



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR  
Faculdade de Engenharia

# **Desenvolvimento e análise ergonómica de dispositivos manuais apontadores para computador**

**Luís Miguel Lopes Lourenço**

Tese para obtenção do Grau de Doutor em  
**Engenharia e Gestão Industrial**  
(3º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Denis Alves Coelho  
Co-orientador: Prof. Doutor Rui António Pitarma Sabino da Cunha Ferreira

**Covilhã, fevereiro de 2017**



# Dedicatória

Ao Afonso, ao Duarte, e à São, por todo o apoio e pelo tempo que lhes roubei.

Aos meus pais, por tudo.



# Agradecimentos

Ao meu orientador, Professor Doutor Denis Alves Coelho, o meu mais sincero reconhecimento pelo apoio científico, aconselhamento e dedicação prestados e presentes desde o primeiro momento. Pelo seu empenho e dedicação quero expressar a minha mais profunda gratidão.

Ao Professor Doutor Rui Pitarma por desempenhar um papel primordial em toda a minha formação académica, bem como pela orientação, apoio e confiança, obrigado pelos seus sábios ensinamentos e pela sua amizade.

Os meus agradecimentos à Doutora Cristina Roque Ferreira pelos seus ensinamentos no campo da anatomia e fisiologia muscular, o seu contributo foi decisivo nestas áreas da medicina.

Grande bem-hajam ao Professor Doutor Noel Lopes pelo indispensável contributo que deu a este estudo, graças ao seu empenho e competência científica na área das ciências informáticas, e à Professora Doutora Cecília Fonseca pelos conselhos e orientações na área da estatística.

Dirijo os meus mais profundos agradecimentos ao Professor David M. Rempel, pela sua imprescindível contribuição dada a este trabalho de investigação, muito em especial nas áreas da biomecânica, da monitorização da atividade muscular eletromiográfica e no pré-tratamento dos dados de S-EMG resultantes.

Agradeço à Professora Doutora Isabel Lopes Nunes pela contribuição dada a este trabalho na área da usabilidade.

Agradeço aos dirigentes do IPG por todo o apoio prestado na disponibilização de instalações e de equipamentos, especialmente à Professora Doutora Maria Clara dos Santos Pinto Silveira.

Agradeço a todos os que contribuíram para este estudo, especialmente aos cinquenta participantes nas atividades experimentais, sem eles não seria possível chegar até aqui.

Ao Joaquim Jorge pelo incentivo permanente e ao Joaquim Abreu pela sua sempre pronta disponibilidade e incentivo, bem-hajam.

Ao Duarte, ao Afonso e à São pela paciência e sacrifício e ao meu pai que sempre me incentivou a ir mais além, obrigado, meus queridos.



# Resumo

O trabalho apresenta o desenvolvimento de dois dispositivos manuais apontadores para computador com vista à adoção de posturas mais neutras por parte dos utilizadores (relativamente aos dispositivos convencionais), e à melhoria do seu desempenho. Procedeu-se à avaliação e à validação ergonómica através de estudos de usabilidade e da atividade muscular, contemplando comparativamente dispositivos comerciais dos tipos convencional e alternativos, designadamente dispositivos apelidados de ‘inclinados’ e ‘verticais’. Estas novas geometrias são muitas vezes apresentadas ao utilizador como produtos ergonómicos, não se encontrando na bibliografia disponível informação científica que possa, de alguma forma, comprovar essa presunção para a maioria destas geometrias. Para além disso, os operadores de desenho e de projeto assistidos por computador realizam, tipicamente, tarefas que conduzem à utilização permanente deste tipo de dispositivos, constituindo-se, por conseguinte, como principal população alvo para este estudo. No desenvolvimento das duas geometrias alternativas ao *mouse* convencional (simétrico), teve-se como principais premissas o apoio palmar, de modo a promover posturas neutras e a movimentação do dispositivo com o mínimo de atividade muscular, sem comprometer a eficiência. A componente experimental, composta por três fases, contou com a colaboração de 40 jovens participantes repartidos pelas duas fases relativas à experimentação laboratorial, 20 do sexo masculino e 20 do sexo feminino, contou ainda, com outros 10 participantes na fase da experimentação de campo. Foi desenvolvida uma aplicação informática de implementação das tarefas permitindo simultaneamente o registo dos tempos de execução, das falhas e dos desvios. Os participantes preencheram um instrumento composto por várias escalas com vista à avaliação da usabilidade. Procedeu-se à avaliação subjetiva da satisfação e ao cálculo da eficácia e da eficiência. Nesta vertente foi desenvolvido e testado um novo indicador de desempenho, que foi caracterizado para um software de CAD particular, valorando-se entre 50 e 60%, de acordo com o dispositivo. Procedeu-se também ao registo eletromiográfico de superfície da atividade muscular relativamente a quatro músculos do antebraço em 20 sujeitos que participaram na experimentação de laboratório. Neste âmbito foi desenvolvido e testado um novo indicador de dinamismo da atividade muscular para ajudar a desambiguar a avaliação relacionada com a atividade muscular estática nestes casos (atingindo valores desde 0 - elevada estaticidade, até 3 - elevado dinamismo). Embora o registo da atividade muscular (atingindo níveis de pico na ordem de 10 a 20 de %MVC) não permita distinguir perentória e inequivocamente os dispositivos entre si, permite concluir que o tamanho da mão constitui um parâmetro muito importante na seleção do dispositivo apontador. O grupo comparativamente com menores dimensões da mão registou maior atividade muscular, globalmente nos 5 dispositivos, e é principalmente nos músculos *Abductor Pollicis Longus* e *Extensor Carpi Ulnaris* onde se registam as maiores diferenças entre as duas categorias de tamanho da mão e para a maioria

das tarefas. O dispositivo convencional obteve, comparativamente, um bom desempenho global durante a realização das tarefas de teste; contrariamente à premissa inicial de que os testes a este modelo conduziram a maior atividade muscular dos músculos *Abductor Pollicis Longus*, *Extensor Carpi Radialis*, *Extensor Carpi Ulnaris* e *Extensor Digitorum* face aos restantes modelos. Relativamente à eficiência, os melhores resultados foram obtidos com o dispositivo convencional seguido do modelo alternativo ‘vertical’ Anker®, concluindo-se que a inclinação do dispositivo manual apontador para computador não afeta negativamente a eficiência. A investigação conduzida permitiu também concluir que as duas geometrias desenvolvidas, prototipadas e testadas comparativamente no grupo de dispositivos, se posicionaram em níveis intermédios no conjunto de dispositivos manuais apontadores sob avaliação, em ambas as vertentes de usabilidade e de atividade dos músculos considerados.

## Palavras-chave

Desenvolvimento do produto, ergonomia de dispositivos manuais apontadores, usabilidade, eletromiografia de superfície





# Abstract

This dissertation presents the development of two computer pointing devices with a view to adoption of more neutral postures by users (compared to conventional devices), and to improving their performance. Ergonomic assessment and validation through usability studies and muscle activity monitoring was carried out, looking comparatively at commercial devices of conventional and alternative types, including devices nicknamed as ‘slanted’ and ‘vertical’. These new geometries are often presented to the public as ergonomic products, but no scientific information is available in literature that may, somehow, prove this assumption for most of these geometries. Furthermore, computer aided design operators typically perform tasks that lead to permanent use of such devices, constituting, therefore, a primary target population for this study. The development of two alternative geometries to the conventional (symmetric) mouse had as main assumptions offering palm support, in order to promote both neutral posture and movement of the device with minimal muscle activity, without compromising efficiency. The experimental component, made up of three phases, received the collaboration of 40 young participants distributed among the two laboratory experimental phases, 20 male and 20 female, with another 10 additional participants in the field experiment phase. For this purpose a computer application was developed to enable implementation of tasks while allowing registration of runtimes, faults and deviations. Participants filled in an instrument composed of several scales to assess usability. In addition to the calculation of effectiveness and efficiency as well as the subjective assessment of satisfaction. In this domain, a new performance indicator was developed and tested, which was characterized for a particular CAD application, valuing between 50 and 60%, according to the device. Surface EMG recording of the activity of 4 forearm muscles also took place in 20 laboratory experiment participants. A new muscle activity dynamism indicator was developed and tested in this area to help disambiguate the evaluation related to the static muscle activity in these cases (reaching values from 0 - high stativity up to 3 - high dynamicity). Although the registration of muscle activity (reaching peak levels in the order of 10 to 20% MVC) does not enable distinguishing among the devices peremptorily and unequivocally, it shows that hand size is a very important parameter in the selection of a pointing device. The group with smaller hand dimensions comparatively showed higher muscle activity for all 5 devices, for most tasks and mainly in the *Abductor Pollicis Longus* and *Extensor Carpi Ulnaris* muscles where there are major differences between the two hand size categories. The conventional device obtained comparatively good overall performance were found as an outcome of the testing tasks; contrary to the initial assumption positing that the tests to this model would reveal greater muscle activity of *Abductor Pollicis Longus*, *Extensor Carpi Radialis*, *Extensor Carpi Ulnaris* and *Extensor Digitorum* muscles, compared to other models. With regard to efficiency, the best results were obtained with the conventional device followed by the Anker® ‘vertical’ model, leading to conclude that an approximately

vertical slope does not adversely affect efficiency. The research conducted also led to conclude that the two geometries developed, prototyped and tested comparatively within the set of devices, positioned themselves at intermediate levels among the set of manual pointing devices under evaluation in both the domains of usability and of activity of the muscles considered.

## **Keywords**

Product development, ergonomics of computer pointing devices, usability, surface electromyography

# Índice

Resumo	VII
Abstract	X
Índice	XII
Lista de Figuras	XVI
Lista de Tabelas	XXI
Lista de Acrónimos	XXIV
1 Introdução	1
1.1 Tema da investigação	2
1.2 Propósito a alcançar	4
1.3 Estrutura da tese	5
2 Enquadramento multidisciplinar da tese	8
2.1 Contextualização	10
2.2 Desenvolvimento do produto	12
2.2.1 Abordagem ao desenvolvimento de dispositivos manuais apontadores para computador	12
2.2.2 Metodologia no desenvolvimento de dispositivos manuais apontadores para computador	16
2.3 Usabilidade no contexto da avaliação de dispositivos manuais apontadores para computador	17
2.4 Eletromiografia no contexto da avaliação de dispositivos manuais apontadores para computador	21
2.5 Avaliação ergonómica de dispositivos manuais apontadores para computador	24
3 Metodologia geral da tese	29
3.1 Abordagem metodológica	31
3.1.1 Enquadramento metodológico	31
3.1.2 Síntese sequencial das atividades de investigação	37
3.1.3 Objetivos e respetivos métodos e técnicas de investigação	40
3.1.4 Perguntas de investigação	44
3.2 Nota conclusiva	45
4 Desenvolvimento de dispositivos manuais apontadores para computador	46
4.1 Introdução	48
4.2 Metodologia do desenvolvimento dos ratos de computador	50
4.2.1 Clarificação da tarefa	53
4.2.2 Geração de conceitos	58
4.2.3 Avaliação, refinamento e projeto de detalhe	60
4.3 Nota conclusiva	70

4.3.1	Compatibilização antropométrica	70
4.3.2	Adaptação do modelo operacional de referência ao processo de desenvolvimento em questão	71
5	Usabilidade dos dispositivos manuais apontadores para computador	73
5.1	Testes e critérios de avaliação da usabilidade	75
5.2	Caraterização dos dispositivos manuais apontadores sob avaliação	78
5.3	Tarefas de teste adotadas	79
5.4	Parâmetros de avaliação da usabilidade adotados	82
5.4.1	Parâmetros de avaliação subjetiva	82
5.4.2	Parâmetros de avaliação objetiva	84
5.4.3	Indicador de eficiência das tarefas ponderadas (IE) - novo indicador	85
5.5	Implementação das tarefas e registo dos dados	85
5.6	Experimentação de laboratório - estudos 1 e 2	87
5.6.1	Estudo 1 - Participantes e conceção experimental	87
5.6.2	Estudo 2 - Participantes e conceção experimental	90
5.6.3	Estação de testes - estudos 1 e 2	92
5.7	Experimentação de campo - estudo 3	93
5.7.1	Estudo 3 - Participantes e conceção experimental	93
5.7.2	Estação de testes - Estudo 3	95
5.8	Cronograma da experimentação e do tratamento dos dados - estudos 1, 2 e 3	96
5.9	Nota Conclusiva	98
6	Eletromiografia de superfície para caracterização da atividade muscular do antebraço	100
6.1	Enquadramento da experimentação de laboratório com eletromiografia no âmbito da tese	102
6.2	A eletromiografia de superfície na avaliação de ratos de computador	103
6.3	Seleção dos músculos	106
6.4	Posicionamento dos elétrodos	109
6.5	Registo eletromiográfico, instrumentação e estação de testes	113
6.6	Procedimentos adotados no registo eletromiográfico	118
6.7	Eletromiografia e parâmetros de avaliação (APDF e Din - novo indicador)	122
6.8	Nota Conclusiva	125
7	Análise de resultados	127
7.1	Nota introdutória	129
7.2	Avaliação da usabilidade	130
7.2.1	Estudo 1	132
7.2.2	Estudo 2	141
7.2.3	Estudos 1 e 2 combinados	145
7.2.4	Estudo 3 - Indicador de eficiência (IE) aplicado a uma ferramenta de CAD	154
7.3	Avaliação da atividade muscular (S-EMG)	159

7.4 Usabilidade e atividade muscular	181
7.5 Nota conclusiva	182
8 Discussão	184
8.1 Discussão centrada nos objetivos	185
8.2 Influência do tamanho da mão	188
8.3 Associação entre medidas da eficiência (usabilidade) e da atividade muscular	189
9 Conclusão	190
Referências Bibliográficas	195
Anexos	204
Anexo A - Extrato do código relativo à aplicação informática de implementação das tarefas	205
Anexo B - Instrumento utilizado na avaliação subjetiva da usabilidade - escalas de preferência	208
Anexo C- Instrumentos utilizados na avaliação subjetiva da usabilidade - escalas de desconforto, de facilidade de utilização e de esforço	210
Anexo D - Sequência de procedimentos experimentais para monitorização da atividade muscular com eletromiografia de superfície (S-EMG)	212
Anexo E - Exemplos de testes experimentais com os cinco dispositivos manuais apontadores para computador	214
Anexo F - Análise da atividade muscular através de comparações tipo, com base no esforço muscular (APDF90) e no dinamismo da atividade muscular (Din), relativos a pares de indicadores resultantes da utilização de um determinado tipo de dispositivo	216
Anexo G - Folha de registo manual de dados de EMG por sujeito	222



# Lista de Figuras

Figura 2.1 - Modelo alternativo de Conlon <i>et al.</i> 2009.	12
Figura 2.2 - Posturas neutras da mão e do antebraço, de acordo com a norma ISO 9241-400:2007.	13
Figura 2.3 - Posturas neutras do braço, de acordo com a norma ISO 9241-400:2007.	14
Figura 2.4- Modelos alternativos estudados por Smith <i>et al.</i> (1997), por Keir <i>et al.</i> (1999), por Aaras <i>et al.</i> (2001) e por Ulman <i>et al.</i> (2003).	15
Figura 2.5 - Enquadramento da usabilidade, de acordo com a norma ISO 9241-11:1998.	18
Figura 2.6 - Dispositivos de Kumar e Kumar (2008).	19
Figura 2.7 - Dispositivos de Odell e Johnson (2007).	20
Figura 2.8 - Dispositivos de Lai e Yang (2012).	20
Figura 2.9 - Tarefas de teste (Lai e Yang, 2012).	21
Figura 2.10 - Eléctrodo diferencial duplo, à esquerda da figura, e eléctrodo diferencial simples à direita.	22
Figura 2.11 - Posturas de teste comuns de Agarabi <i>et al.</i> (2004).	23
Figura 2.12 - Modelos de Hedge, Muss e Barrero (1999), modelo A e modelo B.	25
Figura 2.13 - Exemplos de posturas classificadas como inadequadas observadas no estudo de Lee, McLoone & Dennerlein, 2007.	26
Figura 2.14 - Modelos de Lee <i>et al.</i> (2007).	27
Figura 3.1 - <i>The research Onion</i> [A Cebola da Investigação].	31
Figura 3.2 - Taxonomia de abordagens metodológicas à investigação.	33
Figura 3.3 - Abordagem metodológica da tese segundo a taxonomia de Järvinen (2004).	35
Figura 3.4 - Esquema funcional do processo de investigação tradicional.	36
Figura 3.5 - Diagrama hierárquico de objetivos 1/2.	41
Figura 3.6 - Diagrama hierárquico de objetivos 2/2.	42
Figura 3.7 - Diagrama de objetivos-metodologia (abordagem metodológica da tese segundo a taxonomia de Järvinen (2004)).	43
Figura 4.1 - Modelos ci e ch em fase de desenho tridimensional assistido por computador (CAD 3D).	48
Figura 4.2 - Diagrama de fluxo relativo ao modelo operacional adotado no desenvolvimento do produto numa perspetiva de ergonomia contínua (desenvolvimento de novas geometrias de ratos de computador no âmbito da tese).	52
Figura 4.3 - <i>Microsoft optical mouse 200</i> (os modelos desenvolvidos usam o seu hardware eletrónico).	53
Figura 4.4 - Representação da mão direita em posição de repouso ( <i>position of rest</i> ) e numa postura de prensão precisa ( <i>precision grip</i> ).	56
Figura 4.5 - Informação gráfica e dimensional relativa ao diâmetro circunferencial	56



máximo de apreensão.	
Figura 4.6 - Resultado da geração de conceitos (pg, pt, ch e ci, apresentados em duas vistas distintas).	58
Figura 4.7 - Alternativa concetual (variante do conceito pg) com vista a servir de base para o desenvolvimento de um rato de computador numa abordagem de inovação radical.	59
Figura 4.8 - Resultado de impressão 3D e modelo prévio em 'clay' relativo ao conceito ci.	60
Figura 4.9 - Maquete do conceito ci (mão de indivíduo do sexo masculino com 190 mm de comprimento e 88 mm de largura, correspondendo respetivamente ao 40º percentil e ao 50º percentil de acordo com Gordon <i>et al.</i> (2014) - amostra da população militar dos EUA).	62
Figura 4.10 - Maquete do conceito ch (mão de indivíduo adulto do sexo masculino com 190 mm de comprimento e 88 mm de largura, correspondendo respetivamente ao 40º percentil e ao 50º percentil de acordo com Gordon <i>et al.</i> (2014) - amostra da população militar dos EUA).	63
Figura 4.11 - Maquete ch e ci para reavaliação dos conceitos refinados (mão de indivíduo adulto do sexo feminino com 165 mm de comprimento e 74 mm de largura, correspondendo respetivamente ao 5º percentil e ao 15º percentil de acordo com Gordon <i>et al.</i> (2014) - amostra da população militar dos EUA).	64
Figura 4.12 - Vistas do conceito ci em perspetiva com cotagem parcial (carcaça superior, modelo em CAD 3D).	65
Figura 4.13 - Vista frontal do conceito ci com cotagem do ângulo de inclinação característico (45º), (modelo tridimensional virtual gerado com ferramenta de CAD 3D).	65
Figura 4.14 - Vista em perspetiva do conceito ch com cotagem parcial (carcaça superior, modelo tridimensional virtual gerado com ferramenta de CAD 3D).	66
Figura 4.15 - Vista frontal do conceito ch com cotagem do ângulo de inclinação característico (30º), (modelo tridimensional virtual gerado com ferramenta de CAD 3D).	67
Figura 4.16 - Execução de protótipos (protótipo ci).	68
Figura 4.17 - Protótipo ch em fase de montagem (incluindo circuitos eletrónicos).	68
Figura 4.18 - Medição da força necessária para acionar os botões dos protótipos ci e ch.	69
Figura 5.1 - Dispositivos (geometrias) sob avaliação.	79
Figura 5.2 Tarefas do teste de Odell e Johnson (2007).	80
Figura 5.3 - Tarefas de teste ( <i>pointing</i> , <i>dragging</i> e <i>steering</i> ).	82
Figura 5.4 - Visualização da interface gráfica com o utilizador da aplicação informática desenvolvida para implementação das tarefas de teste (monitor de 19" e resolução de 1280 x1024 pixels).	86
Figura 5.5 - Comprimento e largura da mão.	87
Figura 5.6 - Realização de testes aos dispositivos e avaliação pelos participantes quanto à preferência entre dispositivos ensaiados, no estudo 1 (exemplo de um participante).	90
Figura 5.7 - Realização de testes aos dispositivos no estudo 2 (exemplo de um participante).	92
Figura 5.8 - <i>Workstations</i> laboratoriais utilizados nos testes para avaliação da	93

usabilidade e da atividade muscular.

Figura 5.9 - Vista geral da sala de formação de CAD onde decorreu o estudo 3 (imagem da esquerda) e a vista de pormenor do rato utilizado no mesmo estudo (imagem da direita).	95
Figura 5.10 - Cronograma da experimentação relativo à avaliação da usabilidade.	96
Figura 6.1 - Dispositivos testados por Houwink <i>et al.</i> (2009).	104
Figura 6.2 - Posicionamento da mão no rato adotado pelos participantes do estudo de Houwink <i>et al.</i> (2009) que receberam instruções.	104
Figura 6.3 - Comportamento observado por Lee, McLoone e Dennerlein (2007) de manutenção dos dedos levantados acima dos botões do rato.	105
Figura 6.4 - Registo eletromiográfico de superfície dos músculos ECR e ECU em desvio radial, em desvio cubital e na extensão do punho.	107
Figura 6.5 - Registo eletromiográfico de superfície dos músculos ED e ECR na extensão do punho e na extensão dos dedos.	108
Figura 6.6 - Registo eletromiográfico de superfície dos músculos APL e APB ao agarrar e largar, em abdução, em preensão de pinça e em abdução.	109
Figura 6.7 - Localização anatômica do elétrodo para registo de EMG relativo ao músculo ECR.	110
Figura 6.8 - Localização anatômica do elétrodo para registo de EMG do músculo ECU.	111
Figura 6.9 - Localização anatômica para a colocação do elétrodo para monitorização de EMG do músculo ED.	111
Figura 6.10 - Localização anatômica para a colocação do elétrodo para registo de S-EMG relativa ao músculo APL e EPB.	112
Figura 6.11 - Instrumentação Bagnoli (Delsys) utilizada no presente trabalho de investigação.	113
Figura 6.12 - Elétrodo diferencial DE-2.1 e elétrodo de referência.	114
Figura 6.13 - Estação de trabalho com Instrumentação Bagnoli (Delsys).	116
Figura 6.14 - Exemplo de visualização gráfica do sinal de EMG de monitorização da atividade muscular (sinal instantâneo e valor RMS) relativos ao músculo <i>Extensor Digitorum</i> para a tarefa de <i>Scroll</i> .	117
Figura 6.15 - Exemplo de visualização gráfica do sinal de EMG de monitorização da atividade muscular para determinar o valor de MVC (músculo <i>Extensor Digitorum</i> ).	117
Figura 6.16 - Atividade muscular em percentagem da contração voluntária máxima (%MVC).	117
Figura 6.17 - Desinfecção localizada da pele e dos elétrodos de S-EMG.	119
Figura 6.18 - Processo de colocação dos elétrodos no antebraço direito de um participante.	119
Figura 6.19 - Ensaio de contrações musculares isoladas na procura de interferências (ruído) nos sinais em cada um dos 4 canais.	120
Figura 6.20 - Processo de registo e determinação do MVC durante no início dos testes.	121
Figura 6.21 - Realização dos testes experimentais com eletromiografia de superfície.	121

Figura 6.22 - Representação gráfica de um exemplo (em 2800) de cálculo dos valores de APDF (curva da probabilidade cumulativa da distribuição de probabilidade temporal em função da percentagem da MVC).	122
Figura 6.23 - Probabilidade da amplitude (P) como definido por Hagberg (1978).	123
Figura 7.1 - Ordenação média da preferência relativa aos 5 dispositivos manifestada pelos 20 sujeitos, em relação a cada uma das 10 variáveis de escala consideradas (estudo 1) (melhor - primeiro lugar; pior - quinto lugar).	133
Figura 7.2 - Eficiência média por tarefa entre dispositivos acompanhada de análise RM-ANOVA e aplicada a correção de Bonferroni para as comparações emparelhadas (estudo 1).	140
Figura 7.3 - Ordenação média da preferência dos 20 sujeitos relativa aos 5 dispositivos, em relação a cada uma das 10 variáveis de escala consideradas (estudo 2) (melhor - primeiro lugar; pior - quinto lugar).	142
Figura 7.4 - Eficiência média por tarefa avaliada por entre os dispositivos com a análise RM-ANOVA e resultados da avaliação para as comparações emparelhadas a correção de Bonferroni (estudo 2).	144
Figura 7.5 - Ordenação média da preferência dos 40 participantes relativa aos 5 dispositivos, em relação a cada uma das 10 variáveis de escala consideradas (estudo 1 e 2 reunidos) (melhor - primeiro lugar; pior - quinto lugar).	146
Figura 7.6 - Gráficos da eficiência média por tarefa, dispositivo e estudo (estudos 1 e 2; $n_1=20$ ; $n_2=20$ ); SD - desvio padrão.	147
Figura 7.7 - Eficiência média por tarefa entre dispositivos (dados agrupados, estudo 1 e 2; $n=40$ ) resultados da análise RM-ANOVA e das comparações emparelhadas com a correção de Bonferroni.	150
Figura 7.8 - Eficiência média por tarefa relativa aos 5 modelos de dispositivo apontador (dados agrupados, estudo 1 e 2; $n=40$ ); as agulhetas representam mais ou menos um desvio padrão.	151
Figura 7.9 - Eficiência em <i>pointing large</i> relacionada com o ângulo característico do dispositivo e a categoria do tamanho da mão (dados agrupados, estudo 1 e 2; $n=40$ ).	152
Figura 7.10 - Eficiência em <i>pointing medium</i> relacionada com o ângulo característico do dispositivo e a categoria do tamanho da mão (dados agrupados, estudo 1 e 2; $n=40$ ).	153
Figura 7.11 - Eficiência em <i>pointing small</i> relacionada com o ângulo característico do dispositivo e a categoria do tamanho da mão (dados agrupados, estudo 1 e 2; $n=40$ ).	153
Figura 7.12 - Médias marginais estimadas do IE obtidas em função dos dispositivos apontadores e segundo cada uma das categorias de tamanho da mão.	157
Figura 7.13 - Representação gráfica do valor médio do Indicador de eficiência (IE), dispositivo a dispositivo (geometrias) com indicação do desvio padrão nas agulhetas.	158
Figura 7.14 - Representação gráfica do Indicador de eficiência (IE), dispositivo a dispositivo (geometrias), e segundo cada uma das categorias e tamanho da mão.	159
Figura 7.15 - Tarefa de <i>Pointing Large</i> (intervalos de confiança a 95% de APDF 10, 50, 90 e dinamismo eletromiográfico Din por categoria de tamanho da mão e para cada um dos 5 dispositivos).	163
Figura 7.16 - Tarefa de <i>Pointing Medium</i> (intervalos de confiança a 95% de APDF 10, 50, 90 e dinamismo eletromiográfico Din por categoria de tamanho da mão e para cada um	164

dos 5 dispositivos).	
Figura 7.17- Tarefa de <i>Pointing Small</i> (intervalos de confiança a 95% de APDF 10, 50, 90 e dinamismo eletromiográfico Din por categoria de tamanho da mão e para cada um dos 5 dispositivos).	165
Figura 7.18 - Tarefa de <i>Dragging Left</i> (intervalos de confiança a 95% de APDF 10, 50, 90 e dinamismo eletromiográfico Din por categoria de tamanho da mão e para cada um dos 5 dispositivos).	166
Figura 7.19 - Tarefa de <i>Dragging Middle</i> (intervalos de confiança a 95% de APDF 10, 50, 90 e dinamismo eletromiográfico Din por categoria de tamanho da mão e para cada um dos 5 dispositivos).	167
Figura 7.20 - Tarefa de <i>Steering</i> (intervalos de confiança a 95% de APDF 10, 50, 90 e dinamismo eletromiográfico Din por categoria de tamanho da mão e para cada um dos 5 dispositivos).	168
Figura 7.21 - Tarefa de <i>Scroll</i> (intervalos de confiança a 95% de APDF 10, 50, 90 e dinamismo eletromiográfico Din por categoria de tamanho da mão e para cada um dos 5 dispositivos).	169
Figura 7.22 - Tarefa de <i>Pointing Large</i> (valores médios e intervalos de confiança a 95% de APDF 10, 50, 90 e dinamismo eletromiográfico Din por dispositivo).	173
Figura 7.23 - Tarefa de <i>Pointing Medium</i> (Valores médios e intervalos de confiança a 95% de APDF 10, 50, 90 e dinamismo eletromiográfico Din por dispositivo).	174
Figura 7.24 - Tarefa de <i>Pointing Small</i> (valores médios e intervalos de confiança a 95% de APDF 10, 50, 90 e dinamismo eletromiográfico Din por dispositivo).	175
Figura 7.25 - Tarefa de <i>Dragging Left</i> (valores médios e intervalos de confiança a 95% de APDF 10, 50, 90 e dinamismo eletromiográfico Din por dispositivo).	176
Figura 7.26 - Tarefa de <i>Dragging Middle</i> (valores médios e intervalos de confiança a 95% de APDF 10, 50, 90 e dinamismo eletromiográfico Din por dispositivo).	177
Figura 7.27 - Tarefa de <i>Steering</i> (valores médios e intervalos de confiança a 95% de APDF 10, 50, 90 e dinamismo eletromiográfico Din por dispositivo).	178
Figura 7.28 - Tarefa de <i>Scroll</i> (valores médios e intervalos de confiança a 95% de APDF 10, 50, 90 e dinamismo eletromiográfico Din por dispositivo).	179
Figura 7.29 - Representação gráfica dos valores extremos do indicador Din (mínimo e máximo) por tarefa.	180



# Lista de Tabelas

Tabela 1.1 - Apresentação das metas por capítulo da tese.	7
Tabela 2.1 - Levantamento dos dedos (em porcentagem) durante a atividade.	25
Tabela 3.1 - Sequência das atividades desenvolvidas no âmbito da investigação (síntese).	39
Tabela 3.2 - Métodos e técnicas de investigação, associados aos objetivos específicos.	43
Tabela 3.3 - População alvo e amostras participantes na investigação.	44
Tabela 4.1 - Adaptado do 'Modelo Operacional do Processo de Design' proposto por Hales (1991), refinado por Lewis e Bonollo (2002) e citado por Coelho (2010).	50
Tabela 4.2 - Síntese de requisitos e recomendações para o desenvolvimento de ratos de computador segundo os normativos aplicáveis da série ISO 9241 ( <i>Ergonomics of human-system interaction</i> ).	54
Tabela 4.3 - Síntese de requisitos, recomendações e informações úteis ao desenvolvimento de ratos de computador sugeridos em diversos estudos científicos aplicáveis.	55
Tabela 4.4 - Especificação para a conceção dos ratos de computador.	57
Tabela 4.5 - Matriz de avaliação com base na especificação (peso atribuído a cada critério entre 1 e 3; pontuação atribuída a cada produto em cada critério entre 1 e 4, o valor 1 corresponde à pior classificação e o valor 4 corresponde à melhor classificação).	61
Tabela 4.6 - Massa dos protótipos ci e ch.	70
Tabela 5.1 - Recomendações para testes de usabilidade.	76
Tabela 5.2 - Avaliação da usabilidade de dispositivos manuais apontadores para computador, em trabalhos de investigação anteriores (compilação não exaustiva, mas tendencialmente abrangente).	77
Tabela 5.3 - Tarefas de <i>pointing</i> de Odell e Johnson (2007).	80
Tabela 5.4 - Tarefas de teste de Houwink <i>et al.</i> (2009).	80
Tabela 5.5 - Parâmetros de avaliação subjetiva de cada dispositivo (escalas de avaliação).	83
Tabela 5.6 - Parâmetros de avaliação subjetiva de classificação relativa entre dispositivos (ordenação preferencial).	84
Tabela 5.7 - Parâmetros de avaliação objetiva da usabilidade (eficácia e eficiência).	84
Tabela 5.8 - Caracterização da amostra participante no estudo 1.	87
Tabela 5.9 - Caracterização da amostra agrupada participante no estudo 1.	88
Tabela 5.10 - Tarefas - estudo 1 (experimentação de laboratório realizada na UBI durante o mês de maio de 2015).	89
Tabela 5.11 - Atividades relacionadas com a colheita dos dados para avaliação da usabilidade - estudo 1.	89

Tabela 5.12 - Caracterização da amostra participante no estudo 2.	90
Tabela 5.13 - Caracterização da amostra agrupada participante no estudo 2.	91
Tabela 5.14 - Tarefas - estudo 2 (experimentação de laboratório realizada no IPG durante o mês de julho de 2015).	92
Tabela 5.15 - Caracterização da amostra participante no estudo 3.	94
Tabela 6.1 - Atividades relacionadas com a colheita dos dados de S-EMG.	118
Tabela 6.2 - Método para registo da contração voluntária máxima dos músculos monitorizados.	120
Tabela 6.3 - Análise da atividade muscular através de comparações tipo, com base no esforço muscular (APDF90) e no dinamismo da atividade muscular (Din), relativos a pares de indicadores resultantes da utilização de um determinado tipo de dispositivo.	124
Tabela 7.1 - Técnicas estatísticas adotadas na análise de dados da avaliação da usabilidade.	131
Tabela 7.2 - Preferências com ordenação média dos dispositivos e determinação dos coeficientes de concordância de Kendall (estudo 1; n=20).	133
Tabela 7.3 - Correlações de Spearman entre o ângulo característico do dispositivo e a perceção relativamente à eficácia, à eficiência, ao esforço, à facilidade global e à satisfação (estudo 1).	134
Tabela 7.4 - Correlações de Pearson entre o ângulo característico do dispositivo e a eficácia e a eficiência alcançadas em tarefas de <i>pointing</i> (estudo 1).	134
Tabela 7.5 - Correlações de Spearman entre a satisfação e a eficiência e a eficácia alcançadas na tarefa de <i>pointing small</i> (estudo 1).	135
Tabela 7.6 - Correlações de Spearman entre a satisfação e os parâmetros de avaliação subjetiva do desconforto, da facilidade e do esforço (estudo 1).	136
Tabela 7.7 - Correlações de Spearman entre as escalas relativas à preferência e as variáveis subjetivas de escala e as variáveis objetivas do mesmo domínio (estudo 1).	137
Tabela 7.8 - Alfa de Cronbach para os instrumentos desenvolvidos para avaliação do desconforto, do esforço e da facilidade de utilização (estudo 1).	138
Tabela 7.9 - Preferências com ordenação média dos dispositivos e determinação dos coeficientes de concordância de Kendall (estudo 2, n=20).	141
Tabela 7.10 - Ordenação média das preferências relativamente aos dispositivos e determinação dos coeficientes de concordância de Kendall (estudos 1 e 2 reunidos; n=40).	145
Tabela 7.11 - Comparação de valores de eficiência por tarefa e dispositivo entre o estudo 1 e o estudo 2 (comparações entre pares de variáveis para amostras independentes).	148
Tabela 7.12 - Diferenças estatisticamente significativas na eficiência média por tarefa com envolvimento das novas geometrias ch e ci obtidas da análise RM-ANOVA e das comparações emparelhadas com a correção de Bonferroni (estudos 1 e 2 reunidos, n=40).	149
Tabela 7.13 - Tempo médio de cada operação relativamente a cada uma das tarefas de teste realizadas com os cinco dispositivos sob investigação, durante o estudo 1.	154
Tabela 7.14 - Número médio de operações registado no estudo de observação	155

naturalista (n=10) e coeficientes de ponderação calculados que integram o indicador de eficiência (IE) para o software considerado.

Tabela 7.15 - Indicador de eficiência das tarefas ponderadas, por dispositivo para o software considerado (valores médios e desvios padrão em percentagem), (valores das eficiências por tarefa obtidos para uma amostra de 40 indivíduos (estudos 1 e 2 reunidos); valores dos tempos por operação elementar obtidos para uma amostra de 10 indivíduos (estudo 3)). 155

Tabela 7.16 - Resultados da análise mista da variância por medidas repetidas (dois grupos), relativa aos indicadores de eficiência (IE) das tarefas ponderadas dos dispositivos e para o software de CAD considerado (n=40). 157

Tabela 7.17 - Técnicas estatísticas e outras adotadas na avaliação da atividade muscular de quatro músculos do antebraço. 160

Tabela 7.18 - Diferenças estatisticamente significativas nos valores médios de APDF10, 50 e 90 e do novo indicador Din, por músculo (APL, ECR, ECU e ED), por tarefa e por dispositivo, com teste U de Mann-Whitney para duas amostras independentes (duas categorias de tamanho da mão). 162

Tabela 7.19 - Efeitos do fator tipo de dispositivo para os músculos APL, ECR, ECU e ED considerando as variáveis eletromiográficas APDF 50 e o novo indicador de dinamismo muscular Din por tarefa, com teste RM-ANOVA. 171

Tabela 7.20 - Gama de valores registados para o parâmetro Din relativo à dinâmica de atividade muscular por tarefa (músculos APL, ECR, ECU e ED agrupados). 180

Tabela 8.1 - Objetivos (de nível 2) selecionados e respetivo grau de satisfação, tendo em conta as lacunas detetadas no conhecimento disponível e as contribuições alcançadas. 185





# Lista de Acrónimos

APB	<i>Abductor Pollicis Brevis</i>
APDF	<i>Amplitude Probability Distribution Function</i>
APL	<i>Abductor Pollicis Longus</i>
Din	Dinamismo da atividade muscular
dpi	<i>Dots per inch</i>
ECR	<i>Extensor Carpis Radialis</i>
ECU	<i>Extensor Carpis Ulnaris</i>
ED	<i>Extensor Digitorum</i>
EMG	Eletromiografia
dpi	<i>Dots per inch</i>
HCI	<i>Human-Computer Interaction</i>
IE	Indicador de eficiência das tarefas ponderadas
IPG	Instituto Politécnico da Guarda
LME	Lesões Músculo-Esqueléticas
MVC	<i>Maximum Voluntary Contraction</i>
S-EMG	<i>Surface Electromyography</i>
UBI	Universidade da Beira Interior



# Cap.1

## Introdução

1.1 Tema da investigação

1.2 Propósito a alcançar

1.3 Estrutura da tese

## 1.1 Tema da investigação

Os trabalhos de preparação da presente tese iniciaram-se com uma revisão bibliográfica prévia na procura de temáticas na área da ergonomia, pretendendo-se com esta ir ao encontro da principal linha de investigação. Apesar do maior interesse ter recaído sobre as ferramentas de uso manual não foi, nesta fase embrionária, encontrado um caminho claro para a prossecução dos estudos; contudo, este trabalho contribuiu para encontrar o tema procurado. O interesse da investigação veio assim a recair sobre a problemática do uso intensivo de uma categoria especial de ferramenta manual praticamente indispensável em grande parte das tarefas realizadas com aplicações informáticas, principalmente no desenho e, ou, projeto assistido por computador: os dispositivos apontadores. Por outro lado, diversos estudos apontam a utilização dos computadores como causadora de um leque de queixas relativamente à região do pescoço e às extremidades dos membros superiores, especialmente as lesões músculo-esqueléticas do antebraço e da mão associadas ao uso intensivo do ‘PC mouse’ (Conlon, Krause & Rempel, 2009).

Embora se assista a uma crescente utilização de equipamentos informáticos do tipo “*touch screen tablet*”, incluindo para fins profissionais com necessidades de portabilidade, a utilização destes equipamentos comporta ainda uma série de problemas ergonómicos para os seus utilizadores, principalmente quando o seu uso é intensivo. A disposição mais adequada do visor compromete a adoção por parte do utilizador de uma postura menos danosa dos antebraços e das mãos; o contrário também se aplica. Se o utilizador colocar o dispositivo de modo a manusear o mesmo ao nível dos seus cotovelos, impede a satisfação dos requisitos de conforto e saúde aplicáveis à visão, implicando sobretudo a flexão pronunciada do pescoço. Na prática, a atividade com dispositivos do tipo *touch screen* impossibilita que o seu utilizador adote uma postura neutra simultaneamente no que diz respeito à região cervical da coluna vertebral e aos antebraços. A sua utilização intensiva pode aumentar o risco de desenvolver lesões músculo-esqueléticas (Camilleri, Malige, Fujimoto & Rempel, 2013), pelo que também se investigam métodos e, ou, soluções de projeto para melhorar esta condição.

Por outro lado, o dispositivo apontador mais tradicional (vulgo *PC mouse* ou rato de computador) tem sido alvo de numerosas investigações. Também têm sido conduzidas investigações que comparam diversos tipos destes dispositivos, incluindo dispositivos do tipo *trackpoint*, *track-ball*, *touch pad*, *touch screen*, *joystick*, etc.; evidenciando vantagens e desvantagens na utilização de uns em relação aos outros (Kluth & Keller, 2014), (Lai & Yang, 2012). A tipologia do trabalho a realizar pode também influenciar o modo como estes dispositivos são utilizados e a amplitude do risco que essa utilização representa relativamente ao desenvolvimento das lesões músculo-esqueléticas enunciadas. Enquanto em algumas tarefas, como a introdução de dados, pode ocorrer maior utilização do teclado face ao *PC mouse*, a realização de tarefas de desenho e, ou, projeto assistido por computador (CAD)

pode implicar o contrário, levando à preponderância do segundo, tal como demonstraram Cail e Aptel (2003). Estes investigadores, num estudo que envolveu 30 sujeitos operadores de CAD do sexo masculino e 26 participantes do sexo feminino, que apenas executaram entrada de dados, concluíram que em operações de CAD a utilização do *PC mouse* ocorreu em 81% do tempo face à utilização do teclado que ocorreu durante apenas 10% do tempo. Já no grupo que realizou apenas tarefas de entrada de dados o teclado foi usado 62% do tempo contra 12% (*PC mouse*). Efetivamente, no trabalho com CAD é comum o operador permanecer com a mão colocada no dispositivo apontador, o que vem reforçar a necessidade da continuidade da investigação nesta área. Vários investigadores indicam que apoiar adequadamente a palma da mão durante a utilização destes dispositivos é fundamental para prevenir lesões (Oneyebeke, Young, Trudeau & Dennerlein, 2013). A revisão bibliográfica revelou assim a necessidade atual de melhorar estes dispositivos.

Neste contexto, pretende-se proceder a um estudo ergonómico comparativo entre geometrias distintas de dispositivos apontadores para computador e desenvolver novas geometrias, integrando-as nesse mesmo estudo, procurando satisfazer e validar premissas de carácter ergonómico e de desempenho. Pretende-se assim constituir uma alternativa válida aos modelos mais disseminados e comuns (que acabam por determinar o paradigma do rato de computador. Estes fatores (geometria, eficiência e saúde) revelam-se de indispensável consideração dada a extensão do uso dos dispositivos previsto (e prescrito) para os operadores de CAD. A presente investigação compara também diversos modelos disponíveis no mercado, desde o *PC mouse* mais convencional, para ambidextros, até à geometria vertical (específica para canhotos ou destros), passando por geometrias intermédias. Para todos os modelos sob investigação avalia-se a usabilidade, tendo por base parâmetros subjetivos, a partir de inquéritos realizados aos participantes (tal como realizado, por exemplo, por Kumar & Kumar, 2008) bem como parâmetros objetivos, a partir de registos automáticos de tempos, falhas e desvios na realização de tarefas padronizadas, tendo como referências Odell e Johnson (2007), Fiorentino, Uva, Dellisanti e Monno (2010), entre outros. Monitoriza-se, cumulativamente, a atividade biomecânica da mão e do antebraço recorrendo à eletromiografia de superfície (S-EMG), aplicada a vários músculos do antebraço (Houwink, Hengel, Odell & Dennerlein, 2009), (Chen, Lee, Cheng, 2012), (Lin, Young & Dennerlein, 2015) entre outros. Estando inicialmente prevista também a monitorização da atividade muscular específica, desenvolvida pelos participantes durante a realização dos testes aos dispositivos, através da termografia por infravermelhos (Govindu, Babski-Reeves 2012) contudo, não foi realizada esta ação remetendo-se a mesma para trabalhos futuros.

## 1.2 Propósito a alcançar

Pretende-se com esta tese, de um modo geral, contribuir para o aumento do conhecimento relativamente à problemática relacionada com a utilização dos dispositivos apontadores para computador e, de um modo particular, fornecer novos artefactos (dispositivos, ferramentas de análise, indicadores) que possam também ser de utilidade para os profissionais de CAD, ajudando-os numa escolha mais informada. Estabeleceu-se o intento de proceder a experimentação de laboratório com participantes praticantes e não praticantes de CAD e de testar geometrias alternativas ao *PC mouse* convencional, que promovam a redução da pronação do antebraço, abrangendo uma amplitude angular desde 0° de pronação até 90° de pronação. Intenta-se assim desenvolver, com base na informação técnica e científica disponível, novas geometrias de dispositivos manuais apontadores, alternativas, que promovam melhores posturas do membro superior, dos seus utilizadores, e submeter os protótipos funcionais das geometrias desenvolvidas à análise comparativa num grupo alargado de dispositivos sob teste.

Esta investigação tem como mira comparar o dispositivo apontador horizontal (tradicional) com dispositivos de geometria vertical ou providos de ângulo de inclinação característico, em termos de usabilidade e de atividade muscular no antebraço. O processo de investigação preconizado relativamente à avaliação destes dispositivos tem por base a operacionalização de instrumentos pesquisáveis e detetáveis por revisão bibliográfica; contudo, almeja-se também ir ao encontro da proposta de novos processos ou métodos de análise para avançar o estado da arte da avaliação da usabilidade e, ou, da atividade muscular no âmbito da utilização dos dispositivos manuais apontadores para computador.

Para o processo de desenvolvimento de duas novas geometrias de dispositivos apontadores tomou-se como desígnio conduzi-lo segundo uma abordagem sistemática e centrada no utilizador, incorporando recomendações emanadas da bibliografia especializada. Como meta para uma das novas geometrias intenta-se promover o apoio palmar adequado, uma postura neutra a adotar pelos indivíduos no suporte estático da mão direita e ainda potenciar o controlo manual de preensão preciso e sem esforço. Procura-se ainda aumentar a eficiência, por aproximação dos dedos polegar, indicador e médio durante a utilização do dispositivo preconizado com as características enunciadas. Fita-se para este novo modelo uma geometria aproximadamente cónica e inclinação lateral a rondar 45° (meia pronação do antebraço). Com a outra nova geometria tenciona-se igualmente facilitar o apoio palmar, a adoção de uma postura neutra para o suporte estático da mão direita e o controlo manual de preensão preciso; contudo, adotando um arquétipo de forma menos radical que o anterior. Propõe-se uma geometria em forma de concha (sensivelmente), com apoio para o dedo polegar, e uma inclinação lateral a rondar 30°. Estes novos modelos destinam-se a ser objeto de teste juntamente com outros dispositivos comerciais e em particular com dispositivos vendidos com

a chancela de 'ergonómicos'. Os testes comparativos alicerçam-se em tarefas padronizadas com o propósito de alcançar a replicabilidade na avaliação da usabilidade e da atividade muscular específica.

### 1.3 Estrutura da tese

O presente documento descreve um estudo multifacetado relativamente à conceção e à avaliação ergonómica de um conjunto de dispositivos apontadores para computador diferenciados geometricamente, mas recorrendo à mesma solução tecnológica (posicionamento através de leitura ótica e comunicação por fios com resolução fixa ou selecionada para cerca de 1000 dpi (*dots per inch*)). Este trabalho versa sobre a interação pessoa - ferramenta em termos de usabilidade e eletromiografia de superfície, comportando diversos testes realizados por 50 indivíduos. O estudo ora relatado contempla a avaliação subjetiva, no que toca a várias preferências, como a relativa ao desconforto, a título de exemplo, e a avaliação objetiva através dos parâmetros da eficácia e da eficiência e por via da monitorização da atividade muscular de quatro músculos do antebraço. A Tabela 1.1 apresenta as metas traçadas para cada um dos capítulos cuja breve descrição dos seus conteúdos se apresenta a seguir.

Cap. 1 - No primeiro capítulo apresenta-se o tema de investigação, definem-se os propósitos a alcançar e apresenta-se a estrutura da tese.

Cap. 2 - No segundo capítulo procede-se ao enquadramento multidisciplinar da tese, apresenta-se os múltiplos domínios de conhecimento relevantes para a tese, e em particular, as áreas do conhecimento para as quais a tese contribui. Não obstante, alguns aspetos mais específicos da revisão bibliográfica encontram-se vertidos no início dos capítulos 4, 5 e 6 de modo a criar um fio condutor entre a informação emanada da bibliografia e o desenvolvimento projetual e experimental associado a essa mesma informação. São abordados os subtemas de desenvolvimento do produto, da usabilidade e da eletromiografia.

Cap. 3 - O terceiro capítulo descreve a metodologia, contemplando aspetos da filosofia de investigação adotada. Posiciona a abordagem operacionalizada no estudo realizado relativamente às teorias metodológicas de investigação. Apresenta os objetivos de um modo estruturado e hierarquizado.

Cap. 4 - O quarto capítulo trata do desenvolvimento do produto, descreve o método seguido na conceção de dois dispositivos apontadores para computador, desde a ideia que surge com a tentativa de solucionar um problema até aos protótipos funcionais utilizados no âmbito da experimentação ergonómica visada por esta investigação.



Cap. 5 - O capítulo intermédio da tese refere-se à experimentação de laboratório relativa à avaliação da usabilidade de cinco dispositivos apontadores para computador. Quatro destes são caracterizados por apresentarem geometrias alternativas face ao *PC mouse* convencional. Entre os cinco dispositivos incluem-se os dois protótipos desenvolvidos no âmbito desta tese e dois dispositivos vendidos sob as chancelas de ergonómicos e de redutores da pronação do antebraço. Participaram nesta fase da componente experimental 50 indivíduos que realizaram uma série de tarefas padronizadas com cada um dos dispositivos em duas fases distintas. Na primeira fase, ao contrário da segunda, os 20 participantes não foram submetidos concomitantemente à monitorização da atividade muscular específica por eletromiografia de superfície a partir de sensores colocados no seu antebraço. Foi desenvolvida uma aplicação informática para implementar as tarefas e registar os dados necessários ao cálculo da eficiência e da eficácia. Foi criado um novo instrumento de avaliação do desempenho para aplicação no campo do CAD. O novo instrumento de avaliação do desempenho para ratos de computador (IE) foi implementado tendo por base um software de CAD específico através de uma experimentação de campo que envolveu uma nova amostra composta por 10 participantes.

Cap. 6 - A componente experimental relacionada com as medições eletromiográficas no âmbito da utilização deste tipo de ferramentas é abordada nesta secção. Apresenta-se aqui o método de eletromiografia de superfície aplicado ao estudo da problemática da utilização destes dispositivos apontadores. Esta apresentação engloba desde os conceitos de eletromiografia subjacentes a este estudo, à seleção dos quatro músculos do antebraço cuja atividade foi monitorizada, incluindo os equipamentos e os procedimentos envolvidos, bem como os parâmetros medidos. Foi criado, apresentado e aplicado um novo instrumento de avaliação complementar de atividade muscular relacionado com a eletromiografia e com a dinâmica muscular (Din).

Cap. 7 - Neste capítulo apresenta-se a informação relacionada com o tratamento estatístico dos dados recolhidos no decurso dos ensaios, procede-se à apresentação dos resultados, maioritariamente em modo gráfico, e à sua análise.

