ups* 02 e 03, associadas à análise da forma de preensão dos transdutores, sugerem que há uma melhor distribuição de carga na mão proporcionada por esses novos desenhos de transdutores.

De modo geral, pode-se afirmar que o *Mock-up* 03 e, principalmente, o *Mock-up* 02 proporcionam melhorias biomecânicas na extremidade do membro superior utilizado para manuseá-los durante as atividades simuladas de ultra-sonografia.

4.6 Resultados da Quarta Experimentação/Avaliação Subjetiva

A partir da quarta experimentação, foram obtidos resultados referentes aos valores médios do nível de percepção de desconforto e agradabilidade, dos transdutores *Mock-up* 01, *Mock-up* 02, *Mock-up* 03, Toshiba e Hitachi.

4.6.1 Valores médios do nível de desconforto

Os valores médios totais do nível de desconforto estão apresentados na FIGURA 4.21.

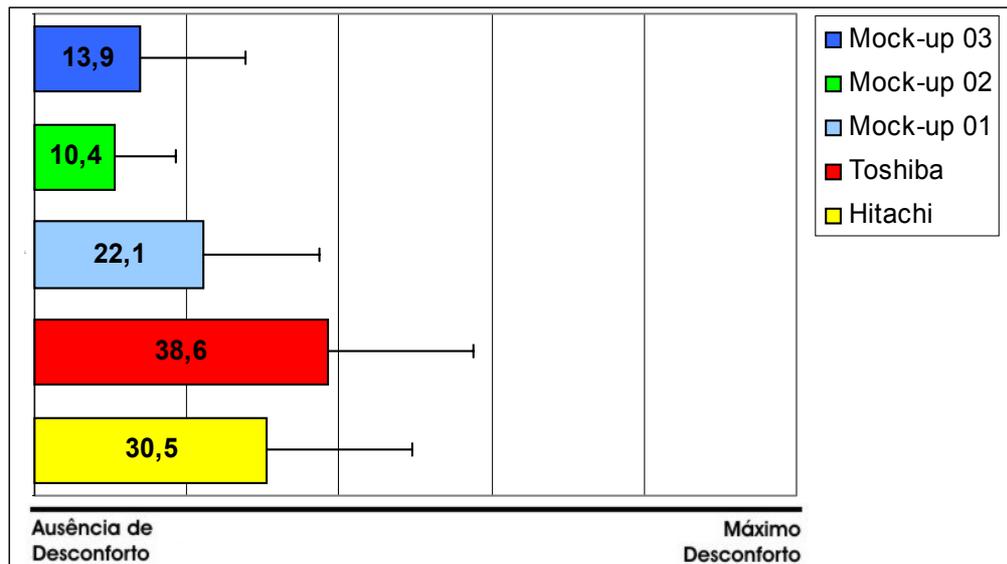


FIGURA 4.21 – Taxa média total do nível de desconforto indicado pelos sujeitos na avaliação subjetiva, após simulação da atividade com os transdutores de ultrassonografia.

As taxas médias do nível de desconforto apontadas nas etapas 01 e 02 apresentam-se expressivamente maiores para os transdutores Toshiba (38,8 e 38,5, respectivamente) e Hitachi (30,8 e 30,1) e tendem a diminuir progressivamente para o *Mock-up* 01 (21,9 e 22,1), *Mock-up* 03 (14,1 e 13,6) e *Mock-up* 02 (8,8 e 12,0).

A análise estatística – teste de *Wilcoxon* – apontou que não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) entre os resultados das etapas 01 e 02. Entretanto, quando aplicado entre as taxas médias totais dos diferentes transdutores, o teste de *Wilcoxon* indicou diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre alguns transdutores, conforme apresentado na TABELA 4.20.

TABELA 4.20 – Teste de *Wilcoxon* entre os resultados do nível de desconforto dos diferentes transdutores.

Transdutores	Toshiba	Hitachi	Mock-up 01	Mock-up 02	Mock-up 03
Hitachi	0,00163	--			
Mock-up 01	0,00006	0,00660	--		
Mock-up 02	0,00004	0,00004	0,00090	--	
Mock-up 03	0,00004	0,00006	0,00330	NS	--

NS – Não houve diferença estatisticamente significativa.

4.6.2 Valores médios do nível de agradabilidade

Os valores médios do nível de agradabilidade estão apresentados na FIGURA 4.22.

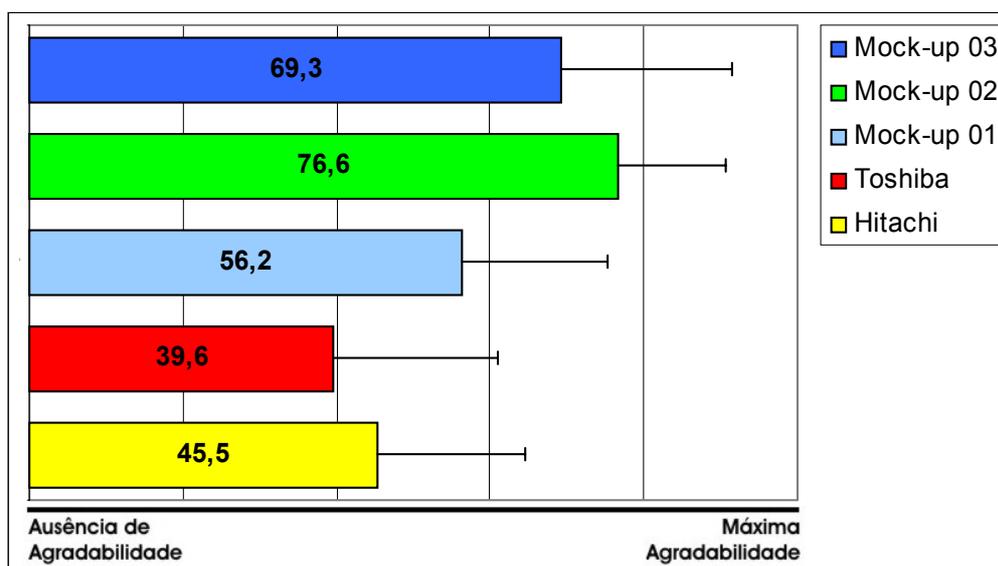


FIGURA 4.22 – Taxa média do nível de agradabilidade indicado pelos sujeitos na avaliação subjetiva, após simulação da atividade com os transdutores de ultrassonografia.