Cap. 8 - Procede-se à discussão dos resultados obtidos e avalia-se de uma forma abrangente o grau de satisfação dos objetivos alcançado pela investigação desenvolvida. Os resultados da análise dos dados mais relevantes comparam-se com os diversos objetivos específicos enquadrando os resultados obtidos no âmbito de bibliografia relevante, realçando ainda os contributos alcançados para o alargamento do conhecimento científico no âmbito dos dispositivos apontadores para computador e da sua utilização.

Cap. 9 - No último capítulo apresenta-se a conclusão relativa à presente investigação e formula-se de modo sintético respostas para as perguntas de investigação. Ponderam-se ainda as limitações que lhe estão subjacentes. São ainda indicados caminhos para trabalhos futuros.

Tabela 1.1 - Apresentação das metas por capítulo da tese

Capítulo	Meta
1. Introdução	Apresentar a estrutura e os propósitos da tese
2. Enquadramento multidisciplinar da tese	Rever o estado da arte e validar as premissas que estão na génese da tese
3. Metodologia geral da tese	Posicionar relativamente às teorias metodológicas de investigação a abordagem operacionalizada na tese e hierarquizar e relacionar entre si a estrutura dos objetivos a alcançar
4. Desenvolvimento de dispositivos manuais apontadores para computador	Proceder ao desenvolvimento de dois novos dispositivos inovadores, através de uma abordagem sistemática e centrada no utilizador, incorporando recomendações emanadas da bibliografia especializada
5. Usabilidade dos dispositivos manuais apontadores para computador	Avaliação subjetiva e objetiva da usabilidade (com recurso a escalas de avaliação e registo de dados por software especialmente desenvolvido)
6. Eletromiografia de superfície para caracterização da atividade muscular do antebraço	Testar as duas novas geometrias desenvolvidas juntamente com dispositivos comerciais vendidos com a chancela de ergonómicos, com o envolvimento de praticantes e não praticantes de CAD Avaliação da atividade muscular do antebraço por forma a aferir o desempenho dos dispositivos em utilização (recorrendo a eletromiografia de superfície)
7. Análise de resultados	Apresentar os resultados de modo gráfico e apoiar a sua interpretação, recorrendo ainda à análise estatística
8. Discussão	Face aos resultados alcançados avaliar a satisfação dos objetivos específicos e enquadrá-los no âmbito da bibliografia, realçando os contributos alcançados.
9. Conclusão	Apresentar de uma forma abrangente o nível de sucesso alcançado pela investigação desenvolvida, dando resposta às perguntas de investigação, descrevendo as limitações que lhe estão subjacentes e indicando caminhos para trabalhos futuros.

## Cap. 2

# Enquadramento multidisciplinar da tese

2.1 Contextualização

2.2 Desenvolvimento do produto

2.2.1 Abordagem ao desenvolvimento de dispositivos manuais apontadores para computador

2.2.2 Metodologia no desenvolvimento de dispositivos manuais apontadores para computador

2.3 Usabilidade no contexto da avaliação de dispositivos manuais apontadores para computador

2.4 Eletromiografia no contexto da avaliação de dispositivos manuais apontadores para computador

2.5 Avaliação ergonómica de dispositivos manuais apontadores para computador

Objetivo:

- Apresentar os múltiplos domínios de conhecimento relevantes para a tese (apresentar as áreas do conhecimento para as quais a tese contribui)

Neste capítulo apresenta-se o estado da arte relativamente à problemática associada à utilização dos dispositivos manuais apontadores para computador. Devido à especificidade das temáticas, envolvendo o desenvolvimento do produto, a avaliação da usabilidade do produto em serviço e a monitorização e avaliação da atividade muscular específica do utilizador, no presente capítulo procede-se à apresentação destes temas com vista ao enquadramento da investigação conduzida. Todavia, procura-se aprofundar o estado da arte em cada um dos temas referidos, inserindo informação mais específica, e em alguns casos sistematizada, nos respetivos capítulos, 4, 5 e 6, por forma a relacionar melhor as ações desencadeadas diretamente com essa mesma informação usada para as moldar e que as caracteriza.

## 2.1 Contextualização

O uso intensivo do computador tem sido apontado como uma das causas no desenvolvimento da dor no pescoço e nos membros superiores, especialmente na mão e no antebraço (dor músculo-esquelética associada à utilização intensiva do *PC mouse* ou rato de computador) (Conlon *et al.* 2009). Também, a prática recente e crescente de utilização de ecrãs táteis, relativamente aos quais a interação do utilizador com o sistema é realizada por toque (por exemplo, *Tablet PCs*), tem sido submetida a estudos com resultados que mostram que o risco de desenvolver sintomas músculo-esqueléticos permanece quando aqueles são intensamente utilizados durante um longo período de tempo. De acordo com alguns estudos (Young, Trudeau, Odell, Marinelli & Dennerlein, 2013), os utilizadores de equipamentos com ecrã de toque estão expostos, especialmente durante a realização de tarefas que requerem o uso do teclado virtual, a posturas extremas do punho que podem ser mais gravosas do que as assumidas aquando da utilização de outras formas da tecnologia de computação. Existem diversas recomendações que sugerem que, na utilização destes ecrãs táteis, o topo dos ecrãs convencionais deve ser colocado sensivelmente abaixo do nível do olho, aproximadamente entre 50 a 70 cm de afastamento dos olhos, de forma a reduzir concomitantemente as cargas posturais no pescoço e a tensão visual (Villanueva *et al.* 1997; Bauer & Wittig 1998; Seghers, Jochem & Spaepen 2003; citados por Camilleri *et al.*, 2013). Deste modo, a interação direta com os ecrãs táteis requer que as mãos se coloquem bem acima da altura dos cotovelos quando o utilizador permanece sentado (Camilleri *et al.*, 2013), sendo a altura do cotovelo a localização recomendada para a utilização do teclado ou rato. Por outro lado, as posições de visualização mais baixas e os alvos mais estreitos tendem a promover o aumento concomitante da flexão e do carregamento do pescoço (Schultz, Batten, e Sluchak, 1998). Considera-se assim existir, aquando da utilização do ecrã tátil, uma troca de parte a parte do foro biomecânico que tem lugar entre os ecrãs menores e mais próximos do utilizador, que levam à diminuição dos esforços no ombro, mas promovem o aumento da flexão do pescoço, enquanto os equipamentos maiores e mais afastados do indivíduo, promovem uma menor

flexão do pescoço, mas levam ao aumento do esforço exercido no ombro. Devido a esta problemática têm sido ensaiados alguns métodos na tentativa de minorar os riscos de desenvolvimento de sintomas músculo-esqueléticos em resultado da utilização destes equipamentos, através por exemplo da tecnologia de rejeição da palma da mão (*palm rejection technology* - Camilleri *et al.*, 2013) resultando, contudo, na manutenção da dificuldade continuada em reduzir a carga sobre o ombro.

Por seu turno, os dispositivos apontadores (separados do ecrã) são ainda muito utilizados, pelo que continuam a ser alvo de investigação na procura de soluções que minorizem o risco de dano para a saúde dos seus utilizadores. A síndrome do túnel cárpico (STC ou CTS - *carpal tunnel syndrome*) é um dos tipos de lesões músculo-esqueléticas (LME) por vezes referido como sendo causado ou potenciado pela utilização dos dispositivos apontadores convencionais. Um estudo realizado por Keir, Bach e Rempel (1999) permitiu concluir que é possível que o uso continuado e de longa duração do rato possa expor alguns indivíduos a níveis de compressão do túnel cárpico podendo despoletar efeitos patológicos que conduzem à síndrome do canal cárpico. Neste âmbito, Conlon *et al.* (2009) levaram a cabo um estudo envolvendo mais de duas centenas de participantes que testaram o dispositivo convencional e um dispositivo alternativo (Fig. 2.1) com e sem apoio do antebraço, tendo monitorizado o nervo mediano e o nervo cubital do punho direito. Estes investigadores concluíram que a utilização daquele dispositivo alternativo, face ao convencional, pode ter um efeito protetor na função do nervo cubital do punho. Contudo, como não foi demonstrado existir qualquer benefício relativamente ao nervo mediano (relacionado com o CTS), admitindo ser este o mais afetado por esta prática de utilização, os investigadores concluíram que para os utilizadores do rato de computador o efeito protetor alcançado pode ser um benefício menor. Diversos outros estudos (referidos adiante) comparam o rato tradicional com distintos dispositivos apontadores, como os dos tipos *trackpoint* e *trackball*, do tipo *touch pad* (ecrã táctil) e *Joystick*, mostrando as suas vantagens e desvantagens. Estes estudos revelam também que o rato tradicional é o dispositivo que apresenta, comparativamente, melhores resultados de precisão em tarefas de apontar e, ou, selecionar (Higgins, Willems, Johnson, & Zingale, 2012). As geometrias completamente verticais (promovendo a neutralidade de pronação e, ou, de supinação) e as geometrias redutoras da pronação também têm sido alvo de estudos comparativos. Neste âmbito, Odell e Johnson (2007) encetaram um estudo medindo o desempenho em tarefas de apontar e, ou, selecionar, o conforto subjetivo e os desvios angulares do punho direito (não tendo recorrido a eletromiografia). Estes concluíram que o principal objetivo de reduzir a pronação do antebraço, bem como a redução dos desvios do punho, é alcançado com estes modelos, sendo bem aceites em termos do conforto (todavia, não tendo sido registada a carga muscular, entre outras, considera-se que o estudo enferma de limitações).



3M Wired Ergonomic Mouse

Figura 2.1 - Modelo alternativo de Conlon *et al.* 2009 (Fonte: adaptada de Conlon *et al.* 2009. Direitos de autor datados de 2007 e detidos pela editora BMJ. Reproduzida com permissão).

A grande maioria dos estudos encontrados neste domínio envolve a monitorização da atividade muscular de vários músculos através de eletromiografia de superfície, todavia, e devido a vários constrangimentos do processo, os dados obtidos conduzem muitas vezes a resultados pouco robustos (Kluth & Keller 2014). Após uma revisão da bibliografia relativamente ao tema da presente tese (apresentada nas secções seguintes deste capítulo), constata-se que poderá ainda existir muito caminho para percorrer, pelo que o presente trabalho procura complementar alguns trabalhos anteriores e explorar conceitos e métodos contribuindo para o progresso da ciência neste domínio.

## 2.2 Desenvolvimento do produto

### 2.2.1 Abordagem ao desenvolvimento de dispositivos manuais apontadores para computador

Contata-se que a informação disponível na bibliografia científica relacionada com o processo de desenvolvimento de um dispositivo manual apontador de computador não indica um caminho bem delineado a seguir. Para além disso, enquanto os utilizadores comuns de postos de trabalho informatizados executam tarefas que podem alternar entre o uso do teclado e do dispositivo apontador, tal como durante a introdução de dados, por exemplo, os utilizadores de CAD usam este tipo de dispositivo de forma contínua, o que poderá tornar ainda mais complexa a atividade de desenvolvimento do produto proposta. Por estes motivos, a revisão da bibliografia resultou na necessidade de continuar a desenvolver e, ou, melhorar dispositivos apontadores de computador com base numa ampla gama de informações de natureza ergonómica, procurando melhorar o seu desempenho e reduzir o risco de lesões músculo-esqueléticas, proporcionando ainda características úteis para a utilização prevista no domínio do CAD.

Algum apoio para o desenvolvimento deste tipo de dispositivos pode advir das normas disponíveis no âmbito dos requisitos ergonômicos para os locais de trabalho com equipamentos dotados de visor. A norma ISO 9241-9:2000 (*Ergonomic requirements for office work with visual display terminals - part 9: Requirements for non-keyboard input devices*) define carga biomecânica como o efeito da postura de trabalho e o esforço no sistema músculo-esquelético, sendo que qualquer destes dispositivos deverá minorar a carga biomecânica sobre o utilizador. A mesma norma apresenta também diversos requisitos e recomendações relativamente ao design deste tipo de equipamentos, tais como considerações relativas à forma dos botões e à força necessária para o seu acionamento (0,5 N a 1,5 N), ou a recomendação de prover apoio palmar. Contudo, também apresenta informações ambíguas não especificadas claramente, como por exemplo “devem apresentar superfícies de aderência de tamanho suficiente...”. Por seu turno, a norma ISO 9241-400:2007 (*Ergonomics of human-system interaction - part 400: Principles and requirements for physical input devices*) fornece algumas informações sobre anatomia e fisiologia, de extrema relevância para o presente estudo. As Figuras 2.2 e 2.3 ilustram as posturas consideradas neutras, para a mão (e para o punho), para o antebraço e para o braço. A posição neutra considera-se na amplitude 0° e corresponde à posição das articulações que um indivíduo saudável deve assumir numa postura ereta do tronco, com os braços a pender de ambos os lados, com os polegares direcionados para a frente, com os pés paralelos entre si e com a cabeça e os olhos ‘apontados’ para a frente.

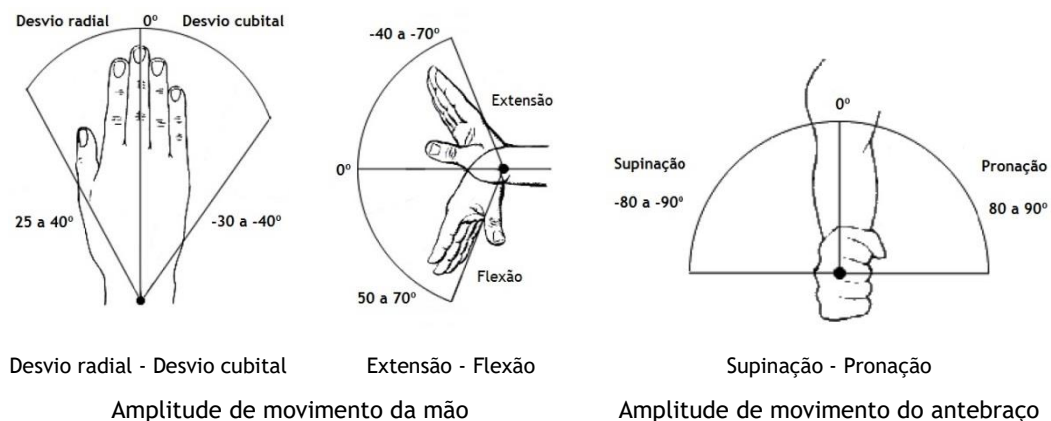


Figura 2.2 - Posturas neutras da mão e do antebraço, de acordo com a norma ISO 9241-400:2007 (Fonte: figuras adaptadas de Keller Chandra *et al.*, 2008; (BGIA-Report 3/2008). Direitos de autor detidos por Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung. Reproduzida com permissão).

Crê-se que hoje em dia, os utilizadores do *PC mouse* que por motivos profissionais têm de recorrer ao seu uso de modo contínuo mostram-se conscientes relativamente à necessidade de prevenção das LME. Da experiência do autor, constata-se que muitos utilizadores sabem



que durante o trabalho com o rato devem evitar colocar a mão em desvio cubital ou em extensão (Fig. 2.2), mas quanto às restantes posturas relativas ao antebraço e ao braço, o desconhecimento é mais geral (Fig. 2.2 e 2.3).

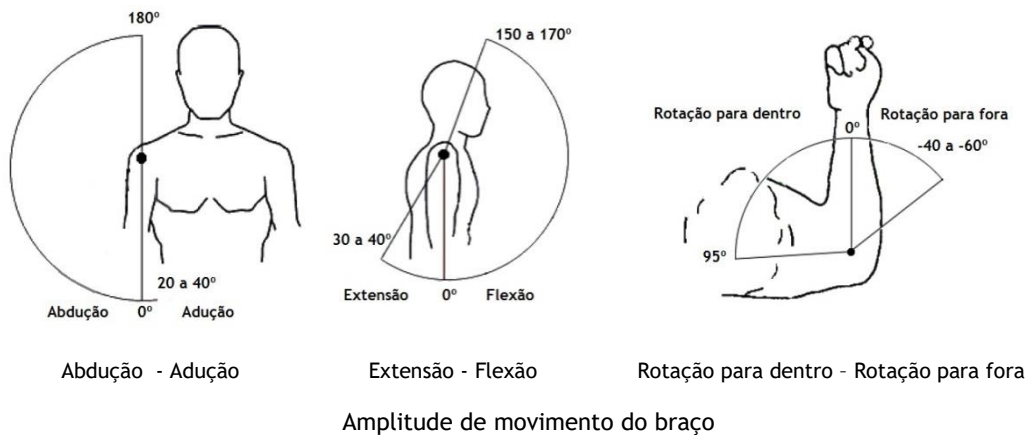


Figura 2.3 - Posturas neutras do braço, de acordo com a norma ISO 9241-400:2007 (Fonte: figuras adaptadas de Keller Chandra *et al.*, 2008; (BGIA-Report 3/2008). Direitos de autor detidos por Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung. Reproduzida com permissão).

A norma ISO 9241-410:2008+A1:2012 (*Ergonomics of human-system interaction - part 410: Design criteria for physical input devices*), mais recente que as anteriormente citadas, indica genericamente que os dispositivos manuais apontadores para computador devem ser operados sem desvios relativamente à postura neutra do seu utilizador e sem esforços excessivos. Esta norma remete ainda para o seu anexo C informações mais detalhadas, tais como as propriedades mecânicas do dispositivo que assumem no âmbito deste trabalho um papel fundamental. Esta mesma norma indica não existir (à data da sua elaboração) conhecimento conclusivo sobre a compatibilidade do rato de computador no que respeita às dimensões antropométricas da população de utilizadores a que se destina, devendo, no entanto, o seu design levar em consideração a adoção de posturas neutras para os dedos e para o punho bem como a minimização da carga de trabalho estática. Chama esta também a atenção para a dificuldade e a complexidade de projetar uma geometria de acordo com todas as dimensões relativas à mão, justificando assim a ausência na sua redação de requisitos específicos para este efeito. Indica ainda que o design deve assegurar que não seja requerido mais do que 1% da força de contração máxima dos músculos envolvidos, referindo-se aos dedos que atuam os botões e ao polegar para a movimentação do dispositivo. De acordo com as conclusões de Johnson, Hagberg, Hjelm e Rempel (2000) premir os botões do rato requer apenas cerca de 0,5 N; ainda assim esta ação é muitas vezes repetitiva o que, *per se*, já é problemático; contudo, relativamente ao estipulado na norma anterior parece haver uma discrepância em relação a este estudo, que revelou para o músculo extensor dos dedos (*Extensor Digitorum ou Extensor Digitorum Communis*), valores entre 3 e 17% da contração voluntária máxima.

Tratando-se de um problema real e atual, têm vindo a ser desenvolvidas geometrias alternativas ao rato de computador tradicional com o objetivo de reduzir a carga biomecânica dos seus utilizadores. Um estudo clínico conduzido por Aaras, Dainoff e Thoresen (2001), durante 6 meses, envolvendo 67 participantes que apresentavam queixas relacionadas com a utilização desta ferramenta, permitiu concluir que após a substituição do modelo convencional por um modelo alternativo (idêntico a um joystick) a dor no pescoço, no ombro, no antebraço, na mão e no punho, tinham diminuído significativamente tanto em intensidade como em frequência. Contudo, o dispositivo convencional suplantou o alternativo em termos da velocidade e da taxa de erros, tendo o dispositivo alternativo alcançado uma taxa de erros cerca de 2,5% superior. De modo a minimizar o risco de LME, os dispositivos apontadores devem ser providos de características que minimizem a adoção de posturas extremas, tais como a extensão do punho, o desvio radial e, ou, cubital ou a pronação do antebraço. A realização de tarefas que requerem um elevado grau de precisão deve ser facilitada sem envolver músculos da parte superior do braço e do ombro, utilizando um apoio para o antebraço; por esta requerer tensão estática nos músculos extensores deve-se evitar condicionamentos de forma que levem à necessidade de clicar com os dedos estendidos, os movimentos devem basear-se em habilidades já apreendidas e o uso dos dispositivos deve ser intuitivo segundo Ullman, Kangas, Ullman, Wartenberg e Ericson (2003). Estes autores propõem uma geometria que se assemelha a uma caneta ou marcador. Outras geometrias alternativas que foram investigadas quanto à postura e à atividade muscular por comparação com o rato de computador convencional tendem a ser maiores, mais adaptadas aos contornos da mão e facilitando a preensão, podendo até reduzir a pronação do antebraço (Smith, Edmiston & Cronin, 1997; Keir, Bach & Rempel, 1999). A Figura 2.4 mostra 3 modelos alternativos (um em comum) relativos a estes estudos. Para além da forma, o arranjo e a direção de controlo dos botões também influencia a postura e a movimentação dos dedos, relacionando-se com a atividade muscular (Pekelney e Chu, 1995; Lee, Fleisher, McLoone, Kotani & Dennerlein 2007).

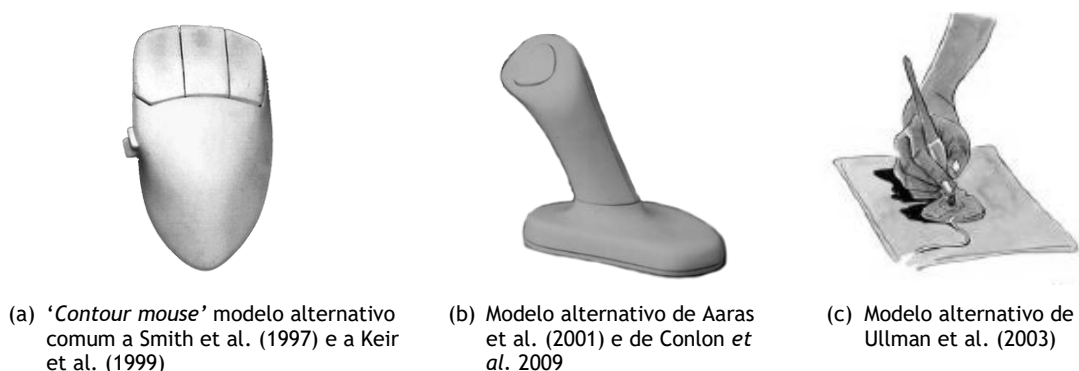


Figura 2.4- Modelos alternativos estudados por Smith et al. (1997), por Keir et al. (1999), por Aaras et al. (2001) e por Ulman et al. (2003) (Fontes adaptadas dos respetivos artigos, sendo a figura em (c) de Keller Chandra *et al.*, 2008; (BGIA-Report 3/2008). Direitos de autor detidos por Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e Michael Hüter, Bochum. Reproduzida com permissão).

De toda a bibliografia consultada não resulta diretamente para o dispositivo apontador uma geometria paradigmática preferencial e, portanto, recomendada, o mesmo sucedendo no que se aplica relativamente à questão dos botões. As argumentações relativamente aos diversos modelos ergonómicos que têm vindo a ser propostos indicam vantagens e desvantagens específicas que devem ser ponderadas caso a caso.

## **2.2.2 Metodologia no desenvolvimento de dispositivos manuais apontadores para computador**

O desenvolvimento de um produto desta natureza, tratando-se de uma ferramenta manual que se pretende eficiente, segura e de uso confortável, reveste-se ainda de outras particularidades que ultrapassam determinados conceitos presentes nas metodologias do *engineering design*. Nestas metodologias o objetivo principal é aparentemente a satisfação dos requisitos de funcionalidade (Pahl & Beitz, 1996), dedicando-se apenas uma atenção marginal ao utilizador, ficando este muito longe de ser o centro do processo. Devendo promover-se um papel mais ativo da ergonomia neste domínio, o projeto deverá adotar certos princípios que tanto podem ser aplicados na fase de avaliação como servir de orientação no desenvolvimento de novos produtos, não descurando a sua inserção ocupacional, se for caso disso, conceitos estes defendidos numa ótica de *Universal Design* (Null, 1993). Estes princípios referem-se ao seu uso, que deverá ser equitativo, flexível, simples e intuitivo, devendo o produto ser dotado de informações perceptíveis, apresentar tolerância ao erro e não requerer mais do que um pequeno esforço físico da parte do seu utilizador, tendo ainda em consideração o tamanho do produto e o espaço necessário à sua utilização adequada (Story, 2011; Mueller, 1996). Para melhorar a usabilidade dos produtos, Jordan (1998) propõe requisitos de ordem física, mas também de ordem cognitiva, defendendo que as características físicas a incluir no produto não deverão contrastar demasiado com os estereótipos previamente estabelecidos, podendo, no caso contrário, provocar erros e inadaptabilidade. Coelho (2010) apresenta um método de desenvolvimento do produto “*User Centering Systematic Product Development*”, em linha com o modelo operacional proposto por Lewis e Bonollo (2002) e Hales (1991), composto por cinco subprocessos, começando pela clarificação da tarefa, seguindo-se a geração de conceitos que poderão dar resposta ao problema, a avaliação e o refinamento de modo a reduzir e a concentrar as propostas apenas em uma ou duas candidatas selecionadas para solução (nesta fase poderão existir maquetas que serão transformadas no sentido desse refinamento, embora não tenham que ser completamente funcionais já nesta fase). Segue-se um conjunto de operações de pormenorização da proposta ou modelo favorito detendo já informações precisas de diversa natureza, incluindo as dimensões, os materiais e o acabamento. Finalmente procede-se à

comunicação dos resultados, podendo existir um protótipo à escala real completamente funcional. O fluxo de informação pode ocorrer entre os diversos passos com possibilidade de regresso a passos anteriores a partir de fases a jusante.

Quanto aos modelos e aos protótipos, a obra de Shimizu, Kojima, Tano e Matsuda (1991) apresenta informação muito completa sobre variadíssimas técnicas de realização de modelos físicos com recurso a um vasco leque de materiais, sendo uma referência fundamental para a modelagem de *clay*. Trata-se de um material composto com cera (10 a 60%) e óleo (10 a 60%), podendo também conter algum enxofre na sua composição, apresentando uma massa volúmica entre 1,47 e 1,76 gr/cm<sup>3</sup> consoante a fórmula, que pode ser trabalhado manualmente a uma temperatura superior à temperatura ambiente e que endurece com o arrefecimento. Pode-se usar espátulas e estiletes como ferramentas para moldar *clay*. Por outro lado, é hoje possível obter protótipos em relativamente curto espaço de tempo caso se disponha do modelo digital adequado. Recorrendo ao desenho assistido por computador é possível obter o modelo digital tridimensional pretendido e de seguida exportá-lo para um processo de materialização como a impressão 3D, sendo que em modelos mais complexos pode ser necessário desenhar e materializar diversos componentes que serão posteriormente montados num conjunto funcional. Existe atualmente uma grande variedade de processos de prototipagem rápida disponíveis Chua, Leong e Lim (2010).

### **2.3 Usabilidade no contexto da avaliação de dispositivos manuais apontadores para computador**

De um modo abrangente, a usabilidade pode ser definida como uma característica de um sistema que denota o quanto este é fácil de aprender e de usar. Contudo, a norma ISO 9241, que define os requisitos ergonómicos relativos ao trabalho com equipamentos dotados de visor, define a usabilidade como a medida em que um produto pode ser usado por utilizadores específicos para alcançar objetivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação (ISO 9241-11:1998). Esta norma oferece as guias mestras para operacionalizar uma abordagem ergonómica propondo um conjunto de técnicas e de princípios destinados a projetar produtos eficazes, eficientes e satisfatórios. A definição dada por esta norma tanto pode ser aplicada ao software como ao hardware e o nível de usabilidade depende do contexto de utilização do produto, sendo afetado por todo o meio envolvente, incluindo o próprio utilizador, as tarefas, o equipamento (hardware, software e materiais) e o ambiente físico e social onde aquelas se englobam durante a utilização do produto (Fig. 2.5).

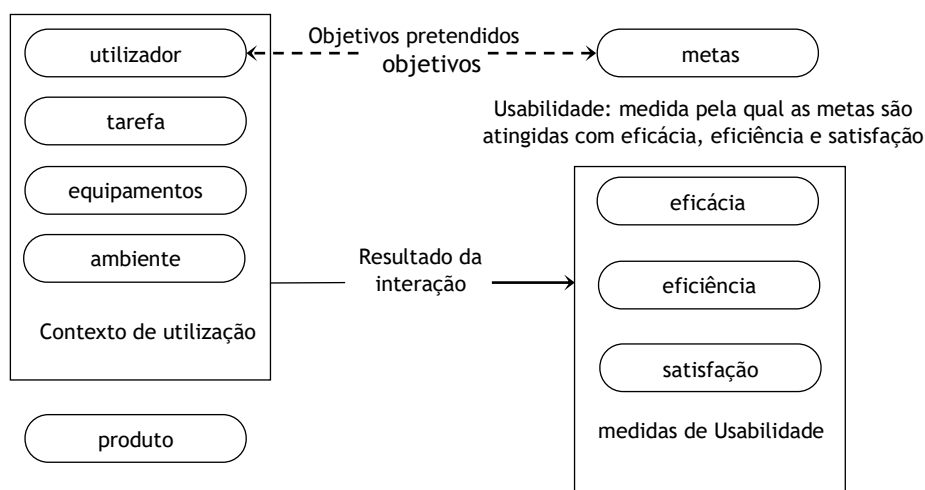


Figura 2.5 - Enquadramento da usabilidade, de acordo com a norma ISO 9241-11:1998 (Fonte: adaptada da norma ISO 9241-11:1998).

Um produto desenvolvido tomando em consideração as características dos utilizadores será mais eficiente, mais fácil de aprender a utilizar e oferecerá mais satisfação durante o seu uso. Uma larga gama de orientações e de princípios sobre a usabilidade têm vindo a ser publicados, sendo que a maioria são dirigidos ao *web design*; contudo, muitos destes são genéricos e devem ser adotados no desenvolvimento do produto (Coelho & Nunes, 2013); neste contexto, refere-se, a título de exemplo, as 10 recomendações de Jordan (1998) relativas à usabilidade. Algumas destas recomendações revelam-se de extrema importância no projeto de qualquer ferramenta de controlo manual como é o caso de um dispositivo apontador para computador. Referindo-se de seguida apenas algumas: a consistência (tarefas similares devem ser feitas de maneiras similares); a tolerância ao erro (probabilidade de erro mínima e recuperação máxima em caso de erro); o controlo (controlar facilmente as ações sobre o produto) e a explicitação (tornar óbvio o modo de utilização).

Para a avaliação da usabilidade torna-se necessário recorrer a parâmetros de natureza subjetiva como a satisfação e a parâmetros de natureza objetiva como a eficácia e a eficiência. A eficácia relaciona-se com a taxa de erros ou precisão e a eficiência depende do tempo decorrido para finalizar uma determinada tarefa com sucesso. No que diz respeito a ratos de computador, e segundo a bibliografia especializada consultada, a usabilidade tem sido avaliada de um modo relativamente modesto. Alguns desses estudos consideram para o parâmetro 'satisfação' (pré-requisito da norma ISO 9241-11:1998) apenas o conforto e nem sequer consideram a eficácia e ou a eficiência, parâmetros importantes na aferição do desempenho. Um destes exemplos é o estudo levado a cabo por Kumar e Kumar (2008). Estes investigadores avaliaram a usabilidade apenas na sua componente mais subjetiva num estudo comparativo entre um rato convencional e um *roller bar mouse* (Fig. 2.6). Participaram nos

testes 15 indivíduos (7 do sexo masculino e 8 do sexo feminino) tendo realizado tarefas de *pointing* (apontar e clicar e, ou, selecionar) e *dragging* (arrastar ou deslocar alvos com o cursor) com a duração de aproximadamente 1 minuto. Após a realização das tarefas de teste os participantes classificaram, numa escala de 1 a 5, cada um dos dispositivos segundo a sua percepção do conforto durante o seu uso, atribuindo o valor de 1 ao mais desconfortável e o valor de 5 ao mais confortável para alínea a) movimentar o cursor, alínea b) esforço na mão e, ou, no braço e alínea c) esforço no ombro.



Rato convencional



Roller bar mouse

Figura 2.6 - Dispositivos de Kumar e Kumar (2008) (Fonte: adaptada dos mesmos autores. Direitos de autor datados de 2008 e detidos pela editora Taylor & Francis. Reproduzida com permissão).

Na investigação realizada por Odell e Johnson (2007) foram submetidos a testes comparativos com avaliação de conforto vários ratos de computador geometricamente distintos durante a execução de tarefas de *pointing*. Os testes, com duração de entre 15 a 20 minutos para cada dispositivo apontador, foram realizados por 12 sujeitos, 6 do sexo masculino e 6 do sexo feminino. A avaliação do desempenho resultou da medição do tempo decorrido entre alvos e o cálculo da precisão foi obtido através da medição da distância ao centro de cada alvo a partir do ponto da tela tomado como ponto de seleção do alvo ao clicar no mesmo. As tarefas consistiam em apontar e clicar (*pointing*) em 18 círculos igualmente espaçados entre si e distribuídos num padrão polar, e ainda com ordem de saída (como alvo) aleatória. A componente subjetiva da usabilidade teve como parâmetro de avaliação a resposta dos participantes quanto à sua percepção do conforto relativamente ao uso de cada um dos modelos nas tarefas, marcada numa escala de Likert de 7 pontos. Entre os ratos testados encontravam-se dois modelos disponíveis no mercado (Fig. 2.7), nomeadamente o *Microsoft Wireless Laser Mouse 6000*<sup>®</sup> e o *Evoluent VerticalMouse*<sup>™</sup>, tendo este último permitido velocidade de *pointing* inferior, bem como piores índices de preferência em relação aos restantes modelos.



Modelo que promove uma postura neutra de pronação/supinação do antebraço (*Evoluent*)

Modelo de referência (idêntico ao *Microsoft Wireless Laser Mouse 6000*)

Modelo que promove a redução da pronação do antebraço

Figura 2.7 - Dispositivos de Odell e Johnson (2007) (Fonte: adaptada e reproduzida com permissão dos autores).

Num outro estudo que colocou um rato de computador convencional e um modelo alternativo sob testes comparativos (Houwink *et al.*, 2009), no qual 30 adultos saudáveis realizaram um conjunto de tarefas *standard* em computador (*pointing*, *dragging* e *steering*) a usabilidade foi apenas avaliada em termos de desempenho através de um único parâmetro. Tratou-se do tempo decorrido para completar cada uma das tarefas. Constataram que o tempo necessário para completar a mesma tarefa era superior no rato alternativo (1,29 s contra 1,18 s no rato convencional, em média) para o grupo de sujeitos que não tinha praticado anteriormente. No entanto, constataram também que o desempenho (avaliado a partir do tempo necessário para completar a tarefa) não variou muito entre a utilização do rato alternativo (1,27 s) e a do rato convencional (1,22 s) para o grupo dos indivíduos que treinaram as tarefas com ambos os ratos antes dos testes.

Lai e Yang (2012) realizaram testes experimentais com 12 crianças que executaram 2 tarefas (Fig. 2.9), implementadas com recurso a programação em Visual Basic, com cada um dos dispositivos apontadores que constam da Figura 2.8. Os autores deste estudo procederam à avaliação da performance de cada um dos dispositivos. Na tarefa de *pointing* (apontar e clicar) consideraram 24 alvos quadrados dispostos numa matriz polar que se ativam aleatoriamente e registaram os tempos decorridos através do mesmo *software* que desenvolveram para implementar as tarefas.



Figura 2.8 - Dispositivos de Lai e Yang (2012) (Fonte: adaptada dos mesmos autores).

Na tarefa de *dragging* (Fig. 2.9 à direita) deve selecionar-se e arrastar-se um círculo, seguindo uma trajetória retilínea segundo cada uma das retas, vertical, horizontal ou diagonal sendo que os dados da trajetória são, também, guardados pelo próprio *software*.

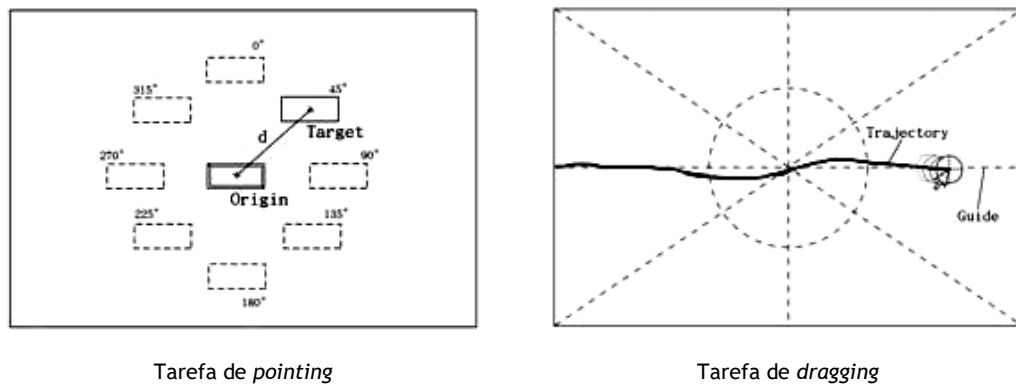


Figura 2.9 - Tarefas de teste (Lai e Yang, 2012) (Fonte: adaptada dos mesmos autores).

## 2.4 Eletromiografia no contexto da avaliação de dispositivos manuais apontadores para computador

Os fabricantes têm desenvolvido novos desenhos (geometrias) de dispositivos apontadores manuais com o objetivo de melhorar a ergonomia na interação dos utilizadores com o computador. Segundo Agarabi, Bonato e De Luca (2004) os dispositivos apontadores do tipo *PC mouse* são desenhados para eliminar posturas inadequadas, melhorar a conformidade geométrica e dimensional à mão, facilitar o controlo e a movimentação do dispositivo e diminuir a tensão muscular. De acordo com os mesmos autores, desenhos distintos e diferentes tamanhos da mão podem requerer diferentes posturas e assim levar a níveis de atividade muscular diferenciados. O uso da eletromiografia de superfície (S-EMG) permite avaliar objetivamente geometrias diversificadas através da estimação por via do sinal eletromiográfico dos níveis de atividade muscular necessária dos músculos da mão para esta se conformar com a superfície do rato na sua utilização. A vantagem da S-EMG sobre uma abordagem mais cinemática (com registo dos desvios angulares, e, ou, da repetição) é que a eletromiografia fornece informações fisiológicas. Por exemplo, o registo da atividade muscular dos músculos envolvidos na pronação do antebraço é relevante porque este movimento causa compressão do nervo mediano e compromete o adequado fluxo sanguíneo nessa região. A extensão do punho é outro movimento que deve ser monitorizado porque está associada a distúrbios músculo-esqueléticos nessas mesmas regiões do corpo, citando Gerr, Marcus, Ensor, Kleinbaum, Cohen, Edwards, Gentry, Ortiz e Monteilh (2002). Dois músculos que fornecem informações relativamente a esta questão são o *Extensor Digitorum* e o *Extensor Carpi Ulnaris*. Também é referido por Agarabi, Bonato e De Luca (2004) que o desvio



cubital pode provocar lesões no nervo cubital, e que a extensão do punho leva o músculo *Extensor Retinaculum* do punho a comprimir os tendões dos músculos fletores da mão (e o nervo mediano) que atravessam o canal cárpico. No artigo referido são apontados três fatores que, na opinião dos autores, não foram controlados em anteriores estudos nesta área, nomeadamente todos os participantes terem o antebraço apoiado, segurarem o rato mantendo uma postura específica e terem o posto de trabalho ajustado de maneira idêntica. Depreende-se que os autores se refiram à verificação cumulativa daqueles três fatores, afirmando que, como resultado do tratamento confuso dado a estes fatores torna-se difícil distinguir quais os padrões de EMG registados que se devem a determinadas posturas da mão, ao design fraco do dispositivo ou à utilização do dispositivo. O estudo de Agarabi *et al.* (2004) teve como objetivo validar a utilização da S-EMG na avaliação do design de ratos de computador. O estudo envolveu 21 participantes com idades entre os 20 e os 38 anos. Como principal critério na seleção dos músculos sob interesse cada um destes tinha que ser 'detetável' por S-EMG. Os autores referem que na medição da atividade de músculos extensores do punho e da atividade muscular nos dedos que ficam muito próximos uns dos outros é ideal utilizar elétrodos duplamente diferenciais (Fig. 2.10, à esquerda), porque anulam o efeito dos sinais provenientes de músculos vizinhos (De Luca, 1997); sendo os elétrodos diferenciais simples usados preferencialmente quando a seletividade não representa um problema, tal como nos bíceps, quadríceps, ou gémeos (ou não existe espaço para colocar os elétrodos diferenciais duplos).



Figura 2.10 - Elétrodo diferencial duplo, à esquerda da figura, e elétrodo diferencial simples à direita (Fonte: adaptada de Agarabi *et al.*, 2004. Direitos de autor datados de 2004 e detidos pela editora IEEE. Reproduzida com permissão).

No estudo realizado por Agarabi *et al.* (2004) os sinais eletromiográficos foram capturados e registados com um sistema Bagnoli de 8 canais (Delsys Inc.). Por forma a obter uma amplitude de 0,1-1,0 V (pico a pico) na saída, os sinais foram amplificados com um ganho de 1000 ou 10000 e filtrados com um filtro passa banda com largura de 20 a 450 Hz e com uma taxa de amostragem de 1024 Hz, utilizando um conversor ADC de 12 bits, que converte os sinais analógicos para digitais sendo depois guardados e tratados num computador. Os autores utilizaram um dispositivo de retenção da postura porque defendem que os sinais eletromiográficos provenientes dos músculos do antebraço e da mão (onde colocaram

elétrodos para monitorização) são sensíveis às posições do ombro, antebraço e mão, de acordo com De Luca (1997). A componente experimental contemplou 4 diferentes geometrias deste tipo de dispositivos, todos comercialmente disponíveis à época e escolhidos pelas suas diferenças quanto ao suposto efeito nas posturas do utilizador, além de dois deles serem muito comuns no ambiente universitário onde decorreu o estudo. De modo a comparar os diferentes modelos, cada um com design específico, foram especificadas 3 posturas estáticas da mão comuns para os testes com todos os dispositivos (Fig. 2.11). Os dispositivos foram testados de modo aleatório e sequencialmente do seguinte modo: Em cada uma das 3 posturas (Fig. 2.11) o sujeito executa movimentos do punho desde a posição central até à posição lateral utilizando o braço de plástico do dispositivo de retenção como molde para realizar os movimentos necessários ao teste. Depois de decorridos 15 segundos o participante suspende os movimentos parando na posição neutra, ali permanecendo com o dedo médio alinhado com o antebraço. A mão mantém-se nesta posição durante aproximadamente 10 segundos. De entre os três, o teste de pousar a mão parece ter sido o de maior significância ( $p < 0,05$ ) em realçar as diferenças entre dispositivos, o teste de segurar lateralmente o rato revelou sensibilidade mediana quanto a diferenças entre as distintas formas dos ratos e o teste de agarrar não obteve significância estatística entre os 4 modelos testados.



Figura 2.11 - Posturas de teste comuns de Agarabi *et al.* (2004) (Fontes: adaptadas de Agarabi *et al.*, 2004. Direitos de autor datados de 2004 e detidos por IEEE. Reproduzida com permissão).

Os testes realizados por Agarabi *et al.* (2004) revelaram também que o tamanho da mão afeta o padrão de S-EMG através dos modelos, sendo que os sujeitos do grupo médio do tamanho de mão apresentaram o maior número de músculos onde se registaram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ). Concluíram que o método proposto foi capaz de detetar distintos padrões musculares associados a diferentes modelos com um design próprio, durante os testes estáticos. Adicionalmente, a posição de agarrar com aperto (Fig. 2.11 (c)) e o tamanho da mão do sujeito tiveram efeito no nível de atividade muscular. Concluíram também que o método baseado em S-EMG apresenta um forte potencial no campo clínico como suplemento aos métodos de observação e relatos, e em ergonomia como uma ferramenta de avaliação de outros dispositivos de entrada diferentes do teclado. Indicaram para estudos futuros a

necessidade de determinar se os resultados desta pesquisa (tarefas estáticas) são representativos em relação aos observados durante a utilização dinâmica do rato de computador. Como principal comentário a este artigo, para além de todas as diferenças referidas pelos próprios autores relativamente à maioria dos estudos neste domínio, fica pelo menos uma crítica. Não foram relatados neste artigo os valores de atividade muscular normalizados (% de MVC, ou outro), apesar do consenso generalizado no campo da eletromiografia de que essa atividade medida em RMS (*root mean square*) da diferença de potencial elétrico (Volt) varia imenso de indivíduo para indivíduo, mesmo quando são realizados movimentos comuns entre indivíduos.

## 2.5 Avaliação ergonómica de dispositivos manuais apontadores para computador

Hedge, Muss e Barrero (1999) realizaram um estudo comparativo entre dois dispositivos apontadores, o modelo A (Microsoft®) e um modelo alternativo B (*Humanscale Whale Mouse*) que envolveu 24 participantes (Fig. 2.12). Ambos os dispositivos apresentam geometrias com um objetivo comum, facilitar a adoção de uma postura neutra do punho. O modelo A detém uma curvatura para redução do desvio cubital e o modelo B, mais largo e achatado, pretende desencorajar movimentos até ao extremo do desvio cubital e com corpo extensível/retrátil pretendendo facilitar a conformidade com diferentes comprimentos da mão. Durante os testes o posto de trabalho foi ajustado de acordo com os padrões ergonómicos aplicáveis (ISO 9241-5:1998) e a cadeira foi ajustada individualmente por cada um dos participantes. Cada teste demorou cerca de dois ou três minutos, foram realizados registos dos desvios angulares relativos à postura neutra através da colocação de goniómetros, foi também avaliado desempenho e o conforto. Os resultados revelaram diferenças significativas nas posturas, tendo sido registadas maiores amplitudes na extensão do punho para o dispositivo A (cerca de 10° de diferença em média), embora este também tenha alcançado melhores performances do que o seu oponente. Foram também encontradas diferenças para os dois sexos com base nas dimensões das suas mãos, tendo sido encontrada correlação entre largura e comprimento da mão, assim como entre a largura da mão e a extensão do punho, embora quanto ao comprimento da mão só tenha sido encontrada correlação relativamente à extensão do punho com o modelo A. Não foram encontradas correlações significativas entre largura ou comprimento da mão e o desvio cubital para nenhum dos modelos. As tarefas (não padronizadas) incluíram apontar, seleccionar e *scrolling*. O desempenho foi avaliado com base nos tempos decorridos para completar cada tarefa e na taxa de erros. A avaliação de parâmetros subjetivos incidiu na preferência dos sujeitos quanto ao conforto em relação à geometria (antes do teste) e à facilidade de utilização (depois do teste) numa escala de 5 níveis. Em termos de desempenho as tarefas com o modelo B levaram, em média, cerca de 19% mais tempo a realizar. A classificação subjetiva revelou para o modelo A melhores

resultados antes da sua utilização do que depois desta, tendo também revelado níveis superiores de preferência no que diz respeito ao conforto do que para o modelo B (alternativo), quer antes quer no final da realização das tarefas.



modelo A (microsoft mouse)

modelo B (emptech mouse)

Figura 2.12 - Modelos de Hedge, Muss e Barrero (1999), modelo A e modelo B (Fontes: adaptadas dos respetivos fabricantes).

Os investigadores Lee, McLoone e Dennerlein (2007) investigaram o comportamento postural do sistema braço-mão em 100 jovens estudantes durante a utilização do *PC mouse* convencional (modelo MO28UO da IBM com 32 mm de altura, 54 mm de largura e 114 mm de comprimento, com 94 gr de massa). As observações permitiram qualificar e quantificar comportamentos com prevalência das posturas dos dedos levantados e, ou, dos dedos estendidos, bem como de punho levantado e antebraço apoiado nos bordos da mesa e ainda diversas outras posturas inadequadas de preensão durante a realização de tarefas específicas com o dispositivo (Fig. 2.13). De facto, uma das posturas mais comuns na utilização prolongada do *PC mouse* é a tendência de manter os dedos levantados (indicador e ou médio) para evitar ativações inadvertidas, o que leva a uma prolongada carga estática no músculo extensor dos dedos (*Extensor Digitorum*). Durante a realização da atividade foram registadas imagens tendo sido posteriormente analisadas de acordo com um esquema de observação. A Tabela 2.1 indica, a título de exemplo, um dos parâmetros a avaliar, o levantamento de cada um dos dedos (em percentagem) durante a atividade.

Tabela 2.1 - Levantamento dos dedos (em percentagem) durante a atividade (Fonte: Adaptada de Lee, McLoone & Dennerlein, 2007).

Atividade	dedos					
	indicador	médio	anelar	mindinho		
Estacionária	19	30	4	0		
Dinâmica	movimentação	sem clicar	28	45	15	10
		arrastar	0	48	14	11
	ativação	clic esq.	26	43	9	10
		clic dir.	20	36	10	1

Os resultados de todas as observações de Lee, McLoone e Dennerlein (2007) indicaram que 48% dos estudantes levantaram o seu dedo médio durante as atividades de arrastar, 23%

esticaram o seu dedo médio enquanto moviam o mouse, 98% descansaram o seu punho e o seu antebraço simultaneamente, ou apenas o punho (21%), ou apenas o antebraço (77%) sobre o bordo da mesa e 97% apresentaram extensão do punho ( $15^{\circ}$ - $30^{\circ}$ ) ao utilizar o rato de computador. Os autores concluíram que estes resultados contribuem para a melhoria do design em futuros modelos destes dispositivos de modo a reduzir comportamento de dedos levantados e a exposição a fatores de risco de LME da mão e do antebraço.

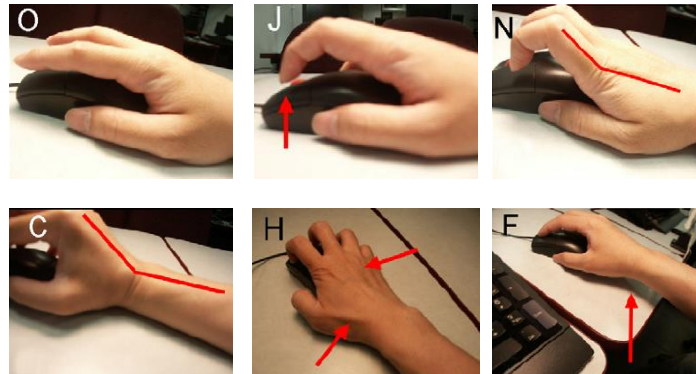


Figura 2.13 - Exemplos de posturas classificadas como inadequadas observadas no estudo de Lee, McLoone & Dennerlein, 2007 (Fonte: Lee, McLoone e Dennerlein, 2007. Direitos de autor datados de 2008 e detidos pela editora Elsevier. Reproduzida com permissão).

A equipa composta por Lee, Fleisher, McLoone, Kotani, Dennerlein (2007), na sequência do estudo anteriormente efetuado da responsabilidade de um subconjunto dos mesmos autores, desenvolveu e testou num novo estudo de 4 dispositivos alternativos ao *PC mouse* tradicional com o objetivo de reduzir a carga muscular estática do extensor do dedo indicador e médio através da alteração da orientação do botão de clicar e da direção da força necessária para o operar (Fig. 2.14). A Figura apresenta o modelo de referência (a); o modelo (b) sem botão direito, para repouso do dedo médio e força resistente do botão esquerdo igual a 1,29 N, enquanto o *PC mouse* de referência apresenta o valor de 0,64 N; o modelo (c) com transformação da orientação do botão esquerdo e da direção da força necessária (0.64 N) para clicar numa direção aproximadamente igual à dos dedos numa postura natural de repouso da mão; e o modelo (d) em quase tudo igual ao anterior com a diferença apenas relativamente ao modo de clicar, pois neste modelo é necessário deslizar o dedo para a frente. Estes modelos alternativos ao rato convencional visam reduzir a carga no músculo extensor (*Extensor Digitorum* ou *Extensor Digitorum Communis*) e apoiar o repouso do dedo médio sem receio de clicar inadvertidamente no botão esquerdo. Completaram os testes 20 participantes (com média de idades igual a  $28,6 \pm 5,3$  anos), realizando tarefas de apontar e clicar, conduzir e arrastar pequenos círculos para alvos, com duração entre 2 a 5 minutos por cada tarefa, e com a saída aleatória dos modelos sob teste. Procederam ao registo da atividade muscular por via intramuscular e por eletromiografia de superfície (S-EMG) nos

músculos *extensor carpi radialis* (ECR), *extensor carpi ulnaris* (ECU), *extensor digitorum communis* (EDC), *flexor digitorum superficialis* (FDS) e primeiro (*first*) *dorsal interossei* (FDI). Os resultados indicaram uma redução de até 2,5% MVC (contração voluntária máxima), quando se muda da ação tradicional de clicar para baixo para a ação de clicar para a frente, da atividade muscular do EDC (10º percentil APDF - *Amplitude Probability Distribution Function*; função de distribuição da probabilidade da amplitude - do sinal de EMG). Contudo, registou-se um aumento da atividade muscular de até 0,6% MVC do músculo FDS e os tempos decorridos na realização das tarefas aumentaram até 31% em relação ao mouse de referência com significância estatística ( $p < 0,001$ ).