As taxas médias do nível de agradabilidade apontadas nas etapas 01 e 02 apresentam-se expressivamente maiores para os transdutores *Mock-up 02* (79,9 e 73,5, respectivamente) e *Mock-up 03* (73,9 e 64,6), com tendência a diminuir

progressivamente para o *Mock-up 01* (55,5 e 56,9), Hitachi (47,5 e 43,5) e Toshiba (38,1 e 41,1).

Também nesse caso, a análise estatística – teste de *Wilcoxon* – apontou que não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) entre os resultados das etapas 01 e 02. Porém, quando aplicado entre as taxas médias totais dos diferentes transdutores, o referido teste indicou diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre alguns transdutores, conforme apresentado na TABELA 4.21.

TABELA 4.21 – Teste de *Wilcoxon* entre os resultados do nível de agradabilidade dos diferentes transdutores.

Transdutores	Toshiba	Hitachi	<i>Mock-up 01</i>	<i>Mock-up 02</i>	<i>Mock-up 03</i>
Hitachi	0,00985	--			
<i>Mock-up 01</i>	0,00007	0,00146	--		
<i>Mock-up 02</i>	0,00004	0,00004	0,00004	--	
<i>Mock-up 03</i>	0,00004	0,00004	0,00096	NS	--

NS – Não houve diferença estatisticamente significativa.

4.6.3 Discussão dos resultados da avaliação subjetiva

A primeira característica observada por meio dos resultados da avaliação subjetiva dos aspectos negativos (desconforto) e positivos (agradabilidade), durante a manipulação dos transdutores em atividades simuladas é que, entre as etapas 01 e 02 (onde os procedimentos foram repetidos), não foram identificadas diferenças estatisticamente significativas. Assim, é possível considerar que os procedimentos metodológicos empregados garantiram a replicabilidade do experimento, o que ajuda a sustentar a qualidade dos resultados. Um aspecto que pode ter corroborado a consistência dessa avaliação é o fato de a amostra de sujeitos, apesar de pequena, constituir-se de indivíduos treinados, uma vez que LUEDER (1983) aponta isso como uma vantagem em abordagens desse gênero.

Quanto ao nível de desconforto, verifica-se que os transdutores Toshiba e Hitachi apresentaram maiores índices e, portanto, são considerados piores quando comparados aos demais transdutores. Além disso, o teste de *Wilcoxon* apontou que, nesse caso, as diferença ocorreram entre quase todos os transdutores, não havendo

significância apenas entre os *Mock-ups* 02 e 03. Observa-se, assim, que tanto o *Mock-up* 02 quanto o *Mock-up* 03 apresentaram menores valores de desconforto.

Em relação ao nível de agradabilidade, os resultados apontaram uma situação inversa, pois os *Mock-ups* 02 e 03 apresentaram maiores valores, enquanto os transdutores Hitachi e Toshiba apresentaram menores valores. O texto de *Wilcoxon* apontou, também, que as diferenças foram estatisticamente significativas entre quase todos os transdutores, exceto entre os *Mock-ups* 02 e 03, cuja diferença não foi significativa.

Um dos principais aspectos observados com os resultados dessa avaliação subjetiva é que o *Mock-up* 02 e o *Mock-up* 03 podem ser considerados como os transdutores mais satisfatórios para manipulação durante as atividades simuladas de ultra-sonografia de mama. Esses resultados concordam com os resultados obtidos nas avaliações biomecânicas, confirmando a associação entre indicadores fisiológicos/biomecânicos e subjetivos, como atestados por BORG (1998).

5 CONCLUSÃO

A partir da metodologia e dos resultados apresentados e discutidos nesta pesquisa, pode-se aceitar, com segurança, que a hipótese formulada nesse trabalho foi **corroborada**, ou seja, a aplicação de critérios de usabilidade **associada** aos procedimentos metodológicos de avaliação e análise no processo do design ergonômico **resultou** em instrumentos (*Mock-ups* 02 e 03) caracterizados pela diminuição das cargas biomecânicas e perceptivas da atividade.

O desenvolvimento de procedimentos metodológicos de avaliação e análise do produto foi fundamental, pois através deles se criou a oportunidade de aceitar (ou refutar) com segurança a hipótese proposta anteriormente. Ainda observou-se que somente a aplicação de critérios de usabilidade durante o processo de design ergonômico não garantiu que a proposta de transdutor – caracterizada pelo *Mock-up* 01 – apresentasse todas as melhorias biomecânicas almejadas, havendo a necessidade de continuar o desenvolvimento do design ergonômico (revisão projetual), incluindo a criação e reavaliação de novos conceitos, para, então, apresentar alternativas de transdutores com melhores características de usabilidade e ergonomia.

Esses procedimentos metodológicos caracterizam um método de avaliação de design ergonômico de dispositivos manuais alternativo e ao mesmo tempo seguro e confiável, uma vez que apresentam resultados passíveis de serem submetidos a análises estatísticas mais elaboradas (*ANOVA* ou *Wilcoxon*), além de envolver avaliações tanto com critérios fisiológicos/biomecânicos, quanto com critérios subjetivos (perceptivos) que podem ser complementares.

Outro aspecto importante desse método de avaliação refere-se a sua interatividade com a metodologia de design ergonômico, caracterizando um processo trans e multidisciplinar que envolveu abordagens epidemiológicas e laboratoriais, conhecimentos fisiológicos e biomecânicos, desenvolvimento de produto, criatividade, entre outros. Em decorrência disso, as metodologias de design ergonômico passam a ter uma alternativa metodológica para avaliação e análise do produto ainda durante seu processo de desenvolvimento, visto que esse aspecto é muito pouco explorado nas metodologias revisadas.