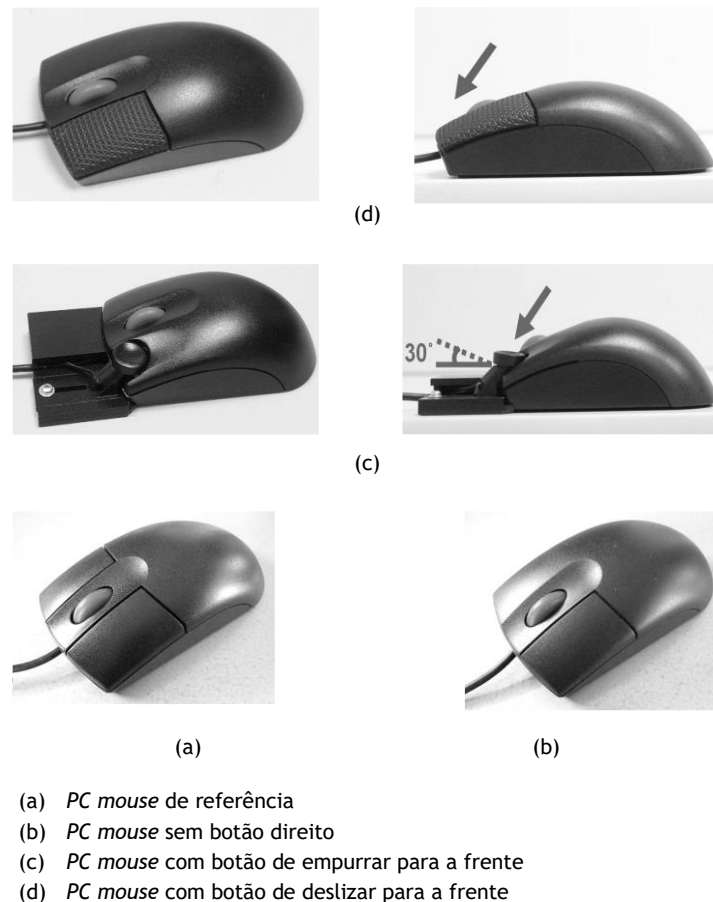


Figura 2.14 - Modelos de Lee *et al.* (2007) (Fonte: Lee *et al.*, 2007. Direitos de autor datados de 2007 e detidos pela editora SAGE Publishing. Reproduzida com permissão).

As tarefas de apontar e selecionar, e de conduzir objetos foram implementadas através de um *software* desenvolvido em linguagem C++ (Dennerlein & Yang, 2001), tal como a recolha dos tempos decorridos ao completar as tarefas de modo a obter uma medida do desempenho. Na monitorização da tarefa de arrastar foi utilizado um *software* suportado pela plataforma

Labview® (National Instruments). A tarefa de apontar e selecionar consta de uma configuração cruzada composta por 15 alvos circulares com 7,5 mm de diâmetro cada, considerada completa após 3 ciclos e tendo o participante de clicar nos 45 alvos. Cada alvo seguinte só é mostrado após seleção do alvo corrente. A tarefa de condução consta do controlo da movimentação do alvo percorrendo um túnel virtual bidimensional de vários comprimentos e larguras mostrado como duas linhas paralelas que não devem ser transpostas, (Dennerlein, Martin & Hasser, 2000) caso contrário é automaticamente repetido o túnel falhado até ser percorrido com sucesso após o que aparece o túnel seguinte. Antes da realização das tarefas os participantes foram instruídos no sentido de as realizarem com a maior celeridade e a melhor precisão possível. No registo eletromiográfico de superfície foram utilizados elétrodos DE-2.1 do tipo diferencial (Delsys, Boston, MA) colocados sobre os músculos de acordo com Perotto (1994) com validação através de apalpação e sinal de S-EMG por contração isométrica do respetivo músculo. Para normalizar os sinais de EMG utilizaram o valor da contração voluntária máxima (MVC), para cada músculo e participante, registado em 3 sequências com duração de 5 segundos cada, oferecendo resistência externa à referida contração muscular. O valor usado para normalizar os sinais de EMG foi determinado segundo o 90º percentil do sinal RMS das 3 contrações MVC. Antes e depois de cada teste os participantes atribuíram uma classificação (0 a 10) aos diferentes dispositivos relativamente a uma série de parâmetros utilizados na avaliação subjetiva da usabilidade, o conforto sentido e a dificuldade em realizar a tarefa (segundo cada uma das 3 tarefas) foram dois dos parâmetros avaliados. As diferenças dos dados de EMG, desempenho, e usabilidade através dos dispositivos e tarefas foram analisadas com recurso a um modelo de análise de variância para efeitos cruzados (Proc Mixed) no programa SAS 8.0 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Para o efeito foram utilizados, entre as diversas variáveis dependentes, os percentis 10, 50 e 90 relativos à função da distribuição da probabilidade da amplitude (APDF - *Amplitude Probability Distribution Function*) de EMG. Segundo Jonsson (1988) o 10º percentil relaciona-se com a carga muscular estática necessária durante a realização da tarefa e o 50º e o 90º percentis relacionam-se respetivamente com a carga dinâmica muscular necessária média e de pico. Após a realização de toda a investigação os autores concluíram que os modelos com um design alternativo reduzem a tensão estática do músculo extensor dos dedos indicador e médio mas, em compensação, provocavam o aumento da carga muscular dos músculos fletores e a diminuição do desempenho.

# Capítulo 3

## Metodologia geral da tese

### 3.1 Abordagem metodológica

#### 3.1.1 Enquadramento metodológico

#### 3.1.2 Síntese sequencial das atividades de investigação

#### 3.1.3 Objetivos e respetivos métodos e técnicas de investigação

#### 3.1.4 Perguntas de investigação

### 3.2 Nota conclusiva



Objetivo:

- Apresentar um enquadramento metodológico abrangente, relacionando através de objetivos específicos, as componentes multidisciplinares da tese (salvaguardando a apresentação metodológica da conceção e a experimental específica tratada nos cap. 4, 5 e 6).

## 3.1 Abordagem metodológica

### 3.1.1 Enquadramento metodológico

Neste capítulo apresenta-se, globalmente, a metodologia que serviu de referência ao desenvolvimento da presente tese. O enquadramento metodológico apoia o planeamento que orienta o processo de investigação ao longo de toda a sua realização. Não obstante, e devido à especificidade inerente a cada um dos temas tratados, nomeadamente o desenvolvimento do produto (Cap. 4), a avaliação da usabilidade (Cap. 5) e a avaliação da atividade muscular (Cap. 6); o desenvolvimento mais pormenorizado dos métodos e das técnicas de investigação aplicados em cada uma destas três vertentes são tratados no início de cada um dos respetivos capítulos. Procura-se, deste modo, favorecer a descrição sequencial dos processos, adotados para a investigação, relativamente a cada um dos domínios explorados nos capítulos 4, 5 e 6. O desenho do processo de investigação define um plano onde as estratégias de investigação visam a colheita de dados e os respetivos métodos de análise, de modo a dar resposta às perguntas de investigação (Saunders, Lewis e Thornhill 2012) e, ou, a responder aos objetivos específicos delineados para a tese. Estes autores utilizam a metáfora da cebola para descrever os passos gerais de um qualquer processo de investigação (Figura 3.1).

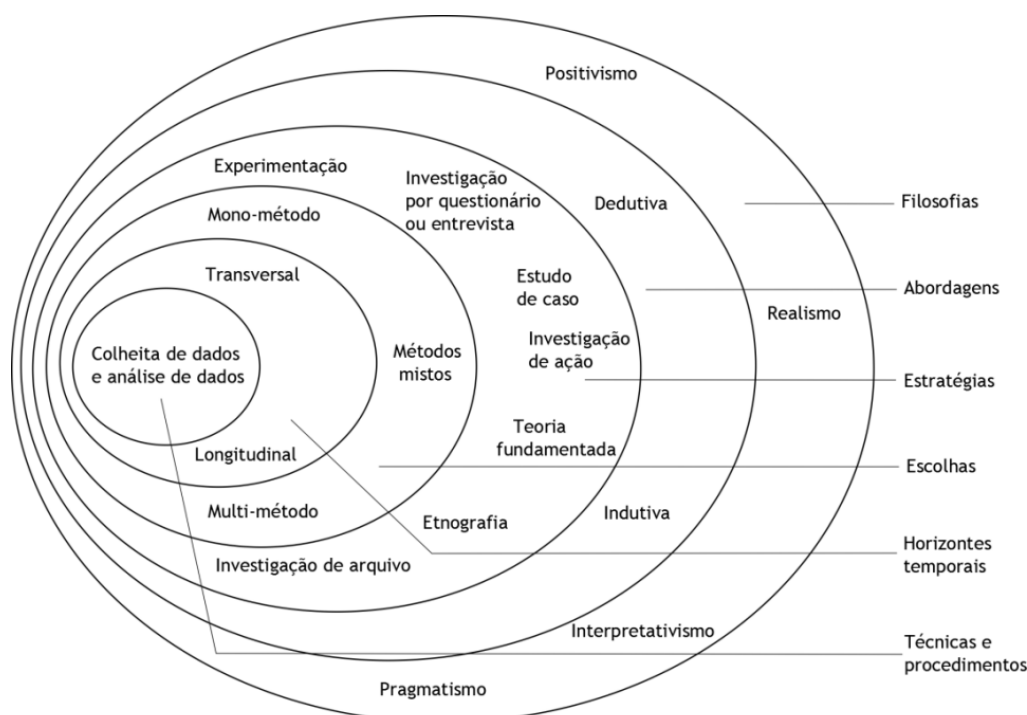


Figura 3.1 - *The research Onion* [A Cebola da Investigação] (Fonte: adaptada de Saunders, Lewis e Thornhill, 2012).

Na Cebola da Investigação, o processo inicia-se na camada mais periférica e decorre em passos sucessivos em direção ao núcleo, não sendo possível passar para uma camada mais interior sem que o passo relativo à camada antecedente tenha ocorrido. Composta por seis

camadas, três dizem respeito ao planeamento global do processo de investigação, as estratégias, as escolhas, e os horizontes temporais enquanto as camadas mais periféricas referem-se às filosofias de investigação e às abordagens (metodologia dedutiva ou indutiva) adotadas no mesmo processo. De acordo com Saunders, Lewis e Thornhill (2012) o primeiro passo a dar em qualquer processo de investigação é definir a filosofia de investigação adequada, e, em segundo lugar, posicionar a metodologia de investigação quanto à abordagem mais adequada a realizar. Na terceira camada encontram-se as estratégias, sendo aqui indicadas a experimentação, a investigação por questionários ou entrevistas, o estudo de caso, a investigação de ação, a teoria fundamentada, a etnografia e a investigação de dados disponíveis em arquivo. No quarto passo deve proceder-se à escolha relativa à tipologia dos métodos (uso de técnicas quantitativas e ou qualitativas) seguindo-se os horizontes temporais, e por último, as técnicas e os procedimentos utilizados na recolha dos dados e na sua análise.

Assim, o processo de investigação conduzido no âmbito desta tese assume o seguinte enquadramento: no que diz respeito à filosofia de investigação assenta no conceito do positivismo, encontrando-se associado às ciências exatas, sendo a metodologia de investigação estruturada, facilitando assim a sua replicação. O positivismo está ainda associado à observação de factos sob a forma de medidas quantificáveis, para além de que as observações e as conclusões são fundamentadas com base estatística, assumindo-se o investigador como um observador que não influencia os observados. Quanto às abordagens para a investigação, aplica-se no processo de avaliação dos produtos uma abordagem dedutiva (formação de hipóteses e teorias que são depois testadas pela estratégia de investigação), do tipo quantitativo já que se utiliza a recolha de dados e os métodos de análise que produzem resultados numéricos. Todavia, aplica-se a abordagem indutiva no desenvolvimento de uma nova ferramenta de avaliação dos dispositivos manuais apontadores para computador. A estratégia de investigação assenta na experimentação, envolvendo a escolha por múltiplos métodos (escolha esta designada por multi-método na Fig. 3.1), uma vez que se recorre a mais do que um método, sempre com a obtenção de dados quantitativos, durante os estudos experimentais. Em relação aos horizontes temporais, a investigação contempla uma componente transversal (estudo 1, avaliação da usabilidade e estudo 2, avaliação da atividade muscular e da usabilidade) mas também contempla uma componente longitudinal (avaliação da usabilidade considerando os estudos 1 e 2 combinados). Quanto às técnicas e procedimentos adotados na colheita e análise de dados, estes são globalmente descritos noutra secção deste capítulo e descritos em pormenor nos capítulos 5 e 6 sendo que no capítulo 7 procede-se à análise dos resultados.

Por outro lado, e dada a natureza da presente investigação que contempla uma abordagem de criação de artefactos (desenvolvimento do produto) e uma abordagem de avaliação de artefactos (quanto à usabilidade e à atividade muscular durante a utilização dos artefactos), a metodologia empregue no processo combinado de conceção e investigação no âmbito desta

tese pode ser adequadamente classificada através da taxonomia de métodos de investigação desenvolvida por Järvinen (2004), que se encontra esquematicamente reproduzida na Figura 3.2. A taxonomia proposta está orientada para o desenvolvimento de sistemas informáticos (IS) embora se assuma a sua ampla aplicação a sistemas técnicos e à tecnologia. O artefacto pode ser classificado como algo intangível ou tangível. Trata-se assim da operacionalização de uma abordagem de investigação científica com foco em particular na utilidade dos artefactos e conjugando a abordagem ‘da construção de artefactos’ com a abordagem ‘da avaliação de artefactos’. Järvinen (2004) define uma abordagem de investigação como um conjunto de métodos de investigação que podem ser aplicados a um objeto de investigação e a perguntas de investigação similares. Deste modo, considera distintas abordagens da investigação e indica vários métodos de investigação que podem ser aplicados no contexto de uma determinada abordagem. A taxonomia de métodos de investigação proposta por Järvinen (2004) apresenta 6 categorias, designadamente abordagens matemáticas, conceptuais-analíticas, de teste da teoria, de criação da teoria, de criação de artefactos e de avaliação de artefactos (Figura 3.2).

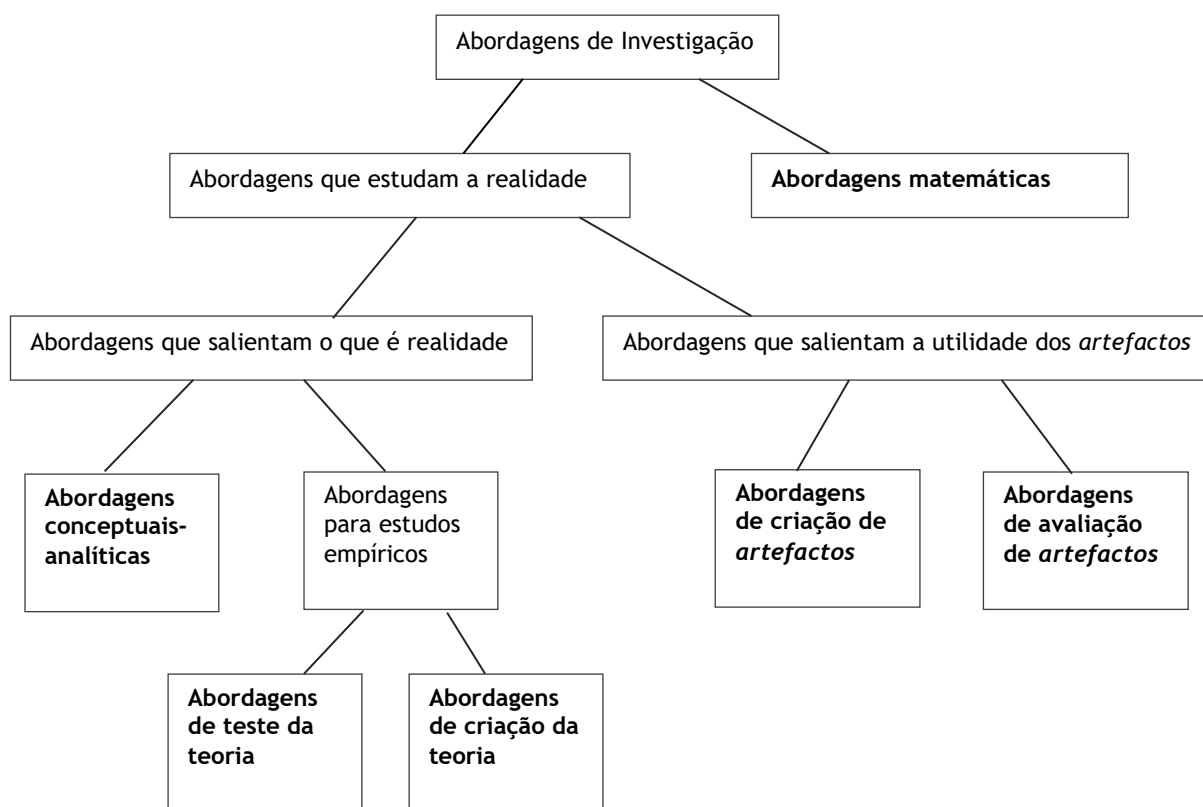


Figura 3.2 - Taxonomia de abordagens metodológicas à investigação (Fonte: adaptada de Järvinen, 2004).

Em estudos de teste da teoria são usados diversos métodos (ou estratégias) tais como a experimentação laboratorial, a investigação por questionário, o estudo de campo, etc. Num estudo orientado por uma abordagem de teste da teoria, a teoria, o modelo ou quadro

conceptual (*framework*) são adquiridos a partir da pesquisa bibliográfica ou desenvolvidos ou refinados para esse estudo. A pergunta de investigação poderá ser: as observações confirmam ou desmentem aquela teoria? Por seu turno, em estudos visando a criação da teoria empregam-se amiúde os seguintes métodos (ou estratégias): estudo de caso, método etnográfico, teoria fundamentada, contextualismo, análise discursiva, estudo longitudinal, estudo fenomenológico, etc. No que diz respeito às abordagens que salientam a utilidade dos artefactos, na construção de um novo artefacto a pergunta de investigação poderia ser: É possível construir um certo artefacto? Já no que diz respeito à avaliação de um artefacto, o investigador pode perguntar: Quão eficiente é este artefacto? Na procura de respostas às perguntas de investigação, são utilizados critérios e realizadas medições. Ainda em relação à avaliação de artefactos, Sweeney *et al.* (1993), citados por Järvinen (2004), sugerem uma metodologia de investigação relativamente à avaliação da interação humano-computador para avaliação da usabilidade, composta por três dimensões: a estratégia de avaliação, o tipo de avaliação e o tempo de avaliação no contexto do ciclo de vida do produto. Neste sentido, apresentam essas estratégias como *user-based*, *theory-based*, e *expert-based*. A respeito dos estudos de caso, Cunningham (1997), citado por Järvinen (2004), indica existirem pelo menos nove tipos, sugerindo que os casos comparativos têm como objetivo o desenvolvimento de conceitos com base nas comparações de casos, afirmando que os casos comparativos pertencem às abordagens de teste da teoria.

A metodologia de investigação assente no desenvolvimento de sistemas, segundo Nunamaker *et al.* (1991), citados por Järvinen (2004), encaixa confortavelmente na categoria da ciência aplicada, pertencendo ao tipo de investigação formulativa de desenvolvimento em engenharia. Esta metodologia foi considerada simultaneamente geral e pivô, representando uma super-metodologia contendo sub-metodologias. Os investigadores delinearam, para a metodologia de investigação que apresentaram, os seguintes passos: 1 - construir um enquadramento teórico (*framework*) ou conceptual; 2 - desenvolver uma arquitetura do sistema; 3 - analisar e desenhar o sistema; 4 - construir o protótipo e 5 - observar e avaliar o sistema. Os passos 2, 3 e 4 pertencem ao desenvolvimento do próprio sistema. O passo 1 está associado à sub-metodologia da construção da teoria de um ponto de vista de utilidade, isto é, para suportar o processo da criação de artefactos. Apresentam ainda diversos métodos que integram o processo de investigação. Refira-se, com especial importância para a presente tese, os métodos relativos ao ponto 5, observar e avaliar o sistema, observar o uso do sistema através de estudos de caso e estudos de campo, avaliar o sistema através da experimentação em laboratório ou da experimentação de campo.

Com vista à satisfação do objetivo geral para a presente tese: “Proceder a um estudo ergonómico comparativo entre geometrias distintas de dispositivos apontadores para computador e desenvolver novas geometrias, integrando-as no estudo comparativo, procurando satisfazer e validar premissas de carácter ergonómico; desenvolver também novos

indicadores e ferramentas de avaliação com vista à classificação dos dispositivos”; aplica-se a taxonomia de Järvinen (2004) ao processo de investigação, considerando tratar-se de um estudo empírico que assenta na abordagem de teste da teoria e da sua expansão, englobando ainda uma abordagem para a criação de artefactos e uma abordagem para a avaliação dos artefactos (Figura 3.3).

As investigações mais tradicionais, segundo Bhattacharjee (2012), tendem a ser dedutivas e funcionalistas; a Figura 3.4 esquematiza o respetivo processo de desenvolvimento da investigação deste tipo e retrata uma série de atividades a implementar. O processo divide-se em três fases: exploração, projeto da investigação e execução da investigação. O mesmo autor refere que este diagrama está numa forma generalizada e pode ser modificado de modo a ajustar-se às necessidades impostas pela investigação a realizar.



Figura 3.3 - Abordagem metodológica da tese segundo a taxonomia de Järvinen (2004).

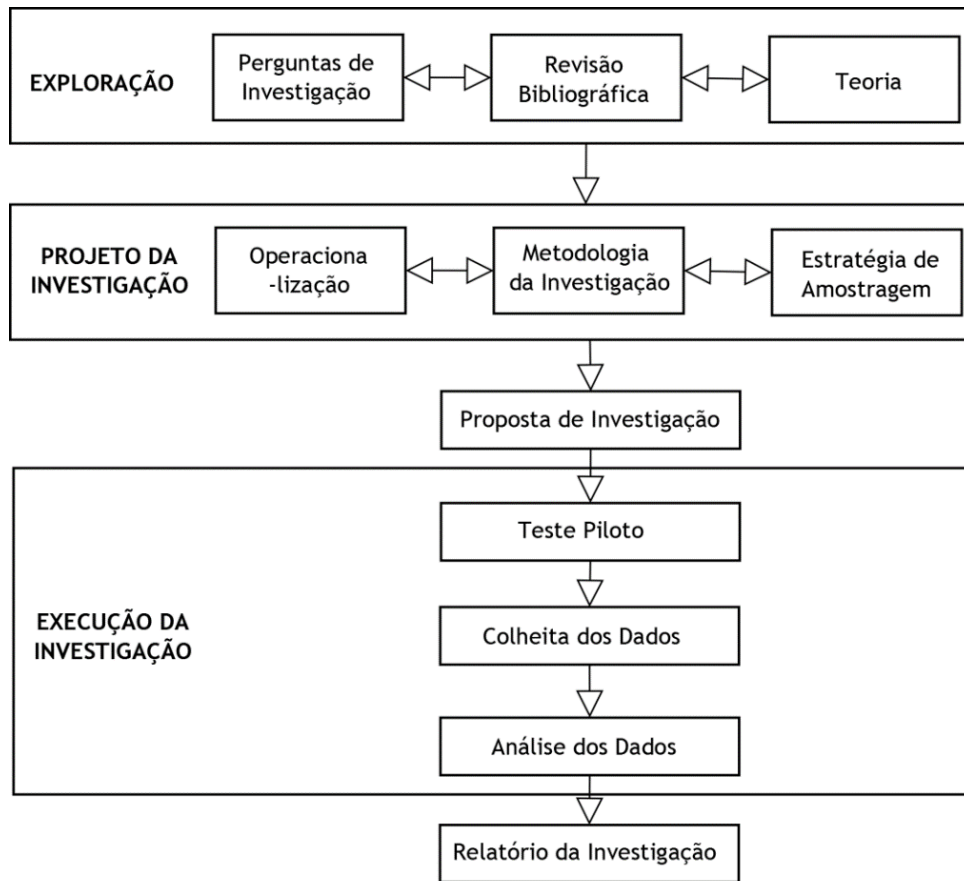


Figura 3.4 - Esquema funcional do processo de investigação tradicional (adaptado de Bhattacharjee, 2012).

A fase da exploração (Figura 3.4) inclui a exploração e a seleção das perguntas de investigação e a pesquisa bibliográfica no sentido da tomada de conhecimento relativamente ao estado da arte na área em questão. Esta inclui ainda a identificação das teorias que podem ajudar a responder às perguntas de investigação sob interesse. Defende ainda Bhattacharjee (2012) que se deve evitar fazer perguntas de investigação focadas numa resposta do tipo sim ou não, podendo a investigação conduzir a resultados desinteressantes e por vezes não publicáveis. Relativamente à pesquisa bibliográfica chama a atenção para a importância da identificação de lacunas no conhecimento na área de investigação. Para além da continuidade de outros estudos que podem necessitar de maior desenvolvimento, também poderão existir perguntas de investigação originais que podem ser modificadas ou alteradas à luz da revisão bibliográfica. Como a investigação dedutiva envolve o teste da teoria, o terceiro passo é identificar uma ou mais teorias que poderão ajudar a responder às perguntas de investigação, podendo ser usadas como base lógica para formular hipóteses para testes empíricos.

No projeto da investigação é útil a elaboração de um diagrama de atividades. Esta fase inclui a seleção de uma metodologia de investigação, a operacionalização de constructos sob interesse, e a elaboração de uma estratégia de amostragem adequada. A operacionalização

consiste na conceção operacional que define o constructo sob interesse. Neste âmbito, procede-se à pesquisa de instrumentos existentes, pré-validados, que possam ser usados diretamente ou modificados para medir o constructo. Se os instrumentos não existirem ou os resultados obtidos a partir destes forem pobres ou refletirem uma conceção diferente da que o investigador prefere ou defende, novos instrumentos podem ser concebidos para medir o constructo. Simultaneamente, o investigador deve decidir quais os métodos de investigação mais adequados para a colheita de dados de modo a providenciar respostas para as suas perguntas de investigação. Estes métodos podem incluir métodos quantitativos como a experimentação ou investigação por questionário, ou métodos qualitativos como os estudos de caso ou a investigação de ação, ou possivelmente a combinação de ambos. Um outro aspeto importante prende-se com a escolha da população alvo e com a estratégia de seleção das amostras dessa população (técnica de amostragem aleatória ou por conveniência). Bhattacharjee (2012) refere que se deve ter cuidado na seleção de uma amostra de modo a evitar observações tendenciosas, o que nem sempre é possível quando o investigador apenas tem a possibilidade de recorrer a processos de amostragem menos generalizados e ou aleatórios, ficando cingido ao recurso a amostras por conveniência.

Entre a fase do projeto da investigação e a execução da investigação é de grande utilidade redigir uma proposta detalhada da investigação pretendida. A proposta de investigação deve descrever os procedimentos inerentes ao processo de investigação com fundamentação relativamente às decisões tomadas com base na revisão bibliográfica, deve abordar as perguntas de investigação, o estado prévio da arte, as teorias e as hipóteses a serem testadas, os métodos para medir os constructos e a estratégia da amostragem a utilizar. Depois de decidir o que estudar (conceitos), quem estudar (sujeitos), e como obter os dados (métodos e técnicas de investigação) a investigação pode prosseguir com a execução, isto é, os testes piloto, a colheita dos dados e a análise dos dados. Na colheita dos dados podem ser utilizadas técnicas de investigação quantitativas, como aparelhos de medida e escalas de avaliação e ou qualitativas como por exemplo métodos etnográficos. Na análise de dados os métodos quantitativos incluem técnicas estatísticas (regressão, testes paramétricos, não paramétricos, etc.), nas técnicas qualitativas incluem-se a análise de conteúdo e a codificação, por exemplo. O processo termina com o relatório final da investigação, devendo este ser redigido com suficiente detalhe, e não mais do que isso, de modo a permitir a replicação do estudo por outros investigadores, testar os resultados, ou avaliar se as conclusões são cientificamente aceitáveis.

### **3.1.2 Síntese sequencial das atividades de investigação**

Nesta secção apresenta-se, em síntese, a sequência das atividades desenvolvidas ao longo das principais fases dos trabalhos, nomeadamente, a revisão bibliográfica, o desenvolvimento dos produtos, a avaliação da usabilidade (estudo 1), a avaliação da atividade muscular por



eletromiografia de superfície e a nova avaliação da usabilidade (estudo 2); e ainda um terceiro estudo experimental para determinação dos coeficientes de ponderação que integram o indicador de eficiência apresentado (estudo 3). A Tabela 3.1 estabelece a relação entre cada uma das fases e as atividades desenvolvidas no âmbito de cada fase, indicando ainda, na coluna mais à direita, as contribuições resultantes da investigação em termos de conceção e de desenvolvimento.

A revisão bibliográfica encontra-se dividida entre o capítulo de enquadramento multidisciplinar da tese (cap. 2) e os capítulos relativos ao desenvolvimento do produto, à avaliação da usabilidade e à avaliação da atividade muscular do antebraço, capítulos 4, 5 e 6, respetivamente. A seleção de geometrias com vista à sua avaliação ergonómica experimental, considerando a geometria convencional e geometrias redutoras da pronação do antebraço (seleção de 3 geometrias concetualmente distintas e comercialmente disponíveis), ocorreu durante a fase de revisão bibliográfica que cruza os vários domínios que a tese abrange. Seguindo-se o desenvolvimento e a construção de protótipos funcionais de duas novas geometrias de dispositivos manuais apontadores para computador, apoiado na revisão bibliográfica mais focada neste tema. Procurou-se, em ambas as geometrias desenvolvidas, adotar critérios de índole ergonómica com vista à obtenção de ferramentas manuais de interface humano-computador mais adequadas aos seus utilizadores e às tarefas a realizar, nomeadamente atividades de uso intensivo como o CAD. A partir deste ponto teve início a avaliação ergonómica dos modelos desenvolvidos, operacionalizada através de um estudo comparativo envolvendo cinco dispositivos apontadores, três previamente selecionados e que apresentam ângulos característicos, respetivamente, de 0°, 60° e 90° e os dois modelos desenvolvidos, que apresentam ângulos característicos de 30° e de 45°, respetivamente. O primeiro estudo experimental contemplou a avaliação da usabilidade dos dispositivos apontadores, durante o seu uso na realização de tarefas de teste padronizadas. O segundo estudo experimental foi realizado em condições semelhantes relativamente ao primeiro, salvaguardando o recurso à S-EMG para monitorização da atividade muscular de quatro músculos do antebraço dos participantes. O segundo estudo experimental contemplou ainda uma nova avaliação da usabilidade. Finalmente procedeu-se a um terceiro estudo, que envolveu a experimentação de campo, para determinação dos coeficientes de ponderação que integram o indicador de eficiência desenvolvido e apresentado no âmbito da presente tese. A Tabela 3.1 permite uma leitura sequencial das atividades referidas, ainda que apresentadas de um modo sintético.

Tabela 3.1 - Sequência das atividades desenvolvidas no âmbito da investigação (síntese).

Fase	Atividades principais	Contribuições	
Revisão bibliográfica	<p>Revisão bibliográfica - problemática associada à utilização do PC <i>mouse</i>, incluindo a conceção destes dispositivos (Publicações científicas e normativos)</p> <p>Seleção de geometrias com vista à sua avaliação ergonómica experimental considerando a geometria convencional e geometrias redutoras da pronação do antebraço, (seleção de 3 geometrias concetualmente distintas)</p>		
Desenvolvimento dos produtos	Desenvolvimento de duas novas geometrias de dispositivos manuais apontadores para computador apoiado na revisão bibliográfica	Geometria com ângulo de inclinação de 45° (45° de pronação do antebraço)	Geometria com ângulo de inclinação de 30° (60° de pronação do antebraço)
Avaliação da usabilidade (estudo experimental 1)	<p>Avaliação da usabilidade das 5 geometrias conceptualmente distintas</p> <p>Componente subjetiva:                      Componente objetiva:</p> <p>-Preferência (satisfação)                      -Eficácia</p> <p>-Facilidade de utilização                      -Eficiência</p> <p>-Desconforto</p> <p>-Esforço</p> <p>Desenvolvimento de um indicador de eficiência (usabilidade) aplicado num contexto particular (atividade de CAD com um determinado software de modelação paramétrica)</p>	Software para implementar as tarefas gráficas e registo de dados de avaliação objetiva	Instrumentos para colheita de dados de avaliação subjetiva (escalas)
Avaliação da atividade muscular e da usabilidade (estudo experimental 2)	<p>Avaliação da atividade muscular dos participantes e da usabilidade das 5 geometrias, durante a realização das mesmas tarefas realizadas no estudo experimental 1</p> <p>Usabilidade    Atividade muscular</p> <p>Componente subjetiva:                                      Monitorização por S-EMG de</p> <p>-Preferência (satisfação)                                      4 músculos do antebraço,</p> <p>Componente objetiva:                                      envolvidos nos movimentos:</p> <p>-Eficácia    -Abdução do polegar</p> <p>-Eficiência    -Extensão dos dedos e da mão</p> <p>    -Desvio radial da mão</p> <p>    -Desvio cubital da mão</p> <p>Desenvolvimento de um indicador da atividade muscular</p>		
Estudo experimental 3	Determinação dos coeficientes de ponderação para o indicador de eficiência (Estudo de observação: registo da atividade de CAD com um determinado software de modelação)	Exemplificação dos coeficientes de ponderação para a caracterização do indicador de eficiência dos dispositivos para um software de CAD específico	

### 3.1.3 Objetivos e respetivos métodos e técnicas de investigação

A descrição dos objetivos da tese encontra-se patente nas Figuras 3.5 e 3.6, o diagrama hierárquico de objetivos, neste consta a correspondência entre esses objetivos e a codificação utilizada, bem como a indicação dos capítulos respetivos. O objetivo geral, de nível 1 desencadeia os objetivos específicos de nível 2, codificados de A a J. Nesta representação esquemática procurou-se estabelecer um alinhamento dos objetivos pertencentes ao nível 2, e que corresponde, em parte, à ordem dos capítulos correspondentes na tese, nos quais se procedeu ao cumprimento dos mesmos. Os objetivos mais específicos, pertencentes ao nível 3, apresentam um código alfanumérico, a letra corresponde à descendência proveniente do objetivo do nível superior e o dígito numérico distingue os diferentes objetivos específicos entre si. No nível 2, o objetivo A - apresentar os múltiplos domínios de conhecimento relevantes para a tese, associa-se ao capítulo 2 (Enquadramento multidisciplinar da tese). O objetivo B - apresentar um enquadramento metodológico abrangente, relacionando através de objetivos específicos, as componentes multidisciplinares da tese, está associado ao capítulo 3 (Metodologia geral da tese); todavia, a apresentação metodológica da conceção dos produtos e da conceção experimental específica, no que diz respeito à avaliação da usabilidade e à avaliação da atividade muscular, encontra-se tratada nos respetivos capítulos 4, 5 e 6. Por sua vez, o objetivo C - desenvolver geometrias inovadoras apoiadas em revisão bibliográfica e em metodologia de projeto adequada, está associado ao capítulo 4 (Desenvolvimento de dispositivos ...). O objetivo D - estabelecer com recurso à revisão bibliográfica focada, o estado da arte da avaliação da usabilidade, associa-se ao capítulo 5 (Usabilidade dos dispositivos ...), embora também se relacione com o capítulo 2, já que este contém resultados de pesquisa bibliográfica cruzando os vários domínios que a tese abrange. Também o objetivo E - desenvolver e caracterizar a conceção experimental para a avaliação da usabilidade dos dispositivos em apreciação, e o objetivo F - propor ferramentas para avançar o estado da arte da avaliação da usabilidade dos ratos de computador e contribuir para a escolha informada dos consumidores, respeitam ao capítulo que trata da avaliação da usabilidade (cap. 5). Do mesmo modo que o objetivo D, também o objetivo G - estabelecer com recurso à revisão bibliográfica focada, o estado da arte da avaliação da atividade muscular por S-EMG, encontra-se associado ao capítulo 6 (relativo à eletromiografia) visto ter-se ali vertido informação mais focada em termos da revisão bibliográfica específica, embora também se relacione com o enquadramento multidisciplinar da tese (cap. 2). Também o objetivo H - desenvolver e caracterizar a conceção experimental para a avaliação da atividade muscular por S-EMG dos dispositivos em apreciação, e o objetivo I - propor processos ou métodos de análise para avançar o estado da arte da avaliação da atividade muscular no âmbito da utilização dos ratos de PC, respeitam ao capítulo 6. Por último, o objetivo J - apresentação dos dados sob a forma gráfica e sua análise estatística, é satisfeito por via do capítulo 7 - análise de resultados. Os objetivos específicos que ocupam o nível 3 seguem uma lógica similar na correspondência com os respetivos capítulos, pelo que podem ser consultados diretamente nas Figuras 3.5 e 3.6.

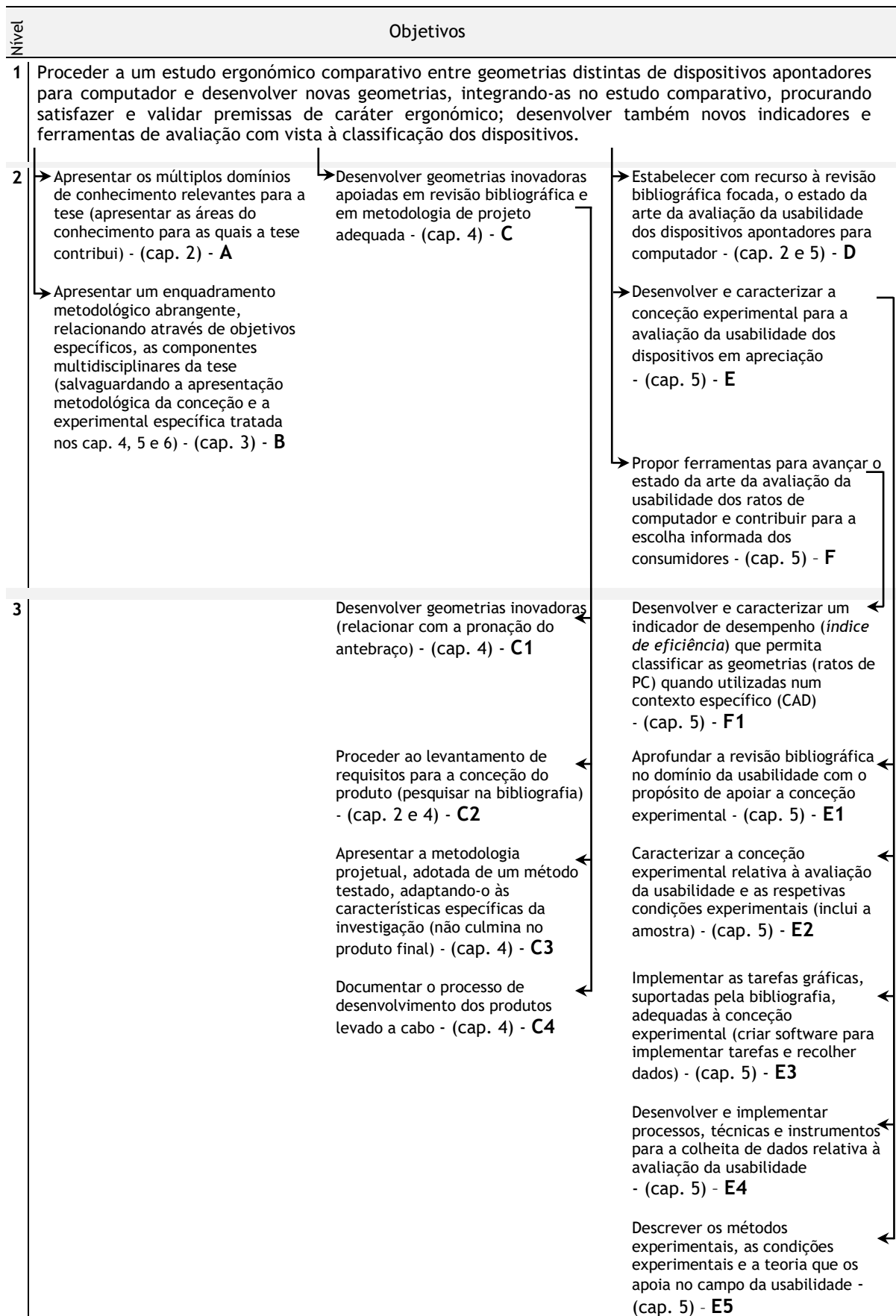


Figura 3.5 - Diagrama hierárquico de objetivos 1/2.

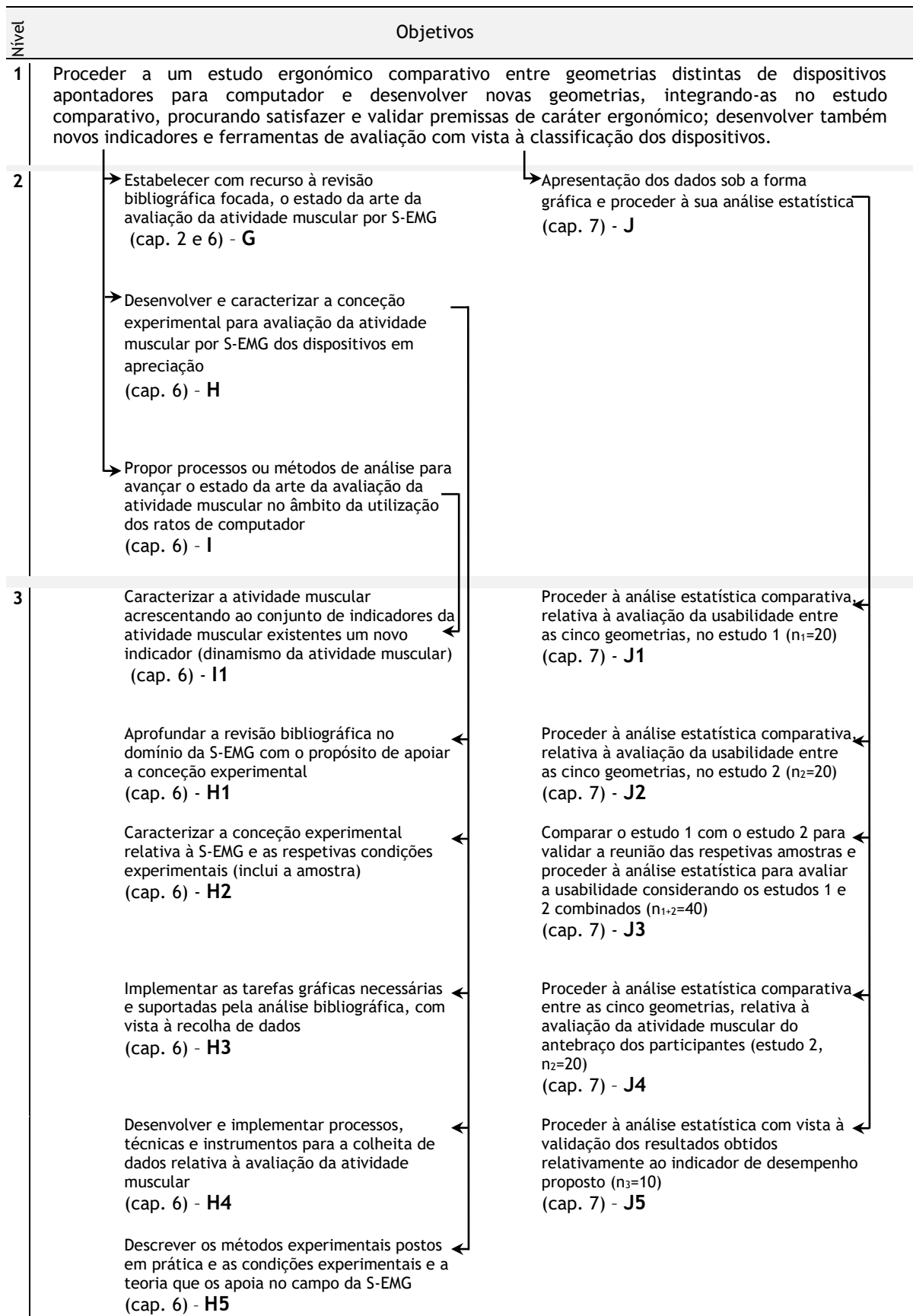


Figura 3.6 - Diagrama hierárquico de objetivos 2/2.

Na Figura 3.7 apresenta-se uma composição gráfica relativa à metodologia de investigação da tese, suportada pela taxonomia de Järvinen (2004), combinando a abordagem para a criação de artefactos com a abordagem para a avaliação dos artefactos, ambas englobadas na abordagem de teste da teoria. As duas abordagens contidas nesta última são o ponto de partida para o desenvolvimento do produto e para a avaliação comparativa, ocorrendo como seu resultado a expansão da teoria (criação de novos indicadores). A Figura 3.7 ilustra também a associação dos objetivos do segundo nível (de A a J), delineados para a tese, com as abordagens metodológicas referidas. Por sua vez, os métodos e as técnicas de investigação, englobados na metodologia de investigação, são apresentados na Tabela 3.2 junto com os objetivos que estão subjacentes à sua aplicação, apresentando-se os objetivos na forma codificada para maior simplicidade da representação.

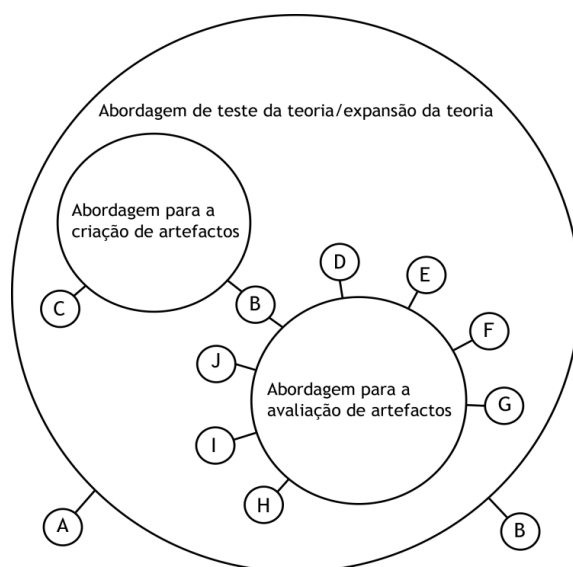


Figura 3.7 - Diagrama de objetivos-metodologia (abordagem metodológica da tese segundo a taxonomia de Järvinen (2004); note-se que as Fig. 3.5 e 3.6 apresentam a descrição dos objetivos).

Tabela 3.2 - Métodos e técnicas de investigação, associados aos objetivos específicos.

Métodos de investigação	Objetivos específicos					
Revisão bibliográfica	A	C2	D	E1	G	H1
Experimentação laboratorial (método quantitativo)	E	E5	H	H5		
Experimentação de campo (método quantitativo)	F1					
Processo de conceção da investigação	B					
Processo de conceção (desenvolvimento) do produto	C	C1	C3	C4		
Processo de conceção (desenvolvimento) de instrumentos	E3	E4	H3	H4		
Expansão do conhecimento (resultados da investigação)	F	F1	I	I1		
<b>Técnicas de investigação, quantitativas (para a colheita de dados)</b>						
Aparelhos de medida	E3	E4	H3	H4		
Escalas de avaliação	E4	H4				
Observação da utilização de artefactos	F1					
Prototipagem (desenvolvimento do produto/apoio na experimentação)	C1					
<b>Técnicas de amostragem (<i>Sampling</i>-estratégias de amostragem)</b>						
Amostragem por conveniência (aleatoriedade parcial, amostras n1 e n2)	E2	H2				
Amostragem por conveniência (amostra n3)	F1					
<b>Técnicas de análise de dados, quantitativas</b>						
Técnicas estatísticas (análise de dados quantitativos)	J	J1	J2	J3	J4	J5

(Nota: A descrição dos objetivos específicos, aqui codificados, encontra-se patente nas Figuras 3.5 e 3.6)

Relativamente às estratégias de amostragem, a Tabela 3.3 apresenta a descrição genérica de cada uma das amostras utilizadas na investigação levada a cabo nesta tese. A caracterização detalhada de cada uma das amostras será apresentada no início dos capítulos 5 e 6.

Tabela 3.3 - População alvo e amostras participantes na investigação.

População alvo	Estudantes adultos e profissionais que utilizam o rato de computador diariamente	
Amostras	Estudo 1 (n <sub>1</sub> =20)	Adultos saudáveis, destros, 50% do sexo masculino e 50% do sexo feminino, praticantes e não praticantes de CAD; considerando-se uma amostra definida parcialmente por conveniência (parcialmente aleatória).
	Estudo 2 (n <sub>2</sub> =20)	Adultos saudáveis, destros, 50% do sexo masculino e 50% do sexo feminino, todos praticantes de CAD; considerando-se uma amostra definida parcialmente por conveniência (parcialmente aleatória).
	Estudo 3 (n <sub>3</sub> =10)	Adultos saudáveis, destros, praticantes de CAD com nível semelhante de domínio e prática da ferramenta de CAD utilizada na investigação. Amostra definida por conveniência.

### 3.1.4 Perguntas de investigação

Um estudo empírico que assenta na teoria, segundo a qual a forma mais adequada de classificar os dispositivos manuais apontadores para computador deve valorizar a sua usabilidade, e simultaneamente fazer diminuir a atividade muscular, bem como promover a adoção de posturas ‘mais’ neutras por parte do utilizador, segue uma abordagem de teste da teoria (Fig. 3.7). Neste contexto a pergunta de investigação é: As observações confirmam ou não confirmam a teoria? Quanto ao processo de criação de novos parâmetros e indicadores, como é o caso do indicador de eficiência, caracterizado a partir de experimentação de campo, é adotada uma abordagem de criação ou expansão da teoria, de acordo com a metodologia de investigação de Järvinen (2004). Aqui a pergunta de investigação assume a seguinte formulação: Que tipo de constructo ou modelo explicaria as observações efetuadas?

Por outro lado, o processo que envolveu o desenvolvimento de duas novas geometrias de dispositivos manuais apontadores para computador (cap. 4) segue uma abordagem de investigação para a construção de artefactos. Deste modo, surge-lhe associada a seguinte pergunta de investigação: É possível construir um determinado artefacto de acordo com os requisitos derivados da teoria? Quanto ao processo de avaliação a que os dispositivos foram submetidos, mais especificamente no que respeita à avaliação da usabilidade, a pergunta de investigação é: Quão eficazes são os artefactos concebidos e prototipados? A Figura 3.7, desenvolvida tendo por base a taxonomia de abordagens metodológicas à investigação de

Järvinen (2004), esquematiza a inter-dependência que tem lugar nesta tese entre as abordagens supra referidas.

## **3.2 Nota conclusiva**

O conteúdo deste capítulo define a abordagem metodológica da investigação realizada no âmbito da presente tese, apresentando a metodologia de investigação que a suporta e os métodos e as técnicas de investigação escolhidos e que estão orientados para o cumprimento dos objetivos delineados. Oferece-se assim um planeamento metodológico que orienta toda a investigação. Devido à especificidade das três principais linhas de trabalho, nomeadamente, o desenvolvimento do produto, a avaliação da usabilidade e a avaliação da atividade muscular, os métodos e as técnicas aplicados em cada uma destas vertentes são apresentados com um nível de pormenor adequado em cada um dos respetivos capítulos, 4, 5 e 6. As ações desenvolvidas com vista à satisfação, em maior ou menor grau, de cada um dos objetivos definidos, apresentados de modo abrangente e hierárquico nas Figuras 3.5 e 3.6, são apresentadas ao longo dos diversos capítulos da tese.



## Cap. 4

# Desenvolvimento de dispositivos manuais apontadores para computador

4.1 Introdução

4.2 Metodologia do desenvolvimento dos ratos de  
computador

4.2.1 Clarificação da tarefa

4.2.2 Geração de conceitos

4.2.3 Avaliação, refinamento e projeto de detalhe

4.3 Nota conclusiva

4.3.1 Compatibilização antropométrica

4.3.2 Adaptação do modelo operacional de referência  
ao processo de desenvolvimento em questão

#### Objetivos:

- Desenvolver geometrias inovadoras apoiadas em revisão bibliográfica e em metodologia de projeto adequada.
- Desenvolver geometrias inovadoras (relacionar com a pronação do antebraço).
- Proceder ao levantamento de requisitos para a conceção do produto (pesquisar na bibliografia).
- Apresentar a metodologia projetual, adotada de um método testado, adaptando-o às características específicas da investigação (não culmina no produto final).
- Documentar o processo de desenvolvimento dos produtos levado a cabo.

## 4.1 Introdução

Pretende-se, com os conteúdos da presente tese, contribuir para o avanço da ciência no que respeita ao conhecimento relativo à utilização de dispositivos manuais apontadores para computador. O contributo anunciado abrange os ratos de computador quer ao nível da sua utilização mais comum, quer ao nível da sua utilização mais intensiva, tal como ocorre durante o uso desta ferramenta manual de trabalho no Desenho e no Projeto Assistidos por Computador (CAD). Torna-se assim necessário proceder a testes experimentais e comparativos entre modelos substancialmente distintos de ratos de computador disponíveis, sendo a geometria o fator principal selecionado para explorar no estudo. Deste modo, os testes experimentais deveriam abranger desde a geometria mais convencional até à radicalmente oposta (inclinação aproximadamente vertical). Por outro lado, resulta da revisão bibliográfica um conjunto de informações e recomendações, que transformadas em requisitos ergonómicos e outros, importa incorporar nestes dispositivos. Por conseguinte, considera-se a inclusão neste estudo de modelos alternativos a desenvolver, que sejam inovadores e portadores de características que possam constituir uma melhoria face a outros já existentes no mercado. Surge, desta forma, o desenvolvimento de duas novas geometrias, cuja metodologia seguida durante o processo de desenvolvimento se apresenta no presente capítulo.

Foram concebidos e construídos dois protótipos funcionais de dispositivo apontador, um dos quais perseguindo uma abordagem de inovação radical (modelo ci) e outro materializando uma abordagem de inovação incremental (modelo ch), Figura 4.1.



Figura 4.1 - Modelos ci e ch em fase de desenho tridimensional assistido por computador (CAD 3D).

O desenvolvimento destes produtos foi objeto de contributos oriundos de várias áreas, nomeadamente da sistematização preconizada para projetos de design industrial, dos princípios ergonómicos e das recomendações aplicáveis a ferramentas manuais e ainda de dados antropométricos. Como já fora referido, o alcance dos trabalhos desenvolvidos no âmbito da presente tese não tem por finalidade principal o estudo aprofundado sobre o desenvolvimento do produto, afigurando-se este tema mais como uma componente auxiliar à investigação em ergonomia de dispositivos apontadores que se procura encetar. Assim, o

presente capítulo não pretende apresentar uma visão englobante, nem constituir uma descrição exhaustiva, do processo de desenvolvimento do produto. Deste modo, abdicou-se da contextualização histórica e metodológica de acordo com as diversas correntes e filosofias que orientam as múltiplas tipologias existentes neste tipo de produto e na atividade projetual subjacente.

O desenvolvimento de novas geometrias para ratos de computador pode constituir um processo complexo visto tratarem-se estes simultaneamente de ferramentas manuais, servindo para interagir com o computador, e sendo utilizados por pessoas de ambos os sexos e por indivíduos praticamente de todas as idades, sendo que a sua utilização é hoje praticamente ubíqua. Na realidade pode-se considerar que não se trata de desenvolver um novo tipo de produto, trata-se do melhoramento adaptando o produto ao utilizador e à tarefa. Neste sentido, procura-se responder a um conjunto de requisitos e recomendações por forma a alcançar melhorias em relação a características anteriormente identificadas como aspetos a melhorar, onde as considerações ergonómicas desempenham um papel primordial.

Da revisão bibliográfica efetuada resultam diversas informações e orientações úteis ao desenvolvimento de um produto desta natureza, destacando-se a importância da usabilidade neste domínio; um produto desenvolvido tomando em consideração as características dos utilizadores será mais eficiente, mais fácil de aprender a utilizar e oferecerá mais satisfação durante o seu uso. Entre outras, estas premissas são preconizadas não só no campo do *web design* como também no desenvolvimento do produto (Coelho & Nunes, 2013). Neste âmbito, são ainda consideradas em primeiro plano as recomendações de Jordan (1998), nomeadamente, dotar o produto de características cuja operacionalidade minimize a probabilidade de erro, bem como tornar óbvio o modo de utilização e otimizar o controlo do utilizador sobre o produto. Em todo o processo de desenvolvimento do produto são, ainda, igualmente importantes os ensinamentos de Nielsen (1993) relativamente à usabilidade, em particular no que diz respeito às heurísticas de Nielsen. Também a norma ISO 9241 define a usabilidade como a medida em que um produto pode ser usado por utilizadores específicos para alcançar objetivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação (ISO 9241-11:1998). A mesma norma sugere que estes conceitos podem igualmente ser aplicados ao software e, ou, ao hardware. Em termos da conceção centrada no utilizador (*User-Centered Design*), Simões-Marques & Nunes (2012) apresentam uma matriz que compara analiticamente métodos e ferramentas aplicáveis a diversos estados de desenvolvimento, nomeadamente à fase de elicitação e especificação de requisitos quanto ao contexto de utilização e aos utilizadores, ao projeto preliminar e à prototipagem e ainda ao campo de testagem e avaliação. Por outro lado, Coelho (2010) apresenta um método para o desenvolvimento do produto tendo por base os princípios da conceção centrada nas características do utilizador e na sua atividade em particular, apoiando a operacionalização de uma abordagem de pendor técnico orientada para o Design Industrial.

## 4.2 Metodologia do desenvolvimento dos ratos de computador

O desenvolvimento do produto no âmbito da presente tese atendeu à estruturação do processo de conceção proposta por Hales (1991), revista por Lewis e Bonollo (2002), citada por Coelho (2010) e que se apresenta na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Adaptado do 'Modelo Operacional do Processo de Design' proposto por Hales (1991), refinado por Lewis e Bonollo (2002) e citado por Coelho (2010).

Processo subordinado ( <i>subordinate process</i> )	Natureza do processo ( <i>nature of process</i> )	Resultados do processo ( <i>output from process</i> )
1. Clarificação da tarefa	Conjunto de tarefas que incluem um briefing oriundo do cliente, a definição de objetivos, o planeamento e a programação de tarefas subsequentes e o tempo de preparação e ainda as estimativas de custo.	Briefing, incluindo especificações do projeto, plano de projeto com calendarização e estimativas de custos.
2. Geração de conceitos	Conjunto de tarefas criativas destinadas a gerar um número elevado de potenciais conceitos como soluções para o problema anteriormente especificado.	Conjunto de esboços conceptuais, acrescentando-lhes modelos simples ou maquetes, que permitam a representação visual das várias ideias.
3. Avaliação e refinamento	Conjunto de tarefas analíticas nas quais os conceitos gerados em (2) são avaliados e reduzidos a um pequeno número de soluções refinadas, resultando, normalmente, em uma ou duas soluções.	Conjunto de esboços de conceitos refinados, suportados por modelos e informação técnica de modo a ilustrar os conceitos selecionados.
4. Projeto de detalhe	Conjunto de tarefas que visa o desenvolvimento e a validação do conceito preferido, incluindo desenhos de disposição espacial, especificações dimensionais, da seleção de materiais, de acabamentos e de tolerâncias.	Conjunto de desenhos detalhados dos componentes, apoiado por um relatório técnico que forneça informações preliminares de produção.
5. Comunicação dos resultados	Conjunto de tarefas em que o conceito detalhado (4) é comunicado ao cliente através de meios adequados (bidimensionais e tridimensionais digitais e físicos) e de um relatório.	Conjunto de desenhos de apresentação, desenhos técnicos (4), apoiados por um modelo tridimensional refinado e, ou, protótipo.

Atendendo à especificidade e ao objetivo que comandou o desenvolvimento destes produtos, culminando nos seus protótipos funcionais para avaliação ergonómica comparativa (validação), foram encetadas diversas tarefas tendo como referência a informação constante na Tabela 4.1, procedendo, no entanto, a certas adaptações (Figura 4.2). Neste contexto, os processos subordinados 3 (Avaliação e refinamento) e 4 (Projeto de detalhe) foram, de certo

modo, agrupados. O estudo relativo aos processos produtivos não foi realizado e o processo subordinado 5 (Comunicação dos resultados) foi assumido como fora de contexto no âmbito do presente estudo uma vez que este se centra na avaliação com especial relevo para o estudo ergonómico de pormenor. Assim, o desenvolvimento dos protótipos funcionais ocorreu a montante visto estes serem indispensáveis ao estudo ergonómico, o qual contemplou estudos de usabilidade e de atividade muscular (por eletromiografia de superfície) dos participantes. O estudo veio a envolver várias dezenas de utilizadores criteriosamente selecionados de acordo com a norma ISO 9241-9:2000.

No diagrama de fluxo (patente na Figura 4.2) estão assinaladas a traço interrompido o que se considerou tratar-se de divergências devido ao contexto entre o desenvolvimento das novas geometrias para ratos de computador e o modelo operacional de referência. A especificidade inerente ao desenvolvimento destas ferramentas manuais e o principal objetivo da tese, centrada na investigação em ergonomia do produto condicionaram o cumprimento integral do método de referência. De facto, o desenvolvimento do produto levado a cabo pode considerar-se incompleto segundo a estruturação do processo de conceção proposta por Hales (1991), revista por Lewis e Bonolo (2002) e citada por Coelho (2010), já que não contemplou todas as suas fases, como por exemplo o estudo dos processos produtivos e a comunicação dos resultados em toda a sua plenitude.

De acordo com a Figura 4.2, o fluxo de informação pode ocorrer entre as diversas etapas com possibilidade de regresso a passos anteriores a partir de fases a jusante, com especial enfoque no desenvolvimento das maquetes. Salienta-se que estas maquetes foram materializadas por impressão 3D com um termoplástico, tal como posteriormente ocorreu ainda que de um modo mais preciso geometricamente no desenvolvimento dos protótipos funcionais. Assim, quer no desenvolvimento das maquetes, quer no desenvolvimento dos protótipos funcionais foi necessário utilizar desenhos de pormenor, nomeadamente com recurso ao desenho tridimensional assistido por computador indispensável ao processo de impressão 3D. Na geração de conceitos, visto tratar-se de geometrias tridimensionais relativamente complexas devido à tentativa de as adaptar à mão do utilizador e à tarefa, recorreu-se à modelação física utilizando uma pasta de modelar denominada de '*clay*'. Contudo, a incorporação de certas características específicas, como por exemplo as que se prendem com os botões do rato, ocorreu na fase da execução de maquetes havendo outras ainda que ocorreram só após a obtenção dos protótipos funcionais, como por exemplo o teste de força para acionar os botões (Figura 4.18). A Figura 4.2 apresenta o diagrama de fluxo relativo ao modelo operacional adotado no desenvolvimento das novas geometrias propostas para ratos de computador e as subsecções seguintes descrevem esse mesmo processo.

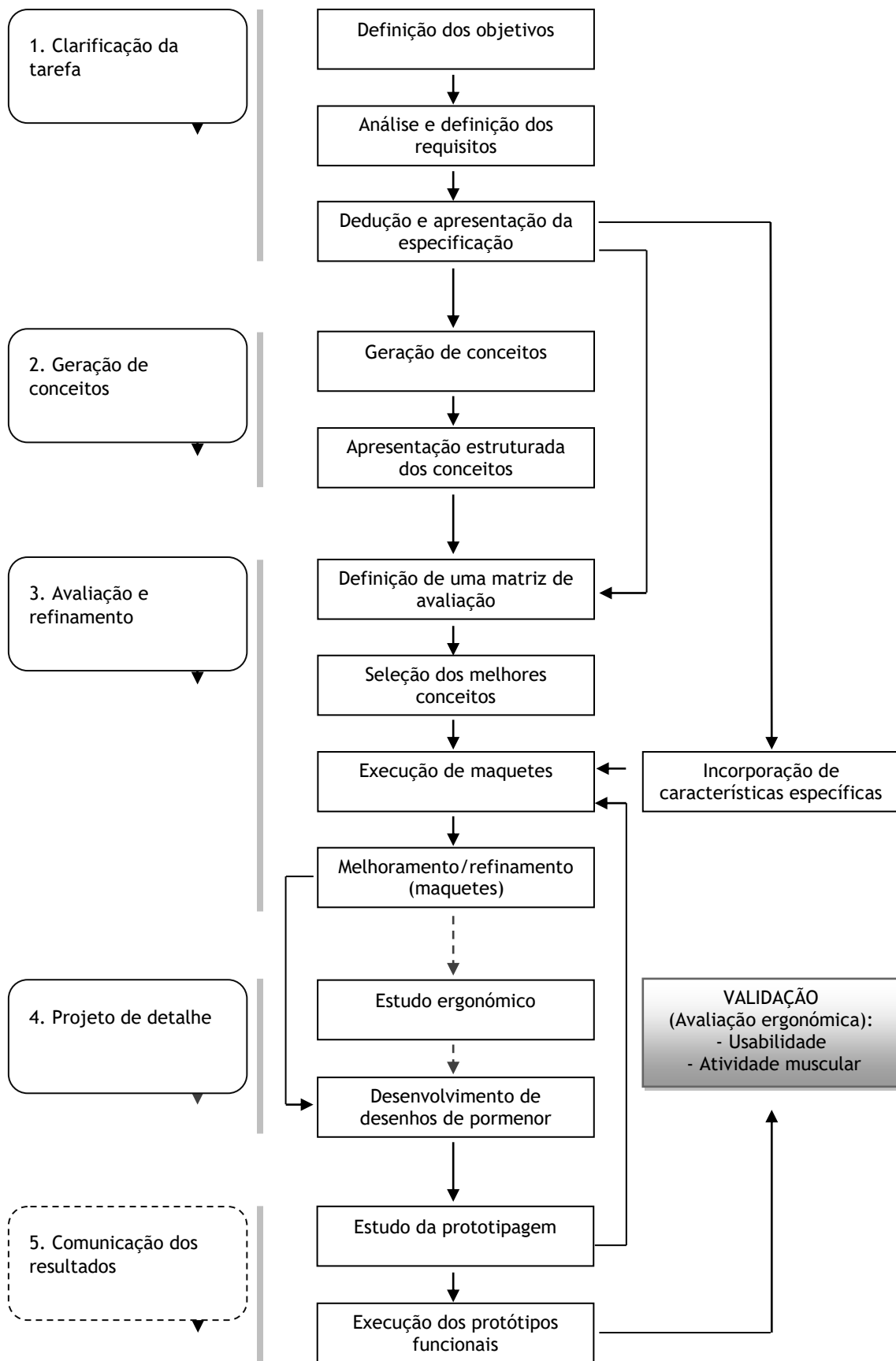


Figura 4.2 - Diagrama de fluxo relativo ao modelo operacional adotado no desenvolvimento do produto numa perspetiva de ergonomia contínua (desenvolvimento de novas geometrias de ratos de computador no âmbito da tese).

## 4.2.1 Clarificação da tarefa

O desenvolvimento de novos ratos de computador, encetado no âmbito desta tese, prende-se com a necessidade de, por um lado, dotar estes dispositivos de características adequadas aos requisitos emanados dos normativos aplicáveis, dos princípios da ergonomia e os que constam da bibliografia consultada, mais concretamente os resultantes da análise a publicações científicas da especialidade. Por outro lado, ao desenvolver novos ratos de computador no presente contexto, ir-se-á dispor de um conjunto de modelos que permita uma abrangência adequada de diferentes geometrias para avaliação comparativa. Pretende-se uma gama de variação relativamente à inclinação com o plano horizontal da orientação principal da interface humana dos dispositivos entre 0° e 90°, para avaliação comparativa da usabilidade dos diferentes modelos e da atividade muscular dos utilizadores. Com inclinação de 0° considera-se o rato horizontal e simétrico (geometria convencional ou padrão) e com inclinação de 90° considera-se o rato vertical, permitindo este último adotar uma postura do antebraço considerada como neutra, isto é, sem ocorrência de pronação nem supinação do antebraço.

Procede-se ao desenvolvimento das novas geometrias propostas, sendo que a obtenção da função de apontamento com resolução padrão e as restantes características que derivam do hardware são asseguradas através da implementação dos circuitos eletrónicos de um modelo comercial, o *Microsoft optical mouse 200*, doravante designado de mi (Figura 4.3). Trata-se de um modelo padrão, horizontal e simétrico (com orientação principal da interface humana a 0° com o plano horizontal), que fará igualmente parte do conjunto de dispositivos apontadores a testar no âmbito dos trabalhos desta tese. Deste modo, os protótipos funcionais dos modelos desenvolvidos no âmbito da presente tese apresentam a mesma resolução de apontamento e *throughput* (taxa de transferência) do modelo mi.



Modelo mi

Figura 4.3 - *Microsoft optical mouse 200* (os modelos desenvolvidos usam o seu hardware eletrónico).

As Tabelas 4.2 e 4.3 (acompanhadas das Figuras 2.2, 2.3) apresentam requisitos, recomendações e informações gerais orientadas para o desenvolvimento de ratos de computador, respetivamente, segundo os normativos aplicáveis da série ISO 9241



((*Ergonomics of human-system interaction*) e as resultantes de diversos estudos científicos que focam a problemática relacionada com o uso destes dispositivos ou com o uso de ferramentas manuais em geral.

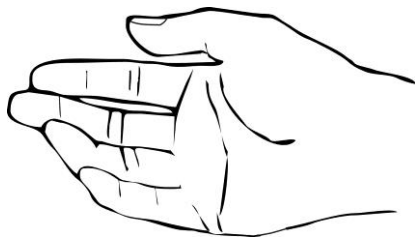
Tabela 4.2 - Síntese de requisitos e recomendações para o desenvolvimento de ratos de computador segundo os normativos aplicáveis da série ISO 9241 (*Ergonomics of human-system interaction*).

Normativos	Requisitos e recomendações aplicáveis ao desenvolvimento de um rato de computador
<p>ISO 9241-9:2000 (<i>Ergonomic requirements for office work with visual display terminals - part 9: Requirements for non-keyboard input devices</i>)</p> <p>A norma indica ainda, ao longo dos seus anexos A, B, C e D (todos com a menção “<i>informative</i>”), informações úteis de referência quanto a testes de usabilidade e outros métodos de avaliação, tais como análise postural e de atividade muscular (anexo D)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Prever ancoragem através dos dedos, mão e punho por forma a assegurar o controlo estável entre a mão e o ponto de ação;</li> <li>-o seu uso não deve requerer desvios excessivos da mão, dedos, braço, ombro e cabeça relativamente às respetivas posições neutras;</li> <li>-o seu uso deve minorar a carga biomecânica sobre o utilizador (minimizar a atividade muscular);</li> <li>-o afastamento entre botões deverá ser de 0.5 mm a 6 mm;</li> <li>-os botões devem auxiliar no posicionamento dos dedos e facilitar a sua atuação;</li> <li>-a força para acionar os botões deverá ser de 0.5 N a 1.5 N;</li> <li>-o seu design deve dificultar o acionamento inadvertido dos botões durante o uso e o movimento não intencional do ponteiro;</li> <li>-deve poder ser usado de modo ambidestro ou devem ser disponibilizados dispositivos para destros e para esquerdinos;</li> <li>-as superfícies de aderência devem ter tamanho suficiente, forma e textura para evitar o escorregamento da mão;</li> <li>-deve ser desenhado para acomodar as dimensões da mão do potencial utilizador;</li> <li>-o ponto para aplicação do sensor de movimento deve situar-se sob os dedos (incluindo o polegar);</li> <li>-a massa do dispositivo não deve prejudicar a sua precisão.</li> </ul>
<p>ISO 9241-400:2007 (<i>Ergonomics of human-system interaction - part 400: Principles and requirements for physical input devices</i>) (Requisitos semelhantes aos da ISO 9241-9:2000)</p>	<p>Na utilização do dispositivo, deve-se evitar (ver Figuras 2.2 e 2.3):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-o desvio radial ou cubital da mão e a extensão ou flexão do punho;</li> <li>-a supinação ou a pronação do antebraço;</li> <li>-a abdução ou adução, extensão ou flexão e rotação para dentro ou rotação para fora, do braço.</li> </ul>
<p>ISO 9241-410:2008+A1:2012 (<i>Ergonomics of human-system interaction - part 410: Design criteria for physical input devices</i>)</p> <p>Indica, no anexo C (“<i>normative</i>”), os requisitos necessários ao desenvolvimento de ratos de computador. Reforça grande parte dos requisitos preconizados nas duas normas antecedentes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Refere a ausência de conhecimento conclusivo sobre a compatibilidade destes dispositivos no que respeita às dimensões antropométricas da população alvo, justificando a ausência de requisitos antropométricos com a dificuldade de projetar geometrias adequadas a todas as dimensões da mão;</li> <li>-para os dedos que atuam os botões e para o polegar (movimentação do rato) a força necessária não deve ser mais do que 1% da contração máxima dos músculos envolvidos;</li> <li>-o rato deve promover a adoção de posturas neutras para os dedos e punho e minimizar a carga de trabalho estática;</li> <li>-a postura mais relaxada do antebraço é indicada para um ângulo de cerca de 60° com o plano horizontal;</li> <li>-a localização dos botões deve minimizar a extensão dos dedos e minimizar a ocorrência de causas que levem à tensão dos dedos.</li> </ul>

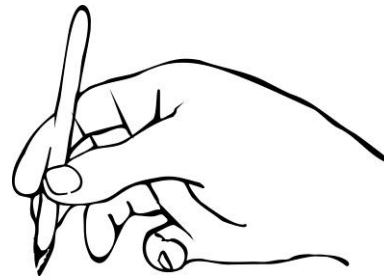
Tabela 4.3 - Síntese de requisitos, recomendações e informações úteis ao desenvolvimento de ratos de computador sugeridos em diversos estudos científicos aplicáveis.

Estudos científicos (autores)	Requisitos sugeridos e recomendações aplicáveis ao desenvolvimento de um rato de computador
Aaras, Dainoff e Thoresen (2001)	Os dispositivos apontadores devem ser providos de características que promovam posturas neutras do antebraço, do punho e da mão, minimizando a adoção de posturas extremas, tais como a pronação do antebraço, a extensão do punho, ou os desvios radial e cubital da mão.
Aptel, M., Claudon, L., & Marsot, J. (2001)	A massa da ferramenta manual é diretamente proporcional ao esforço muscular despendido pelo utilizador; o centro de gravidade da ferramenta manual deve localizar-se no eixo de preensão para minimizar o esforço muscular; a pega ou cabo da ferramenta deve ser maior em comprimento do que o comprimento da mão.
Ullman, Kangas, Ullman, Wartenberg e Ericson (2003)	A realização de tarefas de precisão deve ser facilitada sem envolver músculos da parte superior do braço e do ombro, utilizando um apoio para o antebraço; por ocorrer tensão estática nos músculos extensores a geometria do dispositivo deve evitar a necessidade de clicar com os dedos estendidos; os movimentos devem basear-se em habilidades já apreendidas e o uso dos dispositivos deve ser intuitivo.
Agarabi, Bonato e De Luca (2004)	Estes dispositivos devem ser desenhados por forma a eliminar posturas inadequadas, melhorar a conformidade geométrica e dimensional à mão, facilitar o controlo e a movimentação do dispositivo e diminuir a tensão muscular.
Odell e Johnson (2007)	Geometrias com inclinação (reduzoras da pronação) reduzem a pronação do antebraço e os desvios do punho.
Chen, H. M., Lee, C. S., & Cheng, C. H. (2012)	Para o modelo alternativo que estes investigadores propõem, o protótipo com 130 g de massa fomenta um padrão de movimentos comparativamente mais consistente e resultando em menor amplitude de movimento do punho e menos atividade muscular do que os outros.
Rempel, D.M., Camilleri M.J., Lee, D.L. (2014)	Evitar gestos que provoquem a extensão total dos dedos ou o punho totalmente apertado; evitar posturas nas quais os dedos adjacentes assumam diferentes posturas entre si, em especial o dedo médio, o anelar e o mindinho (o polegar e o indicador têm grande independência de movimentos em relação aos restantes dedos); as tarefas comuns podem ser efetuadas com a mão aberta ou ligeiramente curvada ou ainda em forma de punho relaxado (idêntico à letra 'O' da linguagem gestual).
Jordan (1998) (Numa ótica de usabilidade do produto)	Para melhorar a usabilidade, as características físicas a incluir no produto não devem contrastar demasiado com os estereótipos previamente estabelecidos, podendo, caso contrário, causar erros e dificuldades de adaptação.
Story (2011); Mueller (1996) (Numa ótica de <i>Universal Design</i> )	O uso do produto deverá ser equitativo, flexível, simples e intuitivo, devendo o produto ser dotado de informações perceptíveis, apresentar tolerância ao erro e não requerer mais do que um pequeno esforço físico da parte do seu utilizador.

Apresenta-se na Figura 4.4, de acordo com Pheasant (2003), a mão em posição de repouso e a mão numa postura de preensão precisa. A mão segurando um cilindro corresponde à postura de preensão de força (não representada na Figura 4.4).



Mão em posição de repouso



Mão numa postura de preensão precisa

Figura 4.4 - Representação da mão direita em posição de repouso (*position of rest*) e numa postura de preensão precisa (*precision grip*) (adaptado de Pheasant, 2003).

Por sua vez, a Figura 4.5 apresenta informação relativamente ao diâmetro circunferencial máximo de preensão (*maximum grip diameter*), patente em Pheasant (2003). Esta dimensão antropométrica é medida deslizando a mão para baixo num cone graduado, até o dedo médio e o polegar se tocarem. A mesma Figura 4.5 apresenta, do seu lado direito, valores do diâmetro circunferencial máximo de preensão, correspondentes ao 5º percentil e ao 50º percentil, relativos a dados antropométricos estimados para indivíduos adultos da população britânica e obtidos a partir de uma amostra da população militar britânica (Gooderson *et al.* (1982)). À data da realização dos trabalhos da presente tese não estavam disponíveis quaisquer dados antropométricos da população portuguesa nesta matéria.



O diâmetro circunferencial máximo de preensão.

Diâmetro circunferencial máximo de preensão (DC)	P <sub>5</sub>	P <sub>50</sub>
Mulher	43 mm	48 mm
Homem	45 mm	52 mm

5º percentil e 50º percentil do diâmetro circunferencial de preensão (dados antropométricos para adultos britânicos com idades entre 19-65 anos).

Figura 4.5 - Informação gráfica e dimensional relativa ao diâmetro circunferencial máximo de preensão (adaptado de Pheasant, 2003).

Os requisitos, as recomendações e as informações de cariz mais genérico apresentados nesta secção, bem como em toda a bibliografia consultada neste domínio, constituem a referência adotada no desenvolvimento das duas novas geometrias de ratos de computador que este capítulo pretende descrever. Procurando fundamentalmente anular redundâncias entre as

Tabelas 4.2 e 4.3, e procurando também não perder de vista o objetivo de conceber dispositivos mais adequados à utilização no domínio do CAD, elaborou-se, na Tabela 4.4, a especificação que é necessária para encetar a fase subsequente, a geração de conceitos.

Tabela 4.4 - Especificação para a conceção dos ratos de computador.

Especificação
<p>-Prever a estabilização e a ancoragem do dispositivo apontador através da interação dos dedos e ou da mão com a geometria do dispositivo.</p> <p>-A geometria irá minorar o desvio dos dedos, minorar o desvio radial ou cubital da mão, a extensão ou flexão do punho e a supinação ou a pronação do antebraço (ver Figuras 2.2 e 2.3) aquando da utilização do dispositivo.</p> <p>-A geometria irá promover na utilização do dispositivo pouca atividade muscular e reduzida carga de trabalho estática.</p> <p>-A força para acionar os botões será de 0.5 N a 1.5 N.</p> <p>-O desenho dos botões auxiliará o posicionamento estável dos dedos e facilitará a sua atuação.</p> <p>-A localização e a forma dos botões minimizarão a extensão dos dedos e minimizarão as causas que levam à tensão dos dedos.</p> <p>-A geometria irá dificultar o acionamento inadvertido dos botões durante o uso bem como o movimento não intencional do ponteiro ao acionar os botões.</p> <p>-A geometria tridimensional do dispositivo apontador será adequada para destros.</p> <p>-A geometria irá acomodar as dimensões da mão dos utilizadores potenciais (dificuldade prática reconhecida pelos normativos aplicáveis).</p> <p>-A geometria será redutora da pronação do antebraço (inclinação com o plano horizontal do plano definido pelo cúbito e pelo rádio junto ao punho).</p> <p>-Deve considerar-se na definição da geometria da interface humana do dispositivo a possibilidade da adoção da postura mais relaxada do antebraço, que é indicada para um ângulo de cerca de 30° com o plano vertical (inclinação de 60° com o plano horizontal de trabalho).</p> <p>-Considerar na definição da geometria que as tarefas comuns e frequentes devem ser efetuadas com a mão aberta ou ligeiramente curvada, ou ainda em forma de punho relaxado (num gesto semelhante à letra 'O' da linguagem gestual).</p> <p>-A geometria deverá promover a adoção de posturas nas quais os dedos adjacentes (dedo médio, anelar e mindinho) não assumam posturas díspares entre si.</p> <p>-A geometria do dispositivo deve evitar a necessidade de clicar com os dedos estendidos bem como envolver a contração estática dos músculos extensores de quaisquer dedos.</p> <p>-As superfícies de aderência do dispositivo não devem promover o escorregamento da mão.</p> <p>-O sensor de movimento deve situar-se sob os dedos (postura de preensão precisa).</p> <p>-A massa do dispositivo não deve prejudicar a sua precisão (adotar um valor reduzido).</p> <p>-O centro de gravidade do dispositivo deve localizar-se no eixo de preensão.</p> <p>-Os movimentos necessários para a utilização do dispositivo devem basear-se em habilidades já aprendidas pelos utilizadores experientes e o dispositivo deve proporcionar um uso intuitivo.</p> <p>-As características físicas a incluir no produto não devem contrastar demasiado com os estereótipos previamente estabelecidos.</p> <p>-O produto deve promover a sua utilização de modo flexível, simples e intuitivo.</p> <p>-A geometria será inovadora.</p>

## 4.2.2 Geração de conceitos

Nesta secção apresenta-se o processo e o resultado da geração de conceitos tendo por base toda a informação apresentada na secção anterior, ainda que com enfoque particular na especificação (Tabela 4.4). A Figura 4.6 apresenta, segundo duas vistas distintas em perspetiva, a listagem final ordenada dos vários conceitos gerados neste processo.

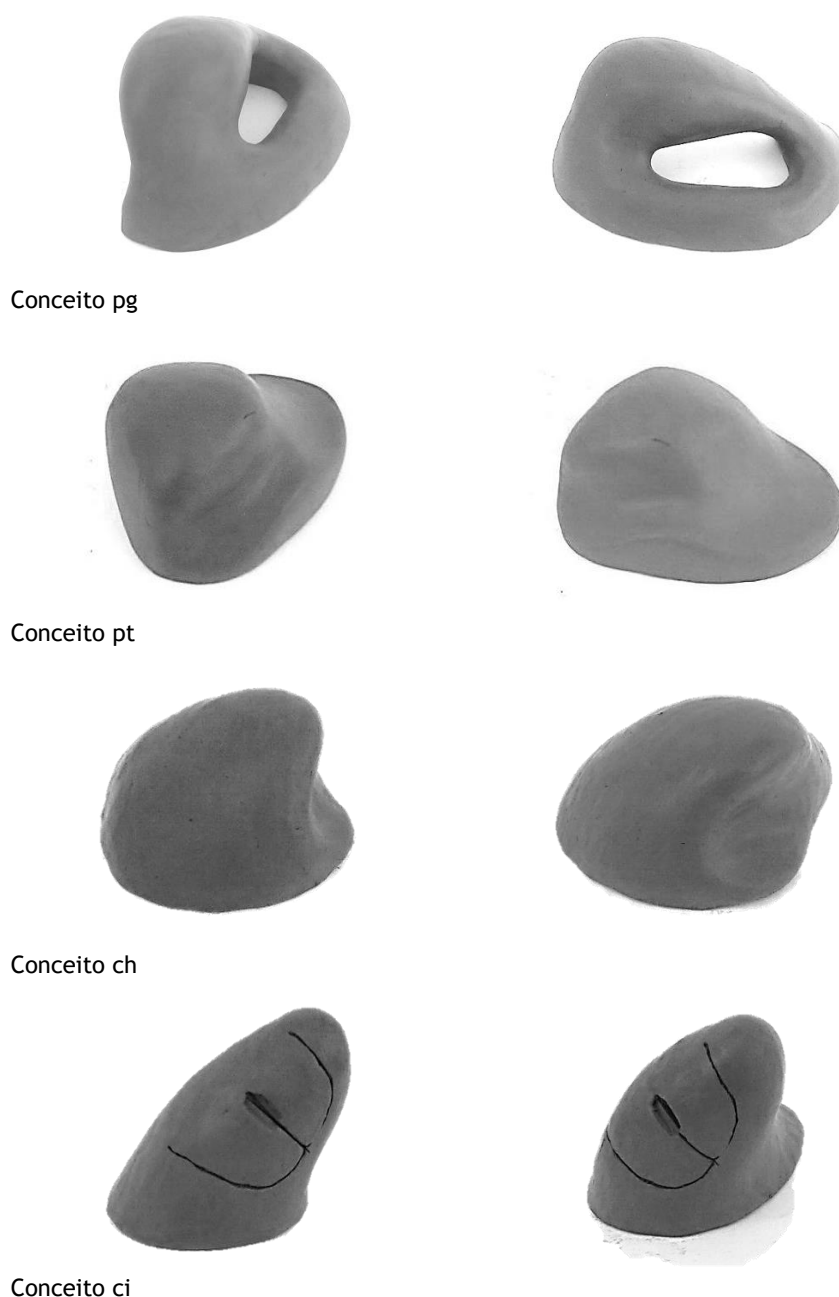


Figura 4.6 - Resultado da geração de conceitos (pg, pt, ch e ci, apresentados em duas vistas distintas).

Nesta fase conceptual procurou-se incorporar as características necessárias ao cumprimento da especificação, estabelecendo compromissos na satisfação de requisitos conflitantes,

através das soluções de forma estudadas e adotadas. Alguns dos requisitos envolvidos de forma mais conflituante, uns com os outros, foram a oferta do suporte para apoiar a palma da mão, a ancoragem para facilitar a movimentação da geometria com menor esforço dos dedos, tentando minimizar a atividade muscular; a preensão de precisão por aproximação das extremidades distais dos dedos indicador e polegar; a promoção de posturas nas quais os dedos adjacentes (dedo médio, anelar e mindinho) não assumissem posturas díspares entre si; a estética inovadora; entre outros.

As geometrias foram criadas com recurso à modelagem manual usando 'clay' e seguindo técnicas patentes em Shimizu, Kojima, Tano e Matsuda (1991). Este método permite a realização de ensaios prévios, quer de forma, quer de movimentação funcional do dispositivo, testando ainda diversos aspetos relacionados com as posturas dos dedos da mão. Foi deste modo possível gerar diversas geometrias, procurando também adaptar cada geometria à anatomia da mão, apesar das dificuldades que esta tarefa impõe, tal como é reconhecido pela norma ISO 9241-410:2008+A1:2012. Embora este método possa parecer algo redutor do ponto de vista do processo criativo inerente à geração de conceitos comparativamente ao esboço 2D, foi possível, neste caso, gerar geometrias bastante distintas, tal como se pode verificar na Figura 4.6. Uma das alternativas previamente geradas está patente na Figura 4.7. Esta variante do conceito pg (Figura 4.6) foi gerada seguindo especificamente a abordagem de preensão precisa preconizada por Pheasant (2003); todavia, optou-se, dadas as exigências inerentes à utilização de eletrónica já existente e outras limitações do processo de prototipagem, pela não prossecução daquela geometria no tempo útil englobando os trabalhos conducentes a esta tese. Por este motivo, foram introduzidas pequenas diferenças de geometria no conceito pg de modo a tornar possível a execução de um hipotético protótipo. Os conceitos gerados foram posteriormente seriados, com base em critérios derivados dos requisitos patentes na especificação de projeto, numa matriz de avaliação.



Figura 4.7 - Alternativa concetual (variante do conceito pg) com vista a servir de base para o desenvolvimento de um rato de computador numa abordagem de inovação radical.

### 4.2.3 Avaliação, refinamento e projeto de detalhe

A partir da especificação e da geração de conceitos subsequente foi estabelecida uma matriz de avaliação (Tabela 4.5). Deste modo, e tendo por base a especificação, foram consideradas 16 critérios na avaliação dos conceitos distintos propostos. A cada critério de avaliação foi previamente atribuído um peso, que varia de 1 a 3. O valor 3 foi atribuído a características consideradas mais importantes, como por exemplo: minorar o desvio (cubital, e, ou, radial) da mão durante o movimento do rato, e o valor 1 foi atribuído a características consideradas menos importantes no presente contexto, como por exemplo: os movimentos devem basear-se em habilidades já aprendidas. De seguida, para cada conceito foi atribuída uma pontuação que varia de 1 a 4 em função da satisfação de cada um dos critérios, sendo que o valor 1 corresponde à pior classificação e o valor 4 corresponde à melhor classificação. Os modelos em 'clay' foram decisivos para possibilitar uma cabal avaliação, pois não teria sido possível seriadamente os conceitos gerados se se partisse apenas de desenhos 2D ou 3D. A matriz de avaliação foi então completada multiplicando a pontuação atribuída a cada conceito, para cada um dos critérios, pelo peso previamente atribuído ao respetivo critério em apreciação. A pontuação total obtida foi de 83 pontos para o conceito pg, 83 pontos para o pt, 102 pontos para o ch e 104 pontos para o ci. Foram, deste modo, selecionados para prosseguir o desenvolvimento posterior apenas os dois conceitos que alcançaram maior pontuação, o conceito ci e o conceito ch. De seguida procedeu-se ao desenvolvimento das maquetes destes dois conceitos adotando aproximadamente uma inclinação da interface humana principal de 45° com o plano horizontal para a maquete ci e uma inclinação de aproximadamente 30° para a maquete ch. A título de exemplo apresenta-se na Figura 4.8 o resultado de impressão 3D em polímero ABS e o seu modelo prévio (ci) obtido por modelagem manual. Esta impressão 3D faz parte do processo de refinamento das maquetes que se explicita mais adiante.



Figura 4.8 - Resultado de impressão 3D e modelo prévio em 'clay' relativo ao conceito ci.

Tabela 4.5 - Matriz de avaliação com base na especificação (peso atribuído a cada critério entre 1 e 3; pontuação atribuída a cada produto em cada critério entre 1 e 4, o valor 1 corresponde à pior classificação e o valor 4 corresponde à melhor classificação).

Critérios de Avaliação	Conceito (opção)								
	peso	pg		pt		ch		ci	
		pont.	res.	pont.	res.	pont.	res.	pont.	res.
Facilitar a ancoragem da geometria através dos dedos e, ou, a mão	1	4	4	2	2	2	2	3	3
Minorar o desvio da mão (cubital e, ou, radial) durante o movimento do rato	3	3	9	1	3	2	6	3	9
Minorar desvios do punho (extensão e, ou, flexão) durante o movimento do rato	3	4	12	2	6	2	6	3	9
Minorar a supinação ou a pronação do antebraço quando a mão segura o rato	3	1	3	2	6	3	9	4	12
A localização e a forma dos botões deve minimizar a extensão dos dedos e a tensão dos dedos	3	4	12	4	12	4	12	4	12
A geometria deve acomodar as dimensões da mão dos potenciais utilizadores	2	2	4	1	2	2	4	3	6
A mão deve manter-se ligeiramente curvada ou em forma de punho relaxado	2	3	6	3	6	3	6	4	8
Evitar posturas onde os dedos adjacentes (médio, anelar e mindinho) assumem diferentes posturas entre si	2	3	6	4	8	4	8	3	6
Evitar a necessidade de clicar com os dedos estendidos ou a contração estática dos músculos extensores dos dedos	3	3	9	2	6	3	9	3	9
Facilidade de aplicar os botões adequados	3	1	3	3	9	4	12	2	6
O sensor de movimento deve situar-se sob os dedos (postura de preensão precisa)	2	1	2	4	8	4	8	3	6
O C.G. deve localizar-se no eixo de preensão	2	2	4	2	4	3	6	3	6
Os movimentos devem basear-se em habilidades já apreendidas	1	2	2	3	3	4	4	3	3
As características físicas a incluir no produto não devem contrastar demasiado com os estereótipos estabelecidos	1	1	1	3	3	4	4	2	2
O uso deve ser flexível, simples e intuitivo	1	2	2	3	3	4	4	3	3
A geometria deve ser inovadora	1	4	4	2	2	2	2	4	4
<b>Total de pontuação ponderada obtida</b>			<b>83</b>		<b>83</b>		<b>102</b>		<b>104</b>

pont.: pontuação;  
res.: resultado.



A Figura 4.9 ilustra a maquete final do conceito ci construída em polímero ABS. A maquete apresenta já o corte dos botões, de modo a poder-se ensaiar melhor a sua forma, a sua localização e até a sua utilização, embora apenas parcialmente. O diâmetro circunferencial de preensão (Figura 4.5) foi utilizado como referência na geometria ci; assim, a maquete correspondente apresenta cerca de 43 mm de diâmetro médio ao nível do botão esquerdo (dedo indicador) e cerca de 52 mm de diâmetro médio ao nível do botão direito (dedo médio). A melhoria e o refinamento das maquetes correspondem a um processo iterativo na tentativa de incorporar as diversas características almejadas.

O conceito ci resulta ainda, do ponto de vista da postura da mão, da combinação de duas posturas aparentemente opostas, nomeadamente *power grip* (preensão de força) e *precision grip* (preensão de precisão). Do mesmo modo, Rempel *et al.* (2014) defendem que as tarefas manuais comuns devem ser efetuadas com a mão aberta ou ligeiramente curvada ou ainda em forma de punho relaxado (num gesto cuja forma se assemelha à letra 'O' na linguagem gestual). Esta última postura, indicada por aqueles investigadores, apresenta grande semelhança com a postura adotada no controlo do dispositivo ci, tal como se pode observar na Figura 4.9.



Maquete ci

Figura 4.9 - Maquete do conceito ci (mão de indivíduo do sexo masculino com 190 mm de comprimento e 88 mm de largura, correspondendo respetivamente ao 40º percentil e ao 50º percentil de acordo com Gordon *et al.* (2014) - amostra da população militar dos EUA).

A maquete do conceito ch, materializada igualmente em termoplástico, está ilustrada na Figura 4.10. Estas maquetes são constituídas apenas por uma ‘casca’ com cerca de 2 mm de espessura a partir de técnicas de modelação e impressão 3D (Chua, Leong e Lim, 2010). Tal como anteriormente referido, o melhoramento e o refinamento destas maquetes resultam de um processo iterativo na tentativa de incorporar as diversas características necessárias, ressaltando, contudo, as diferenças de conceito ao nível da geometria entre a maquete ch e a maquete ci. Note-se que a maquete ch apresenta algumas semelhanças de geometria em relação a outros modelos de ratos de computador comercialmente disponíveis e vulgarmente apresentados como modelos ergonómicos. Contudo, a maquete ch, face a outros modelos dos mais disseminados, apresenta dimensões mais generosas e uma pronunciada cavidade para o apoio do dedo polegar, permitindo não só a aproximação deste dedo em relação ao dedo indicador, como facilita também a ancoragem e a estabilização durante o guiamento do deslocamento do dispositivo.



Maquete ch

Figura 4.10 - Maquete do conceito ch (mão de indivíduo adulto do sexo masculino com 190 mm de comprimento e 88 mm de largura, correspondendo respetivamente ao 40º percentil e ao 50º percentil de acordo com Gordon *et al.* (2014) - amostra da população militar dos EUA).

As maquetes permitiram a realização de diversos ensaios, tais como os relativos à avaliação dos diferentes tamanhos e das posições dos botões, ou quanto à facilidade de deslocamento do dispositivo. Para além destes, ensaiaram-se ainda, com recurso às maquetes realizadas, o desvio dos dedos quando a mão segura o rato, a influência do desenho dos botões no posicionamento dos dedos, a facilidade da sua atuação e ainda a forma e tamanho das

superfícies em contacto com a mão. Os ensaios referidos permitiram refinar os modelos conduzindo assim ao desenvolvimento dos protótipos funcionais.

Na Figura 4.11 pode observar-se a postura estática da mão em ambas as maquetes, constatando-se que a maquete ci adapta-se melhor a utilizadores com mão de menores dimensões comparativamente ao modelo ch, em parte devido à geometria aproximadamente cónica do conceito ci. Quanto à oferta de apoio palmar e à promoção da ancoragem e deslocamento estável, ambas as maquetes satisfazem estes critérios.



Maquete ch

Maquete ci

Figura 4.11 - Maquete ch e ci para reavaliação dos conceitos refinados (mão de indivíduo adulto do sexo feminino com 165 mm de comprimento e 74 mm de largura, correspondendo respetivamente ao 5º percentil e ao 15º percentil de acordo com Gordon *et al.* (2014) - amostra da população militar dos EUA).

Na estruturação do modelo operacional do processo projetual adotado como referência, o projeto de detalhe (processo subordinado 4) inclui o estudo ergonómico de pormenor, bem como o desenvolvimento de desenhos de pormenor, visando a produção do produto. Contudo, neste caso, foi necessário obter desenhos técnicos de pormenor, bem como protótipos funcionais, tipicamente incluídos no processo subordinado 5 (comunicação de resultados), precisamente para realizar o estudo ergonómico de pormenor. Esta avaliação ergonómica conta com uma bateria de testes de carácter experimental resultando, de certo modo, de uma junção entre a avaliação (processo subordinado 3) e o projeto de detalhe (processo subordinado 4). A avaliação ergonómica dos modelos desenvolvidos constou de um estudo comparativo envolvendo cinco dispositivos apontadores, três comercialmente disponíveis e que apresentam ângulos característicos, respetivamente, de 0°, 60° e 90° e os dois modelos desenvolvidos, que apresentam ângulos característicos de 30° e de 45°, respetivamente. O desenvolvimento destas matérias apresenta-se nos capítulos subsequentes desta tese.

Após o refinamento das maquetes, procedeu-se ao aprimoramento dos desenhos técnicos necessários ao desenvolvimento dos respetivos protótipos funcionais, recorrendo ao desenho



Pretendeu-se com o modelo ci facilitar o controlo manual de preensão, o que é sustentado pela sua geometria aproximadamente cónica. Pretendeu-se ainda potenciar a precisão durante a sua utilização, por aproximação dos dedos polegar, indicador e médio, à semelhança de uma postura de preensão precisa (Figura 4.4). Para além da informação disponibilizada por Pheasant (2003), ilustrada sumariamente nas Figuras 4.4 e 4.5, e da especificação em geral (Tabela 4.4), foi ainda tomada como guia mestra para o desenvolvimento do conceito ci a informação patente nas obras 'Principles of handtool design' da autoria de Aptel, Claudon e Marsot (2001) e 'The design of hand gestures for human-computer interaction' da autoria de Rempel, Camilleri e Lee (2014). Finalmente, pretendeu-se que este modelo fosse reconhecido como tratando-se de um rato de computador e, simultaneamente, que incorporasse um design inovador.

De modo análogo, o protótipo ch, cujo modelo virtual tridimensional pode ser parcialmente apreciado a partir das Figuras 4.14 e 4.15, foi desenvolvido de acordo com a especificação geral (Tabela 4.4). Este destina-se a ser usado com a mão direita e possui uma geometria que garante redução da pronação do antebraço, embora em menor escala do que o modelo ci, apresentando um ângulo característico de apenas 30° (Figura 4.15). O apoio palmar, bem como a generalidade das características deste dispositivo, foi pensado para melhorar a usabilidade em especial para indivíduos com tamanho da mão superior à média. Foi desenhado um apoio para o dedo polegar, em forma de cavidade, para facilitar o controlo na movimentação do dispositivo. A Figura 4.14 ilustra uma vista em perspetiva do modelo virtual da carcaça ch em fase de aperfeiçoamento, podendo observar-se parte da cotagem utilizada na sua parametrização. Quanto ao seu atravancamento, a base do modelo ch apresenta 120 mm de comprimento e 90 mm de largura.

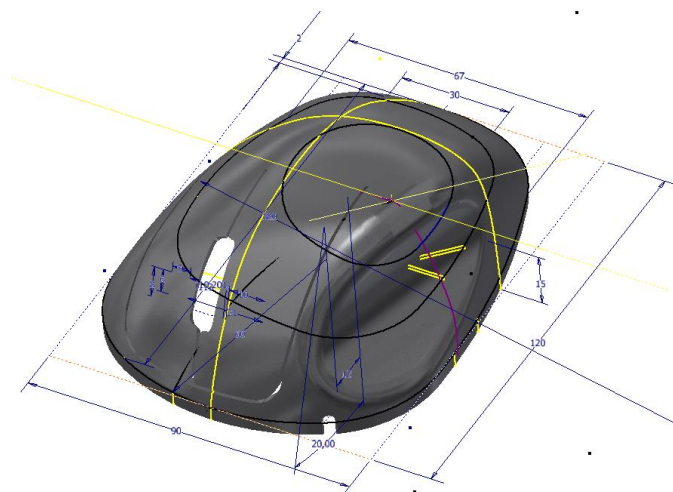


Figura 4.14 - Vista em perspetiva do conceito ch com cotagem parcial (carcaça superior, modelo tridimensional virtual gerado com ferramenta de CAD 3D).

A modelação digital 3D realizada foi primeiramente baseada num processo de engenharia inversa (com recurso a scanner 3D) e na transposição das dimensões físicas dos modelos em

'clay' a partir do corte desses modelos em fatias, de modo a tornar possível a recolha manual das respetivas dimensões. Posteriormente, na fase de execução e melhoramento das maquetes, que antecedeu a execução dos protótipos funcionais, foram aperfeiçoados os modelos tridimensionais digitais necessários à construção dos respetivos protótipos.