Por outro lado, pelas próprias características dos procedimentos aqui apresentados, conclui-se que esse método de avaliação ainda pode (e deve) ser aperfeiçoado e, para isso, seria importante que alguns pontos fossem considerados:

- outros dispositivos podem ser uma opção para métodos de avaliação desse gênero, como, por exemplo, o eletromiógrafo (para critérios fisiológicos), ou as escalas de percepção de Borg ou entrevistas (para critérios perceptivos, ou subjetivos). Isso dependerá da disponibilidade tecnológica, da organização e rigor metodológico dos procedimentos, bem como do produto e/ou atividade, objetos da avaliação;
- os procedimentos de simulação apresentados neste trabalho permitiram isolar as variáveis de estudo, bem como evitaram questões éticas da pesquisa. Nas situações em que seja possível isolar as variáveis e não haver questões éticas, esse método de avaliação poderá ser aplicado diretamente junto às atividades ocupacionais analisadas;
- nas situações práticas de desenvolvimento de produto, alguns dos sujeitos envolvidos nas etapas de criação deverão ser profissionais especializados na atividade ocupacional, e nas fases mais avançadas do projeto, o método de avaliação deve ter como sujeitos os próprios profissionais envolvidos na atividade ocupacional; e
- o método de avaliação, sempre que possível, deve considerar a análise do posto de trabalho, possibilitando sua aplicação no seu redesenho.

Além desses pontos, destaca-se também a necessidade de abordar outros problemas ergonômicos encontrados na atividade estudada, e que merecem atenção a estudos futuros, tais como a análise das posturas de ombro e coluna, os aspectos cognitivos da atividade, os aspectos físicos do ambiente de trabalho, entre outros.

Por fim, todo este estudo envolvendo o design industrial, a ergonomia e outras disciplinas complementares contribuiu expressivamente para destacar a importância dessa integração nas atividades profissionais de desenvolvimento de produtos de uso ou de interface e, principalmente, para compreender o quanto às pesquisas em torno do design ergonômico podem e devem evoluir, com a finalidade principal de melhorar a qualidade de vida dos homens.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKITA, M. Design and Ergonomics. **Ergonomics**. 34 (06): 815-824, 1991.
- ARMSTRONG, T. J. Upper-extremity posture: definitions, measurement and control. In: CORLETT, N.; WILSON, J. and MANENICA, I. (Ed.) **The ergonomics of working posture** – The proceedings of the First International Occupational Ergonomics Symposium. London: Taylor & Francis, 1986, pp:59-73.
- ARMSTRONG, T.J. & CHAFFIN, D.B. Capal tunnel syndrome and selected personal attributes. **Journal of Occupational Medicine**. 21 (07): 481-486, 1979.
- ARMSTRONG T.J.; FOULKE, J.A.; JOSEPH, B.S. & GOLDSTEIN, S.A. Investigation of cumulative trauma disorders in a poultry processing plant. **American Industrial Hygiene Association Journal**. 43 (02): 103-116, 1982.
- BARBOSA, L.H. **Abordagens epidemiológica e cinesiológica na análise de alguns riscos presentes na atividade ocupacional de médicos ultra-sonografistas** [dissertação de mestrado]. Orientação: Profa. Dra. Helenice Jane Cote Gil Coury. São Carlos: UFSCar, 2002, 173p.
- BARBOSA, L.H. PASCHOARELLI, L.C. & GIL COURY, H.J.C. Atividades ocupacionais de ultra-sonografistas: uma abordagem ergonômica. In: **Anais da 4ª Jornada Científica / Congresso de Pós-graduação da UFSCar**. São Carlos: UFSCar, 2001.
- BAXTER, M. **Projeto de produto**: guia prático para o desenvolvimento de novos produtos. São Paulo: Edgard Blücher, 1998, 261p.
- BIOMETRICS. **DataLINK/DLK800 operating manual**. Gwent: Biometrics Ltda, 2000.
- BIOMETRICS. **Goniometer and torsionmeter operating manual**. Gwent: Biometrics Ltda, 1997.
- BISHU, R. R., WANG, W. & CHIN, A. Force distribution at the container hand/handle interface using force-sensing resitors. **International Journal of Industrial Ergonomics**. 11(□): 225-231. 1993.
- BOMFIM, G. A.; NAGEL, K-D. & ROSSI, L. M. **Fundamentos de uma metodologia para desenvolvimento de produtos**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1977.
- BONSIEPE, G. **Teoria y práctica del diseño industrial** – elementos de uma manualística critica. Barcelona: Gustavo Gili, 1978, 254p.
- BORG, G. **Borg's Perceived Exertion and Pain Scales**. Champaign: Human Kinetics, 1998, 101p.

BUCHHOLZ, B. & WELLMAN, H. Practical Operation of a biaxial goniometer at wrist joint. **Human Factors**. 39 (01): 119-129, 1997.

CACHA, C. A. **Ergonomics and safety in hand tool design**. New York: Lewis Publishers, 1999, 117p.

CANADIAN SAFETY COUNCIL. **Hand protection occupational safety and health**. Ottawa: Data Sheet No. H-5, 1984.

CAREY, E. J. & GALLWEY, T. J. Effects of wrist posture, pace and exertion on discomfort. **International Journal of Industrial Ergonomics**. 29 (02):85-94, 2002.

CHAFFIN, D. B & ANDERSON, G. B. J. **Occupational biomechanics**. New York: John Wiley & Sons, 1991, 579p.

CHRISTENSEN, H. W. Precision and accuracy of an electrogoniometer. **Journal of manipulative Physical Therapy**. 22 (01):10-14, 1999.

COLOMBINI, D. An observational method for classifying exposure to repetitive movements of the upper limbs. **Ergonomics**, 41 (09): 1261-1289, 1998.

COLLINS, S. L.; MOORE, R. A. & McQUAY, H. J. The visual analogue pain intensity scale: what is moderate pain in millimetres? **Pain**, 72 (01-02): 95-97, 1997.

COTRAN, R. S.; KUMAR, V. & COLLINS, T. **Robbins – Patologia estrutural e funcional**. 6.^a Edição. Rio de Janeiro: Guanabara – Koogan, 2000, 1251p.