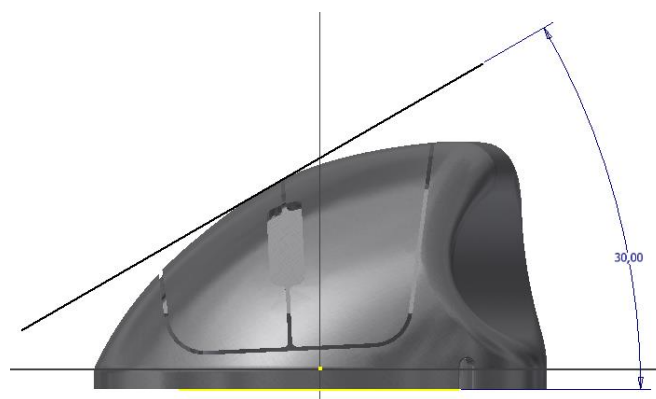
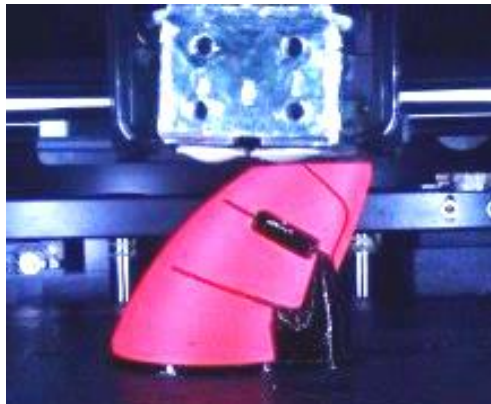


Figura 4.15 - Vista frontal do conceito ch com cotagem do ângulo de inclinação característico (30°), (modelo tridimensional virtual gerado com ferramenta de CAD 3D).

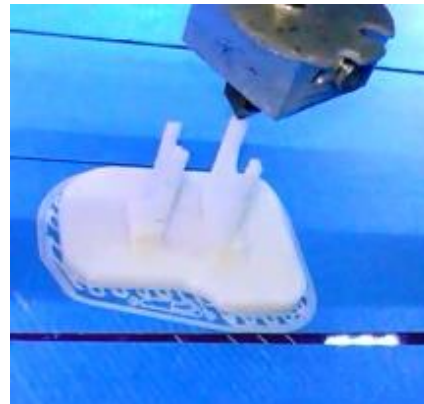
A Figura 4.16 oferece uma visão geral do processo de prototipagem do dispositivo ci após modelação com recurso a um software de CAD 3D, contemplando a fase de impressão 3D em termoplástico ABS e a fase de montagem final incluindo componentes eletrónicos. O desenho tridimensional assistido por computador foi efetuado pelo autor com recurso ao programa *Autodesk® Inventor*, um software de CAD paramétrico. Nesta modalidade, é possível obter geometrias em tamanhos alternativos a partir de um modelo parametrizado por alteração das cotas patentes no modelo digital. A impressão tridimensional dos componentes necessários ao funcionamento do protótipo foi efetuada no laboratório de prototipagem rápida do Instituto Politécnico da Guarda, coordenado pelo autor, utilizando uma máquina *Stratasys Dimension SST 1200* e software proprietário do mesmo fabricante. A Figura 4.16 mostra a impressão 3D da carcaça e de um componente interno do modelo ci. A mesma apresenta também a carcaça e a respetiva base à saída do processo de impressão, e mostra ainda o conjunto em fase de montagem após a realização de um processo de acabamento manual de lixagem e ataque químico com acetona. O acabamento manual das peças oriundas do processo de impressão 3D utilizado permitiu trabalhar a textura e o aspeto em geral das peças sob interesse deixando as superfícies de contacto com a mão com menos imperfeições.

Os componentes eletrónicos utilizados em ambos os protótipos (ch e ci) foram obtidos através da aquisição de vários dispositivos apontadores iguais, da marca e modelo *Microsoft Optical 200* e de arquétipo padrão, e com fios, apresentando uma resolução de 1000 dpi (*dots per inch* - pontos por polegada). A opção por modelo com fios prende-se com a tentativa de minorar efeitos não controláveis introduzidos por uma ligação sem fios no tempo de resposta

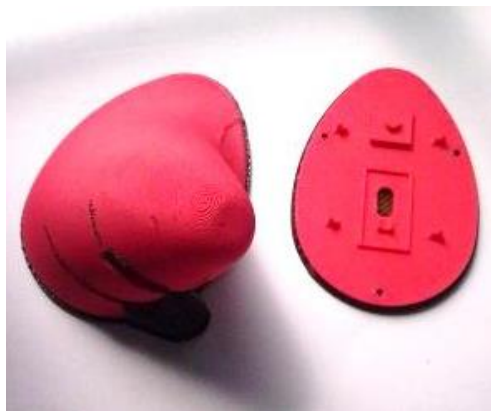
e no desempenho dos componentes eletrônicos dos dispositivos apontadores, para além de outras variações que poderão ser introduzidas em função do estado de carga da pilha do dispositivo sem fios.



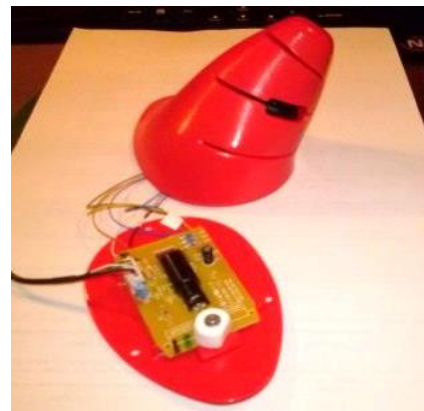
Impressão 3D da carcaça do modelo ci



Impressão 3D de componentes internos



Carcaça e base do modelo ci após impressão 3D



Protótipo ci em fase de montagem (incluindo circuitos eletrónicos)

Figura 4.16 - Execução de protótipos (protótipo ci).

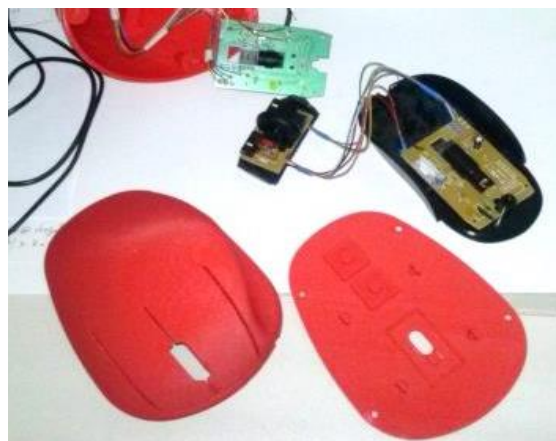
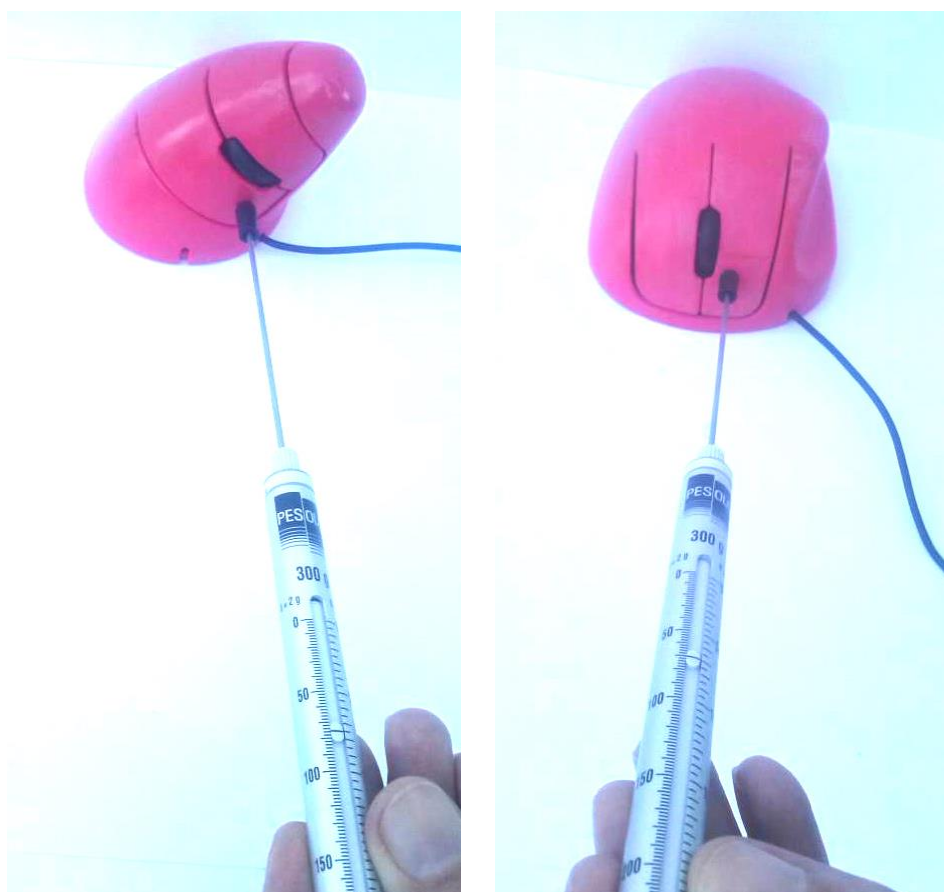


Figura 4.17 - Protótipo ch em fase de montagem (incluindo circuitos eletrónicos).



Na Figura 4.17 pode observar-se o protótipo ch em fase de montagem. Tal como no protótipo ci, os circuitos eletrónicos originais foram separados e ligados por fios de modo a adaptá-los ao protótipo. Este procedimento obrigou a um corte de precisão do circuito impresso original, executado com um disco com 0,25 mm de espessura, sendo depois necessário refazer as ligações entre pistas soldando novos fios elétricos entre as duas partes entretanto separadas. A necessidade desta operação prende-se com a posição e localização dos botões em ambos os protótipos, incluindo o botão de 'scroll', face ao modelo que utiliza originalmente esses mesmos circuitos eletrónicos.

Após a montagem dos protótipos foram efetuados ajustes nas geometrias internas de modo a obter uma compatibilização robusta com os componentes eletrónicos entretanto introduzidos. Estes ajustes tiveram também em vista a durabilidade das ligações e da montagem, bem como a sua estabilidade, com vista à padronização da condição dos protótipos ao longo dos estudos a que viriam a ser submetidos.



Medição da força para acionar os botões do modelo ci (80 gf = 0,785 N)

Medição da força para acionar os botões do modelo ch (70 gf = 0,687 N)

Figura 4.18 - Medição da força necessária para acionar os botões dos protótipos ci e ch.

Na Figura 4.18 são apresentados ambos os protótipos funcionais podendo observar-se a operação de registo da força necessária para acionar os botões. A realização deste teste só foi



possível após a montagem de todos os componentes, incluindo os circuitos eletrônicos. Pressionando o aparelho de medida contra a provável localização dos dedos para clicar, e até à audição do ‘clique’ do respetivo botão, foram obtidas leituras sempre inferiores a 1,0 N de força. Com o objetivo de testar o comportamento dos protótipos quando usados por mãos de menores dimensões foram ensaiadas outras localizações para o ponto de aplicação da força, mais afastadas da extremidade dos botões, tendo sido obtidos valores inferiores a 1,5 N, estando este parâmetro de acordo com os normativos aplicáveis.

De acordo com a especificação (Tabela 4.4) procurou-se que ambos os protótipos apresentassem massa reduzida. Deste modo, apresentam-se na Tabela 4.6 os valores de massa dos protótipos funcionais considerando respetivamente, o dispositivo e o cabo de ligação, e o dispositivo com o cabo de ligação suportado horizontalmente no mesmo plano de trabalho da base do dispositivo.

Tabela 4.6 - Massa dos protótipos ci e ch.

Protótipo	Massa incluindo o cabo	Massa com o cabo suportado horizontalmente
ci	99 g	78 g
ch	128 g	107 g

## 4.3 Nota conclusiva

Neste capítulo da tese, apresentou-se o processo de desenvolvimento de produto efetivamente realizado com base na adaptação do modelo operacional considerado dando origem aos protótipos funcionais ch e ci, testados juntamente com 3 modelos comerciais no âmbito dos trabalhos conducentes a esta tese de doutoramento. A complexidade em adaptar a geometria e as dimensões de dispositivos manuais desta natureza à mão do utilizador fica patente a partir da breve contextualização antropométrica resumida de seguida. Como os ratos de computador são tipicamente usados indiscriminadamente no que respeita ao sexo dos utilizadores a tarefa de compatibilização antropométrica é particularmente complexa. Após o final deste capítulo e numa perspetiva de investigação em ergonomia do produto procede-se nesta tese à apresentação e à análise do estudo comparativo entre os cinco modelos de dispositivos manuais apontadores para computador (três dispositivos comerciais e os dois protótipos executados) cuja descrição se apresenta nos capítulos seguintes.

### 4.3.1 Compatibilização antropométrica

De acordo com os dados antropométricos patentes em Gordon *et al.* (2014) relativos a uma amostra da população militar dos EUA (a amostra da população inclui funções administrativas

e outras não operacionais), o comprimento da mão, no valor de 190 mm, do indivíduo que manuseia os dispositivos cuja ilustração surge nas Figuras 4.9 e 4.10 corresponde ao 40.º percentil do comprimento da mão para indivíduos do sexo masculino. No que toca à largura da mão, no valor de 88 mm, esta corresponde ao 50.º percentil da largura da mão para o sexo masculino. Do mesmo modo, o comprimento da mão, no valor de 165 mm, do indivíduo do sexo feminino que manuseia os dispositivos cuja ilustração surge na Figura 4.11 corresponde ao 5.º percentil do comprimento da mão do sexo feminino. No que toca à largura da mão, o valor de 74 mm corresponde ao 15.º percentil da largura da mão para o sexo feminino. Da observação das Figuras referidas neste parágrafo constata-se que, ainda que pequenas diferenças dimensionais das mãos dos dois utilizadores referidos (percentis antropométricos), acarretam alterações significativas no posicionamento dos dedos e da superfície palmar relativamente à interface humana dos dispositivos.

Comparando a Figura 4.10 com a Figura 4.11 podemos observar a dificuldade que se apresenta a um utilizador do sexo feminino, cujo comprimento de mão corresponde ao 5.º percentil desta dimensão humana na população feminina considerada em Gordon *et al.* (2014), em agarrar o dispositivo ch, face a um utilizador do sexo masculino cuja dimensão homóloga corresponde ao 40.º percentil em relação à população masculina da mesma população. Observa-se, neste caso específico, que um dispositivo que poderá vir a tornar-se pequeno para cerca de 60% da população masculina pode ser considerado demasiado grande para uma percentagem considerável da população do sexo feminino de uma mesma região ou país.

Comparando agora a Figura 4.9 com a Figura 4.11, pode-se observar que foi conseguida uma melhor adaptabilidade do dispositivo ci em relação às diferenças antropométricas evidenciadas nas mesmas Figuras. Assim, o dispositivo ci, embora com uma aparência mais radical do que o dispositivo ch, parece adaptar-se melhor ao utilizador em termos antropométricos.

### **4.3.2 Adaptação do modelo operacional de referência ao processo de desenvolvimento em questão**

No processo de desenvolvimento do produto de um modo geral foi cumprida a especificação apresentada na Tabela 4.4, embora se tenham obtido duas geometrias distintas, tal como era pretendido. Constata-se, também, que o objetivo de conceber dispositivos mais adequados à utilização no domínio do CAD não resultou em diferenças significativas relativamente ao desenvolvimento de um rato de computador para utilização comum, ou seja, podem aplicar-se os mesmos requisitos. Particularmente, não foi alcançado o requisito patente na especificação relacionado com a localização do sensor de movimento em qualquer dos protótipos ci e ch, por dificuldades já relatadas na compatibilização do hardware eletrónico

utilizado com as novas geometrias geradas. Este desvio relativamente à especificação poderá influenciar a precisão procurada no posicionamento do cursor quando em utilização, especialmente no modelo ci, pela proximidade entre as extremidades dos dedos indicador e polegar que esta geometria permite.

O modelo que serviu de referência ao desenvolvimento das duas novas geometrias ci e ch, 'Modelo Operacional do Processo de Design' proposto por Hales (1991), refinado por Lewis e Bonollo (2002) e citado por Coelho (2010) foi adaptado para este propósito de acordo com a Figura 4.2. A especificidade inerente ao desenvolvimento deste tipo de dispositivos, tratando-se de ferramentas manuais, que servem para interagir com o computador e são utilizadas por indivíduos de ambos os sexos e de quase todas as idades, leva à necessidade de os dotar de características múltiplas. Estas características, descritas ao longo deste capítulo, juntamente com o principal objetivo da tese, centrada na investigação em ergonomia do produto, condicionaram a operacionalização integral do método de referência. Assim, o desenvolvimento do produto levado a cabo culminou na execução dos protótipos funcionais, destinados não à apresentação do produto mas à realização de testes experimentais. Deste modo, pode considerar-se que o processo de desenvolvimento do produto continuará nos seguintes capítulos da presente tese, com o estudo ergonómico comparativo inicialmente delineado.

## Capítulo 5

# Usabilidade dos dispositivos manuais apontadores para computador

- 5.1 Testes e critérios de avaliação da usabilidade
- 5.2 Caracterização dos dispositivos manuais apontadores sob avaliação
- 5.3 Tarefas de teste adotadas
- 5.4 Parâmetros de avaliação da usabilidade adotados
  - 5.4.1 Parâmetros de avaliação subjetiva
  - 5.4.2 Parâmetros de avaliação objetiva
  - 5.4.3 Indicador de eficiência das tarefas ponderadas (IE) - novo indicador
- 5.5 Implementação das tarefas e registo dos dados
- 5.6 Experimentação de laboratório - estudos 1 e 2
  - 5.6.1 Estudo 1 - Participantes e conceção experimental
  - 5.6.2 Estudo 2 - Participantes e conceção experimental
  - 5.6.3 Estação de testes - estudos 1 e 2
- 5.7 Experimentação de campo - estudo 3
  - 5.7.1 Estudo 3 - Participantes e conceção experimental
  - 5.7.2 Estação de testes - Estudo 3
- 5.8 Cronograma da experimentação e do tratamento dos dados - estudos 1, 2 e 3
- 5.9 Notas Conclusivas

## Objetivos:

- Estabelecer com recurso à revisão bibliográfica focada, o estado da arte da avaliação da usabilidade dos dispositivos apontadores para computador.
- Desenvolver e caracterizar a conceção experimental para a avaliação da usabilidade dos dispositivos em apreciação.
- Propor ferramentas para avançar o estado da arte da avaliação da usabilidade dos ratos de computador e contribuir para a escolha informada dos consumidores.
- Desenvolver e caracterizar um indicador de desempenho (índice de eficiência) que permita classificar as geometrias (ratos de PC) quando utilizadas num contexto específico (CAD).
- Aprofundar a revisão bibliográfica no domínio da usabilidade com o propósito de apoiar a conceção experimental.
- Caracterizar a conceção experimental relativa à avaliação da usabilidade e as respetivas condições experimentais (inclui a amostra).
- Implementar as tarefas gráficas, suportadas pela bibliografia, adequadas à conceção experimental (criar software para implementar tarefas e recolher dados).
- Desenvolver e implementar processos, técnicas e instrumentos para a colheita de dados relativa à avaliação da usabilidade.
- Descrever os métodos experimentais, as condições experimentais e a teoria que os apoia no campo da usabilidade.

## 5.1 Testes e critérios de avaliação da usabilidade

A norma ISO 9241, que define os requisitos ergonómicos relativos ao trabalho com equipamentos dotados de visor, define a usabilidade como a medida em que um produto pode ser utilizado por utilizadores específicos para alcançar objetivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação (ISO 9241-11:1998). Por outro lado, é comum considerar a usabilidade como sendo um atributo da qualidade de um sistema ou produto, caracterizado por permitir a aprendizagem fácil e a utilização fácil por parte do operador ou utilizador. Numa vertente mais ligada à *Human-Computer Interaction* (HCI) e citando Simões-Marques e Nunes (2012) “*the usability of a system can be seen as the ease with which the system is used by its users, i.e., with the characteristic of being easy to use, or as is often said, to be ‘user friendly’*”. Segundo os mesmos autores, a avaliação da usabilidade pode basear-se num conjunto de atributos, tais como, o desempenho do operador (completando rapidamente uma tarefa e fazendo-o com uma taxa de erros reduzida), e a satisfação ou a facilidade de aprendizagem. Defendem ainda que a usabilidade pode ser vista como um sinónimo da qualidade de um produto.

Para além dos dois pilares consensualmente aceites em termos de avaliação da usabilidade, que abrangem a avaliação objetiva a partir da medição do desempenho do utilizador (eficácia e eficiência) e subjetiva a partir do registo da perceção que o utilizador tem quando utiliza o sistema ou produto (satisfação), importa conduzir adequadamente todo o processo relativo aos testes experimentais subjacentes a essa avaliação. A Tabela 5.1, de Kreitzberg & Little (2010) citada por Simões-Marques e Nunes (2012) e adaptada, apresenta os passos a seguir para a realização dos testes e ainda as informações que devem constar do relatório que documenta o mesmo processo. Antes da realização dos testes é necessário decidir qual, ou quais, os testes a implementar, de acordo com os objetivos que se procura alcançar. Tomar decisões quanto à amostra da população, decidir sobre as tarefas que os participantes vão realizar e a forma de as implementar, planejar o processo experimental, testar na prática os procedimentos planeados e só então realizar os testes. No final, analisar os resultados e documentar o processo. O relatório do estudo deve descrever as condições e os procedimentos experimentais, contemplando as justificações na escolha da amostra e a sua caracterização, a descrição das tarefas, das instalações de teste e dos materiais. Deve ainda identificar os problemas encontrados e apresentar recomendações para resolvê-los, terminando com recomendações para trabalhos futuros.

Tabela 5.1 - Recomendações para testes de usabilidade (adaptada de Kreitzberg & Little (2010) citado por Simões-Marques e Nunes (2012)).

Acerca dos testes	Acerca do processo para reportar os resultados
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Decidir o que testar e desenvolver objetivos para os testes;</li> <li>2. decidir quanto ao tipo de participantes e quantos indivíduos recrutar para os testes;</li> <li>3. decidir sobre as tarefas e os procedimentos experimentais a utilizar e desenvolver um plano de execução;</li> <li>4. decidir se são feitas gravações de vídeo, e, em caso afirmativo, considerar a necessidade de uma autorização;</li> <li>5. considerar a utilização de um inquérito pré-teste e outro pós-teste e de uma entrevista introdutória se for apropriado;</li> <li>6. recrutar os participantes e programar todo o seu envolvimento;</li> <li>7. testar na prática o plano dos procedimentos experimentais para ter a certeza que o processo de teste será adequadamente executado;</li> <li>8. realizar os testes;</li> <li>9. analisar os resultados e produzir o relatório e as recomendações.</li> </ol>	<p>Os relatórios dos testes em usabilidade devem cobrir:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. os objetivos dos testes e um sumário da sua execução;</li> <li>2. a caracterização da amostra;</li> <li>3. a descrição das tarefas e das instalações utilizadas no trabalho experimental;</li> <li>4. os principais problemas encontrados e as recomendações para resolvê-los;</li> <li>5. os pequenos problemas encontrados e as recomendações para resolvê-los;</li> <li>6. as apreciações diretas dos participantes;</li> <li>7. as recomendações e os passos futuros.</li> </ol>

Quanto aos critérios de avaliação da usabilidade de dispositivos manuais apontadores para computador, apresenta-se na Tabela 5.2 uma compilação, não exaustiva, mas tendencialmente abrangente, de trabalhos de investigação anteriores incorporando vários destes critérios. Neste campo, as tarefas gráficas que têm sido utilizadas para testar os dispositivos consistem em *Pointing*, *Dragging* e *Steering*, ou seja, apontar e selecionar, arrastar e conduzir entidades gráficas, respetivamente. Consta-se uma falta de uniformidade nesta matéria por entre os diversos trabalhos de investigação, e que nem sempre são conduzidas avaliações contemplando simultaneamente as duas componentes, subjetiva e objetiva, da usabilidade. A falta de uniformidade encontrada nas tarefas ocorre também ao nível da geometria e da distribuição espacial dos alvos e da conceção do teste, do número de alvos, entre outros. Também não é consensual a forma de avaliar o desempenho (tempo decorrido entre alvos, tempo para completar as tarefas, precisão através da análise da trajetória, por exemplo), nem a forma de avaliar a satisfação, chegando mesmo a avaliar-

se este parâmetro com uma única resposta pontuando o conforto (associado à satisfação) através de uma escala de Likert.

Tabela 5.2 - Avaliação da usabilidade de dispositivos manuais apontadores para computador, em trabalhos de investigação anteriores (compilação não exaustiva, mas tendencialmente abrangente).

Avaliação da usabilidade dos dispositivos manuais apontadores				
Trabalhos de investigação (autores)	Tarefas gráficas e duração dos testes	Avaliação subjetiva	Avaliação objetiva	Amostra
Lai e Yang (2012)	- <i>Pointing</i> - <i>Dragging</i> (sem referência à duração)	Método de pensar em voz alta ( <i>think-aloud protocol</i> ) e entrevista	-Tempo decorrido para completar cada tarefa -Trajetória da tarefa de <i>Dragging</i>	N= 12 crianças 4 Rapazes 8 Raparigas
Houwink et al., 2009	- <i>Pointing</i> - <i>Dragging</i> - <i>Steering</i> (1 minuto/tarefa)	Não realizada	-Tempo decorrido para completar cada tarefa	N= 30 adultos 15 Homens 15 Mulheres
Kumar e Kumar (2008)	- <i>Pointing</i> - <i>Dragging</i> (1 minuto/tarefa)	Conforto (escala de 1 a 5): a) Movimentar o cursor b) Esforço na mão (braço) c) Esforço no ombro	Não realizada	N= 15 adultos 7 Homens 8 Mulheres
Odell e Johnson (2007)	<i>Pointing</i> (15 a 20 minutos por dispositivo)	Conforto (escala de Likert de 7 pontos)	-Tempo decorrido entre alvos -Precisão (distância entre o centro do alvo e o ponto apontado através do rato)	N= 12 adultos 6 Homens 6 Mulheres
Lee, Fleisher, McLoone, Kotani e Dennerlein (2007)	- <i>Pointing</i> - <i>Dragging</i> - <i>Steering</i> (1 minuto/tarefa)	-Escala subjetivas (de satisfação; contínuas de 0 a 10), como o conforto e a dificuldade na realização da tarefa -Classificação geral do dispositivo (de 1 a 5)	-Tempo decorrido para completar cada uma das tarefas com um número fixo de operações	N= 20 adultos (Sem referência ao sexo)

Notas: *Dragging* efetuado apenas com o botão esquerdo do rato; as tarefas homónimas não são geralmente semelhantes entre os trabalhos, quanto à geometria, à distribuição espacial e ao número de alvos.

Da bibliografia científica especializada consultada, não resulta, portanto, a informação organizada sobre um processo devidamente estruturado de avaliação da usabilidade de dispositivos apontadores para computador. A norma ISO 9241-9:2000 (*Ergonomic requirements for office work with visual display terminals - part 9: Requirements for non-keyboard input devices*), que indica nos seus anexos, a título informativo, modos de avaliar a usabilidade, tem servido apenas como referência neste domínio, tendo sido substituída posteriormente



pela norma ISO 9241-400:2007. Todavia, esta última norma também não apresenta um processo detalhadamente estruturado para avaliar a usabilidade dos ratos de computador.

Por outro lado, a norma ISO 9241-11:1998 indica claramente três parâmetros de avaliação para a usabilidade: a eficácia, a eficiência e a satisfação. Propondo-se assim, como se verá adiante, um método que considera a avaliação da componente ‘satisfação’ através da ordenação de preferência e ainda de uma série de avaliações (*ratings*) relacionadas com o conforto, com a facilidade de utilização (por tarefa realizada) e com o esforço (em agarrar, controlar, apontar, clicar). Relativamente à componente ‘eficácia’, propõe-se o cálculo da mesma em função das falhas ocorridas (ou amplitude dos desvios no caso da condução para os alvos). No que diz respeito à ‘eficiência’, como esta depende do tempo decorrido para finalizar uma determinada tarefa com sucesso, propõe-se o cálculo da mesma em função da relação entre o número de falhas ocorridas (ou amplitude dos desvios) e o tempo decorrido até à conclusão da tarefa (ver secção 5.3.2).

## 5.2 Caracterização dos dispositivos manuais apontadores sob avaliação

De seguida apresenta-se os 5 dispositivos submetidos aos testes de avaliação da usabilidade (Fig. 5.1) sendo que os protótipos denominados ci e ch foram desenvolvidos no âmbito da presente tese. O modelo *Anker* e o modelo *Evoluent* encontram-se disponíveis no mercado e ambos são apresentados pelos respetivos fabricantes com a chancela de ‘ergonómicos’. O primeiro assume-se como redutor da pronação do antebraço, construído tendo em vista incrementar a funcionalidade e o conforto, desenhado para dar suporte ao dedo polegar e facilitar a preensão adaptando-se ao contorno da palma da mão. O segundo assume-se como dispositivo que anula a pronação do antebraço, oferece suporte para a mão e evita a torção do antebraço durante o seu uso. O fabricante do modelo *Evoluent* refere ainda que muitos utilizadores, incluindo ergonómistas e médicos, afirmaram que aquele modelo oferece um conforto superior e alivia a dor no punho. O rato mais à direita na Figura 5.1 é o modelo de referência e convencional; trata-se do dispositivo *Microsoft optical 200*. Todos os dispositivos com exceção do *Evoluent* foram utilizados nos testes com a resolução de 1000 dpi. O modelo *Evoluent* é disponibilizado com vários níveis de resolução mas não dispõe do valor 1000 dpi, tendo sido utilizado com 1300 dpi. Os dois protótipos (ci e ch) utilizam a mesma plataforma eletrónica do dispositivo *Microsoft optical 200*. Todos os dispositivos apresentam ligação por cabo. A Figura 5.1 apresenta ainda as dimensões exteriores de cada dispositivo, a massa, o ângulo característico de inclinação da superfície que suporta a palma da mão (relativamente ao plano horizontal de trabalho), e a respetiva designação.






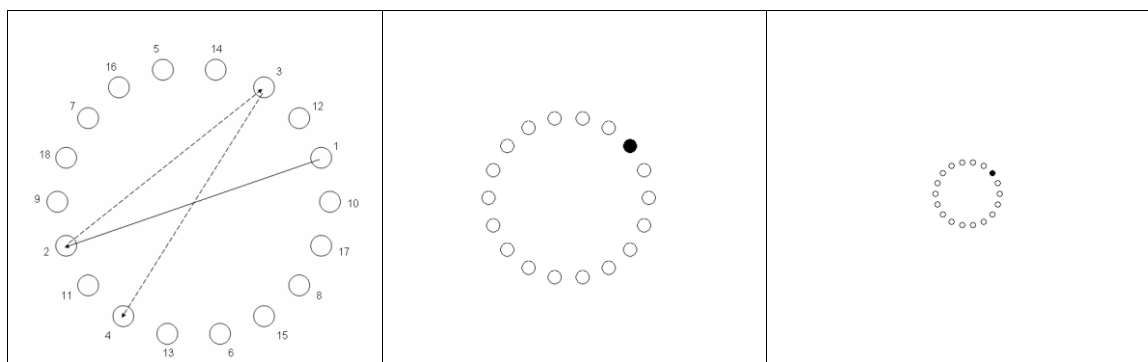
Dispositivos (geometrias)					
	ak	ci	ch	ev	mi
Resolução (pontos por polegada)	1000	1000	1000	1300	1000
Dimensões (atravancamento) CxLxA	120x63x75 mm	106x74x74 mm	120x90x49 mm	111x89x77 mm	106x56x36 mm
Massa, incluindo o cabo	145 g	99 g	128 g	170 g	78 g
Massa, com cabo apoiado no plano horizontal de trabalho	119 g	78g	107 g	137 g	57
Ângulo de inclinação com o plano horizontal de trabalho	60°	45°	30°	90°	0°
Designação	Anker (ak)	Protótipo ci (ci)	Protótipo ch (ch)	Evoluent (ev)	Microsoft (mi)

Figura 5.1 - Dispositivos (geometrias) sob avaliação.

### 5.3 Tarefas de teste adotadas

Considera-se que as tarefas de apontar e selecionar entidades gráficas, utilizadas e apresentadas no trabalho desenvolvido por Odell e Johnson (2007) satisfazem os requisitos decorrentes das operações deste tipo realizadas no decurso da atividade de CAD. Naquele estudo, 12 participantes testaram os diversos ratos de computador durante a realização das tarefas de *pointing* de acordo com a configuração ilustrada na Figura 5.2. Essas tarefas apresentam três níveis de dificuldade através das dimensões dos alvos circulares, que são maiores na tarefa de *pointing large* e vão diminuindo de tamanho nas restantes duas tarefas (*medium* e *small*). Em cada tarefa, um dos 18 alvos circulares dispostos conforme mostra a Figura 5.2 ativa-se aleatoriamente e só se ‘desliga’ quando for selecionado pelo cursor do rato, após o que se ativará o círculo diametralmente oposto (a 180°) que por sua vez só se desliga quando for selecionado, ativando-se de seguida outro círculo de forma aleatória. A Tabela 5.3 indica os pormenores relativos às tarefas de *pointing* executadas no estudo de Odell e Johnson (2007). Segundo os mesmos autores, as dimensões dos alvos na tarefa *pointing large* são semelhantes às das pastas e *icons* num computador do tipo *desktop*, e o tamanho dos alvos na tarefa de *pointing small* é semelhante ao tamanho dos caracteres mais reduzidos.



Pointing Large

Pointing Medium

Pointing Small

Figura 5.2 Tarefas do teste de Odell e Johnson (2007) (Fonte: adaptado dos mesmos autores).

Tabela 5.3 - Tarefas de *pointing* de Odell e Johnson (2007).

	Pointing Large	Pointing Medium	Pointing Small
Ciclo de teste (n.º de vezes por cada sujeito e dispositivo)	6	6	3
N.º de alvos (círculos)	18	18	18
Distância entre centros (círculos diametralmente opostos)	142 mm	71 mm	28 mm
Diâmetro do alvo (círculo)	12 mm	6 mm	2 mm

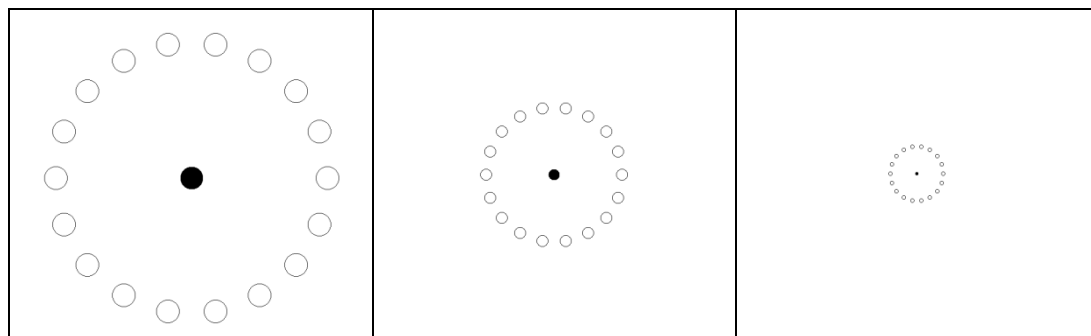
No trabalho desenvolvido por Houwink *et al.* (2009) os 30 participantes envolvidos testaram dois ratos de computador enquanto executavam as tarefas de *pointing*, *dragging* e de *steering*. Cada tarefa omnidirecional demorou cerca de um minuto a realizar. Nestas tarefas a distribuição dos alvos no espaço assumiu uma geometria semelhante à utilizada por Odell e Johnson (2007), apesar de assumir distâncias entre centros diametralmente opostos bastante maiores; a parametrização pode ser consultada na Tabela 5.4. Na tarefa de *dragging*, os sujeitos tinham de selecionar o alvo ativo (clitando no botão do rato) e arrastá-lo até ao círculo diametralmente oposto largando o botão do rato no destino. Na tarefa de *steering*, os sujeitos tinham de mover, de forma o mais retilínea possível, o alvo ativo de um ponto para outro dentro das fronteiras de um ‘túnel’ bidimensional. Todas as tarefas foram implementadas através da programação customizada em *LabView* (National Instruments, Austin, TX).

Tabela 5.4 - Tarefas de teste de Houwink *et al.* (2009).

	Pointing Large	Pointing Small	Dragging	Steering
Tempo para realizar cada tarefa	1 min.	1 min.	1 min.	1 min.
Distância entre centros (diametralmente opostos)	240 mm	240 mm	240 mm	120 mm
Diâmetro do alvo (círculo)	7 mm	2 mm	7 mm	3 mm
Comprimento do túnel ( <i>steering</i> )	-	-	-	120 mm
Largura do túnel ( <i>steering</i> )	-	-	-	20 mm

Também nesta matéria, relativa às tarefas a executar em testes comparativos entre ratos de computador, parece não haver consenso. Quando Lee, Fleisher, McLoone, Kotani e Dennerlein (2007) testaram modos alternativos de clicar no botão esquerdo do rato (modelo adaptado), também recorreram às tarefas de *pointing*, de *dragging* e de *steering*, embora com características distintas de outras referências bibliográficas consultadas. Estes autores consideraram 15 alvos circulares de 7.5 mm de diâmetro para a tarefa de *pointing*, uma sequência de 20 túneis virtuais dispostos na horizontal e na vertical com diferentes comprimentos e ou larguras para a tarefa de *steering* e selecionar e arrastar formas encaixando-as nas suas respetivas ‘sombras’ na tarefa de *dragging*.

Através do presente estudo procura-se testar diversos modelos de ratos de computador de modo a avaliar a sua usabilidade, mas também a atividade muscular do membro superior dos seus utilizadores (participantes), durante a realização de tarefas comuns (Cap. 6). Um dos objetivos dos testes relaciona-se com a utilização destes dispositivos no projeto e no desenho assistidos por computador (CAD). No CAD, onde quase não se usa o teclado, para além da utilização intensiva desta ferramenta manual de interface com o computador, o trabalho é caracterizado por recorrer ao apontar e clicar (*pointing*) em entidades gráficas (alvos) de dimensões médias e pequenas, ao arrastar (*dragging*) utilizando alternadamente os três botões do rato, e ainda, à condução (*steering*). Neste âmbito, é ainda utilizado o *scroll*, tipicamente com a função de *zoom*. Assim, para testar os cinco dispositivos sob interesse (Figura 5.1) optou-se por estruturar as tarefas de teste da seguinte forma: tarefas de *pointing large*, *medium* e *small* configuradas de forma idêntica às de Odell e Johnson (2007) e tarefas de *dragging* e *steering* configuradas de modo adaptado a partir da configuração relatada por Houwink *et al.* (2009). As tarefas de teste do tipo *dragging* recorrem sequencialmente ao botão esquerdo, ao botão do meio e ao botão direito do rato e sempre com a sequência referida. A Figura 5.3 ilustra todas as tarefas. Nas tarefas de *pointing*, o teste é iniciado pelo participante quando este clica no círculo central e a ação decorre tal como em Odell e Johnson (2007), apenas com a diferença da sequência ocorrer sempre no sentido de aumentar o grau de dificuldade, começando na tarefa de *pointing large* e terminando na tarefa de *pointing small*. Os cinco dispositivos sob apreciação foram utilizados pelos participantes de modo completamente aleatório. A tarefa de *steering* contou com alvos de 7 mm de diâmetro, tal como a tarefa de *dragging*, porque se considerou que o interesse seria manter a trajetória retilínea do deslocamento, sabendo também que a tarefa de *pointing small* já contemplara alvos muito pequenos (diâmetro de 2 mm). A tarefa de *scroll* foi apenas utilizada para avaliação subjetiva da usabilidade, e para registo da atividade muscular dos principais músculos envolvidos, não tendo sido possível determinar a eficiência nem a eficácia na utilização do botão do meio na função *scroll*.



**Pointing Large**

18 Localizações aleatórias  
 Diâmetro maior do teste 142 mm  
 Diâmetro do círculo 12 mm

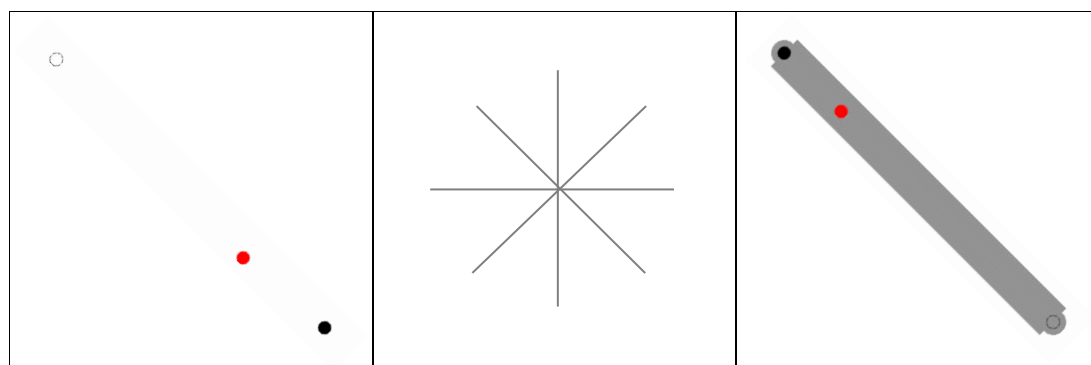
**Pointing Medium**

18 Localizações aleatórias  
 Diâmetro maior do teste 71 mm  
 Diâmetro do círculo 6 mm

**Pointing Small**

18 Localizações aleatórias  
 Diâmetro maior do teste 28 mm  
 Diâmetro do círculo 2 mm

Tarefas de apontar e selecionar (*Pointing*) com três níveis de dificuldade



**Dragging (left, middle e right)**

8 Localizações aleatórias  
 Diâmetro do teste 200 mm  
 Diâmetro do círculo 7 mm

Tarefa de arrastar (*Dragging*)

**Direções de Dragging e Steering**

**Steering**

8 Localizações aleatórias  
 Distância entre alvos 200 mm  
 Diâmetro do círculo 7 mm

Tarefa de conduzir (*Steering*)

Figura 5.3 - Tarefas de teste (*pointing, dragging e steering*).

## 5.4 Parâmetros de avaliação da usabilidade adotados

### 5.4.1 Parâmetros de avaliação subjetiva

Os participantes procederam à avaliação dos dispositivos que ensaiaram segundo três escalas relacionadas respectivamente com o desconforto (por oposição ao conforto), com a dificuldade de utilização (por oposição à facilidade de utilização) e com o esforço. Na elaboração dos instrumentos foi considerada a informação patente na norma ISO 9241-9:2000 (*Ergonomic requirements for office work with visual display terminals - part 9: Requirements for non-keyboard input devices*), que apresenta nos seus anexos e a título informativo modos de avaliar a usabilidade, pelo que se procurou adaptar essa informação ao presente estudo. Na Tabela 5.5 apresenta-se os parâmetros considerados no âmbito da componente mais subjetiva

da usabilidade, sendo cada dispositivo classificado pelos participantes em cada um destes parâmetros numa escala de 1 (pior) a 6 (melhor). A avaliação subjetiva do desconforto foi subdividida em três regiões do membro superior, nomeadamente a mão, o antebraço e o ombro. A dificuldade de utilização foi subdividida por tarefas, considerando ainda a dificuldade global em manipular o dispositivo durante a realização do conjunto de tarefas. Quanto ao esforço, este foi subdividido em agarrar, controlar, clicar e apontar, considerando ainda o esforço global. Estas escalas, apresentadas na forma de formulário impresso aos participantes no estudo (Anexo A), foram respondidas relativamente a cada dispositivo e imediatamente após este ter sido ensaiado.

No sentido de reforçar a componente subjetiva de avaliação da usabilidade, foi ainda desenvolvido um instrumento complementar (Anexo B). Deste modo, a Tabela 5.6 apresenta um conjunto de parâmetros de avaliação subjetiva avaliado pelos participantes, na forma de um instrumento composto por várias escalas de ordenação dos dispositivos e após finalizarem os testes com todos os ratos de computador. Assim, é registada a perceção relativa face a cada um dos dispositivos apontadores ordenando-os preferencialmente do 1º ao 5º. Em comunicação pessoal, Coelho (2014-2015) considerou mais adequado medir o desconforto (definido inicialmente como a ausência de conforto por Hertzberg, 1959) e não o conforto uma vez que o primeiro é um conceito mais delimitado e focado (pelo que mais facilmente identificado pelos participantes) que o segundo que pode envolver um estado de harmonia fisiológica, física e psicológica do ser humano com todo o meio envolvente (Slater, 1985).

Tabela 5.5 - Parâmetros de avaliação subjetiva de cada dispositivo (escalas de avaliação).

Desconforto do sistema mão/braço/ombro:		
Mão		Classificação de 1 a 6,
Antebraço		
Ombro		
Dificuldade de utilização:		
Dificuldade/Facilidade global em manipular o dispositivo durante as tarefas		em que
Pointing (apontar e clicar)		<b>1 é pior</b>
Dragging - dedo indicador (botão esquerdo) (seleccionar e arrastar)		(elevado desconforto,
Dragging - botão do meio (premir o scroll)		muita dificuldade,
Dragging - dedo médio (botão direito)		muito esforço)
Steering (clicar e largar, mover e clicar no destino)		e
Utilizar o Scroll (rodar o scroll nos dois sentidos)		<b>6 é melhor</b>
Esforço:		(nenhum desconforto,
Esforço global exercido para operar o dispositivo		muita facilidade,
Esforço para agarrar o dispositivo		nenhum esforço)
Esforço para controlar os movimentos do dispositivo		
Esforço para fazer clique		
Esforço para apontar com precisão		

Tabela 5.6 - Parâmetros de avaliação subjetiva de classificação relativa entre dispositivos (ordenação preferencial).

Ordem de preferência relativamente aos cinco dispositivos	
Desconforto	
Eficácia	
Eficiência	
Esforço	
Estética	
Facilidade de utilização	
Forma	
Inovação	
Satisfação	
Tamanho	

Ordenação do 1º ao 5º lugar de preferência

## 5.4.2 Parâmetros de avaliação objetiva

Para a avaliação da usabilidade importa medir não apenas a satisfação dos utilizadores, mas ainda a eficácia e a eficiência alcançadas com cada uma das ferramentas manuais ensaiadas e relativamente a cada uma das tarefas. Na Tabela 5.7 apresenta-se as expressões de cálculo da eficiência e da eficácia para as diferentes tarefas. Na maioria das tarefas é registado o número de falhas, enquanto na tarefa de *steering* são registados os desvios da retilinearidade da trajetória conduzida. No caso das tarefas de *pointing* considera-se a ocorrência de falha sempre que o cursor do rato, no momento do clique no botão esquerdo, se encontre fora do círculo do alvo ativo (distância superior ao raio). Nas tarefas de *dragging*, considera-se uma falha sempre que o centro do alvo (círculo) arrastado, com o respetivo botão do rato premido, seja largado num ponto cuja distância ao centro do círculo de destino seja superior ao valor do seu raio. A Figura 5.3, no canto inferior esquerdo, ilustra o arrastamento do alvo, de cor vermelha, desde o círculo preto até ao círculo de destino (circunferência).

Tabela 5.7 - Parâmetros de avaliação objetiva da usabilidade (eficácia e eficiência).

Tarefa	Eficácia	Eficiência
<i>Pointing e Dragging</i>	$efa = 1 - \frac{N^{\circ}Falhas}{N^{\circ}Acertos(alvos)}$	$efi = \frac{efa}{\frac{\text{tempo (sujeito)}}{\text{tempo (min.)}}}$
<i>Steering</i>	$efa = \frac{\overline{desv} (min.)}{desv (sujeito)}$	$efi = \frac{efa}{\frac{\text{tempo (sujeito)}}{\text{tempo (min.)}}}$

Nota: no cálculo da eficácia, e para qualquer tipo de tarefa, o parâmetro associado ao denominador assume, em qualquer caso, um valor constante diferente de zero. Nas tarefas de *pointing* e de *dragging* o teste só termina após o sujeito acertar em todos os alvos do teste, sendo contabilizadas todas as falhas cometidas.

### 5.4.3 Indicador de eficiência das tarefas ponderadas (IE) - novo indicador

Propõe-se um novo indicador de desempenho que possa caracterizar objetivamente um dispositivo manual apontador para computador, e distinguir cada dispositivo, no âmbito da sua utilização com um software de CAD específico. Deste modo, o indicador de eficiência das tarefas ponderadas (IE) segue uma abordagem baseada no trabalho desenvolvido por McCauley *et al.* (2012) relativamente à seleção de dispositivos alternativos e no trabalho desenvolvido por Vinagre e Nunes (2013), Ferreira *et al.* (2014) e Nunes *et al.* (2014). Na investigação desenvolvida por Nunes *et al.* (2014) é apresentada uma fórmula para calcular a pontuação global a atribuir a um dispositivo de comunicações móvel, indicando o quão apropriado este pode ser no âmbito de uma utilização específica. Numa linha de interesse semelhante e no contexto dos trabalhos desenvolvidos no âmbito da presente tese, o indicador de eficiência das tarefas ponderadas, para cada um dos ratos de computador, é calculado através da seguinte expressão:

$$IE_{(dispositivo)} = \frac{c_1 \cdot efi_{Tarefa_1} + c_2 \cdot efi_{Tarefa_2} + \dots + c_n \cdot efi_{Tarefa_n}}{c_1 + c_2 + \dots + c_n}; \text{ com } c_1 + c_2 + \dots + c_n = 1 \quad (5.1)$$

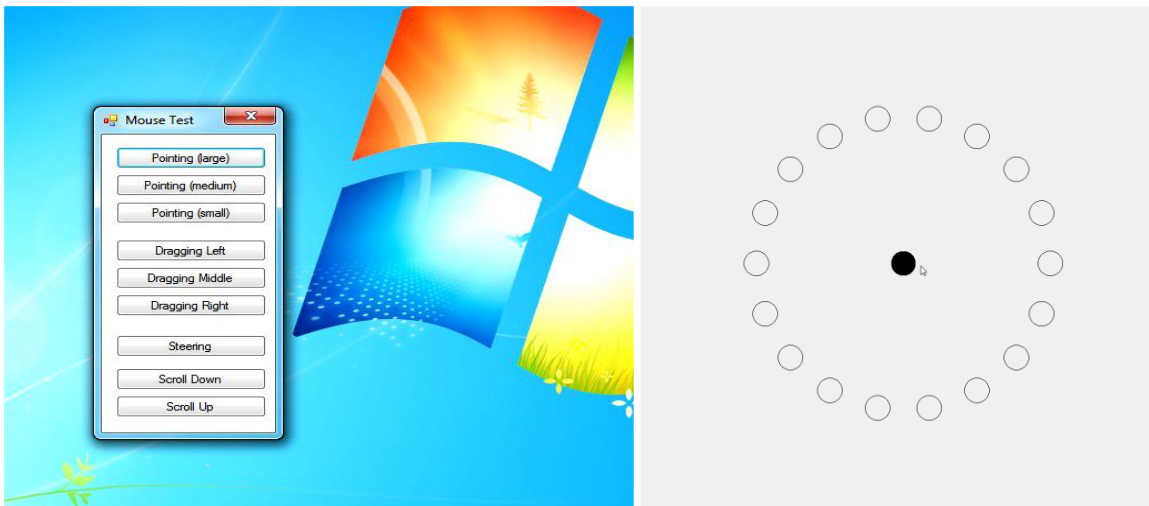
Os valores da eficiência (*efi*) alcançada em cada uma das tarefas de *pointing*, *dragging* e *steering* são multiplicados pelos respetivos coeficientes de ponderação  $c_1$ ,  $c_2$ , ... $c_n$ . Deste modo, o valor do indicador de eficiência irá refletir o efeito, ponderado pela duração temporal, que as distintas tarefas exercem na eficiência global, quando um dispositivo apontador for utilizado com uma ferramenta de CAD específica ou de determinada tipologia (por exemplo: software de CAD de modelação paramétrica). A secção 5.7 (estudo 3) relata mais alguns pormenores sobre o indicador de eficiência das tarefas ponderadas, apresentando um exemplo de aplicação do IE para os cinco dispositivos sob investigação quando utilizados com o programa de modelação sólida paramétrica Autodesk® Inventor v2016.

## 5.5 Implementação das tarefas e registo dos dados

As tarefas foram implementadas através da programação customizada em linguagem *C Sharp* registando e exportando, por tarefa, para ficheiros do tipo *.csv* o tempo decorrido entre alvos e necessário para completar cada tarefa por cada participante, e ainda o número de falhas cometidas ou desvios. O número de falhas é contabilizado no caso das tarefas de *pointing* sempre que o cursor do rato não esteja posicionado no interior do alvo (círculo) no momento do clique do botão; analiticamente é utilizado o valor do raio do círculo como referência. Se a distância entre os dois pontos (centro geométrico do cursor no momento do clique e centro



do círculo alvo) for superior ao valor do raio (6, 3 e 1 mm para *large*, *medium* e *small*, respetivamente) é considerada uma falha e esta é registada pela aplicação. Por seu turno, nas tarefas de *dragging* conta-se uma falha sempre que o centro do círculo transportado (arrastado) não seja largado na proximidade do centro do círculo de destino, proximidade esta cujo limiar é definido pelo valor do raio do círculo, que é no máximo de 3,5 mm. Analiticamente a contabilização das falhas ocorre de forma similar à da tarefa de *pointing*, com a diferença de que na tarefa de *dragging* o botão do rato é largado de modo a entregar o alvo no destino. Para exemplificar veja-se a Figura 5.3, relativa à tarefa de *dragging*, na qual se observa o círculo vermelho que foi selecionado no círculo ativo a preto e que será largado na circunferência alvo oposta com a desativação pelo utilizador do botão do rato. Nas tarefas de *steering* os desvios são medidos através de um processo iterativo cada vez que o centro do círculo conduzido se afaste da trajetória retilínea; a posição é medida e caso o objeto seja entregue com sucesso no alvo é registado o desvio médio e o desvio máximo ocorrido durante o seu transporte para o alvo. Nas tarefas de *dragging* e de *steering* as direções possíveis são a vertical, a horizontal e a oblíqua a 45° com as anteriores; sendo quer a direção quer o sentido aleatorizados (*randomized*) por via da saída aleatória do círculo ativo (Figura 5.3). Em todos os testes foi sempre utilizado o cursor do rato padrão do sistema operativo Microsoft Windows® 7. A Figura 5.4 mostra a interface gráfica com o utilizador da aplicação para Microsoft Windows®, desenvolvida em coautoria com o Professor Doutor Noel Lopes da Unidade Técnico Científica de Informática, do Instituto Politécnico da Guarda. O Anexo C contém um extrato do código desenvolvido em linguagem C# para implementação das tarefas gráficas de teste.



Interface gráfica com o utilizador (botões que dão início a cada tarefa)

Exemplo de visualização no arranque da tarefa *pointing large* (pano de fundo com 1000x1000 pixels para todos os tipos de tarefas)

Figura 5.4 - Visualização da interface gráfica com o utilizador da aplicação informática desenvolvida para implementação das tarefas de teste (monitor de 19" e resolução de 1280 x1024 pixels).

## 5.6 Experimentação de laboratório - estudos 1 e 2

### 5.6.1 Estudo 1 - Participantes e concepção experimental

O estudo 1 foi realizado na UBI (Covilhã), tendo decorrido durante o mês de maio do ano de 2015 e contado com 20 participantes voluntários, adultos jovens saudáveis (10 sujeitos do sexo masculino e 10 sujeitos do sexo feminino). As sessões tiveram lugar de acordo com a disponibilidade de cada participante. Os sujeitos foram recrutados de entre estudantes da UBI, da unidade curricular de Interface Humana do 3º ano do curso de licenciatura em Design Industrial e do 1º ano do curso de mestrado em Engenharia e Gestão Industrial (10 participantes). Participaram ainda três recém-diplomados do curso de licenciatura em Design de Equipamento do IPG (Guarda), bem como quatro jovens engenheiros e arquitetos e ainda três jovens licenciados com outros cursos. Todos os participantes utilizavam diariamente o rato de computador tendo-se considerado como praticantes de CAD os sujeitos com dois ou mais anos de formação e prática de CAD (7 sujeitos do sexo feminino e 7 sujeitos do sexo masculino). Todos os participantes eram destros e tinham visão normal ou corrigida para normal. A Tabela 5.8 mostra os dados relativos à amostra, tais como o sexo e o número de praticantes e não praticantes de CAD e os respetivos valores médios de idade, comprimento e largura da mão direita. O comprimento e a largura da mão direita foram medidos de acordo com as referências, respetivamente, 1 e 12, da Figura 5.5 (Pheasant, 2003). A Tabela 5.9 mostra os dados relativos à amostra agrupada, indica o tamanho da mão a partir da soma do seu comprimento com a sua largura (média e desvio padrão) e apresenta também o número de participantes cujo tamanho da mão é inferior ou superior ao valor médio da amostra.

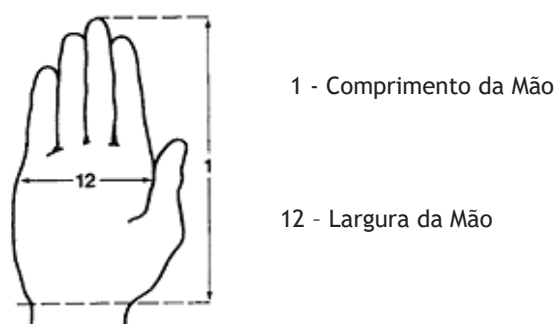


Figura 5.5 - Comprimento e largura da mão (adaptada de Pheasant, 2003)

Tabela 5.8 - Caracterização da amostra participante no estudo 1

Participantes			Idade (anos)		Comprimento da mão (mm)		Largura da mão (mm)	
Número de participantes	Sexo	Praticante de CAD	Média(DP)	Variação	Média (DP)	Variação	Média (DP)	Variação
10	Feminino	7	24,7 (3,1)	21 - 29	177,3 (5,7)	164 - 185	79,9 (4,1)	76 - 89
10	Masculino	7	25,8 (6,0)	20 - 38	191,7 (4,7)	183 - 198	88,8 (4,0)	83 - 96

Tabela 5.9 - Caracterização da amostra agrupada participante no estudo 1

Participantes		Idade (anos)		Comprimento da mão (mm)		Largura da mão (mm)		Parâmetro auxiliar: Comprimento+Largura	
Número de participantes	Pratic. de CAD	Média (DP)	Variação	Média (DP)	Variação	Média (DP)	Variação	Média (DP)	Variação
20	14	25,3 (4,8)	20 - 38	184,5 (8,9)	164 - 198	84,4 (6,0)	76 - 96	268,9 (14,1)	240 - 293
9	participantes cujo tamanho da mão é inferior ao tamanho da mão da média da amostra								240 - 265
11	participantes cujo tamanho da mão é superior ao tamanho da mão da média da amostra								269 - 293

O estudo 1 corresponde aos testes realizados com os 5 dispositivos, através das tarefas de *pointing large, medium e small, dragging left, middle e right, e steering*, (Figura 5.3) por uma amostra de 20 participantes. Todas as tarefas foram realizadas em dois ciclos. A tarefa de *pointing* contou com a saída aleatória de 12 alvos por ciclo (dos 18 possíveis), perfazendo 24 alvos. As tarefas de *dragging e steering* contaram com a saída aleatória de 4 alvos por ciclo (dos 8 possíveis), perfazendo 8 alvos. Deste modo foi possível fazer curtas pausas de repouso durante os testes, não só entre tarefas como também entre ciclos. A Tabela 5.10 relaciona a tipologia das tarefas com a sua sequência durante os testes. A saída aleatória relativa à sequência dos ratos sob teste foi estabelecida por escolha cega realizada pelos participantes, de entre 5 pequenos papéis dobrados, a partir do interior de um saco. Cada participante demorou entre 76 minutos e 100 minutos a realizar os testes com os 5 ratos de computador, contando com o preenchimento dos formulários impressos (secção 5.4.1, Parâmetros de avaliação subjetiva). As respostas relativas às escalas de conforto, facilidade de utilização e esforço (Tabela 5.5) ocorriam sempre que o teste de um dispositivo terminava, enquanto as respostas relativas às escalas de preferência (Tabela 5.6) ocorriam no final dos testes aos 5 ratos (Figura 5.6). Durante a realização dos testes os participantes tinham à sua disposição chocolates, sumos concentrados e água, não tendo havido qualquer outra compensação pela sua participação. A tipologia e a sequência das atividades que decorreram durante os testes aos 5 dispositivos, por cada um dos participantes, pode ser consultada na Tabela 5.11.

Estes testes produziram um conjunto de dados relevantes para a avaliação da usabilidade. A partir de um instrumento composto por várias escalas, que contêm parâmetros de conforto, de facilidade de utilização e de esforço (Tabelas 5.5) e relativas à preferência de entre os cinco dispositivos (Tabela 5.6), procedeu-se a uma análise relativa à componente subjetiva da usabilidade. E a partir dos dados dos tempos, das falhas e dos desvios, guardados pelo software de implementação das tarefas do teste, procedeu-se a uma análise relativa à sua componente mais objetiva da usabilidade através do tratamento da eficácia e da eficiência (Tabela 5.7).

Tabela 5.10 - Tarefas - estudo 1 (experimentação de laboratório realizada na UBI durante o mês de maio de 2015).

Sequência de tarefas de teste (Figura 5.3) (saída aleatória de alvos)
1º <i>Pointing</i> (saída aleatória de 12 alvos, 2 ciclos = 24 alvos): - <i>large</i> - <i>medium</i> - <i>small</i>
2º <i>Dragging</i> (saída aleatória de 4 alvos, 2 ciclos = 8 alvos): - <i>left</i> - <i>middle</i> - <i>right</i>
3º <i>Steering</i> (saída aleatória de 4 alvos, 2 ciclos = 8 alvos)
4º Utilizar o <i>scroll</i> de forma livre para pontuar a facilidade de utilização (Tabela 5.5)

Tabela 5.11 - Atividades relacionadas com a colheita dos dados para avaliação da usabilidade - estudo 1.

Ordem	Atividade	Tempo médio por atividade (minutos)	Tempo médio total (minutos)
1	Explicação do processo ao participante (tarefas, dispositivos, resposta aos formulários, etc.); foi explicado o funcionamento de cada rato e o sujeito experimentou cada um destes apenas momentaneamente para se assegurar do seu funcionamento.	6	6
2	Medição e registo do comprimento e largura da mão direita.	1	1
3	Escolha da sequência de dispositivos a ensaiar (tirar à sorte)	1-2	1 - 2
4	Ensaio de cada rato de computador pelo participante: - 7 tarefas com registo por software ( <i>pointing</i> (3), <i>dragging</i> (3), <i>steering</i> (1)) - 1 tarefa, apenas para avaliação subjetiva ( <i>scroll</i> (1))	10 - 12	50 - 60
5	Preenchimento do formulário impresso no final de cada teste (escalas de avaliação relativas ao conforto (3), à facilidade de utilização (7) e ao esforço (5), Tab. 5.5)	3 - 5	15 - 25
6	Resposta ao formulário (escalas da preferência entre os 5 dispositivos).	3 - 6	3 - 6
	(total)		76 - 100

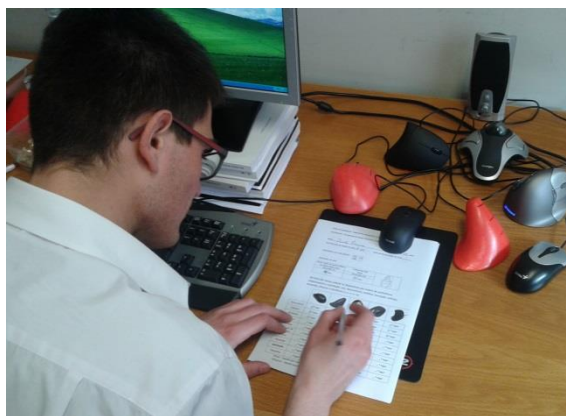


Figura 5.6 - Realização de testes aos dispositivos e avaliação pelos participantes quanto à preferência entre dispositivos ensaiados, no estudo 1 (exemplo de um participante).

### 5.6.2 Estudo 2 - Participantes e conceção experimental

O estudo 2 teve lugar no IPG (Guarda), decorreu durante o mês de julho de 2015 e contou com 20 participantes adultos jovens saudáveis (10 sujeitos do sexo masculino e 10 sujeitos do sexo feminino). As sessões ocorreram de acordo com a disponibilidade de cada participante. Os participantes foram recrutados de entre estudantes finalistas e profissionais diplomados do curso de licenciatura em Design de Equipamento do IPG (em número de 14). Participaram ainda jovens estudantes de engenharia e arquitetura, e diplomados nestas áreas, bem como profissionais nestas áreas (em número de seis). Todos os 20 participantes foram considerados praticantes de CAD por deterem dois ou mais anos de formação e prática de CAD. Todos os sujeitos eram destros e tinham visão normal ou corrigida para normal. A Tabela 5.12 mostra os dados relativos à amostra, tais como o sexo, a idade, o comprimento e a largura da mão direita. O comprimento e a largura da mão direita foram medidos de acordo com as referências, respetivamente, 1 e 12, da Figura 5.5 (Pheasant, 2003). A Tabela 5.13 mostra os dados relativos à amostra agrupada, indica o tamanho da mão a partir da soma do seu comprimento com a sua largura (média e desvio padrão) e apresenta também o número de participantes cujo tamanho da mão é inferior ou superior ao valor médio da amostra.

Tabela 5.12 - Caracterização da amostra participante no estudo 2.

Participantes			Idade (anos)		Comprimento da mão (mm)		Largura da mão (mm)	
Número de participantes	Sexo	Praticante de CAD	Média(DP)	Varição	Média (DP)	Varição	Média (DP)	Varição
10	Feminino	10	23,1 (2,7)	20 - 29	173,2 (7,1)	160 - 183	77,7 (4,6)	72 - 85
10	Masculino	10	25,4 (2,6)	22 - 30	192,2 (9,9)	170 - 208	92,6 (2,8)	86 - 96

Tabela 5.13 - Caracterização da amostra agrupada participante no estudo 2.

Participantes		Idade (anos)		Comprimento da mão (mm)		Largura da mão (mm)		Parâmetro auxiliar Comprimento+Largura	
Número de participantes	Pratic. de CAD	Média (DP)	Variação	Média (DP)	Variação	Média (DP)	Variação	Média (DP)	Variação
20	20	24,3 (2,9)	20 - 30	182,7 (12,8)	160 - 208	85,2 (8,4)	72 - 96	267,9 (19,8)	232 - 302
11	participantes cujo tamanho da mão é inferior ao tamanho da mão da média da amostra								232 - 265
9	participantes cujo tamanho da mão é superior ao tamanho da mão da média da amostra								275 - 302

O estudo 2 corresponde aos testes realizados com os 5 dispositivos, através das mesmas tarefas previamente realizadas durante o estudo experimental 1, tarefas de *pointing large, medium e small, dragging left, middle e right, e steering*, (Figura 5.3). Os testes aos cinco ratos de computador foram realizados por uma amostra de 20 novos participantes, face ao estudo 1. Note-se que os resultados para a avaliação da usabilidade no âmbito do estudo 2 foram obtidos durante a realização das tarefas com registo eletromiográfico (Cap. 6), portanto com elétrodos colocados no antebraço direito dos participantes. As tarefas de *pointing* contaram com a saída aleatória de 72 alvos (das 18 localizações possíveis) e as tarefas de *dragging e steering* contaram com a saída aleatória de 24 alvos (das 8 localizações possíveis, (Figura 5.3)). A Tabela 5.14 contém informação sobre a tipologia das tarefas e a sua sequência durante os testes. As tarefas de cada tipo decorreram durante pelo menos um minuto por cada participante, tempo considerado para registo da atividade muscular por eletromiografia de superfície que ocorreu em simultâneo, com exceção do *scroll* que decorreu durante 10 s. Tal como ocorrido no estudo 1, a saída aleatória relativa à sequência dos ratos sob teste foi estabelecida por escolha cega realizada pelos participantes, de entre 5 pequenos papéis dobrados, tirados do interior de um saco. Cada participante demorou entre 2,5 h e 3 h a realizar a totalidade dos testes, contando com as respostas relativas às escalas da preferência (Tabela 5.6), ação que ocorreu apenas no final dos testes aos 5 ratos. Durante a realização dos testes, os participantes tinham à sua disposição chocolates, sumos concentrados e água. Os participantes no estudo experimental 2 receberam uma compensação pela sua participação, através da atribuição de um cartão presente para realização de compras numa cadeia nacional de hipermercados, no valor de 10 €. Pelo facto do estudo 2 estar condicionado à monitorização da atividade muscular por eletromiografia de superfície, a descrição relativa às atividades inerentes a esse processo consta do capítulo 6. A Tabela 6.1 apresenta a sequência das atividades que decorreram durante os testes aos 5 dispositivos, por cada um dos participantes. Uma imagem captada durante a realização de testes aos dispositivos por um participante, no estudo 2, pode ser observada na Figura 5.7. O impresso visível na Figura 5.7, em frente ao sujeito, consiste no registo relativo à preferência entre os artefactos sob avaliação, que é preenchido no final dos testes.

A partir do instrumento com várias escalas relativas à preferência de entre os cinco dispositivos (Tabela 5.6), procedeu-se a uma análise relativa à componente subjetiva da usabilidade. E a partir dos dados de tempos, de falhas e de desvios, guardados pelo software de implementação das tarefas do teste, procedeu-se a uma análise relativa à sua componente mais objetiva da usabilidade através do tratamento da eficácia e da eficiência (Tabela 5.7). Estes testes produziram um conjunto de dados relevantes para a avaliação da usabilidade sendo também úteis na análise estatística comparativa entre o estudo 1 e o estudo 2 com vista à reunião das amostras (Cap. 7 - Análise de resultados).

Tabela 5.14 - Tarefas - estudo 2 (experimentação de laboratório realizada no IPG durante o mês de julho de 2015).

Sequência de **tarefas** de teste (Figura 5.3)  
(saída aleatória de alvos)

1º *Pointing* (saída aleatória de 72 alvos):

- *large*
- *medium*
- *small*

2º *Dragging* (saída aleatória de 24 alvos):

- *left*
- *middle*
- *right* (os dados de EMG não foram tratados)

3º *Steering* (saída aleatória de 24 alvos)

4º *Scroll up* e *scroll down* (para EMG, apenas os dados do *scroll up* foram tratados)



Figura 5.7 - Realização de testes aos dispositivos no estudo 2 (exemplo de um participante).

### 5.6.3 Estação de testes - Estudos 1 e 2

Tanto no estudo experimental 1 como no 2 foi utilizado um posto de trabalho com equipamentos dotados de visor típico, de acordo com a norma ISO 9241-5:1998 (Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) – Part 5: Workstation layout

and postural requirements). O posto de trabalho (*workstation*) utilizado na experimentação laboratorial consistia de um computador de secretária, com o sistema operativo Microsoft Windows® 7, uma secretária, uma cadeira com apoio de antebraços, regulável em altura e encosto regulável em inclinação e altura, com apoio lombar. O teclado colocado em frente do utilizador e o rato sobre uma base antiderrapante, colocada do lado direito do teclado e com dimensões de 320 x 270 x 2 mm (Figura 5.8). Os participantes foram instruídos no sentido de adotarem uma postura confortável e de modo a manterem a superfície da secretária ao nível da posição de descanso dos cotovelos. Um monitor, de diagonal útil de 19” e resolução de 1280 x1024 pixels, de superfície plana, regulável em altura e inclinação por forma a adaptar-se à altura dos olhos de cada participante. Foi disponibilizado um apoio estável para os pés para compensar a postura de participantes de menor estatura. Embora o estudo experimental 1 tenha ocorrido num local e o estudo experimental 2 tenha ocorrido em outro local, a *workstation* foi preparada em ambos os locais obedecendo aos mesmos requisitos.



*Workstation* utilizado na experimentação laboratorial do estudo 1



*Workstation* utilizado na experimentação laboratorial do estudo 2

Figura 5.8 - *Workstations* laboratoriais utilizados nos testes para avaliação da usabilidade e da atividade muscular.

## 5.7 Experimentação de campo - estudo 3

### 5.7.1 Estudo 3 - Participantes e conceção experimental

Com o objetivo de exemplificar a aplicação do indicador de eficiência das tarefas ponderadas (equação 5.1) foi realizado um estudo através de experimentação de campo (estudo 3) para determinar os valores dos coeficientes. Estes coeficientes refletem o peso temporal de cada tarefa (operação), durante a atividade de CAD, com uma ferramenta específica de desenho e projeto assistidos por computador. O estudo 3 foi apoiado na observação naturalista do número de operações de cada tarefa, durante a atividade de modelação digital tridimensional realizada por dez participantes, com um software de modelação 3D paramétrica. Este estudo



complementar ocorreu posteriormente à realização dos estudos experimentais 1 e 2 que forneceram os dados de eficiência por tarefa. O primeiro estudo com experimentação de laboratório (estudo 1) forneceu os tempos médios por operação. Associando estes tempos médios ao número de operações de cada tipo de tarefa, obtêm-se os coeficientes (ver secção 5.4.3). Os resultados obtidos podem ser consultados no capítulo 7 - Análise de resultados.

O estudo 3 decorreu durante o mês de abril de 2016 no IPG (Guarda), tendo os participantes sido recrutados de entre voluntários estudantes do curso de licenciatura em Design de Equipamento do IPG, e de entre diplomados recentes do mesmo curso. A experimentação ocorreu numa sessão única. Todos os sujeitos possuíam experiência continuada de prática com o programa informático Autodesk® Inventor® (programa de CAD 3D) de pelo menos dois anos. No estudo 3 foi utilizada a versão de 2016 deste programa. Todos os participantes eram destros, com visão normal ou corrigia para normal. A caracterização da amostra consta da Tabela 5.15, sendo que a amostra foi definida por conveniência. A tarefa prescrita aos participantes do estudo 3 constou da realização de uma atividade de modelação digital de sólidos cujos modelos foram escolhidos por cada participante (mobiliário, modelos decorativos, veículos, etc.). A referida atividade incluiu a manipulação de desenhos de conjunto e a geração de vistas 2D dos modelos, e foi realizada em simultâneo pelos 10 sujeitos, durante 60 minutos. Cada participante executou as atividades propostas em postos de trabalho semelhantes e utilizando periféricos iguais (Figura 5.9). Os sujeitos não receberam qualquer tipo de ‘compensação’ pela sua participação neste estudo.

Tabela 5.15 - Caracterização da amostra participante no estudo 3.

Número de participantes	Sexo	Idade (anos) Média (DP)	Idade (anos) Variação
10	4	Feminino	23,9 (3,6) 20 - 30
	6	Masculino	

A observação naturalista ocorreu de forma indireta, a partir da gravação da atividade do monitor e foi realizada pelo investigador cuja experiência ultrapassa os dez anos de prática de modelação 3D com o Autodesk® Inventor®. O investigador é docente de Modelação Virtual II no curso de Licenciatura em Design de Equipamento do IPG, unidade curricular onde é lecionada aquela ferramenta de CAD. O método de observação aplicado tem por base o método de avaliação da usabilidade denominado de *Field Observation / Field Study* de acordo com Paz & Pow-Sang (2016). A observação incidiu em cada 5º minuto e decorreu ao longo dos 60 minutos da atividade de CAD realizada por cada um dos dez participantes. Assim, durante a observação foi contabilizado o número de operações individuais realizadas, perfazendo 11 minutos de registo por sujeito. As observações foram categorizadas de acordo com seis tipos de operações envolvendo o rato de computador mostrado na Figura 5.9 (imagem à direita). As

operações correspondem a apontar e selecionar alvos de grandes, médias e pequenas dimensões, arrastar alvos premindo o botão esquerdo e premindo o botão do meio do rato e ainda conduzir alvos. Arrastar alvos utilizando o botão direito do rato não constitui uma função ativa nesta ferramenta de CAD pelo que não foi aqui considerada essa operação. Quanto à função *scroll* não foi possível no âmbito dos trabalhos desenvolvidos obter valores de eficiência para este parâmetro pelo que não foi determinado o correspondente coeficiente de ponderação. No capítulo 7 - Análise de resultados, constam os valores dos coeficientes de ponderação obtidos através do método de observação naturalista, supra referida, bem como os valores do IE calculados para cada um dos cinco dispositivos manuais apontadores. Estes dados foram objeto de testes estatísticos cujos resultados constam nesse mesmo capítulo.

### 5.7.2 Estação de testes - Estudo 3

Esta experimentação de campo, com observação naturalista, decorreu durante a atividade natural de modelação digital (CAD-3D) realizada por dez participantes com recurso a um software de modelação 3D paramétrica. A atividade referida foi realizada em estações de trabalho semelhantes entre si dispostas numa sala de formação de CAD do IPG (Figura 5.9). A secretária tem uma base horizontal de trabalho de 80 cm x 80 cm, com 72 cm de altura. O monitor apresenta uma resolução de 1920x1080 pixels. Todos os participantes utilizaram o mesmo modelo de rato de computador, que está disponível na sala de formação, o Laser HP USB 1000 dpi (Figura 5.9, à direita).



Figura 5.9 - Vista geral da sala de formação de CAD onde decorreu o estudo 3 (imagem da esquerda) e a vista de pormenor do rato utilizado no mesmo estudo (imagem da direita).

## 5.8 Cronograma da experimentação e do tratamento dos dados - estudos 1, 2 e 3

A Figura 5.10 mostra o resumo da sequência de acontecimentos relativos à experimentação realizada no âmbito da avaliação da usabilidade. Os três estudos experimentais estão interligados. Os testes experimentais realizados no âmbito do estudo 1 contemplaram a colheita de dados de avaliação subjetiva e objetiva dos artefactos sob avaliação, tal como foi relatado ao longo do presente capítulo. Os testes experimentais realizados por uma nova amostra de participantes no estudo 2, orientados para a avaliação da atividade muscular, complementam e expandem no que toca à avaliação da usabilidade os dados recolhidos no estudo 1. Finalmente, a experimentação de campo levada a cabo no estudo 3 permitiu determinar os valores dos coeficientes de ponderação do IE (novo indicador de eficiência para os dispositivos apontadores), não apenas a partir do estudo de observação da atividade natural como também a partir dos resultados apurados nos estudos 1 e 2. A Figura 5.10 apresenta, ainda que resumidamente, as variáveis globais sob interesse em cada fase da experimentação e o período temporal em que cada fase decorreu, bem como o número de dias ocupados com a realização de testes experimentais, não incluindo qualquer fase preparatória de operacionalização da colheita de dados.

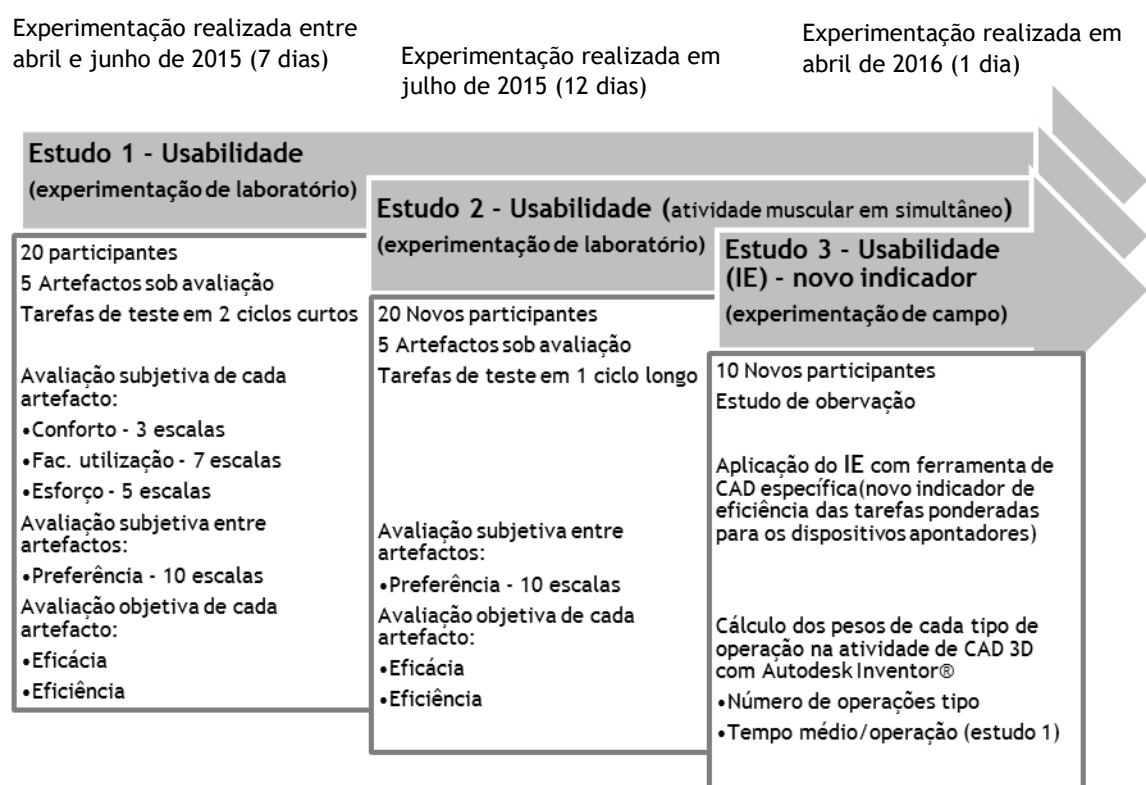


Figura 5.10 - Cronograma da experimentação relativo à avaliação da usabilidade.

Após a colheita dos dados procedeu-se ao seu tratamento prévio, nomeadamente ao cálculo dos valores da eficácia e da eficiência através do recurso a folhas de cálculo utilizando o Microsoft Excel®, a partir dos ficheiros de tempos, falhas e desvios, gerados pelo software de implementação das tarefas. De igual modo, todas as respostas de avaliação subjetiva patentes nos impressos foram tratadas previamente com recurso a folhas de cálculo. Após o tratamento prévio dos dados procedeu-se à sua análise recorrendo a técnicas estatísticas. Os dados foram analisados utilizando o software estatístico SPSS, versão SPSS 22 (IBM). Foram realizadas diversas análises de variância de medições repetidas do tipo RM-ANOVA com nível de significância 0.05 para as variáveis de avaliação objetiva, nomeadamente a eficiência do dispositivo em cada tarefa, no estudo 1 e no estudo 2. Relativamente às variáveis de avaliação subjetiva, no que toca à preferência procedeu-se a uma análise de concordância de Kendall para as 10 escalas da preferência em ambos os estudos 1 e 2. No estudo 1 foram conduzidas ainda diversas análises de correlação, nomeadamente de Spearman para estabelecer o comportamento em termos de associação entre variáveis subjetivas, da preferência, e a eficácia e a eficiência calculadas. Foi ainda estudada a associação entre as variáveis da preferência e as restantes escalas de avaliação subjetiva do desconforto, da dificuldade de utilização e do esforço. Com o propósito de estudar a possível associação entre o ângulo característico dos dispositivos e outras variáveis, foi também aplicada a análise de correlação de Spearman entre o ângulo característico do dispositivo e as diversas variáveis relativas à preferência. No estudo 1 foi aplicada a análise de correlação de Pearson entre a variável ângulo característico do dispositivo e cada uma das variáveis de avaliação objetiva calculadas, a eficácia e a eficiência. As escalas compostas de vários itens, nomeadamente a de facilidade de utilização, a de esforço e a de desconforto foram ainda objeto de análise de fiabilidade no tocante à consistência interna, com recurso ao alfa de Cronbach.

Relativamente ao tratamento estatístico conduzido no âmbito do estudo experimental 2, para além das análises estatísticas referidas no parágrafo anterior aplicadas a este mesmo estudo, foi realizada uma análise de concordância de Kendall no sentido de estabelecer o comportamento em termos de convergência ou divergência entre os participantes relativamente às suas preferências (10 escalas) 'pontuadas' no estudo 1. Ainda com o propósito de estabelecer associações entre os resultados do estudo 1 e os resultados do estudo 2 foi conduzida uma análise de semelhança, considerando os valores de eficiência obtidos para cada um dos 5 dispositivos, para cada uma das 7 tarefas, recorrendo a testes paramétricos, *test t* e a testes não paramétricos, nomeadamente o teste U de Mann-Whitney para amostras independentes (para variáveis que não passaram no teste de normalidade). Considerando a união dos dados relativos às duas amostras (estudo 1 e estudo 2 reunidos) procedeu-se a nova análise de concordância de Kendall, bem como, a nova análise de variância de medições repetidas RM-ANOVA, com nível de significância 0.05, para a eficiência do dispositivo em cada tarefa. Através de uma análise do coeficiente de determinação da regressão polinomial cúbica procurou-se estabelecer o comportamento em termos de

associação entre a eficiência registada por tarefa com cada tipo de dispositivo (através do seu ângulo característico) e a categoria do tamanho da mão (duas categorias, uma inferior à média da amostra e a outra superior à média da amostra).

Quanto aos dados obtidos com a realização do estudo 3, relativamente ao novo indicador de eficiência das tarefas ponderadas, após o seu cálculo para atividades de CAD com recurso ao Autodesk Inventor®, pretendeu-se averiguar as condições de interação entre as categorias do tamanho da mão e o tipo de dispositivo (através do seu ângulo característico). Neste sentido, implementou-se o teste da ANOVA para medidas repetidas misto (RM-ANOVA Mixed). Considerou-se a categoria do tamanho da mão como o fator intersujeitos (dois grupos), e o tipo de dispositivo como o fator intrasujeitos, para distinguir as cinco medidas do indicador de eficiência registadas para cada um dos sujeitos. Neste processo, a variável dependente toma os valores de IE obtidos com cada um dos 5 dispositivos por cada um dos 40 participantes.

Os desenvolvimentos analíticos relativos aos resultados obtidos, bem como as diversas representações gráficas, são abordados no capítulo 7 - Análise de resultados. O cálculo dos coeficientes de ponderação que integram o IE, caracterizado no presente capítulo, na secção 5.4.3, é, também, apresentado no capítulo relativo à análise de resultados.

## 5.9 Nota Conclusiva

No presente capítulo apresentou-se o processo de investigação seguido, dando cumprimento aos objetivos previamente delineados, para avaliar a usabilidade de cinco dispositivos apontadores manuais para computador. Foram caracterizados os artefactos sob avaliação, e os critérios para a sua prossecução, definida a caracterização da amostra, apresentadas as tarefas, bem como os procedimentos experimentais e ainda os instrumentos utilizados na colheita de dados. A conceção experimental resultou, também, da oportunidade de realizar a componente de experimentação laboratorial em duas fases. Dos 40 participantes, 20 sujeitos participaram na primeira fase e os restantes 20 participaram na segunda fase, sujeitando-se estes últimos ao registo da atividade muscular de quatro músculos do antebraço enquanto executavam os testes. Para este segundo grupo e com vista à avaliação da usabilidade dos cinco dispositivos foram aplicados os mesmos instrumentos relativos à componente objetiva, contudo, foram apenas aplicadas as escalas de preferência (ordenação entre os ratos de computador), no que diz respeito à componente mais subjetiva. Deste modo a avaliação pormenorizada do desconforto, do esforço e da facilidade de utilização ficou cingida ao estudo 1.

É proposto um novo indicador de desempenho para dispositivos manuais apontadores para computador, determinado a partir da eficiência obtida em distintas tarefas, destinado a

distinguir esses dispositivos quando utilizados com uma determinada tipologia de software de CAD. Com o indicador de eficiência proposto (IE) pretende-se contribuir não só para o avanço da ciência como também para a escolha informada dos consumidores.

A pertinência em estabelecer uma correspondência entre este estudo e a sua importância em relação à utilização destes dispositivos no CAD é expressa sobremaneira na natureza do conjunto de tarefas sob teste. Veja-se a título de exemplo que as tarefas de *dragging middle* e de *scroll*, são ambas muito utilizadas no âmbito do CAD. Outras tarefas englobadas nos testes são comuns a uma gama muito alargada de utilizações, onde também se inclui o CAD.

## Capítulo 6

# Eletromiografia de superfície para caracterização da atividade muscular do antebraço

- 6.1 Enquadramento da experimentação de laboratório com eletromiografia no âmbito da tese
- 6.2 A eletromiografia de superfície na avaliação de ratos de computador
- 6.3 Seleção dos músculos
- 6.4 Posicionamento dos elétrodos
- 6.5 Registo eletromiográfico, instrumentação e estação de testes
- 6.6 Procedimentos adotados no registo eletromiográfico
- 6.7 Eletromiografia e parâmetros de avaliação (APDF e Din - novo indicador)
- 6.8 Nota Conclusiva

#### Objetivos:

- Estabelecer com recurso à revisão bibliográfica focada, o estado da arte da avaliação da atividade muscular por S-EMG.
- Desenvolver e caracterizar a conceção experimental para avaliação da atividade muscular por S-EMG dos dispositivos em apreciação.
- Propor processos ou métodos de análise para avançar o estado da arte da avaliação da atividade muscular no âmbito da utilização dos ratos de computador.
- Caracterizar a atividade muscular acrescentando ao conjunto de indicadores da atividade muscular existentes um novo indicador (dinamismo da atividade muscular).
- Aprofundar a revisão bibliográfica no domínio da S-EMG com o propósito de apoiar a conceção experimental.
- Caracterizar a conceção experimental relativa à S-EMG e as respetivas condições experimentais (inclui a amostra).
- Implementar as tarefas gráficas necessárias e suportadas pela análise bibliográfica, com vista à recolha de dados.
- Desenvolver e implementar processos, técnicas e instrumentos para a colheita de dados relativa à avaliação da atividade muscular.
- Descrever os métodos experimentais postos em prática e as condições experimentais e a teoria que os apoia no campo da S-EMG.



## 6.1 Enquadramento da experimentação de laboratório com eletromiografia no âmbito da tese

A par da avaliação da usabilidade do conjunto de dispositivos manuais apontadores (descrita no cap. 5), que envolveu duas fases experimentais (estudo 1 e estudo 2), procedeu-se à monitorização da atividade muscular de quatro músculos do antebraço dos participantes, durante o estudo experimental 2. Na avaliação daqueles dispositivos, cujo fator em apreciação foi a geometria, procurou-se complementar a avaliação da usabilidade com a avaliação da atividade dos músculos do antebraço dos sujeitos mais pertinentes, que são envolvidos na utilização desta ferramenta manual. Tomou-se como premissa na conceção experimental que a prevalência da atividade muscular estática dos músculos acionados na utilização dos dispositivos sob apreciação, será mais prejudicial para a saúde do seu utilizador do que a atividade muscular dinâmica. As atividades musculares estáticas referem-se ao esforço físico provocado por uma postura que é mantida durante um longo período de tempo. Este tipo de esforço promove o aumento da carga sobre os músculos contraídos, o que contribui para se atingir rapidamente a fadiga muscular. A ausência de funcionamento dinâmico de um determinado músculo contraído impede o fluxo sanguíneo necessário para transportar os nutrientes até ao músculo e para a remoção dos produtos residuais do metabolismo muscular (Nwaigwe, 2005). Em contrapartida, o trabalho muscular estático apenas pode ser mantido durante períodos prolongados se o nível da contração for baixo. Neste sentido, Sjøgaard e Jensen (2006) afirmam que tipicamente se considera uma determinada atividade que envolve movimentos repetidos como se se tratasse apenas de esforço dinâmico, sem ter em conta que esta pode conter esforços estáticos repetidos. Aquelas investigadoras consideram que o risco associado aos esforços estáticos advém provavelmente do facto da contração ser mantida de modo continuado. Estas autoras indicam diversos tipos de trabalho, onde incluem o trabalho com o computador e a atividade de CAD, como atividades onde ocorrem esforços estáticos de ‘nível baixo’, sendo a duração prolongada muito importante nestes casos. Sjøgaard e Jensen (2006) definem assim o esforço estático de ‘nível baixo’ como uma condição do trabalho muscular na qual o músculo é ativado a um nível de ordem de tal modo baixo que permite que o trabalho possa ser mantido durante um longo período de tempo.

Um processo criterioso e apoiado por peritos especializados conduziu à seleção da instrumentação adequada e à monitorização de quatro músculos do antebraço, tal como se descreve na secção 6.3. Os 20 participantes do estudo 2 executaram simultaneamente as tarefas gráficas que se encontram descritas no capítulo 5, na secção 5.3. A caracterização da amostra encontra-se descrita no mesmo capítulo, na secção 5.6.2. Durante o estudo

experimental 2 ocorreu a colheita de três tipos principais de dados, nomeadamente, dados de avaliação subjetiva através de escalas de preferência (ordem de preferência relativamente aos dispositivos), dados objetivos relativos à avaliação da usabilidade (tempos, falhas e desvios) e ainda a colheita de sinais da atividade muscular por eletromiografia de superfície.

## 6.2 A eletromiografia de superfície na avaliação de ratos de computador

De acordo com Agarabi, Bonato e De Luca (2004), o uso da eletromiografia de superfície (S-EMG) permite avaliar objetivamente diferentes geometrias de ratos de computador através da medição dos níveis de atividade de determinados músculos. Trata-se dos músculos envolvidos no controlo da mão para que esta se conforme com a superfície do rato durante o desempenho da atividade que envolve as operações de apontar e clicar. Segundo os mesmos autores, a extensão do punho está associada a lesões músculo-esqueléticas da mão, nomeadamente através da compressão do nervo mediano que atravessa o canal cárpico; revela-se assim de todo o interesse monitorizar os músculos responsáveis por esse movimento. Dois dos músculos que podem fornecer, através da monitorização da sua atividade eletromiográfica, informações relativamente à extensão do punho são o *Extensor Digitorum* (ED) e o *Extensor Carpi Ulnaris* (ECU). Também é referido na mesma obra que o desvio cubital pode provocar lesões ao nervo cubital, recaindo mais uma vez o interesse na monitorização da atividade do músculo *Extensor Carpi Ulnaris* (ECU), já que o desvio lateral do punho para o lado do cúbito resulta da contração deste músculo.

Outro estudo que envolveu o recurso a S-EMG (Houwink *et al.*, 2009), no âmbito da avaliação ergonómica de ratos de computador, colocou um modelo convencional e um modelo alternativo sob testes comparativos (Fig. 6.1), com o objetivo de determinar se a utilização do modelo alternativo iria promover a adoção de posturas mais neutras e a diminuição da atividade muscular do antebraço. Esta investigação procurava ainda averiguar se o conhecimento detido pelos utilizadores, e, ou a experiência relativamente à utilização dos dispositivos iria favorecer estes benefícios biomecânicos. O estudo referido contou com a participação de indivíduos adultos e saudáveis, 15 dos quais do sexo masculino e 15 do sexo feminino, que realizaram um conjunto de tarefas em interação com o computador e alternadamente com cada um dos dois modelos. Procederam ao registo eletromiográfico de superfície medindo a atividade muscular de vários tipos de músculos, entre os quais 3 músculos extensores do punho, o *Extensor Carpi Ulnaris* (ECU), o *Extensor Digitorum Communis* (EDC) e o *Extensor Carpi Radialis* (ECR). A colocação de cada um destes elétrodos ocorreu tal como recomendado por Perotto (1994). Registaram para o rato alternativo uma redução de 1,8% da contração voluntária máxima de um músculo extensor do punho relativamente ao rato convencional, mas apenas no grupo de sujeitos que recebeu instruções.

Constataram que estes participantes apoiavam de facto o lado cubital das suas mãos na superfície de trabalho, reduzindo, desse modo, a extensão do punho e a pronação do antebraço (Fig. 6.2). Concluíram assim que o conhecimento do utilizador e a formação são fatores importantes na adoção eficaz e de modo benéfico de um dispositivo ergonómico alternativo.



Figura 6.1 - Dispositivos testados por Houwink *et al.* (2009) (Fonte: Houwink *et al.*, 2009. Direitos de autor datados de 2009 e detidos pela editora Sage Publications. Reproduzida com permissão).



Figura 6.2 - Posicionamento da mão no rato adotado pelos participantes do estudo de Houwink *et al.* (2009) que receberam instruções (Fonte: Houwink *et al.*, 2009. Direitos de autor datados de 2009 e detidos pela editora Sage Publications. Reproduzida com permissão).

A eletromiografia de superfície tem sido amplamente utilizada como ferramenta de monitorização da atividade muscular com relevância para a avaliação ergonómica de dispositivos apontadores para computador. Nesta mesma linha de investigação, Lee, Fleisher, McLoone, Kotani e Dennerlein (2007) realizaram um estudo comparativo entre um rato de computador convencional e três variantes daquele, testando diferentes modos de acionar o botão principal. A monitorização da atividade muscular dos 20 participantes incidu nos músculos *Flexor Digitorum Superficialis* (FDS), Primeiro (*First*) *Dorsal Interossei* (FDI) e em três músculos extensores, o *Extensor Carpi Radialis* (ECR), o *Extensor Carpi Ulnaris* (ECU) e o *Extensor Digitorum Communis* (EDC). Segundo os mesmos autores e ao citarem Jensen *et al.* (1998) e Sogaard *et al.* (2001), os padrões de ativação muscular dos músculos extensores dos dedos (que são necessários para levantar e manter os dedos acima dos botões, citando Karlqvist, Hagberg e Selin, 1994, e ainda Keir, Bach e Rempel, 1999), em combinação com posturas de extensão do punho, podem contribuir para a ocorrência de dor nas extremidades superiores durante o uso intensivo do rato. Este estudo de Lee *et al.* (2007) surgiu na

sequência de uma primeira investigação (Lee, McLoone e Dennerlein, 2007) que permitiu observar o comportamento dos participantes em relação às posturas adotadas com os seus dedos durante a utilização do rato de computador. Durante essa primeira investigação observaram que uma elevada percentagem dos sujeitos levantava os dedos, mantendo-os sob tensão, em operações de deslocamento do rato (Fig. 6.3). No estudo subsequente (Lee, Fleisher, McLoone, Kotani e Dennerlein, 2007), durante o ensaio das três alternativas ao modelo de rato convencional, monitorizaram a atividade muscular recorrendo a elétrodos de superfície (DE-2.1 Single Differential Electrode, Delsys, Boston, MA) sendo estes posicionados sobre cada um dos músculos de acordo com Perotto (1994). O posicionamento dos elétrodos foi validado através da apalpação e da resposta do sinal ao teste da contração isométrica. Os sinais de EMG foram normalizados a partir de um conjunto de três contrações voluntárias máximas, de cada um dos músculos, com duração de 5 segundos em cada contração, sendo aplicada resistência manual externa. Quem conduziu os testes ofereceu resistência aos movimentos das articulações que o músculo sob interesse movimentava e instruiu os participantes para manterem os restantes músculos relaxados enquanto se pedia aos participantes para contraírem o músculo focado com o máximo de força. As condições de teste para o registo das contrações voluntárias máximas em termos das direções do movimento foram estabelecidas e controladas de acordo com Buchanan, Moniz, Dewald e Rymer (1993). Os sinais eletromiográficos foram registados com uma taxa de amostragem de 1000 por segundo e amplificados utilizando ainda uma filtragem do tipo passa banda entre 20 Hz e 450 Hz. Os dados utilizados no estudo foram obtidos a partir dos sinais de EMG instantâneos aos quais foi aplicado o cálculo digital de RMS (*Root Mean Square*) através de janelas móveis de 0.2 segundos.



Figura 6.3 - Comportamento observado por Lee, McLoone e Dennerlein (2007) de manutenção dos dedos levantados acima dos botões do rato (Fonte: Lee, McLoone e Dennerlein, 2007. Direitos de autor datados de 2008 e detidos pela editora Elsevier. Reproduzida com permissão).

Mais recentemente, Chen *et al.* (2012) recorreram à eletromiografia de superfície para investigar o efeito da massa do rato de computador na atividade muscular no punho. Ensaíram sempre o mesmo modelo dotando-o de cinco valores diferentes da massa (70, 100, 130, 160 e 190 gr). O estudo envolveu 25 participantes (20 do sexo masculino e 5 do sexo feminino). A monitorização da atividade muscular realizada através de S-EMG incidiu em três

músculos extensores, nomeadamente o *Extensor Carpi Radialis* (ECR), o *Extensor Carpi Ulnaris* (ECU) e o *Extensor Digitorum Communis* (EDC), e incidiu ainda sobre o músculo *Trapezius* (Trap).

Um trabalho de investigação da autoria de Lin *et al.* (2014) envolveu igualmente a eletromiografia e a monitorização da atividade de um conjunto de músculos do antebraço, que é, de resto, comum à maioria da bibliografia específica consultada. Aqueles autores procederam ao estudo comparativo entre diversos tipos de apontadores para computador tais como os integrados em teclados e outros dispositivos incluindo o rato de computador. Para além do registo eletromiográfico relativo aos músculos do braço monitorizaram também a atividade de quatro músculos localizados no antebraço, nomeadamente o ECR, o ECU, o ED (ou EDC) e ainda o *Extensor Pollicis Brevis* (EPB).

### 6.3 Seleção dos músculos

A seleção dos músculos a monitorizar quanto à sua atividade resultou de um processo que teve lugar em várias vertentes. A primeira consistiu numa revisão bibliográfica específica, norteada para a seleção adequada dos músculos a monitorizar. Estes músculos foram também identificados através da consideração da sua relevância na geração de posturas consideradas inadequadas e potencialmente danosas e que são passíveis de ser adotadas aquando uso do rato de computador. Estas posturas consistem nomeadamente nas que envolvem a extensão do punho e, ou, dos dedos mediais, o desvio radial e o desvio cubital do punho ou da mão (ISO 9241-400:2007). O processo de seleção dos músculos cuja atividade se iria monitorizar beneficiou ainda sobejamente do aconselhamento pessoal recebido da parte do Professor David D. Rempel. Após a ponderação da informação recolhida e em consonância com o perito referido optou-se por monitorizar os seguintes músculos: o *Extensor Carpi Radialis* (ECR), o *Extensor Carpi Ulnaris* (ECU) o *Extensor Digitorum* (ED) e o *Abductor Pollicis Longus* (APL). Neste contexto, o Professor David D. Rempel, no âmbito de comunicações pessoais direcionadas (2013-2015), deu um contributo essencial ao presente estudo, quer em relação à instrumentação selecionada e expressamente adquirida, que considerou adequada ao tipo de investigação pretendida (DE 2.1 Single Differential Electrode, Delsys® com 4 elétrodos de superfície), quer relativamente à seleção dos músculos sob interesse. O conjunto de músculos que o Professor David D. Rempel aconselhou a monitorizar incluía inicialmente o *Abductor Pollicis Brevis* (APB), um músculo envolvido na abdução do dedo polegar, que foi considerado relevante no uso de um novo modelo de dispositivo que estava na altura em desenvolvimento no âmbito dos trabalhos da presente tese, mas cujo desenvolvimento subsequente veio posteriormente a ser colocado em espera (Fig. 4.7). Após a decisão de incluir na investigação 5 modelos de dispositivos (Fig. 5.1) com ângulos característicos diferentes (0°, 30°, 45, 60 e 90°), constatou-se que em alguns destes modelos se tornava inviável a monitorização adequada da atividade do músculo APB, visto que o sensor aplicado na mão se iria arrastar na

superfície do tapete do rato e, ou, na superfície do próprio dispositivo. Nessa altura, a presente investigação contou ainda com o valioso contributo da Dra. Cristina Roque Ferreira (médica interna do Centro Hospitalar e Universitário de Coimbra) que, em virtude da monitorização pretendida, a abdução do polegar, recomendou a substituição do músculo APB pelo músculo APL (*Abductor Pollicis Longus*). Esta médica prestou ainda apoio teórico-prático local na fase de preparação das experiências de laboratório e na sua implementação, apoio esse relacionado com a anatomia e a fisiologia muscular, essencial na fase de estabelecimento dos procedimentos experimentais e de arranque da colheita de dados eletromiográficos.