CRAIG, M. Occupational hazards of sonography: an update. **Journal of diagnostic medical sonography**. 06 (01): 47-50, 1990.

CRAIG, M. Sonography – an occupational health hazard? **Journal of diagnostic medical sonography**. 01 (03): 121-126, 1985.

CSILLAG, J. M. **Análise do valor**. São Paulo: Atlas, 1988, 370p.

DRURY, C. G. A biomechanical evaluation of the repetitive motion injury potential of industrial jobs. **Seminars in Occupational Medicine**, 02 (01): 41-49, 1987.

ERGONOMI DESIGN GRUPPEN. **Shaping success** [catalogue]. Bromma: Ergonomi Design Gruppen, 1997.

FELLOWS, G. L. & FREIVALDS, A. Ergonomics evaluation of a foam rubber grip for tool handles. **Applied Ergonomics**, 22 (04): 225-230, 1991.

FERREIRA, A. B. de H. **Novo Aurélio século XXI: o dicionário da Língua Portuguesa**. 3.^a Edição. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999, 2128p.

FLORES, O. S. **História del diseño industrial**. México: Trillas, 1992.

FREYD, M. The graphic rating scale. **Journal of Educational Psychology**. 14 (02): 83-102, 1923.

FRISONI, B. C. & MORAES, A. de. Ergodesign: uma associação. In: MORAES, A. de. & FRISONI, B.C. **Ergodesign: produtos e processos**. Rio de Janeiro: 2AB, 2001. pp. 195-206.

GAWRON, V. J., DENNISON, T. W. & BIFERNO, M. A. Mock-ups, physical and electronic human models, and simulations. In: O'BRIEN, T. G. and CHARLTON, S. G. **Handbook human factors testing and evaluation**. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 1996, p. 43-80.

GIL COURY, H. J. C. **Profílixia das lesões por esforços repetitivos em ultrassonografistas**. Conferência de abertura do I Congresso Mineiro de Imaginologia da Mulher. Belo Horizonte, 1999.

GIL COURY, H. J. C. **Trabalhando Sentado** - manual para posturas confortáveis. 2.^a Edição. São Carlos: EDUFSCar, 1995, 88p.

GORDON, C. C.; CHURCHILL, T.; CLAUSER, C. E.; BRADTMILLER, B.; McCONVILLE, J. T.; TEBBETTS, I. & WALKER, R. A. **1988 Anthropometric survey of U.S. army personnel: methods and summary statistic**. Massachusetts: U.S. Army Natick RD&E Center, 1989, 638p.

GREGORY, V. Musculoskeletal injuries: na occupational health and safety issue in sonography. **Sound Effects** [Educational Supplement], 1998.

GUÉRIN, F.; LAVILLE, A.; DANIELLOU, F.; DURAFFOURG, J; & KERGUELEN, A. **Comprender o trabalho para transformá-lo**: a prática da ergonomia. São Paulo: Edgard Blücher, 2001, 200p.

HAGBERG, M.; SILVERSTEIN, B.; WELLS, R.; SMITH, M. J.; HENDRICK, H. W.; CARAYON, P. & PÉRUSSE, M. **Work-related musculoskeletal disorders (WMSDs)**: a reference book for prevention. London: Taylor and Francis, 1995, 421p.

HALL, C. External pressure at the hand during object handling and work with tools. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 20(03): 191-206, 1997.

HAMILL, L. & KNUTZEN, K. M. **Bases biomecânicas do movimento humano**. São Paulo: Manole, 1999, 532p.

HEDGE, A. Design of hand-operated devices, In: STANTON, N. **Human Factors in Consumer Products**. London: Taylor & Francis, 1998, pp. 203-222.

HENDRICK, H. W. Macroergonomics: a new approach for improving productivity, safety and quality of work life. In: **Anais do VI Congresso Brasileiro e II Congresso Latino-americano de Ergonomia**. Florianópolis: ABERGO, p. 39-58, 1993.

HUNTING, W. LAUBLI, T. & GRANDJEAN, E. Postural and visual loads at VDT workplaces I. Constrained postures. **Ergonomics**, 24 (12): 917-931, 1981.

IDSA, Industrial Designers Society of America. **100 Years of design – The Lamb handle**. Disponível em: www.idsa.org. Última atualização: 1996. Acessado em em: 04.03.2003.

IEA, The International Ergonomics Association. **The discipline of ergonomics**. Disponível em: <http://www.iea.cc/ergonomics/>. Última atualização: 01.2003. Acessado em: 04.03.2003.

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

ISO – 6385. **Ergonomic principles en the design of work systems – Part 4.2**. Geneva: International Organization for Standardization, 1981.

ISO – 9241 - 11. **Ergonomic requirements for office work with visual display terminal (VDTs) – Part 2: guidance on usability**. Geneva: International Organization for Standardization, 1981.

JENSEN, T. R., RADWIN, R. G. & WEBSTER, J. G. A conductive polymer sensor for measuring external finger forces. **Journal of Biomechanics**, 24 (09): 851-858, 1991.

JONES, J. **Métodos de diseño**. Barcelona: Gustavo Gili, 1976.

JORDAN, P. W. Human factors for pleasure in product use. **Applied Ergonomics**. 29 (01): 25-33, 1998.

JUUL-KRISTENSEN, B.; FALLENTIN, N. & CHRISTENSEN, H. Data on movement frequency and posture from observational techniques. In: **Advances in Occupational Ergonomics and Safety** (2 Vol.), pp. 454-457, 1996.

JUUL-KRISTENSEN, B.; FALLENTIN, N. & EKDAHL, C. Criteria for classification of posture in repetitive work by observation methods: a review. **International Journal of Industrial Ergonomics**. 19 (05): 397-411, 1997.

KAMINSKI, P. C. **Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2000, 132p.

KAPANDJI, I. A. **Fisiologia articular – membro superior**. Rio de Janeiro: Manole, 1980.

KAPANDJI, I. A., **The physiology of the joints**. New York: Churchill Livingstone, 1982.

KERR, L. **Ultrassonografia mamaria**. Disponível em: http://www.saudeatotal.com.br/sbus/ult_mamo.htm. Última atualização: 01.2003. Acessado em 02.03.2003.

KETOLA, R.; VIIKARI-JUNTURA, E. & TAKALA, E. Validation of a method to assess physical load on the upper extremity. In: **Advances in Occupational Ergonomics and Safety** (2 Vol.), pp. 463-467, 1996.

KONZ, S. **Work Design: industrial ergonomics**. New York: John Wiley & Sons, 1979, 640p.

KREMKAU, F. W. **Diagnostic ultrasound – principles, instruments, and exercises**. Philadelphia, W.B. Saunders Company, 1989, 428p.

LBDI. **Levantamento Antropométrico das Mãos**. Florianópolis: Laboratório Brasileiro de Desenho Industrial, 1990.

LEWIS, W. G. & NARAYAN, C. V. Design and sizing of ergonomic handles for hand tools. **Applied Ergonomics**, 24 (05): 351-356, 1993.

LÖBACH, B. **Design industrial – bases para a configuração dos produtos industriais**. São Paulo: Edgard Blücher, 2001, 206p.

LUEDER, R. K. Seat comfort: a review of the construct in the office environment. **Human Factors**. 25(06): 701-711, 1983.

MACCAULEY BELL, P. & CRUMPTON, L. A fussy linguistic model for the prediction of carpal tunnel syndrome risks in an occupational environment. **Ergonomics**. 40 (08): 790-799, 1997.

MADJAR, H.; RICKARD, M.; JELLINS, J. & OTTO, R. IBUS – Guidelines for the ultrasonic examinations of the breast. **European Journal of Ultrasound**. 9 (01): 99-102, 1999.

MAGNAVITA, N.; BEVILACQUA, L.; MIRK, P.; FILENI, A. & CASTELLINO, N. Work-related musculoskeletal complaints in sonologists. **Journal of Occupational and Environmental Medicine**. 41 (11): 981-988, 1999.

MARQUES, A. P. **Manual de Goniometria**. São Paulo: Manole, 1997, 51p.

MAZZONI, C. F.; MARÇAL, M. A. & MENDES, W. M. Levantamento de incidências de sintomas relacionados a DORT entre ultra-sonografistas da grande Belo Horizonte. In: **Anais da ABERGO 2002 – VI Congresso Latino-americano de Ergonomia**. Recife: ABERGO, 2002.

McATAMENY, L. & CORLETT, N. RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. **Applied Ergonomics**, 24 (02): 91-99, 1993.

McCORMICK, E. J. & SANDERS, M. S. **Human Factors in Engineering and Design**. New York: MacGraw Hill, 1992.

McCULLOCH, M. L.; XIE, T. & ADAMS, D. B. Cardiovascular sonography: the painful art of scanning. **Cardiac Ultrasound Today**. 05 (08):69-96, 2002.

McDICKEN, W. N. **Diagnostic ultrasonics – principles and use of instruments**. 3th Edition. London, Churchill Livingstone, p. 1-14, 1991.

MEAGHER, S. W. Tool design for prevention of hand and wrist injuries. **Journal of Hand Surgery**. 12A (05): 855-857, 1987.

MERCER, R. B.; MARCELLA, C. P.; CARNEY, D. K. & McDONALD, R. W. Occupational health hazards to the ultrasonographer and their possible prevention. **Journal of the American Society of Echocardiography**. 10 (04): 363-366, 1997.

MINISTÉRIO DA SAÚDE, Instituto Nacional do Câncer. **Câncer de mama**. Disponível em: <http://www.inca.org.br/cancer/mama>. Última atualização: 07.01.2003. Acessado em: 02.03.2003.

MINISTÉRIO DA SAÚDE, Instituto Nacional do Câncer. **Programa nacional de controle do câncer do colo do útero e de mama – Viva Mulher**. Disponível em: <http://www.inca.org.br/prevencao/programas/pncccum/>. Última atualização: 01.07.2002. Acessado em: 02.03.2003.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. **Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho - DORT / Norma Técnica de Avaliação de incapacidade para fins de benefícios previdenciários**. Brasília: Ministério do Trabalho - Instituto Nacional do Seguro Social. Diário Oficial, N. 158, Quarta-feira, 19 de agosto de 1998, p: 26-38, 1998.

MITAL, A. & KILBOM, A. Design, selection and use of hand tools to alleviate trauma of the upper extremities: Part I – guidelines for the practitioner. **International Journal of Industrial Ergonomics**. 10 (1-2): 1-5, 1992.

MITAL, A. & SANGHAVI, N. Comparison of maximum violaton torque exertion capabilities of males and females using common hand tools. **Human Factors**. 28 (03): 283-294, 1986.

MORAES, A. de. Ergonomia e usabilidade de produtos, programas, informação. In: MORAES, A. de. & FRISONI, B.C. **Ergodesign: produtos e processos**. Rio de Janeiro: 2AB, 2001, pp. 195-206.

MURALIDHAR, A.; BISHU, R. R. & HALLBECK, M. S. The development and evaluation of an ergonomic glove. **Applied Ergonomics**. 30 (06): 555-563, 1999.

NECAS, M. Musculoskeletal symptomatology and repetitive strain injuries in diagnostic medical sonographers: a pilot study in Washington and Oregon. **Journal of Diagnostic Medical Sonography**. 12 (06): 266-273, 1996.

NICOL, A. C. A new flexible electrogoniometer with widespread applications. In: **Proceedings of 10th International Congress of Biomechanics**. Human Kinetic Publishers Inc, 1029-1033, 1987.

NORRIS, B. & WILSON, J. R. **Designing safety into products** – making ergonomics evaluation a part of the design process. Nottingham: Institute for Occupational Ergonomics / University of Nottingham, 1997, 30p.

OSBORN, A. **O poder criador da mente**. São Paulo: Ibrasa, 1975.

PALMER, P. E. S. Basics of ultrasound. In: **Manual of diagnóstico ultrasound**. Geneva: World Health Organization, 1995, pp. 3-21.