Segundo Perotto (2011), a função principal do músculo *Extensor Carpi Ulnaris* (ECU) é a extensão do punho em desvio cubital, sendo que a função principal do músculo *Extensor Carpi Radialis* (ECR) é a extensão do punho em desvio radial. Cram e Criswell (2011) apontam igualmente o mesmo tipo de funções para os referidos dois músculos. Na Figura 6.4, Cram e Criswell (2011) apresentam um registo eletromiográfico dos músculos ECR e ECU durante o desvio radial, durante o desvio cubital e durante a extensão do punho, respetivamente. A atividade muscular é quantificada através de um sinal elétrico, sendo que na Figura 6.4 é mostrada a amplitude do sinal, onde cada divisão vale 200 uV, e no eixo das abcissas cada divisão vale 1 segundo. É notório que durante o desvio radial do punho sobrepõe-se a atividade do músculo ECR (sinal ligado ao canal L, em cima, na Fig. 6.4) à atividade do músculo ECU (sinal ligado ao canal R, em baixo, na Fig. 6.4) e, por seu turno, durante o desvio cubital do punho sobrepõe-se a atividade do músculo *Extensor Carpi Ulnaris* (ECU) à atividade do músculo *Extensor Carpi Radialis* (ECR). Constata-se também que durante a extensão do punho são ativados ambos os músculos, o ECR e o ECU.

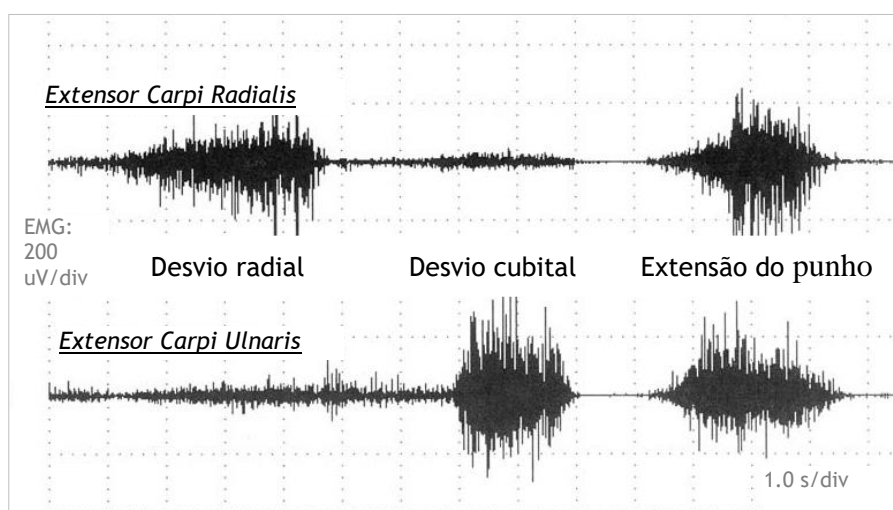


Figura 6.4 - Registo eletromiográfico de superfície dos músculos ECR e ECU em desvio radial, em desvio cubital e na extensão do punho (Fonte: adaptada de Cram e Criswell, 2011).

Por outro lado, a função principal do músculo *Extensor Digitorum* (ED ou EDC) é a de extensão dos quatro dedos mediais relativamente às suas articulações metacarpofalângicas (Perotto, 2011). Trata-se das articulações localizadas entre as falanges dos quatro dedos mediais e a palma da mão. Na Figura 6.5, obtida através de eletromiografia de superfície, pode-se observar que durante a extensão do punho regista-se atividade do músculo ED mas também do músculo ECR, enquanto se regista durante a extensão dos dedos, sem proceder à extensão do punho, a predominância da atividade do músculo ED face ao músculo ECR.



Figura 6.5 - Registo eletromiográfico de superfície dos músculos ED e ECR na extensão do punho e na extensão dos dedos (Fonte: adaptada de Cram e Criswell, 2011).

A principal função do músculo *Abductor Pollicis Longus* (APL) é a abdução do 1º metacarpo, estendendo todo o dedo polegar e estendendo a articulação carpometacárpica do polegar (Perotto, 2011). Em termos de monitorização do músculo APL por S-EMG, Cram e Criswell (2011) alertam para a proximidade entre este e o músculo *Extensor Pollicis Brevis* (EPB) no que diz respeito à melhor localização do eletrodo de superfície a colocar no antebraço, indicando ainda como ações de contração isométrica a abdução e a extensão do polegar para o registo do sinal eletromiográfico. Por outro lado, a Figura 6.6 ilustra o comportamento em termos do sinal eletromiográfico dos músculos APL e APB, de modo que durante a abdução do dedo polegar se regista atividade muscular em ambos os músculos, enquanto no movimento de ‘preensão de pinça’ (pinch grasp) se regista atividade do músculo APB mas não se regista atividade no músculo APL. Isto deixa antever que a substituição da monitorização do músculo APB pelo músculo APL provoca a perda do registo de ‘preensão de pinça’. Para além do mais, a proximidade entre os músculos APL e EPB na região do antebraço, onde se coloca o eletrodo de superfície também leva a antever possíveis problemas de Cross-talk (este efeito de Cross-talk ocorre quando o mesmo sinal eletromiográfico é proveniente de mais do que um músculo ativo). Deste modo, monitoriza-se nestas condições não só a abdução do polegar como

também a sua extensão; contudo, não é monitorizado o envolvimento do polegar na ação de ‘preensão de pinça’.

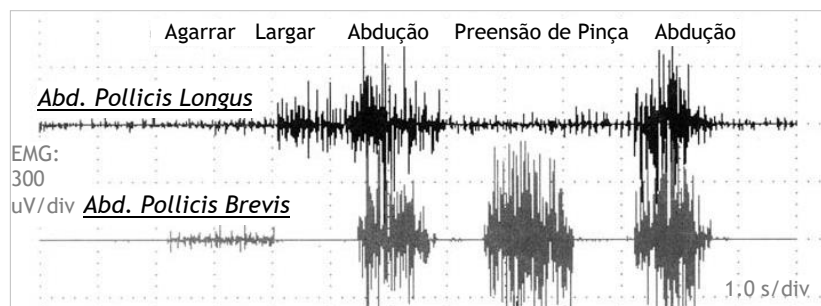


Figura 6.6 - Registo eletromiográfico de superfície dos músculos APL e APB ao agarrar e largar, em abdução, em preensão de pinça e em abdução (Fonte: adaptada de Cram e Criswell, 2011).

## 6.4 Posicionamento dos elétrodos

As Figuras 6.7 a 6.9 ilustram a localização adotada para a colocação dos sensores de S-EMG para cada um dos músculos extensores selecionados. Embora a obra especializada que providenciou orientação neste domínio apresente sobremaneira o membro esquerdo, Perotto (2011) refere que esta identificação não traz problemas de maior na transposição da informação para a aplicação ao antebraço direito. Um pormenor importante reside no facto destas informações, patentes na obra citada, se referirem a eletromiografia de inserção. No caso dos três músculos extensores monitorizados no âmbito do presente estudo, este facto não constitui um impedimento à consideração da relevância daquela obra como guia orientadora para localização das áreas de colocação dos elétrodos, dado a região aconselhada para inserção não apresentar nenhum outro músculo posicionado numa camada mais exterior relativamente ao músculo de interesse (veja-se a vista em corte, do lado direito de cada uma das Figuras 6.7, 6.8 e 6.9). O mesmo já não acontece em relação ao músculo *Abductor Pollicis Longus* (APL), já que o posicionamento sugerido pelo mesmo autor, para eletromiografia de inserção, ocorre numa localização do antebraço onde este músculo se apresenta sob o EDC, razão pela qual se utilizou outra obra de referência. Neste caso foram seguidas as orientações de Cram (2011), vide Figura 6.10.

A Figura 6.7 ilustra o posicionamento do elétrodo de modo a captar um sinal eletromiográfico fiável e representativo da atividade do músculo ECR. Do lado esquerdo da mesma Figura 6.7, alínea (a), encontra-se a ilustração que permite identificar no antebraço esquerdo o melhor ponto para colocar o sensor, e do lado direito, alínea (b), apresenta-se uma vista em corte do mesmo local anatómico. Esta vista em corte permite verificar que nessa região o músculo de interesse se encontra numa camada superficial do antebraço permitindo assim utilizar elétrodos externos (de superfície) no mesmo local.



ECR - *Extensor Carpi Radialis (Longus e Brevis)*

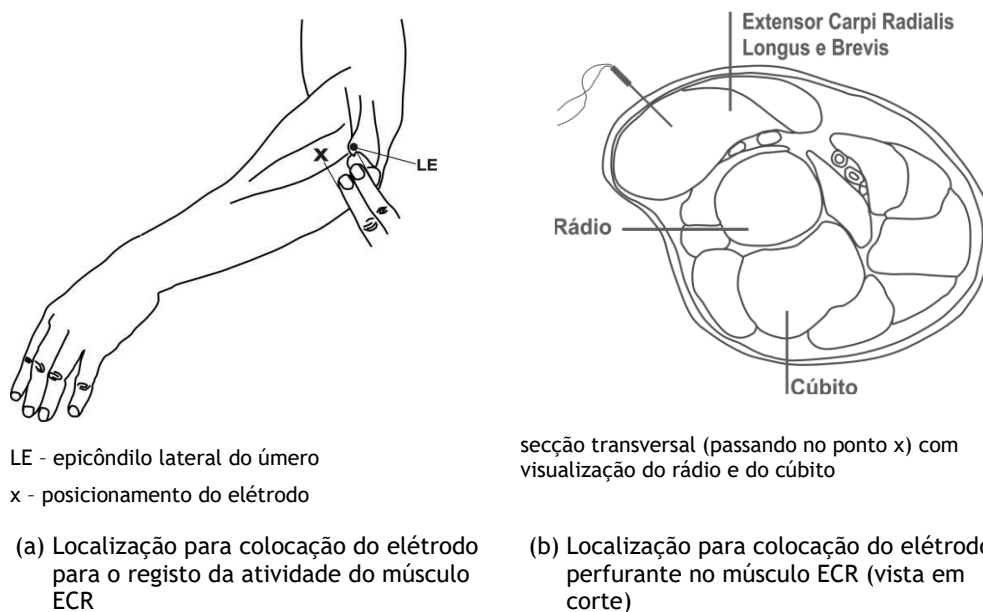


Figura 6.7 - Localização anatômica do eletrodo para registo de EMG relativo ao músculo ECR (Fonte: adaptada de Perotto, 2011).

Segundo Perotto (2011), para os músculos *Extensor Carpi Radialis Longus* e *Extensor Carpi Radialis Brevis*, devido à sua proximidade anatômica e relação funcional entre si, torna-se impossível desenvolver uma técnica que permita monitorizar desta forma apenas um dos referidos músculos independentemente do outro, com fiabilidade. Segundo o mesmo autor, sendo a principal função do ECR a de provocar o desvio radial do punho, como teste de contração deste músculo deve-se proceder simultaneamente à extensão do punho (flexão dorsal do punho) e ao desvio radial do punho. A postura para identificação do ponto x (ponto de colocação do eletrodo perfurante ou de centragem do eletrodo de adesão superficial) deverá ser a pronação completa do antebraço, sobre a mesa. Neste mesmo ponto, Cram e Criswell (2011) indicam, para colocação do eletrodo de superfície e de modo a monitorizar a atividade do músculo ECR, a localização do ponto x a 5 cm do epicôndilo lateral do úmero, verificando-se uma razoável concordância com a identificação do ponto x para eletromiografia de inserção segundo Perotto (2011).

A Figura 6.8 ilustra a localização adotada no âmbito do presente trabalho de investigação, para colocação do eletrodo diferencial que permite a monitorização da atividade do músculo ECU. A principal função do músculo ECU é provocar a flexão dorsal da mão (extensão do punho) em desvio cubital da mesma; pelo que como teste de contração deste músculo deve-se proceder simultaneamente à extensão do punho e ao desvio cubital do punho. A postura a assumir para a identificação indivíduo a indivíduo do ponto x deverá ser a pronação completa do antebraço, sobre a mesa. Tal como indicado na Figura 6.8, na alínea (a) apresenta-se a melhor localização do sensor para monitorizar o músculo sob interesse, que neste caso se

situa a meio caminho do comprimento do cúbito. Na Figura 6.8, alínea (b), a partir de uma vista em corte, pode-se observar que nessa região o músculo ECU se encontra numa camada superficial do antebraço, encostado ao cúbito, permitindo assim utilizar eléttodos externos no mesmo local anatómico.

ECU - *Extensor Carpi Ulnaris*

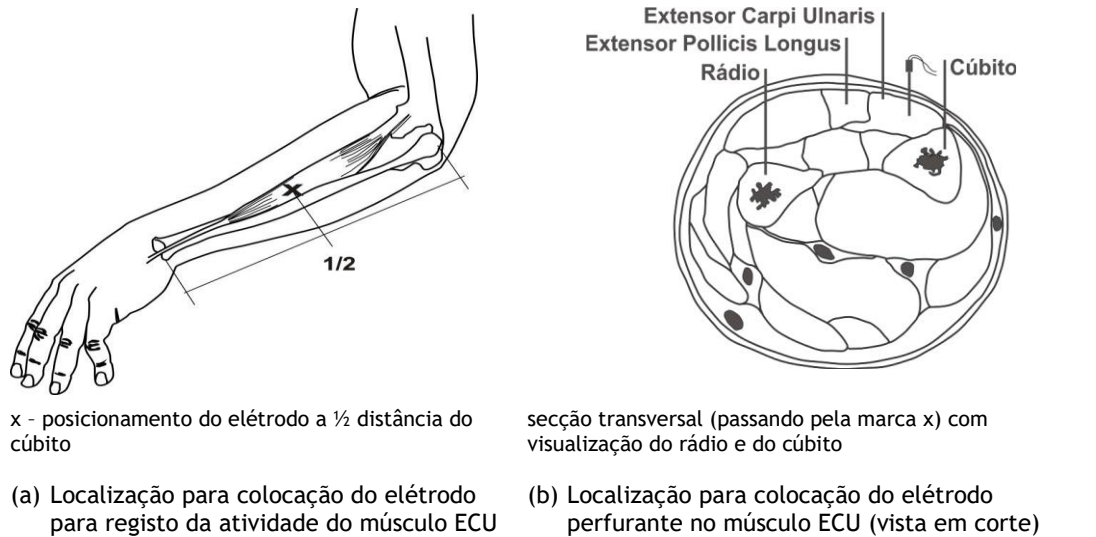


Figura 6.8 - Localização anatómica do eléttodo para registo de EMG do músculo ECU (Fonte: adaptada de Perotto, 2011).

Finalmente, apresenta-se a localização anatómica para a colocação do eléttodo diferencial com vista à monitorização de EMG do terceiro músculo extensor, também localizado no antebraço, o *Extensor Digitorum Communis* (EDC) ou simplesmente *Extensor Digitorum* (ED), através da ilustração patente na Figura 6.9.

ED - *Extensor Digitorum*

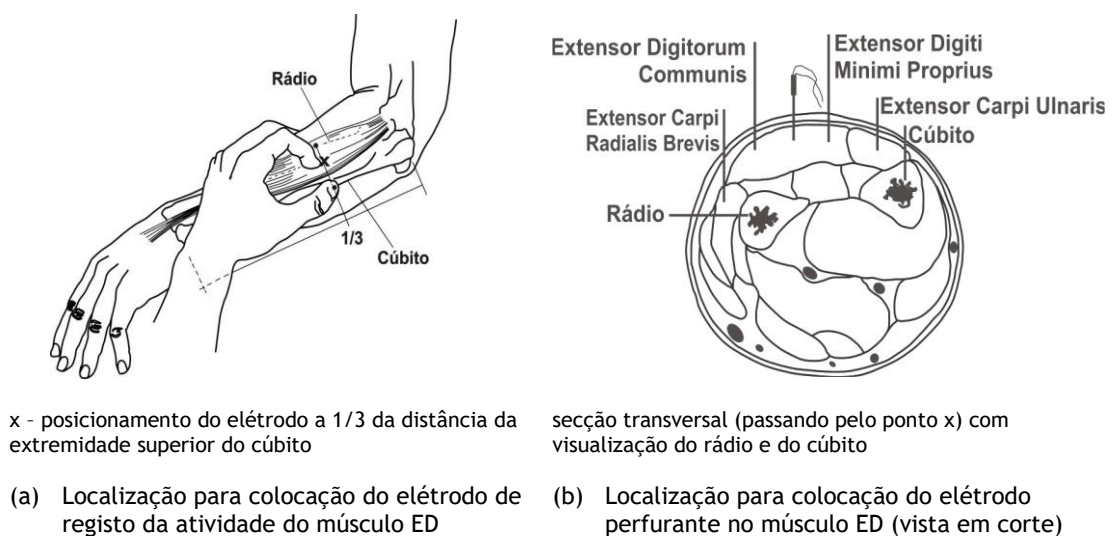


Figura 6.9 - Localização anatómica para a colocação do eléttodo para monitorização de EMG do músculo ED (Fonte: adaptada de Perotto, 2011).

A principal função do músculo ED é promover a extensão das articulações metacarpofalângicas dos dedos mediais, pelo que Perotto (2011) sugere que o teste de determinação do MVC (Contração Voluntária Máxima) seja realizado provocando esse mesmo movimento de extensão. O teste de sinal elétrico pode ser realizado aplicando o eletrodo segundo a ilustração da Figura 6.9, levantando os dedos e procurando manter a palma da mão voltada para baixo e em contacto com a mesa. A localização para colocar o sensor é indicada para a pronação completa do antebraço e segurando o membro do sujeito participante à distância de aproximadamente um terço da extremidade superior do antebraço, tal como ilustrado na Figura 6.9. Nesta pode observar-se o dedo polegar do investigador sobre o cúbito do sujeito, o dedo médio sobre o rádio, e o dedo indicador a meia distância entre os dois pontos anteriores, este último dedo indica assim o ponto x para a colocação do eletrodo diferencial.

Para a localização anatômica do ponto de colocação do eletrodo para monitorização EMG do músculo APL foi utilizada a referência Cram (2011), tal como anteriormente referido e justificado. Note-se que devido à reduzida área da superfície anatômica onde o músculo APL surge de modo mais superficial, encontra-se aí também o músculo EPB, pelo que a monitorização destes dois músculos ocorre em simultâneo (*Cross-talk*), tal como anteriormente já fora referido (vide texto imediatamente antecedente à Fig. 6.6 e que alude à mesma).

APL - Abductor *Pollicis Longus*

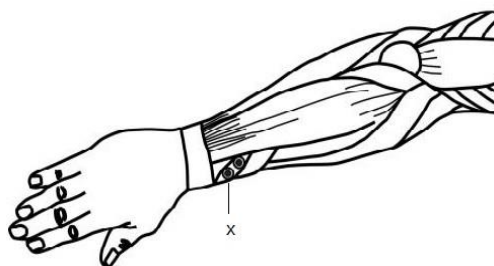


Figura 6.10 - Localização anatômica para a colocação do eletrodo para registo de S-EMG relativa ao músculo APL e EPB (Fonte: adaptada de Cram, 2011).

No presente estudo cada posicionamento foi validado através de apalpação e da resposta do sinal EMG ao teste da contração isométrica (Lee, Fleisher, McLoone, Kotani & Dennerlein, 2007); houve o cuidado de verificar e corrigir ocorrências de ruídos elétricos eventualmente presentes no sinal sob foco. Situações de *cross-talk* (sinal proveniente de músculos adjacentes) foram corrigidas com reposicionamento dos eletrodos. Os sinais de EMG foram normalizados a partir de um conjunto de três contrações voluntárias máximas, de cada um

dos músculos, com duração de 3 segundos cada contração, seguida de 60 segundos de repouso entre tentativas. O valor de MVC usado para normalizar os dados resulta do valor máximo observado de entre as três tentativas de contração máxima. Durante o teste, o investigador procedeu manualmente à retenção dos movimentos das articulações que o músculo de interesse movimentava, tendo instruído os participantes a procurarem manter os restantes músculos relaxados enquanto contraíam o músculo específico focado com o máximo de força exequível.

## 6.5 Registo eletromiográfico, instrumentação e estação de testes

A instrumentação que serviu de suporte à colheita de dados eletromiográficos (Fig. 6.11) consta de um sistema Bagnoli com amplificador de 4 canais (Fig. 6.11 (c)), que através do seu módulo de entrada permite ligar elementos sensoriais (Fig. 6.11 (b)), nomeadamente, um eléctrodo de referência (Fig. 6.12 (c)) e 4 sensores do tipo DE-2.1 *single differential* (Fig. 6.11 (a)). Os sinais captados pelos sensores são enviados para um computador através de uma carta de aquisição de dados (Fig. 6.11 (d)) a partir do amplificador principal. Os sensores DE-2.1 *single differential* contêm 2 contactos de prata, de superfície cilíndrica com 1 mm de diâmetro, afastados de 10 mm entre si. Estes sensores são aplicados na pele, através de um adesivo compatível descartável (um adesivo destacado do primeiro eléctrodo está patente no lado esquerdo da Fig. 6.11 (a)), na direcção longitudinal das fibras do músculo cuja atividade se pretende medir, através de um processo de adesão.



(a) Eléctrodos tipo DE-2.1 (single differential), cada sensor apresenta 2 eléctrodos



(b) Módulo de entrada (4 canais)



(c) Amplificador principal de 4 canais  
(ganho de 0, 100, 1000 ou 10000)



(d) Carta de aquisição de dados A/D  
NI USB 6009

Sistema: Bagnoli 4ch, DE-2.1 Single Differential Electrode

Figura 6.11 - Instrumentação Bagnoli (Delsys) utilizada no presente trabalho de investigação.

O elétrodo diferencial de dois contactos (Fig. 6.12 (a) e (b)) subtrai diretamente o potencial elétrico detetado entre duas localizações distintas da superfície da pele que cobre o músculo contraído. Os potenciais elétricos de EMG são medidos em relação a um potencial elétrico de referência (neutro) com localização distante do músculo ativo. Este potencial é detetado pelo elétrodo de referência (Fig. 6.12 (c)) que deve ser colocado numa região de proeminência óssea. No presente estudo, o elétrodo de referência foi colocado na crista ilíaca (*Delsys. Technical Note 101: EMG Sensor Placement*. Disponível em <http://www.delsys.com/> (June 8. 2014)). Os sensores para S-EMG de 3 e mais contactos são ainda mais eficazes em atenuar o efeito de *Cross-talk*, *especialmente* quando este efeito é provocado por outros músculos situados sob o músculo que se pretende monitorizar. Neste caso, um sensor de 3 contactos, por exemplo, ainda que colocado longitudinalmente no alinhamento das fibras musculares pode captar sinais de menor intensidade provenientes de músculos mais profundos. Contudo, estes sinais serão subtraídos por apresentarem valores muito semelhantes nos 3 contactos. Não foram utilizados elétrodos diferenciais duplos (3 contactos) porque sendo estes de maiores dimensões que os elétrodos diferenciais simples, e devido à proximidade entre os músculos nas regiões indicadas para a sua colocação no antebraço, optou-se por recorrer aos elétrodos mostrados na Figura 6.11 (DE-2.1 *single differential*). Para minimizar o efeito de *Cross-talk*, segundo De Luca et al. (2012), o melhor espaçamento entre elétrodos para S-EMG é de 1 cm.

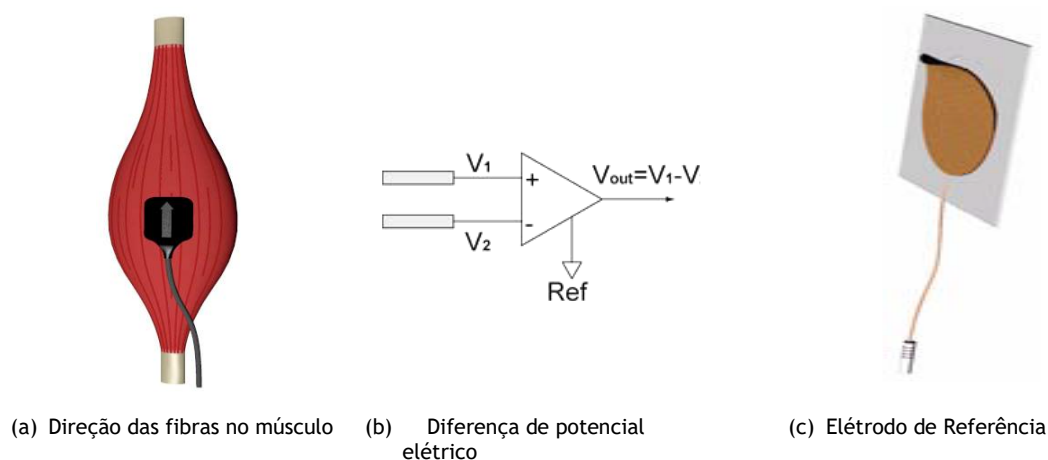


Figura 6.12 - Elétrodo diferencial DE-2.1 e elétrodo de referência (Fonte: Bagnoli™ EMG System, 2011).

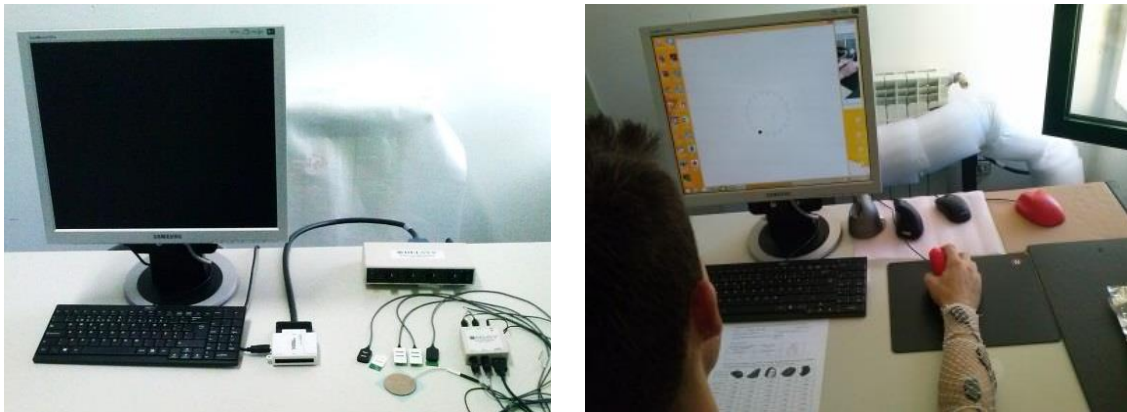
Na monitorização da atividade muscular por eletromiografia de superfície podem ocorrer diversos tipos de ruído no sinal elétrico captado pelos sensores. Um dos problemas referidos é o efeito de *motion artifact* que é causado por movimentos relativos do sensor em relação à superfície da pele quando o sujeito realiza certos movimentos. Estes sinais manifestam-se a frequências baixas devendo, por essa razão, utilizar-se um filtro do tipo passa-alto de 20 Hz para barrar aquele tipo de ruído. Por outro lado, o efeito de *Clipping* ocorre quando o sensor se solta (descola) ou a amplitude do sinal de EMG é excessiva causando a saturação do sinal,

apresentando picos sucessivos mesmo com pouca atividade do músculo. Para responder a este problema deve-se visualizar o sinal elétrico em tempo real antes mesmo de se efetuar o seu registo, podendo-se então mudar a localização do sensor e ajustar-se convenientemente o ganho no amplificador principal. O software utilizado na experimentação laboratorial presente contém uma ferramenta para monitorizar este efeito (*real-time Signal Quality Monitor*) e caso seja detetada a presença de *Clipping*, o investigador deve proceder como explicado supra. Outra fonte de ruído pode ser o batimento cardíaco, visível no sinal em tempo real mesmo sem atividade do músculo sob monitorização (picos compassados à frequência cardíaca). Para minimizar aquele efeito deve-se afastar o sensor em causa da fonte de ruído, se possível; rodar ligeiramente o sensor de modo a que ambos os eléctrodos (sensor DE 2.1) se posicionem à mesma distância da fonte de ruído também reduz o efeito indesejável. Outras fontes de ruído elétrico são radiações eletromagnéticas emitidas por aparelhos elétricos e pela própria rede de alimentação elétrica (50 Hz, em Portugal). Mais uma vez a visualização em tempo real do sinal ajuda a detetar estes ruídos, sendo a sua visualização mais notória sem atividade do músculo monitorizado, devendo então o investigador afastar possíveis fontes de ruído dos sensores. A monitorização da atividade muscular por eletromiografia de superfície é um processo complexo, envolvendo muitas variáveis que podem influenciar os resultados, como por exemplo a presença de humidade na pele provocada pela sudação, que torna a sua superfície condutora, falseando os resultados (De Luca, 1997). A atividade muscular humana monitorizada através da eletromiografia de superfície regista-se através de sinais elétricos cuja frequência não ultrapassa os 450 Hz.

Na eletromiografia, o sinal elétrico capturado varia no tempo (V/s), sendo que para monitorizar músculos do antebraço pode-se utilizar um filtro passa banda entre 20 Hz e 450 Hz e uma determinada taxa de amostragem. Quanto maior for a taxa de amostragem mais fiel será o registo do sinal real. Uma taxa de amostragem de valor igual a 1000/s por canal foi utilizada por Chen *et al.*(2011), Young *et al.*(2013) e Garza *et al.*(2014). O sinal bruto é posteriormente integrado utilizando uma técnica de cálculo que determina o valor RMS (*Root Mean Square*) através de uma janela móvel que vai percorrendo o sinal capturado. Uma janela móvel de 0.1 segundos foi utilizada por Chen *et al.*(2011) e por Higgings *et al.* (2012), enquanto Houwink *et al.* (2009) e Lee *et al.* (2007) utilizaram uma janela móvel de 0.2 segundos.

No presente estudo, o método e a sequência ordenada de recolha e registo dos sinais de EMG foram implementados através do software EMGworks 4.1.1 Acquisition e o posterior pré-tratamento de dados foi levado a cabo com recurso ao software EMGworks 4.1.1 Analysis. A Figura 6.13 ilustra a estação de trabalho utilizada para testar os 5 dispositivos apontadores com a realização de tarefas padronizadas e a instrumentação necessária à colheita de sinais de S-EMG. Nos parâmetros relativos à colheita de sinais de S-EMG foi usada uma taxa de amostragem de 1000/s por canal e os sinais foram amplificados com um fator de x1000 ou

x10000 (no caso do músculo ECR) utilizando ainda uma filtragem do tipo passa banda entre 20 Hz e 450 Hz. A amplitude dos sinais eletromiográficos foi obtida a partir dos sinais de EMG instantâneos aos quais foi aplicado o cálculo digital de RMS através de janelas móveis de 0.125 segundos. O computador utilizado foi o modelo U-940, da marca Toshiba com um processador Intel(R) Core(TM) i5-3337U CPU @ 1.8GHz, 8.00 GB (RAM) e com sistema operativo Microsoft Windows® 7 de 64 bits.



Estação de testes com sistema Bagnoli (4 canais) e realização de testes (exemplo de um participante)

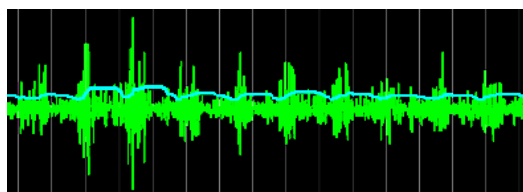
Figura 6.13 - Estação de trabalho com Instrumentação Bagnoli (Delsys).

Para comparação dos resultados da atividade muscular desenvolvida pelo mesmo músculo na realização da mesma atividade mas por indivíduos diferentes torna-se necessário normalizar o sinal elétrico medido. No campo da utilização de dispositivos manuais apontadores para computador é comum recorrer ao método da contração voluntária máxima (MVC) para normalizar a colheita de dados eletromiográficos da atividade muscular desenvolvida durante os testes, tal como ocorreu nos estudos realizados por Houwink *et al.* (2009), Higgings *et al.* (2012), Young *et al.* (2013), Eijkelhof *et al.* (2013), Garza *et al.* (2014) e Kluth *et al.* (2014). A MVC para cada músculo e indivíduo pode ser determinada do seguinte modo: é oferecida resistência externa ao movimento que resulta da contração do músculo em questão, exercendo o sujeito a máxima força em três períodos de 3 segundos com um minuto de repouso entre as tentativas. O maior valor encontrado durante as três tentativas é assumido como se tratando da contração voluntária máxima desse músculo (Young, 2013).

A Figura 6.14 ilustra, a título de exemplo, a atividade muscular do músculo ED na tarefa de *Scroll* (as tarefas de teste são descritas no capítulo 5, na secção 5.3), sendo visíveis dois tipos de sinal. Um é o sinal instantâneo, que apresenta no eixo das ordenadas a amplitude em Volt e no eixo das abcissas o tempo em segundos e, o outro, em sobreposição, consiste na função RMS que representa o ‘sinal’ filtrado. Os valores de RMS são calculados através de uma janela móvel de 125 ms. Na Figura 6.15 visualiza-se o sinal filtrado, também através da função RMS,



de 3 contrações voluntárias máximas, e a região onde se registou o valor máximo (MVC). O comportamento linear horizontal corresponde a períodos de repouso de 60 s.



Sinal instantâneo e filtro RMS em tempo real  
(calculado com janela móvel de 125 ms)

Figura 6.14 - Exemplo de visualização gráfica do sinal de EMG de monitorização da atividade muscular (sinal instantâneo e valor RMS) relativos ao músculo *Extensor Digitorum* para a tarefa de *Scroll*.

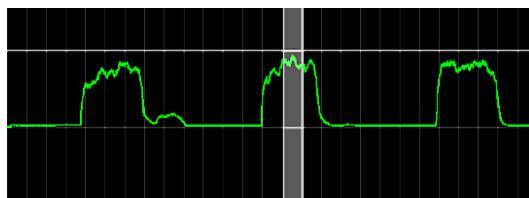
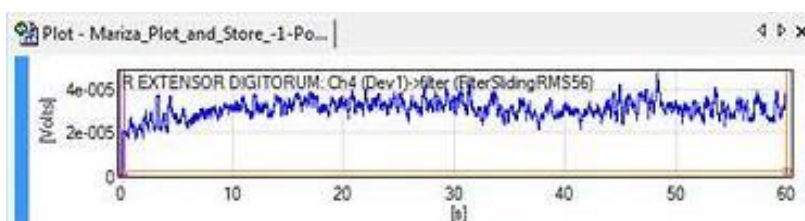
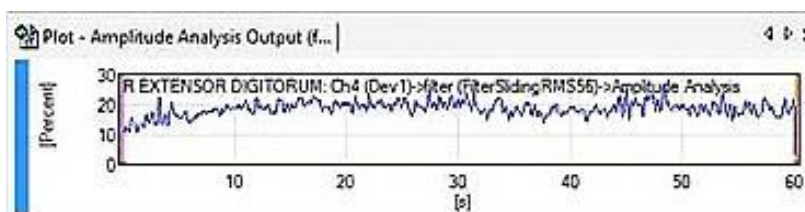


Figura 6.15 - Exemplo de visualização gráfica do sinal de EMG de monitorização da atividade muscular para determinar o valor de MVC (músculo *Extensor Digitorum*).

Na Figura 6.16 alínea (a) está patente o sinal de atividade muscular [Volt/s] monitorizado durante 60 s, enquanto na alínea (b) se apresenta o sinal de EMG normalizado em relação ao valor relativo à contração voluntária máxima [% de MVC], determinado tal como anteriormente descrito para o mesmo músculo.



(a) Atividade do músculo ED (sinal após integração RMS através de janela móvel de 125 ms)



(b) Sinal normalizado pelo MVC (EMG em % de MVC)

Figura 6.16 - Atividade muscular em percentagem da contração voluntária máxima (%MVC).



## 6.6 Procedimentos adotados no registo eletromiográfico

O registo eletromiográfico levado a cabo envolveu 20 participantes (a caracterização da amostra consta do cap.5, na secção 5.6.2). As sessões decorreram durante o mês de Julho do ano de 2015, nas instalações do Instituto Politécnico da Guarda, num laboratório preparado para o efeito. De modo a evitar o desconforto motivado pelo ambiente térmico próprio da época, e a possível sudoreção da pele do antebraço, foi instalado um sistema de ar condicionado nesse mesmo espaço. A temperatura interior foi ajustada entre 22 °C e 24 °C. Os testes decorreram com um participante de cada vez. Cada participante passou, aproximadamente, entre 2,5 e 3 horas a realizar os testes, o tempo que decorreu desde a explicação sobre todo o processo até à finalização dos testes. Durante esse período foram fornecidos pequenos snacks e bebidas de sumo concentrado e água ao participante. As atividades de colheita dos dados eletromiográficos decorreram tal como descrito na Tabela 6.1. As tarefas foram executadas numa sequência fixa (cap. 5, secção 5.3) sendo a saída dos dispositivos aleatória e implementada através da tiragem à sorte de um papel de entre cinco papéis dobrados no interior de um saco. Por cada tarefa foi efetuado o registo simultâneo da atividade dos músculos ECU, ECR, ED e APL do antebraço direito do sujeito, durante um minuto. No final da colheita dos dados eletromiográficos, o participante respondeu a um inquérito relativo à sua preferência entre os dispositivos, com 10 escalas.

Tabela 6.1 - Atividades relacionadas com a colheita dos dados de S-EMG.

Ordem	Atividade	Tempo médio (min.)
1	Explicação do processo ao participante (tarefas, dispositivos, inquérito, colocação de elétrodos, etc.); foi explicado o funcionamento de cada rato e o sujeito experimentou cada um destes apenas momentaneamente para se assegurar do seu funcionamento.	10
2	Medição e registo do comprimento e largura da mão direita.	1
3	Proceder ao Setup no Software - introdução dos dados relativos ao sujeito (template previamente criado para a sequência de tarefas).	5
4	Colocação dos 4 elétrodos no antebraço do participante (contempla o corte dos cabelos em excesso nas regiões em questão do antebraço, por máquina de aparar cabelos e desinfeção das regiões com álcool); visualização do sinal em cada um dos 4 canais e proceder a diversos ajustes para reduzir os ruídos detetados.	20 - 40
5	Proceder à escolha (tirar à sorte) da sequência de dispositivos a ensaiar e proceder ao <i>Setup</i> dos dados (sequência de tarefas por rato) no programa EMGworks 4.1.1 Acquisition.	5 - 10
5	Registo dos valores de MVC para cada um dos 4 músculos em questão (ver a Tabela 6.2).	15 - 20
6	Ensaio dos ratos de computador pelo participante (5 ratos e 9 tarefas por rato, <i>pointing</i> (3), <i>dragging</i> (3), <i>steering</i> (1), <i>scroll</i> (2)); inclui um período de descanso breve entre dispositivos (2 - 5 min).	90 - 100
7	Retirada dos elétrodos (película aderente) e resposta ao inquérito (escalas da preferência entre os 5 dispositivos).	8 - 10
	(total)	153 - 196

De seguida são mostrados alguns exemplos das atividades desenvolvidas durante o processo de registo da atividade dos músculos ECU, ECR, ED e APL do antebraço direito do sujeito, por eletromiografia de superfície. Na Figura 6.17, alínea (a), procede-se à limpeza (com álcool) da região da pele onde será ‘colado’ um dos sensores, após apalpação para confirmar o ‘ponto’ junto das marcas obtidas por recurso às Figuras 6.7 a 6.10. Na Figura 6.7, alínea (b), procede-se à desinfecção do sensor, para posterior colocação da película aderente dupla.



(a) Desinfecção localizada da pele



(b) Desinfecção dos elétrodos de S-EMG

Figura 6.17 - Desinfecção localizada da pele e dos elétrodos de S-EMG.

Na Figura 6.18, alínea (a), procede-se à confirmação do ponto para colocação do sensor, por apalpação da região muscular ativa, para colocação dos elétrodos, com contração voluntária isométrica do músculo sob interesse (ECR). Na alínea (b) da mesma Figura 6.18, procede-se à colagem de um sensor (músculo APL) para primeiro teste do sinal. Neste teste procede-se como indicado na Tabela 6.2, contudo sem necessidade de ocorrer a contração máxima e procura-se ajustar o ganho no amplificador principal e evitar ruídos tal como anteriormente fora explicado, tendo por vezes que ajustar a posição do sensor (ocorre a visualização do sinal eletromiográfico, Figura 6.19).



(a) Apalpação da região muscular ativa para colocação dos elétrodos com contração voluntária isométrica do músculo sob interesse



(b) Aplicação dos elétrodos

Figura 6.18 - Processo de colocação dos elétrodos no antebraço direito de um participante.

A procura de possíveis ruídos passa pela visualização do sinal em tempo real e sem atividade muscular altura em que não deve ocorrer qualquer presença de sinal. A Figura 6.19 ilustra a visualização de um movimento que ativa um ou mais músculos. No final da colocação de todos os sensores procede-se a um teste para confirmação da sua localização e colocação aprimoradas.

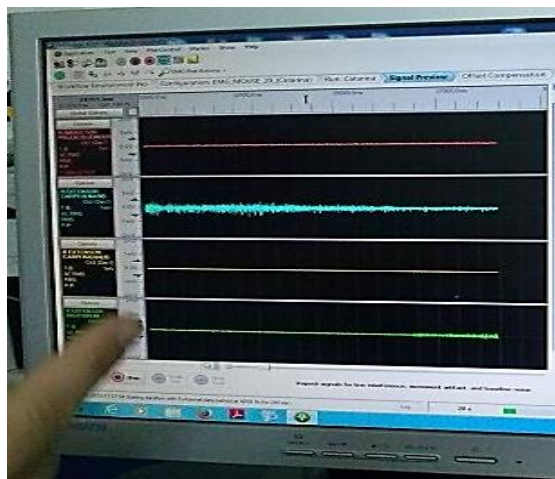
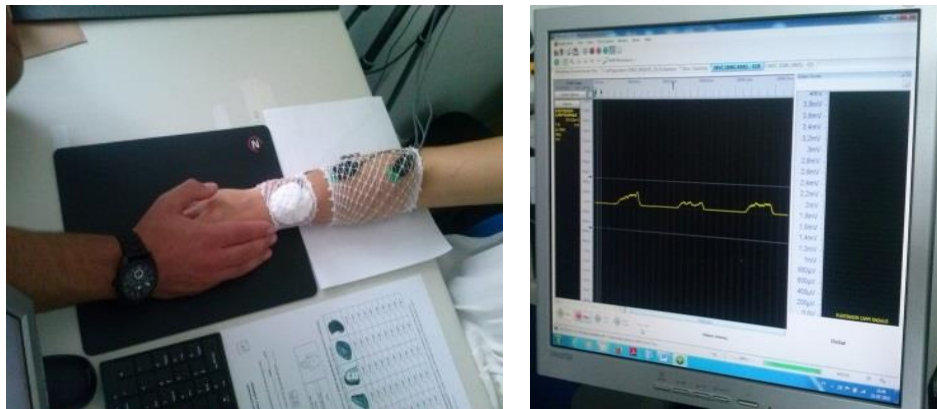


Figura 6.19 - Ensaio de contrações musculares isoladas na procura de interferências (ruído) nos sinais em cada um dos 4 canais.

Com vista à posterior normalização dos dados foi necessário medir a contração voluntária máxima de cada músculo do participante, antes do início do ensaio dos dispositivos manuais apontadores para computador. Assim, procede-se ao movimento dos dedos da mão e, ou, do punho de acordo com o disposto na Tabela 6.2. A Figura 6.20 ilustra esse mesmo processo, na alínea (a) mostra o modo como é exercida a resistência externa ao movimento combinado pretendido, realizado pelo sujeito, em contração voluntária isométrica máxima. Na Figura 6.20, alínea (b), pode-se observar a ocorrência de três períodos de atividade muscular (separados por períodos de repouso de 60 s) de onde se encontraria o pico máximo que define o valor da MVC (em complemento, ver Figura 6.15).

Tabela 6.2 - Método para registo da contração voluntária máxima dos músculos monitorizados.

Músculo	Método para registar a MVC (Contração Voluntária Máxima) (3 contrações durante 3 seg com pausas de 60 seg)
ECR	Proceder simultaneamente à extensão do punho (flexão dorsal do punho) e ao desvio radial do punho.
ECU	Proceder simultaneamente à extensão do punho e ao desvio cubital do punho.
ED	Proceder à extensão das articulações metacarpofalângicas dos dedos mediais, levantando os dedos e procurando manter a palma da mão voltada para baixo e em contacto com a mesa.
APL	Proceder à abdução do dedo polegar.



(a) Resistência externa ao movimento por contração voluntária máxima

(b) Registo do sinal para determinação do valor de MVC

Figura 6.20 - Processo de registo e determinação do MVC durante no início dos testes.

Após a preparação necessária para o registo e posterior normalização dos dados de eletromiografia inicia-se o ensaio dos dispositivos manuais, realizando uma série de tarefas comuns entre estes e monitorizando a atividade dos músculos sob interesse. A Figura 6.21 mostra, a título de exemplo, o ensaio do dispositivo ch na execução da tarefa de *steering*.

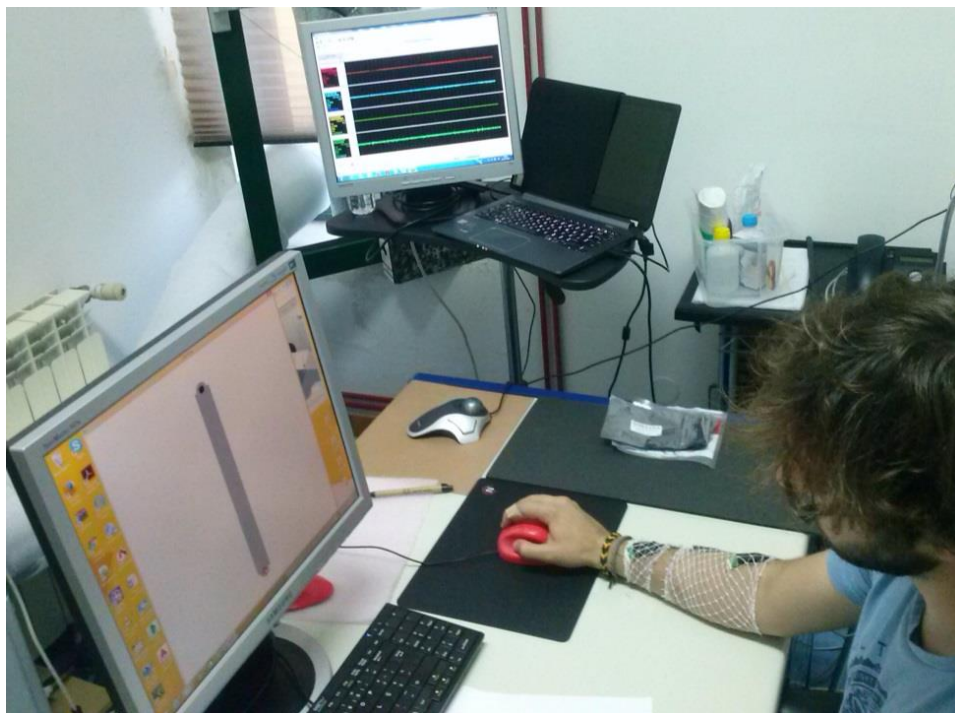
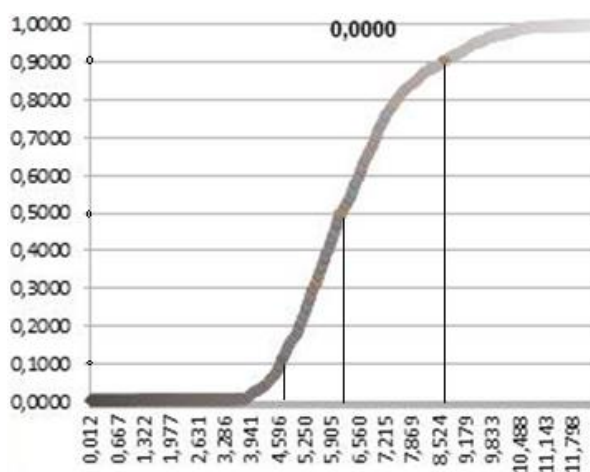


Figura 6.21 - Realização dos testes experimentais com eletromiografia de superfície.

## 6.7 Eletromiografia e parâmetros de avaliação (APDF e Din - novo indicador)

Os dados RMS de EMG normalizados com base nos respectivos valores de MVC (contração voluntária máxima) para cada um dos 4 músculos e para cada indivíduo foram posteriormente transformados de modo a obter a Função de Distribuição da Probabilidade da Amplitude (*Amplitude Probability Distribution Function*) do sinal eletromiográfico, doravante designada por APDF (Fig. 6.22). Os valores de APDF foram obtidos de acordo com Hagberg (1978) e Jonsson (1988). Para o presente estudo foram determinados a partir de uma folha de cálculo modelar, 2800 ficheiros de dados relativos ao triplo produto de 7 tarefas por 4 músculos por 20 sujeitos e por 5 modelos de dispositivos apontadores. Optou-se, por uma questão de conveniência e gestão do tempo, considerando também a comparação entre o estudo experimental 1 com o 2 e ainda o foco de interesse nas atividades de CAD excluir, nesta fase, o tratamento dos dados de eletromiografia relativos às tarefas de *dragging right* (uso do botão direito do rato) e *scroll down* (rodar o botão do *scroll* fletindo o dedo indicador).

Para cada um dos 2800 ficheiros tratados foram calculados o APDF10 (tomado como valor de base - *baseline* - indicativo), o APDF50 que representa o valor em percentagem de MVC abaixo do qual o sinal EMG se encontra em 50% do tempo total analisado e o APDF90 (tomado como valor de pico indicativo), resultando 8400 valores de APDF, provenientes da monitorização muscular, para análise estatística. A Figura 5.22 mostra graficamente um exemplo ilustrativo da determinação dos valores de APDF10, 50 e 90 para o músculo ED na realização da tarefa de *dragging middle* e para um determinado sujeito. A partir do registo dos dados RMS do sinal eletromiográfico em percentagem de MVC, registados informaticamente a intervalos de 62,5 milissegundos foram avaliados pelo menos 960 pontos, perfazendo no mínimo 60 segundos de gravação do sinal eletromiográfico RMS para cada um dos 2800 casos analisados.

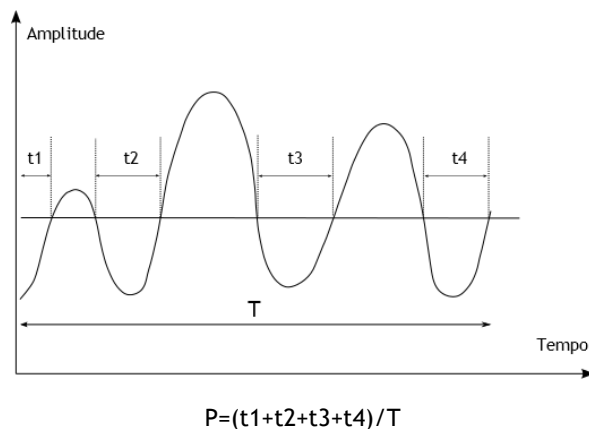


APDF10=4,64%; APDF50=6,14%; APDF90=8,59%

Exemplo: Músculo ED, tarefa *dragging middle*, sujeito X

Figura 6.22 - Representação gráfica de um exemplo (em 2800) de cálculo dos valores de APDF (curva da probabilidade cumulativa da distribuição de probabilidade temporal em função da percentagem da MVC).