PALMER, A. K., WERNER, F. W., MURPHY, D. & GLISSON, R. Functional wrist motion: a biomechanical study. **The Journal of Hand Surgery**, 10A (01): 39-46, 1985.

PAQUET, N; MALOUIN, F.; RICHARDS, C.; DIONNE, J. P. & COMEAU, F. Validity and reliability of a new electrogoniometer for the measurement of sagittal dorsolumbar movements. **Spine**, 16 (05): 516-519, 1991.

PASCHOARELLI, L. C. & GIL COURY, H. J. C. Aspectos ergonômicos e de usabilidade no design de pegas e empunhaduras. **Estudos em Design**. 08 (01): 79-101, 2000.

PASCHOARELLI, L. C. & GIL COURY, H. J. C. Calibração de sensores FSRs: definindo a equação a partir da regressão polinomial. In: **Anais X Congresso Brasileiro de Biomecânica**. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Biomecânica. 02: 86-89, 2003.

PASCHOARELLI, L. C. & GIL COURY, H. J. C. Identificação e mensuração de pressão durante o uso de ferramentas manuais: calibração de sensores FSRs. In: **Anais do II Congresso Internacional de Ergonomia e Usabilidade de Interfaces Humano-Tecnologia**. Rio de Janeiro: PUC-Rio, 2002.

PEEBLES, L. & NORRIS, B. **Adultdata – the handbook of adult anthropometric and strength measurements – data for design safety**. Nottingham: Department of Trade and Industry / University of Nottingham, 1998.

PETERSON, M. T. **3D Studio Max – fundamentos**. Rio de Janeiro: Campus, 1998, 484p.

PHEASANT, S. **Bodyspace: anthropometry, ergonomics and design of work**. 2th Edition. London: Taylor & Francis, 1996, 244p.

PUGH, S. **Creating innovative products using Total Design: the living legacy of Stuart Pugh**. Massachusetts: Addison-Wesley, 1996, 544p.

PUTZ-ANDERSON, V. **Cumulative trauma disorders: a manual for musculoskeletal diseases of the upper limbs**. London: Taylor & Francis, 1988, 151p.

QUARANTE, D. **Diseño Industrial I – Elementos Introductorios**. Barcelona: CEAC Ediciones, 1992.

RADWIN, R. & OH, S. External finger forces in submaximal five-finger static pinch prehension. **Ergonomics**, 35 (03): 275-288, 1992.

RANSOM, E. **The causes of musculoskeletal injury amongst sonographers in the UK**. London: Society of Radiographers, 2002.

RAWES, M. L.; RICHARDSON, J. B. & DIAS, J. J. A new technique for the assessment of wrist movement using a biaxial flexible electrogoniometer. **Journal of Hand Surgery**. 21(05): 600-603, 1996.

REMPEL, D. & HORIE, S. Effect of wrist posture during typing on carpal tunnel pressure. In: **Proceedings of the Fourth International Scientific Conference**. Milan, V. 03, C27-C28, 1994.

REMPEL, D. HORIE, S. & TAL, R. Carpal Tunnel pressure changes during keying. In: **Proceedings of the Marconi Keyboard Research Conference**. San Francisco: Ergonomics Laboratory, 1994, p.1-3.

RUSSO, A.; MURPHY, C.; LESSOWAY, V. & BERKWITZ, J. The prevalence of musculoskeletal symptoms among British Columbia sonographers. **Applied Ergonomics**. 33 (05): 385-393, 2002.

SÄDE, S., NIEMINEN, M. & RIIHIAHO, S. Testing usability with 3D paper prototypes – Case Halton system. **Applied Ergonomics**. 29 (01): 67-73, 1998.

SANDVIK. **Sandvik's 11-point programme**. The scientific way to develop better hand tools [catalogue]. West Midlands: Sandvik, 1997.

SCHOENFELD, A.; GOVERMAN, J.; WEISS, D. M. & MEIZNER, I. Transducer user syndrome: an occupational hazard of the ultrasonographer. **European Journal Ultrasound**. 10 (01): 41-45, 1999.

SELLTIZ, C.; WRIGHTSMAN, L. S. & COOK, S. W. **Métodos de pesquisa nas relações sociais – medidas na pesquisa social**. 2.^a Edição. São Paulo: EPU, 1990.

SILVA, E. A.; HEIDRICH, R. & JÚNIOR, W. K. Reflexões sobre técnicas e materiais para agilizar a representação de design de produto: Concepção x Exequibilidade. In: **Anais do I Congresso Internacional de Pesquisa em Design – Brasil / V Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design**. Brasília, AEnD-Br, 2002.

SMITH, A. C.; WOLF, J. G.; XIE, G. Y. & SMITH, M. D. Musculoskeletal pain in cardiac ultrasonographers: results of a random survey. **Journal of American Society of Echocardiography**. 10 (04): 357-362, 1997a.

SMITH, L., WEISS, E. L. & LEHMKUHL, L. D. **Cinesiologia Clínica de Brunnstrom**. 5.^a Edição São Paulo: Manole, 1997b, 538p.

STANTON, N. A. & YOUNG M. **A guide to methodology in ergonomics**: designing for human use. London: Taylor and Francis, 1999, 132p.

SUTTON D. Ultrasound. In: **A textbook of radiology and imaging**. London: Churchill Livingstone, 1987, pp. 1773-1774.

TICHAUER, E. R. & GAGE, H. Ergonomic principles basic to hand tool design. **American Industrial Hygiene Association Journal**. 38 (11): 622-634, 1977.

VANDERPOOL, H. E.; FRIIS, E. A.; SMITH, B. S. & HARMS, K. L. Prevalence of carpal tunnel syndrome and other work-related musculoskeletal problems in cardiac sonographers. **Journal of Occupational Medicine**. 35 (06):604-610, 1993.

VANGUNDY, A. B. **Brainwriting**. Disponibilizado em: <http://www.creativityatwork.com/articlescontent/brainwri.htm>. Última atualização: 1999. Acessado em 20/02/2003.

WIHLIDAL, L. M. & KUMAR, S. An injury profile of practicing diagnostic medical sonographers in Alberta. **International Journal of Industrial Ergonomics**. 19 (03): 205-216, 1997.

WINTER, D. A. **Biomechanics and motor control of human movement**. 2th Edition. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1990.

YAP, L.; VITALIS, T. & LEGG, S. Ergodesign: from description to transformation. In: **Proceedings of the 13th Triennial Congress of the International Ergonomics Association**. Helsinki: Finish Institute of Occupational Health, 1997, pp. 320-322.

ZIPP, P.; HAIDER, E.; HALPERR, N. & ROHMERT, W. Keyboard design through physiological strain measurements. **Applied Ergonomics**, 14 (02): 117-122, 1983.

7. APÊNDICES

APÊNDICE A

		Universidade Federal de São Carlos Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção Laboratório de Fisioterapia Preventiva - Ergonomia Aspectos Ergonômicos e de Usabilidade no Design de Pegas e Empunhaduras: uma Análise das Tarefas do Ultra-sonografista Experimentação de Laboratório - Protocolo de Recrutamento	
1. Observações			
Apresenta ou apresentou no último ano algum sintoma músculo-esquelético (dor, restrição de movimento) no punho		Não <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/>
2. Identificação		Código	/
Nome completo			
Naturalidade		Data Nascimento	/ /
Atividade		Sexo	<input type="checkbox"/> Masc. <input type="checkbox"/> Fem.
3. Endereço Residencial			
Av. / Rua:		Nº	Compl.
CEP	-	Cidade	Estado
Telefone	0 XX -	email	@
Fax	0 XX -	email	@
4. Antropometria			
Variável	DIM	UN	Visto
Comprimento do Antebraço		cm	
Estatura		M	
Peso		Kg	
IMC - Índice de Massa Corporal [Peso/(Estatura x Estatura)]		Kg/m ²	

APÊNDICE B



Universidade Federal de São Carlos
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção
Laboratório de Fisioterapia Preventiva - Ergonomia
Aspectos Ergonômicos e de Usabilidade no Design de Pegas e
Empunhaduras: uma Análise das
Tarefas do Ultra-sonografista
Experimentação de Laboratório - Declaração de Consentimento

DECLARAÇÃO DE CONSENTIMENTO

As informações contidas nesta declaração, tem por objetivo firmar um acordo por escrito, no qual o indivíduo denominado "voluntário" autoriza sua participação, bem como a utilização das imagens que serão produzidas, para fins acadêmicos, com pleno conhecimento da natureza dos procedimentos a que se submeterá, com a capacidade de livre arbítrio e sem qualquer coação.

Eu, _____,
RG _____ - SSP/____, estou de acordo em participar como voluntário desta experimentação de laboratório, autorizando a divulgação dos dados e de minha imagem, única e exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, conforme proposto para este experimento.

São Carlos, ____ de _____ de 200_.

Voluntário

Luis Carlos Paschoarelli
Universidade Federal de São Carlos
RA 2170213 / RG 18035767 - SSP/SP

APÊNDICE C



Universidade Federal de São Carlos
 Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção
 Laboratório de Fisioterapia Preventiva - Ergonomia
 Aspectos Ergonômicos e de Usabilidade no Design de Pegas e
 Empunhaduras: uma Análise das Tarefas do Ultra-sonografista
 Experimentação de Laboratório – Protocolo de Identificação

1. Identificação	Código	/
Nome completo		

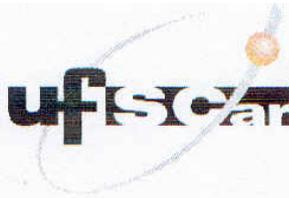
2. Antropometria		DIM	UN
Variável	Descrição		
	DC 01	Estatura / Distância vertical do solo ao vértice da calota craniana	cm
	DC 02	Peso	Kg
	DC 03	Comprimento do Antebraço / dist. da articulação punho à articulação do cotovelo	mm
	DM 01	Comprimento da mão / (DM 02 + DM 05) dist. da articulação punho à extr. do dedo médio	mm
	DM 02	Comprimento palmar / distância da articulação do punho à base do dedo médio	mm
	DM 03	Comprimento do polegar / distância da base à extremidade do polegar	mm
	DM 04	Comprimento do indicador / distância da base à extremidade do dedo indicador	mm
	DM 05	Comprimento do médio / distância da base à extremidade do dedo médio	mm
	DM 06	Comprimento do anular / distância da base à extremidade do dedo anular	mm
	DM 07	Comprimento do mínimo / distância da base à extremidade do dedo mínimo	mm
DM 08	Largura metacarpal / largura palmar na região metacarpal	mm	
DM 09	Largura palmar / largura palmar considerando o polegar (palma em repouso)	mm	

3. Observações	
Mão preponderante	<input type="checkbox"/> Destro <input type="checkbox"/> Canhoto
Realiza alguma atividade física com as mãos (p.e. práticas esportivas)?	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim
Outras observações	

4. Arquivos	
Arquivos JPG	
Arquivos DAT	
Outros Arquivos	

5. Controle	
Controlador	
Hora:	São Carlos, de de 2002

APÊNDICE D



Universidade Federal de São Carlos

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção

Laboratório de Fisioterapia Preventiva - Ergonomia

Aspectos Ergonômicos e de Usabilidade no Design de Pegas e Empunhaduras: uma Análise das Tarefas do Ultra-sonografista

Experimentação de Laboratório 3 – Avaliação de Desconforto (D/1)

1. Identificação		Código	/
Nome completo			
Transdutor			

2. Escala de Avaliação de Desconforto

Considerando os aspectos **negativos** da pega do transdutor, observe a escala de **desconforto** apresentada abaixo. Ao lado esquerdo da escala você encontra a indicação de "*Ausência de Desconforto*"; e ao lado direito da escala você encontra a indicação de "*Máximo Desconforto*".

Associe o lado direito da escala com aquele desconforto máximo que você já percebeu em toda sua vida. Dentro dessa perspectiva, procure pensar na pega do transdutor que acabou de manusear e marque com um traço vertical na escala, o nível de qualquer desconforto que possa ter percebido. Se não percebeu nenhum desconforto, marque o extremo esquerdo da escala.

Ausência de
Desconforto

Máximo
Desconforto

APÊNDICE E



Universidade Federal de São Carlos
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção
Laboratório de Fisioterapia Preventiva - Ergonomia
Aspectos Ergonômicos e de Usabilidade no Design de Pegas e
Empunhaduras: uma Análise das Tarefas do Ultra-sonografista

Experimentação de Laboratório 3 – Avaliação Agradabilidade (A/1)

1. Identificação		Código	/
Nome completo			
Transdutor			

2. Escala de Avaliação de Agradabilidade

Considerando os aspectos **positivos** da pega do transdutor, observe a escala de **agradabilidade** apresentada abaixo. Ao lado esquerdo da escala você encontra a indicação de "*Ausência de Agradabilidade*"; e ao lado direito da escala você encontra a indicação de "*Máxima Agradabilidade*". Associe o lado direito da escala com a presença de máxima agradabilidade ao manusear objetos em toda sua vida, pensando na melhor sensação percebida em termos de textura, peso, formato e posição da mão durante a pega. Dentro dessa perspectiva, procure pensar na pega do transdutor que acabou de manusear e marque com um traço vertical na escala o nível de agradabilidade que possa ter percebido. Se não percebeu nenhuma agradabilidade, marque o extremo esquerdo da escala.

Ausência de
Agradabilidade

Máxima
Agradabilidade

8. ANEXOS

ANEXO A

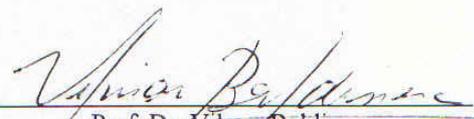


UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
PRÓ - REITORIA DE PÓS - GRADUAÇÃO E PESQUISA
COORDENAÇÃO DE PESQUISA
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA



O Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da UFSCar, registrado no CONEP/Conselho Nacional de Saúde, pelo ato de 18 de março de 1997, **DELIBEROU** aprovação sem restrições o projeto com protocolo nº 030 e título: "**ASPECTOS ERGONÔMICOS E DE USABILIDADE NO DESIGN DE PEGAS E EMPUNHADURAS: UMA ANÁLISE DAS TAREFAS DO ULTRA-SONOGRAFISTA**" com orientação do Profa. Dra. Helenice Jane Cote Gil Coury.

São Carlos, 19 de novembro de 2001.


Prof. Dr. Vilmar Baldissera
Presidente da Comissão de Ética

9. GLOSSÁRIO

Cisto sinovial – “... nódulo transparente, firme e flutuante e do tamanho de uma ervilha. Resulta da degeneração cística ou mixóide do tecido conjuntivo (...) localizado próximo a uma cápsula articular ou de uma bainha tendínea” (COTRAN et al, 2000, p. 1125).

Desvio radial – ou abdução é o movimento em que “... a mão afasta-se do eixo do corpo e o seu bordo externo – ou bordo radial (o que suporta o polegar) – forma, com o bordo externo do antebraço, um ângulo obtuso aberto para fora” (KAPANDJI, 1980, p. 140).

Desvio ulnar – ou adução é o movimento em que “... a mão aproxima-se do eixo do corpo e o seu bordo interno – ou bordo cubital (o que suporta o quinto dedo) – forma, com o bordo interno do antebraço, um ângulo obtuso aberto para dentro” (KAPANDJI, 1980, p. 140).

Equipamento – “conjunto de tudo aquilo que serve para equipar ou prover” (FERREIRA, 1999, p. 783)

Esterno – “osso ímpar, situado na parte anterior do tórax” (FERREIRA, 1999, p. 834).

Extensão do punho – movimento da mão em que “... a face posterior – ou dorsal – da mão aproxima-se da face posterior do antebraço” (KAPANDJI, 1980, p. 140).

Ferramenta – “conjunto de utensílios de uma arte ou ofícios” (FERREIRA, 1999, p. 895).

Flexão do punho – movimento da mão em que “... a face anterior – ou palmar – da mão aproxima-se da face anterior do antebraço” (KAPANDJI, 1980, p. 140).

Instrumento – “objeto (...) que serve de agente mecânico na execução de qualquer trabalho” (FERREIRA, 1999, p. 1119).

Isquemias – “perda de suprimento sanguíneo por redução do fluxo arterial ou da drenagem venosa de um tecido” (COTRAN et al, 2000, p. 2).

Lesão do nervo mediano – “... conseqüência da compressão extrínseca do nervo, como por exemplo, causada pelo uso de ferramentas...” (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 1998, p. 29).

Pronação – movimento do antebraço, resultando na posição “... realizada quando a palma da mão ‘olha’ para baixo e o polegar se encontra do lado de dentro” (KAPANDJI, 1980, p. 108).

Síndrome do canal cubital – “... compressão do nervo ulnar ao nível do túnel cubital.” (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 1998, p. 29).

Síndrome do canal de Guyon – “... compressão no nervo ulnar ao nível do chamado canal de Guyon no punho, causando distúrbio de sensibilidade no quarto e quinto dedos, bem como distúrbios motores na face palmar” (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 1998, p. 29).

Síndrome do túnel do carpo – “... compressão do nervo mediano ao nível do punho. Decorre da desproporção continente/conteúdo no túnel do carpo. Ocorre nas tarefas manuais repetitivas, principalmente se houver força ou desvio do carpo, quando os tendões hipertrofiados ou edemaciados comprimem o nervo mediano” (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 1998, p. 29).

Supinação – movimento do antebraço, resultando na posição “... realizada quando a palma da mão está dirigida para cima e o polegar se encontra do lado de fora” (KAPANDJI, 1980, p. 108).

Tendinite – “inflamação de um tendão” (HAMILL & KNUTZEN, 1999, p. 199).

Tenosinovite – “inflamação da bainha que cerca um tendão” (HAMILL & KHUTZEN, 1999, p. 200).