Segundo Hagberg (1978), a probabilidade da amplitude a um certo nível de contração muscular é a probabilidade da atividade mioelétrica ser menor ou igual a esse nível de contração. A probabilidade da amplitude muscular a um certo nível pode ser expressa como a fração da duração total em que o sinal é menor ou igual a esse nível (Figura 6.23). Se esta fração for estimada a partir de um número suficientemente grande de níveis, é obtida uma boa estimativa da Função de Distribuição da Probabilidade da Amplitude (APDF). No caso da determinação dos valores de APDF no presente estudo foram utilizados 960 pontos por gravação de 60 segundos de sinal EMG em RMS a intervalos de 0,0625 segundos.



Probabilidade da amplitude  $P$ , para um sinal a um determinado nível, onde  $T$  representa o tempo total de duração do período de tempo estudado, e  $t_1 - t_4$  representam a extensão de tempo em que o sinal é de valor menor ou igual ao nível predeterminado

Figura 6.23 - Probabilidade da amplitude ( $P$ ) como definido por Hagberg (1978) (Fonte: adaptada de Hagberg, 1978).

A respeito dos esforços estáticos de 'nível-baixo', Sjøgaard e Jensen (2006) referem que os esforços estáticos medidos por eletromiografia e analisados através da função de distribuição da probabilidade da amplitude (APDF) do sinal eletromiográfico, onde o nível estático é tipicamente definido como a probabilidade  $P = 0.1$  não garante a monitorização das variações do comprimento do músculo, o que significa que podem ocorrer contrações musculares dinâmicas durante a mesma janela de tempo. Em consequência, e no âmbito da investigação desenvolvida nesta tese, considera-se de todo o interesse desenvolver um novo indicador de atividade dinâmica, por oposição ao nível estático que tem sido e continua a ser associado à APDF10. Assim, foi determinado um novo indicador de atividade muscular dinâmica, definido de acordo com a equação 6.1. O indicador Din foi calculado para todas as combinações de dispositivo, músculo e sujeito da amostra, perfazendo 400 casos por tarefa. Foram ainda calculados os valores máximos e mínimos do indicador Din por tarefa (apresentados no cap. 7 - Análise de dados). Este novo indicador se for utilizado agrupando o conjunto de músculos sob interesse, pode ajudar a perceber qual o 'envolvimento' muscular estático e dinâmico global relativo às distintas tarefas do teste. Pode assim ser utilizado para determinar o nível



de 'dinamismo' da atividade muscular associado a um determinado dispositivo numa tarefa específica.

$$Din_{(dispositivo-tarefa)} = \frac{APDF90_{(disg-tarefa)} - APDF10_{(disg-tarefa)}}{APDF50_{(disg-tarefa)}} \quad (6.1)$$

A partir do conceito deste novo indicador (equação 6.1) foi desenvolvida uma Tabela 6.3 para análise da atividade muscular comparativa entre dois dispositivos considerando o esforço muscular, através do parâmetro APDF90, e do dinamismo da atividade muscular (Din). A Tabela 6.3 permite proceder a uma análise comparativa da atividade muscular, através da tipificação de quatro comparações com base nos valores do APDF 90 e nos valores do Din, que resultam da utilização de um determinado tipo de dispositivo. A Tabela 6.3 conjuga o esforço maior executado com o dinamismo muscular permitindo, deste modo, uma apreciação qualitativa de cada um dos casos em comparação emparelhada.

Tabela 6.3 - Análise da atividade muscular através de comparações tipo, com base no esforço muscular (APDF90) e no dinamismo da atividade muscular (Din), relativos a pares de indicadores resultantes da utilização de um determinado tipo de dispositivo.

	Nível de esforço (APDF 90) em % MVC	Dinamismo da atividade muscular (Din)	Apreciação qualitativa de cada um dos casos em comparação emparelhada
Comparação relativa do tipo 1	APDF semelhante em ambos os casos	superior	preferível
		inferior	não preferível
Comparação relativa do tipo 1	APDF semelhante em ambos os casos	inferior	não preferível
		superior	preferível
Comparação relativa do tipo 2	superior	Din semelhante em ambos os casos	não preferível
	inferior		preferível
Comparação relativa do tipo 2	inferior	Din semelhante em ambos os casos	preferível
	superior		não preferível
Comparação relativa do tipo 3	superior	inferior	não preferível
	inferior	superior	preferível
Comparação relativa do tipo 3	inferior	superior	preferível
	superior	inferior	não preferível
Comparação relativa do tipo 4	inferior	inferior	sem preferência
	superior	superior	
Comparação relativa do tipo 4	superior	superior	sem preferência
	inferior	inferior	
Equivalência	APDF semelhante em ambos os casos	Din semelhante em ambos os casos	sem preferência

Após a colheita e tratamento prévio dos dados procedeu-se à sua análise recorrendo a técnicas estatísticas. Tendo em conta a deteção de não normalidade das variáveis APDF e Din, procedeu-se a testes não paramétricos para amostras independentes de Mann-Whitney, com foco nas diferenças através das duas categorias consideradas para o tamanho da mão (abaixo da média e acima da média da amostra) isoladamente através de cada uma das categorias dos dispositivos (ak, ch, ci, ev e mi). Foram também realizadas duas análises distintas, uma relacionada com a categoria do tamanho da mão e outra englobando toda a amostra, recorrendo à análise RM-ANOVA. Para o efeito e pelo facto da quase totalidade das variáveis terem falhado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, tornou-se necessário proceder à transformação logarítmica (por logaritmo neperiano ou natural) desses dados, tal como é prática da especialidade, veja-se por exemplo Heilskov-Hansen (2014) e Pereira (2013). O principal interesse destas análises prende-se com o estudo relativo à influência do tamanho da mão (duas categorias) e o tipo de dispositivo apontador (5 geometrias distintas) na atividade muscular dos músculos em questão. Os desenvolvimentos analíticos relativos aos resultados obtidos são abordados no capítulo 7 - Análise de resultados.

## 6.8 Nota Conclusiva

Neste capítulo apresentou-se uma descrição do processo de investigação concebido e implementado para a monitorização da atividade muscular de um grupo criteriosamente selecionado de músculos envolvidos na utilização dos dispositivos manuais apontadores para computador. Apresentou-se ainda a base teórica que suporta o estudo realizado, abrangendo desde a pertinência deste tipo de estudo, à seleção dos músculos e dos pontos para colocar os eléctrodos sensores, passando pelos conceitos fundamentais relativos à utilização de toda a instrumentação e, finalmente, abarcando também a forma de tratar os dados. Foi ainda relatada a sequência de procedimentos práticos relativos à colheita dos dados que envolveu 20 participantes que se submeteram a um processo de ensaio de longa duração (aproximadamente entre 2,5 e 3 h por cada participante).

No âmbito da mesma investigação, é proposto um novo indicador de dinamismo da atividade muscular, determinado a partir de uma relação entre valores da Função de Distribuição da Probabilidade da Amplitude relativa à contração muscular, destinado a distinguir tarefas e, ou, dispositivos manuais apontadores para computador, com relevância para investigadores e utilizadores comuns de CAD. A análise conjunta dos valores de APDF de pico (APDF90) e do valor de dinamismo muscular (Din) permite caracterizar simultaneamente a grandeza da ativação muscular e a sua natureza mais estática ou mais dinâmica. A Tabela 6.3 contribui para esta análise. De acordo com a definição de esforço estático de 'nível baixo' preconizado por Sjøgaard e Jensen (2006) são apresentados casos de aplicação ao presente estudo, no capítulo 7 - Análise de resultados, no final da secção 7.3.1. Os casos referidos de avaliação qualitativa quanto à relação de estaticidade - dinamismo apresentam valores de APDF 90 da



ordem de 10 a 20 % de MVC e são apresentados em anexo nas Tabelas A1, A2, A3 e A4, relativamente aos músculos APL, ECR, ECU e ED, respetivamente, e para a tarefa de *pointing medium*, a título de exemplo.

# Cap.7

## Análise de resultados

7.1 Nota introdutória

7.2 Avaliação da usabilidade

7.2.1 Estudo 1

7.2.2 Estudo 2

7.2.3 Estudos 1 e 2 combinados

7.2.4 Estudo 3 - Indicador de eficiência (IE) aplicado a uma ferramenta de CAD

7.3 Avaliação da atividade muscular (S-EMG)

7.4 Usabilidade e atividade muscular

7.5 Nota conclusiva

### Objetivos:

- Apresentação dos dados sob a forma gráfica e sua análise estatística.
- Proceder à análise estatística comparativa, relativa à avaliação da usabilidade, entre as cinco geometrias, no estudo 1 ( $n_1=20$ ).
- Proceder à análise estatística comparativa, relativa à avaliação da usabilidade, entre as cinco geometrias, no estudo 2 ( $n_2=20$ ).
- Comparar o estudo 1 com o estudo 2 para validar a reunião das respectivas amostras e proceder à análise estatística para avaliar a usabilidade considerando os estudos 1 e 2 combinados ( $n_{1+2}=40$ ).
- Proceder à análise estatística comparativa entre as cinco geometrias, relativa à avaliação da atividade muscular do antebraço dos participantes (estudo 2,  $n_2=20$ ).
- Proceder à análise estatística com vista à validação dos resultados obtidos relativamente ao indicador de desempenho proposto ( $n_3=10$ ).

## 7.1 Nota introdutória

Neste capítulo procede-se à apresentação e à análise dos resultados obtidos a partir das vertentes experimentais da investigação subjacente a esta tese. Procede-se à análise dos dados resultantes da experimentação de laboratório relativa à avaliação da usabilidade de cinco dispositivos manuais apontadores para computador e da experimentação de laboratório relativa à monitorização da atividade muscular de quatro músculos do antebraço dos participantes durante a realização de tarefas com os dispositivos. O presente capítulo contempla ainda a análise dos resultados obtidos no âmbito de uma experimentação de campo, dando continuidade ao estudo da usabilidade, no que diz respeito ao novo indicador de eficiência (IE) desenvolvido e apresentado no capítulo 5, na secção 5.4.3.

Após a realização da primeira fase experimental, em que cada participante realizou tarefas de apontar e selecionar, arrastar e conduzir entidades gráficas com cada um dos cinco dispositivos (ver Figura 5.1 - Dispositivos (geometrias) sob avaliação e Figura 5.3 - Tarefas de teste (*pointing*, *dragging* e *steering*)) foram realizados diversos testes de hipótese sobre os dados obtidos recorrendo à estatística paramétrica e à não paramétrica. Esta análise estatística permitiu distinguir, com níveis de confiança de pelo menos 95%, os diversos modelos (geometrias) quanto à avaliação subjetiva realizada pelos participantes em termos de duas dimensões. Uma diz respeito à preferência (ordenação do 1º ao 5º lugares) relativa a diversos parâmetros, incluindo a satisfação. A outra concerne a classificação absoluta quanto a diversos parâmetros de desconforto, de facilidade de utilização e de esforço (utilizando escalas de Likert de 6 níveis). No que diz respeito à avaliação objetiva (com foco nos parâmetros da usabilidade da eficácia e da eficiência) foi realizada a análise de variância através do método de medições repetidas RM-ANOVA relativamente ao desempenho funcional de cada um dos dispositivos, para cada uma das tarefas do teste.

Na segunda fase experimental os participantes repetiram as tarefas do primeiro estudo, ainda que com duração diferente, tendo-se efetuado simultaneamente o registo da atividade de quatro músculos do antebraço durante os testes. A atividade dos músculos APL, ECU, ECR e ED foi registada através da colheita e gravação dos sinais eletromiográficos com recurso a eléctrodos de superfície colocados em localizações precisas do antebraço direito dos participantes. Após a realização dos referidos testes desenvolveu-se sobre os novos dados a análise estatística anteriormente realizada para a primeira fase experimental, o que permitiu comparar os resultados relativos ao novo grupo de participantes testando os mesmos dispositivos. Adicionalmente foram ainda estabelecidas comparações entre as duas fases experimentais (consistindo a principal diferença o facto da segunda fase ter decorrido com os eléctrodos aplicados ao antebraço direito dos sujeitos). Os registos de atividade muscular, relativos a um minuto de atividade em cada tarefa, foram normalizados com o valor da contração voluntária máxima (MVC) individual para cada um dos respetivos músculos, tendo

de seguida incidido sobre estes a análise da função de distribuição da probabilidade da amplitude (APDF). Posteriormente, os valores de APDF foram alvo de análise de variância de medições repetidas RM-ANOVA. Foi desenvolvido um novo indicador de dinamismo muscular (Din) para complementar a avaliação deste tipo de dispositivos manuais apontadores para computador tendo sido, também, alvo de um estudo estatístico, cujos resultados se apresentam no presente capítulo.

A terceira fase experimental permitiu o levantamento dos dados necessários ao cálculo (exemplificativo para um software de CAD) dos valores dos coeficientes de ponderação do novo indicador IE. Este indicador considera o peso relativo das operações realizadas durante a atividade típica de projeto e desenho assistidos por computador com uma determinada ferramenta de CAD, indicando, para o dispositivo apontador, o correspondente valor de eficiência resultante. Através da observação naturalista da atividade de CAD realizada com o software Autodesk Inventor®, foram determinados os pesos relativos de cada uma das tarefas de apontar e selecionar, arrastar e conduzir durante essa mesma atividade.

A análise dos resultados refere-se à avaliação comparativa entre os cinco ratos de computador considerados, de acordo com critérios previamente definidos e relacionados com a sua geometria como um todo e com o seu ângulo de inclinação característico, relacionado diretamente com a redução da pronação do antebraço. A avaliação foi conduzida segundo dois campos distintos, todavia considerados complementares, nomeadamente a usabilidade e a atividade muscular específica considerada e exercida durante a utilização destas ferramentas manuais. Foram estabelecidas ainda duas categorias relativas às dimensões da mão dos sujeitos das amostras de modo a permitir a busca de associações entre o tamanho da mão com a usabilidade e com a atividade muscular. Atendendo à lacuna de dados antropométricos da população portuguesa publicados relativamente às dimensões da mão, consideraram-se as gamas encontradas como balizadoras na definição das categorias de tamanho da mão consideradas na análise.

## **7.2 Avaliação da usabilidade**

A avaliação da usabilidade dos cinco dispositivos manuais apontadores para computador atravessou três estudos experimentais interligados (ver Figura 5.10, no cap. 5). Os dois primeiros estudos contemplaram experimentação de laboratório e visavam a colheita de dados com uma abrangência ampla relativamente aos conceitos de satisfação, eficácia e eficiência. Participaram naquela experimentação 40 sujeitos, 20 na primeira fase e 20 na segunda fase, originando um conjunto de dados muito vasto. Os dados obtidos contemplam as pontuações atribuídas pelos sujeitos em diversas escalas (avaliação subjetiva) e os dados guardados pela aplicação informática desenvolvida para o efeito e que integram a componente de avaliação objetiva. Devido a diversas contingências não foi possível realizar os

testes aos dispositivos com todos os 40 participantes primeiramente sem recorrer ao registo eletromiográfico e, posteriormente, com recurso ao registo eletromiográfico. Refira-se que a realização dos testes com S-EMG (estudo 2) obrigou a que cada um dos 20 sujeitos se mantivesse durante 2,5 a 3 h com os elétrodos colados à pele do antebraço. Assim, optou-se por não utilizar o instrumento da avaliação subjetiva composto por 15 escalas (conforto, facilidade de utilização e esforço) nesta segunda fase experimental dos trabalhos, para não dificultar e alongar ainda mais o processo experimental a que cada participante foi sujeito (estudo 2). A fase da experimentação de campo (estudo 3) serviu o propósito de fornecer os dados necessários para exemplificar a aplicação do novo indicador de eficiência dos dispositivos manuais apontadores, o IE. Os dados resultantes das três fases da experimentação foram alvo de diversos testes estatísticos. A Tabela 7.1 apresenta a informação condensada relativamente a esses mesmos testes, cuja análise de resultados se apresenta e desenvolve ao longo deste capítulo.

Tabela 7.1 Técnicas estatísticas adotadas na análise de dados da avaliação da usabilidade.

Técnica estatística (nível de significância 0,05)	Tipo de análise (investigação)	Origem dos dados
Concordância de Kendall	Concordância quanto à preferência (10 escalas com ordenação atribuída pelos sujeitos)	Estudo 1 (n <sub>1</sub> =20)
Correlação de Spearman	Associação entre o ângulo característico do dispositivo e as diversas variáveis relativas à preferência	
	Associação entre variáveis da preferência, a eficácia e a eficiência calculadas	
	Associação entre as variáveis da preferência e as restantes escalas de avaliação subjetiva do desconforto, da dificuldade de utilização e do esforço	
	Associação entre as escalas relativas à preferência e as variáveis subjetivas de escala e variáveis objetivas do mesmo domínio	
Correlação de Pearson	Associação entre o ângulo característico do dispositivo e cada uma das variáveis de avaliação objetiva calculadas, a eficácia e a eficiência	
Alfa de Cronbach	Fiabilidade das escalas (consistência interna) do desconforto, da dificuldade de utilização e do esforço	
RM-ANOVA	Variância da eficiência por tarefa através dos dispositivos (H <sub>0</sub> : as médias são iguais entre dispositivos apontadores)	
Concordância de Kendall	Concordância quanto à preferência (10 escalas com ordenação atribuída pelos sujeitos)	Estudo 2 (n <sub>2</sub> =20)
RM-ANOVA	Variância da eficiência por tarefa através dos dispositivos (H <sub>0</sub> : as médias são iguais entre dispositivos apontadores)	

Técnica estatística (nível de significância 0,05)		Tipo de análise (investigação)	Origem dos dados
p > 0,05	Teste t de Student	Análise de semelhança para amostras independentes (Eficiência: 5 dispositivos e 7 tarefas): - <i>test t</i> (H <sub>0</sub> : as médias das duas amostras 1 e 2 são iguais),	Estudo 1 e estudo 2 (amostras independentes)
	U de Mann-Whitney (para variáveis que não passaram no teste de normalidade)	- U de Mann-Whitney (H <sub>0</sub> : as duas amostras 1 e 2 provêm da mesma população). Ambos com p > 0,05 para não rejeição da H <sub>0</sub>	
Concordância de Kendall		Concordância quanto à preferência (10 escalas com ordenação atribuída pelos sujeitos)	Estudos 1 e 2 reunidos (n <sub>1+2</sub> =40)
RM-ANOVA		Variância da eficiência por tarefa através dos dispositivos (H <sub>0</sub> : são iguais as médias entre dispositivos apontadores)	
Coeficiente de determinação da regressão polinomial cúbica		Associação entre a eficiência por tarefa com cada tipo de dispositivo (ângulo característico) e a categoria do tamanho da mão (dois grupos)	
Mixed RM-ANOVA (Mista)		Variância do novo Indicador de Eficiência (IE) Averiguar as condições de interação entre as categorias do tamanho da mão e o tipo de dispositivo (ângulo característico)	Estudo 3 (n <sub>3</sub> =10) e 1 e 2 reunidos (n <sub>1+2</sub> =40)

Continuação da Tabela 7.1 Técnicas estatísticas adotadas na análise de dados da avaliação da usabilidade.

## 7.2.1 Estudo 1

O estudo 1 corresponde aos testes realizados com os 5 ratos de computador, através das tarefas de *pointing large, medium e small, dragging left, middle e right, e steering*, (Fig. 5.3) por uma amostra de 20 participantes (10 do sexo masculino e 10 do sexo feminino). Estes testes produziram um conjunto de dados cuja análise se apresenta nesta secção. A partir de um instrumento composto por várias escalas pontuadas pelos sujeitos, que contêm parâmetros de desconforto, de dificuldade de utilização e de esforço (Tabela 5.5) procedeu-se a uma análise relativa à componente subjetiva da usabilidade. A partir dos dados dos tempos, das falhas e dos desvios, procedeu-se a uma análise relativa à sua componente mais objetiva da usabilidade através do tratamento da eficácia e da eficiência (Tabela 5.7). No que diz respeito à preferência (Tabela 5.6) procedeu-se a uma análise da concordância de Kendall com os dados relativos à ordenação da preferência relativa quanto aos 5 dispositivos. Por conseguinte, a Tabela 7.2 (ilustrada em parte na Fig. 7.1) apresenta o resultado da ordenação média atribuída pelos 20 sujeitos aos 5 dispositivos, em relação a cada um dos 10 parâmetros considerados. Na mesma tabela são apresentados os coeficientes de concordância de Kendall e as respetivas significâncias estatísticas, constatando-se haver significância estatística generalizada, com exceção apenas para o parâmetro ‘Tamanho’ do dispositivo. Esta exceção quanto ao tamanho poderá ser motivada pela disparidade de tamanhos da mão por entre os indivíduos que compõem a amostra, parâmetro não controlado na definição da

amostra, pelo que tendencialmente aleatorizado. Na mesma Tabela 7.2 (conjuntamente com a Fig. 7.1) facilmente se pode constatar que o modelo *Evoluent* surge em 5º lugar na maior parte dos parâmetros de avaliação, não sendo tão evidente qualquer outra tendência. Ressalvando, de certo modo, que o modelo *Microsoft* alcança 4 classificações máximas. Constata-se também que o modelo *Anker* surge com a melhor classificação de preferência relativa ao conforto surgindo simultaneamente em primeiro lugar na perceção da satisfação global durante o seu uso. Outra constatação é que ambos os modelos desenvolvidos no âmbito desta tese se situam globalmente numa posição intermédia face aos restantes modelos comerciais.

Tabela 7.2 - Preferências com ordenação média dos dispositivos e determinação dos coeficientes de concordância de Kendall (estudo 1; n=20).

escala/dispositivo	ak	ch	ci	mi	ev	W de Kendall	Significância
desconforto	1º	2º	3º	4º	5º	0,153	0,016 p<0,05
eficácia	3º	2º	4º	1º	5º	0,127	0,038 p<0,05
eficiência	(2º)	(2º)	4º	1º	5º	0,179	0,006 p<0,01
esforço	3º	4º	2º	1º	5º	0,157	0,013 p<0,05
estética	1º	3º	2º	5º	4º	0,218	0,002 p<0,01
fac. de utilização	3º	(1º)	4º	(1º)	5º	0,134	0,029 p<0,05
forma	(2º)	(2º)	1º	4º	5º	0,231	0,001 p<0,01
inovação	2º	3º	1º	5º	4º	0,498	0,000 p<0,01
satisfação	1º	(2º)	(2º)	4º	5º	0,139	0,025 p<0,05
tamanho	1º	2º	3º	4º	5º	0,076	0,194 ----

Na ordenação, 1º significa o primeiro lugar (logo, o melhor) e 5º significa o quinto lugar (logo, o pior).

( ) - Os posicionamentos relativos entre parêntesis ocorreram *ex aequo* no palmarés da ordenação média.

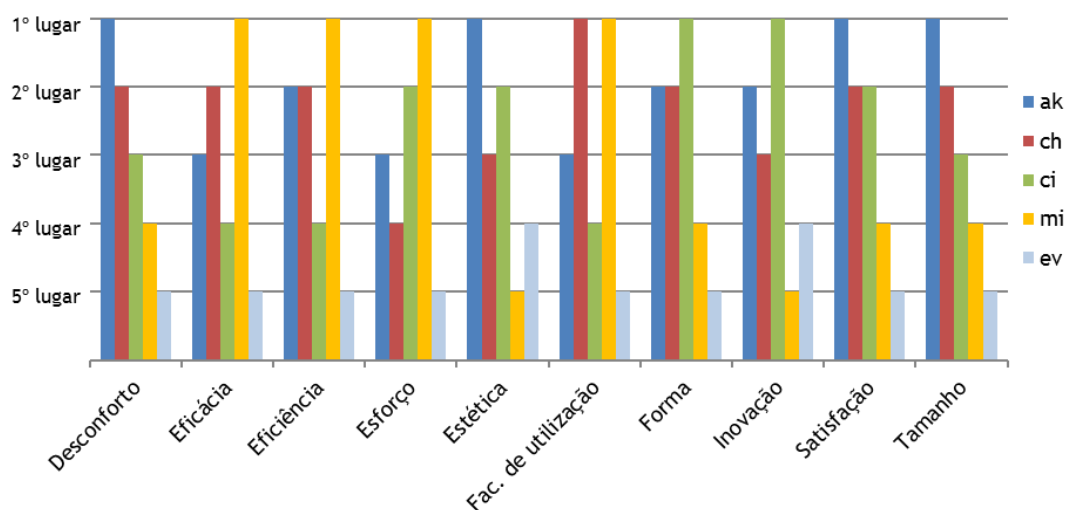


Figura 7.1 - Ordenação média da preferência relativa aos 5 dispositivos manifestada pelos 20 sujeitos, em relação a cada uma das 10 variáveis de escala consideradas (estudo 1) (melhor - primeiro lugar; pior - quinto lugar).



Ainda no que diz respeito aos parâmetros indicadores da preferência foram realizados testes de estatística não paramétrica de modo a relacionar as variáveis sob interesse. O teste de Spearman permitiu estabelecer algumas correlações de intensidade moderada (até 0,5 e acima de 0,3) entre o ângulo característico dos dispositivos e as diversas variáveis relativas à preferência (Tabela 7.3). Note-se que a ordem nas preferências indica o 1º lugar como sendo o preferível, logo o melhor. Como exemplo veja-se o parâmetro preferencial da inovação; a correlação resultante relativamente ao ângulo característico é negativa porque quanto menor é esse ângulo (considera-se ângulo zero para o modelo mi) maior resulta o valor da classificação (5º lugar). Assim, de acordo com a Tabela 7.3 sugere-se que a amostra revela uma tendência não muito expressiva de considerar como mais inovadores os modelos com maior ângulo característico. Do mesmo modo, a amostra tende também a considerar que quanto maior o ângulo característico, pior a eficiência e a eficácia. Por seu turno, a facilidade global de utilização também se correlaciona com o ângulo característico do dispositivo, julgada tendencialmente pela amostra como sendo melhor nos modelos menos inclinados.

Tabela 7.3 - Correlações de Spearman entre o ângulo característico do dispositivo e a percepção relativamente à eficácia, à eficiência, ao esforço, à facilidade global e à satisfação (estudo 1).

fator	preferência (percepção)	(rho) coeficiente de correlação de Spearman
ângulo característico do dispositivo	eficácia	0,305**
	eficiência	0,330**
	esforço	0,300**
	facilidade global	0,305**
	inovação	-0,360**

\*\* p<0,01

A eficiência e eficácia calculadas a partir dos dados resultantes do teste durante a realização da tarefa de *pointing small* são tendencialmente maiores com dispositivos de menor inclinação (Tabela 7.4); o mesmo se aplica à tarefa de *pointing medium*. A correlação negativa e de intensidade moderada de Pearson sustenta este pressuposto (Tabela 7.4).

Tabela 7.4 - Correlações de Pearson entre o ângulo característico do dispositivo e a eficácia e a eficiência alcançadas em tarefas de *pointing* (estudo 1).

fator	parâmetro	tarefa	correlação de Pearson
ângulo característico do dispositivo	eficácia	<i>pointing medium</i>	-0,362**
	eficácia	<i>pointing small</i>	-0,362**
	eficiência	<i>pointing medium</i>	-0,301**
	eficiência	<i>pointing small</i>	-0,367**

\*\* p<0,01

A partir da análise de correlação de Spearman foi encontrada associação entre a satisfação e a eficácia e entre a satisfação e a eficiência alcançadas na tarefa de *pointing small* (Tabela 7.5). O coeficiente de correlação de Spearman negativo e de moderada intensidade permite estabelecer uma associação inversamente proporcional. Como a menor satisfação se associa tendencialmente ao maior valor de classificação (5º lugar), de acordo com a Tabela 7.5 registou-se que tanto a eficácia como a eficiência na tarefa de *pointing small*, realizada pelos 20 sujeitos com os 5 ratos, são ambas tendencialmente mais elevadas nos dispositivos que foram percecionados como oferecendo maior satisfação (menor pontuação ordinal).

Tabela 7.5 - Correlações de Spearman entre a satisfação e a eficiência e a eficácia alcançadas na tarefa de *pointing small* (estudo 1).

fator	parâmetro	(rho) coeficiente de correlação de Spearman
satisfação (preferência)	eficácia de <i>pointing small</i>	-0,317**
	eficiência de <i>pointing small</i>	-0,340**

\*\* p<0,01

A associação entre a satisfação que os sujeitos percecionaram na utilização de cada um dos dispositivos, expressa no final da realização dos testes com os 5 dispositivos, e as pontuações que atribuíram no final dos testes com cada dispositivo, em várias escalas de esforço, facilidade de utilização e desconforto foi estabelecida através do fator de correlação de Spearman (Tabela 7.6). O coeficiente de correlação de Spearman negativo permite estabelecer uma associação inversa entre o fator satisfação e cada um dos restantes parâmetros considerados no teste de correlação. À menor pontuação ordinal atribuída ao fator satisfação (melhor satisfação comparativa) correspondem tendencialmente valores elevados na escala ordinal de desconforto (6 - nada desconfortável), facilidade (6 - fácil), e esforço (6 - nenhum esforço), avaliados pelos sujeitos. Note-se que as escalas de avaliação subjetiva correspondem a escalas de Likert de 6 pontos.

Tabela 7.6 - Correlações de Spearman entre a satisfação e os parâmetros de avaliação subjetiva do desconforto, da facilidade e do esforço (estudo 1).

fator	parâmetro	(rho) coeficiente de correlação de Spearman
satisfação	desconforto na mão	-0,300**
	desconforto no antebraço	-0,244*
	facilidade global	-0,293**
	facilidade de apontar e selecionar	-0,255*
	facilidade de <i>dragging</i> botão esq.	-0,199*
	facilidade de <i>dragging</i> botão dir.	-0,255*
	facilidade de <i>steering</i>	-0,302**
	esforço global	-0,313**
	esforço para agarrar	-0,243**
	esforço para controlar	-0,398**
esforço para apontar com precisão	-0,280**	

\*\* p<0,01; \* p<0,05

Uma análise de correlações de Spearman das preferências com as variáveis subjetivas de escala e com as variáveis objetivas do mesmo domínio da usabilidade permite investigar os eventuais mecanismos de formulação da preferência em função de variáveis mais tangíveis (subjetivas de escala e objetivas). Permite ainda aferir a validade interna das variáveis de preferência. As preferências quanto a estética e quanto a inovação não foram incluídas nesta análise por se considerar não haver variáveis subjetivas de escala nem variáveis objetivas relacionadas com aquelas (note-se que estas escalas de preferência foram incluídas para ajudar a desambiguar outras, nomeadamente a de satisfação). A Tabela 7.7 apresenta todas as associações estabelecidas entre as variáveis referidas, através da análise de correlação de Spearman, que alcançaram um nível de significância estatística de  $p < 0,05$ . A informação que consta da Tabela 7.7 é representativa da associação estabelecida não apenas entre as preferências e as restantes escalas de avaliação subjetiva como também da associação entre as preferências e diversas variáveis calculadas a partir das medições realizadas, nomeadamente de eficiência e de eficácia alcançadas nos testes experimentais com os 5 dispositivos (estudo 1). Neste âmbito destaca-se a percepção implícita dos sujeitos sobre a eficiência que o teste demonstrou encontrar-se associada à eficiência nas tarefas de *pointing large, medium e small e dragging right*.

Tabela 7.7 - Correlações de Spearman entre as escalas relativas à preferência e as variáveis subjetivas de escala e as variáveis objetivas do mesmo domínio (estudo 1).

correlações de Spearman ( $p < 0,05$ )			
preferência	variável	(rho)	valor p
desconforto	desconforto na mão	-0,275	0,006
	desconforto no antebraço	-0,214	0,033
eficácia	eficácia de <i>pointing medium</i>	-0,199	0,047
	eficácia de <i>pointing small</i>	-0,278	0,005
eficiência	eficiência de <i>pointing large</i>	-0,235	0,019
	eficiência de <i>pointing medium</i>	-0,280	0,005
	eficiência de <i>pointing small</i>	-0,398	0,000
	eficiência de <i>dragging right</i>	-0,281	0,005
esforço	esforço global	-0,280	0,005
	esforço para controlar	-0,304	0,002
	esforço para clicar	-0,234	0,019
	esforço para apontar c/precisão	-0,243	0,015
facilidade de utilização	facilidade global	-0,263	0,008
	facilidade de apontar e selecionar	-0,210	0,036
	facilidade de <i>dragging</i> botão dir.	-0,218	0,029
	facilidade de <i>steering</i>	-0,287	0,004
forma	desconforto na mão	-0,209	0,037
	esforço para agarrar	-0,229	0,022
	esforço para controlar	-0,273	0,006
satisfação	eficiência de <i>pointing small</i>	-0,340	0,001
	eficácia de <i>pointing small</i>	-0,317	0,001
	esforço para apontar c/precisão	-0,280	0,005
	esforço para controlar	-0,398	0,000
	esforço para agarrar	-0,243	0,015
	esforço global	-0,313	0,002
	facilidade de <i>steering</i>	-0,302	0,002
	facilidade de <i>dragging</i> botão dir.	-0,255	0,010
	facilidade de <i>dragging</i> botão esq.	-0,199	0,047
	facilidade de apontar e selecionar	-0,255	0,011
	facilidade global	-0,293	0,003
	desconforto no antebraço	-0,244	0,014
desconforto na mão	-0,300	0,002	
tamanho	esforço para agarrar	-0,219	0,028
	desconforto na mão	-0,228	0,022

Relativamente aos parâmetros de usabilidade, nota-se que a satisfação é o parâmetro de avaliação subjetiva por preferência que apresenta mais correlações significativas com os parâmetros de escala de Likert avaliados (3 parâmetros de desconforto, 5 parâmetros de esforço e 7 parâmetros de facilidade de utilização). Por outro lado, foi possível verificar também a preponderância do esforço global e esforço para controlar e apontar na preferência de esforço. Estas correlações contribuem para a validação interna do estudo realizado (estudo 1) e para o processo de validação dos instrumentos de escala utilizados no presente trabalho. Acrescem ainda as análises de fiabilidade da consistência interna (alfa de Cronbach) apresentadas na Tabela 7.8 que confluem na consideração de coerência dos participantes na interpretação das escalas de acordo com o pretendido pelo autor, contribuindo para a sua validação interna.

Tabela 7.8 - Alfa de Cronbach para os instrumentos desenvolvidos para avaliação do desconforto, do esforço e da facilidade de utilização (estudo 1).

Escala	Desconforto (desc.) (3 itens)	Facilidade de utilização (f. u.) (7 itens)	Esforço (5 itens)
Itens da escala (resumidos)	desc. da mão desc. do antebraço desc. do ombro	f. u. global f. u. pointing f. u. dragging b. esquerdo f. u. dragging b. meio f. u. dragging b. direito f. u. steering f. u. scroll	esforço global esforço para agarrar esforço para controlar esforço p/a fazer clique esforço para apontar
Alfa de Cronbach	alfa = 0,768	alfa = 0,903	alfa = 0,877
Observações	alfa = 0,784 sem o item de desconforto do ombro	retirar qualquer um dos itens da escala não levaria a aumento do valor do alfa de Cronbach	alfa = 0,885 sem o item de esforço para clicar; alfa=0,893 sem os itens de esforço para agarrar e esforço para clicar

Com o objetivo de analisar o efeito do fator tipo de ‘dispositivo apontador’ na variável endógena (variável dependente quantitativa) ‘eficiência na tarefa’, resultando na comparação das médias da eficiência entre pares de dispositivos, procedeu-se à análise de variância de medições repetidas relativamente a um fator (*one way* RM-ANOVA). Lembra-se que os 20 sujeitos realizaram 7 tarefas com cada um dos 5 ratos de computador, sendo esta

análise de variância realizada para uma tarefa de cada vez. Foram cumpridos todos os pressupostos para a realização desta análise, implementada com o auxílio do programa IBM SPSS v.22, nomeadamente as variáveis passaram o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, de covariância através do teste M Box e quanto à esfericidade, esta foi assumida através da correção de Greenhouse-Geisser. A Figura 7.2 apresenta a informação sobre os resultados alcançados com a suprarreferida análise estatística, mostra a eficiência média por tarefa entre dispositivos acompanhada da análise RM-ANOVA e dos resultados de aplicar a correção de Bonferroni para as comparações emparelhadas (estudo 1). A análise da variância realizada considerando a eficiência alcançada numa determinada tarefa por entre os 5 ratos, logrou atingir níveis de significância estatística com valores p sempre inferiores a 0,01 em todas as tarefas. Diversas comparações, realizadas entre os modelos desenvolvidos (ci e ch) e os modelos comerciais, resultaram estatisticamente significativas. Destas comparações salienta-se, na tarefa de *pointing large*, as diferenças detetadas nos valores da média da eficiência na comparação entre o modelo ak e o modelo ci e entre o modelo ch e o modelo mi, tomando como referência os dois modelos comerciais que alcançaram os melhores níveis de eficiência média em todas as tarefas. Verifica-se que as eficiências médias em *pointing large* alcançadas pelas novas geometrias situam-se entre as duas geometrias comerciais que alcançaram melhores resultados sem, no entanto, essas diferenças sejam demasiado notórias (vide Figura 7.2). Na tarefa de *pointing medium* verifica-se que as eficiências médias alcançadas pelas novas geometrias, quando comparadas com a eficiência média alcançada com o dispositivo mi, situam-se ambas em níveis um pouco inferiores. Na tarefa de *pointing small* verifica-se que as eficiências médias alcançadas pelas novas geometrias ci e ch, quando comparadas com a eficiência média alcançada com o dispositivo ev situam-se ambas em níveis superiores.

Na tarefa de *dragging left* a nova geometria ch transparece como significativamente diferente quando comparada com todos os modelos comerciais sob teste. Assim, constata-se que a geometria ch alcança um nível de eficiência média inferior aos níveis de eficiência média alcançados pelos restantes modelos. Na tarefa de *dragging middle* e de *dragging right* o modelo ch revela-se significativamente diferente quando comparado com o modelo ak, apenas. Destaca-se ainda que se registada uma diferença estatisticamente significativa entre os modelos ak e ev na tarefa de *dragging middle* apresentando o último a pior eficiência média no teste. A nova geometria ci distingue-se, com significância estatística, na tarefa de *dragging right* do modelo ak e do modelo ev revelando-se pior do que o primeiro, mas melhor do que o segundo. Finalmente, quanto à tarefa de *steering* foi encontrada diferença com significância estatística entre a nova geometria ch e o modelo ak, ficando a geometria ch abaixo do modelo ak.

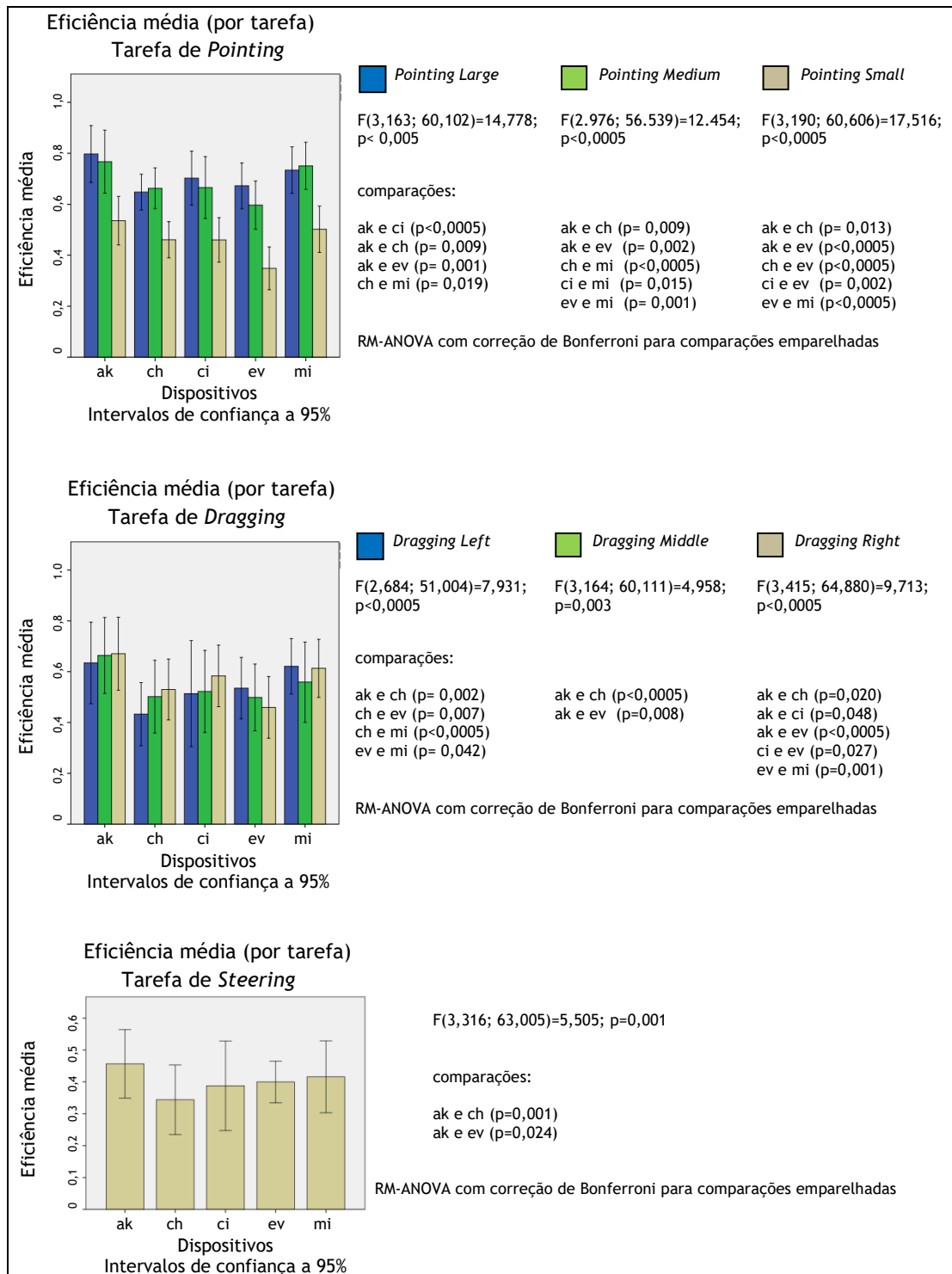


Figura 7.2 - Eficiência média por tarefa entre dispositivos acompanhada de análise RM-ANOVA e aplicada a correção de Bonferroni para as comparações emparelhadas (estudo 1).

## 7.2.2 Estudo 2

A Tabela 7.9 apresenta a ordenação dos dispositivos, segundo as 10 variáveis de escala quanto à preferência, que os sujeitos expressaram na comparação entre os 5 dispositivos que testaram durante a experimentação de laboratório, realizada no âmbito do estudo 2 (em simultâneo com a monitorização da atividade muscular no antebraço por eletromiografia de superfície). A Tabela 7.9 contém informação sobre os resultados da análise estatística efetuada através da determinação dos coeficientes de concordância de Kendall. A representação gráfica da ordenação média dos 5 dispositivos pelos 20 sujeitos, em relação a cada uma das 10 variáveis de escala consideradas está patente a Figura 7.2. A preferência da amostra em relação à eficiência percebida entre os 5 dispositivos (com coeficiente de concordância de Kendall  $W=0,311$ ;  $p<0,01$ ) apresenta a mesma ordenação que a registada durante a realização do estudo 1 (as mesmas tarefas, sem sensores de S-EMG colocados no antebraço direito dos sujeitos e com duração menor). Por seu turno, a facilidade de utilização (com coeficiente de concordância de Kendall  $W=0,382$ ;  $p<0,01$ ) apresenta, também, a mesma ordenação que a registada durante a realização do estudo 1. Salienta-se que quanto à escala da facilidade de utilização, na análise estatística homóloga realizada aos resultados relativos ao estudo 1, a geometria ch e a geometria mi aparecem ambas em primeiro lugar na ordenação média, não tendo resultado segundo lugar entre os dispositivos. Constata-se ainda que as ordenações das preferências registadas no estudo 2 concordam, genericamente, com as ordenações que resultaram das preferências de uma amostra diferente durante o estudo 1 (Tabela 7.9). Comparando a Figura 7.1 com a Figura 7.3 pode observar-se que o modelo ev continua, após a realização dos testes por uma nova amostra de 20 participantes, a apresentar a pior classificação nas ordenações médias, em termos globais, entre todas as geometrias sob avaliação.

Tabela 7.9 - Preferências com ordenação média dos dispositivos e determinação dos coeficientes de concordância de Kendall (estudo 2, n=20).

Escala/Dispositivo	ak	ch	ci	mi	ev	W de Kendall	Significância
Desconforto	<u>3</u> °	<u>1</u> °	<u>2</u> °	4°	5°	0,152	0,016 p<0,05
Eficácia	<u>2</u> °	<u>3</u> °	4°	1°	5°	0,267	0,000 p<0,01
Eficiência	3°	2°	4°	1°	5°	0,311	0,000 p<0,01
Esforço	3°	<u>1</u> °	<u>4</u> °	<u>2</u> °	5°	0,225	0,001 p<0,01
Estética	1°	<u>5</u> °	2°	<u>3</u> °	4°	0,267	0,000 p<0,01
Fac. de utilização	3°	2°	4°	1°	5°	0,382	0,000 p<0,01
Forma	<u>1</u> °	<u>2</u> °	<u>3</u> °	4°	5°	0,198	0,003 p<0,01
Inovação	<u>1</u> °	<u>4</u> °	<u>2</u> °	5°	<u>3</u> °	0,517	0,000 p<0,01
Satisfação	1°	2°	<u>4</u> °	<u>3</u> °	5°	0,183	0,006 p<0,01
Tamanho	(1°)	(1°)	3°	4°	5°	0,099	0,093 -----

Na ordenação, 1° significa o primeiro lugar (melhor) e 5° significa o quinto lugar (pior)

( ) Os posicionamentos entre parêntesis ocorreram *ex aequo*

( ) Os posicionamentos sublinhados são diferentes relativamente ao estudo 1 (Amostra 1)



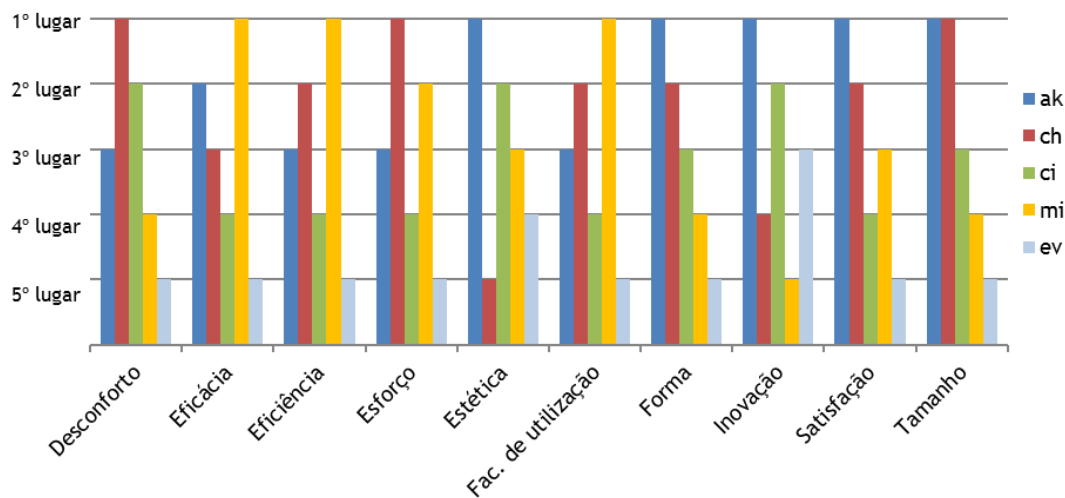


Figura 7.3 - Ordenação média da preferência dos 20 sujeitos relativa aos 5 dispositivos, em relação a cada uma das 10 variáveis de escala consideradas (estudo 2) (melhor - primeiro lugar; pior - quinto lugar).

Tal como no estudo 1, procedeu-se à análise de variância de medições repetidas em ordem a um fator (*one way RM-ANOVA*) com o objetivo de analisar o efeito do fator tipo de geometria (dispositivo) na variável dependente quantitativa ‘eficiência na tarefa’, resultando na comparação das médias da eficiência entre pares de dispositivos. Foram cumpridos todos os pressupostos para a realização da análise de variância de medições repetidas a um fator, implementada com o auxílio do programa IBM SPSS v.22. Para o efeito, foram aplicados diversos testes de verificação de pressupostos, nomeadamente o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, o teste de covariância através do teste M Box; após a realização do teste de homogeneidade de covariâncias de Levene foi assumida a esfericidade tendo esta sido corrigida através da correção de Greenhouse-Geisser.

A Figura 7.4 apresenta a informação sobre os resultados alcançados com a análise RM-ANOVA e os resultados obtidos ao aplicar a correção de Bonferroni para as comparações emparelhadas (estudo 2) relativamente à eficiência média por tarefa entre dispositivos. A análise da variância foi realizada considerando a eficiência alcançada numa determinada tarefa por entre os 5 ratos, logrando atingir níveis de significância estatística com valores  $p$  iguais ou inferiores a 0,05 em todas as tarefas. Da análise, diversas comparações emparelhadas entre os modelos desenvolvidos (ci e ch) e os modelos comerciais, resultam estatisticamente significativas. Destas comparações salienta-se, na tarefa de *pointing large*, as diferenças constatadas entre os valores da média da eficiência dos modelos ci e ak e entre os modelos ci e mi, tomando estes dois modelos comerciais (ak e mi) como referência. Verifica-se que a eficiência média em *pointing large* alcançada com a nova geometria (ci) situa-se entre aquelas geometrias comerciais. Em todas as subcategorias da tarefa de

*pointing*, verifica-se que as eficiências médias alcançadas com a nova geometria ci são inferiores (com significância estatística) aos valores alcançados com a geometria mi, verificando-se também que o inverso acontece com o par ch – ev, obtendo-se com a nova geometria ch valores de eficiência média superiores aos registados com a geometria ev. Verifica-se também, nas tarefas de *pointing large* e *medium*, que ocorre diferença significativa relativamente à média da eficiência entre as geometrias ch e ci, dando vantagem à primeira em ambas as subtarefas de *pointing*. Por último, refere-se que na tarefa de *pointing small*, a nova geometria ci apresenta um valor médio para a eficiência superior ao valor médio da eficiência alcançado com a geometria ev, diferença essa que atinge a significância estatística.

Na tarefa de *dragging left* a nova geometria ch revela uma eficiência média superior (com significância estatística) à eficiência média obtida com a geometria ev. A geometria ch revela-se melhor do que a geometria ci e do que a geometria ev, no que diz respeito aos valores médios da eficiência alcançada com estas geometrias na realização da tarefa de *dragging right*, atingido estas diferenças significância estatística. Na tarefa de *dragging middle* ocorrem diferenças significativas entre mi e cada uma das geometrias novas (ci e ch), sendo que a geometria mi obtém valores maiores de eficiência média do que qualquer das novas geometrias desenvolvidas no âmbito desta tese. Todavia, e ainda quanto à tarefa de *dragging middle*, ocorrem diferenças significativas para o par ch – ci, alcançando a geometria ch melhores resultados.

Finalmente, quanto à tarefa de *steering* foi encontrada diferença na eficiência média com significância estatística entre a nova geometria ci e o modelo mi, registando-se para a geometria ci uma eficiência média inferior à alcançada com a geometria mi. Ocorreram também diferenças significativas no par ch – ci, alcançando a geometria ch melhores resultados, tal como acontecera nas tarefas de *pointing large* e *medium*, *dragging middle* e *right*.

Entre o estudo 1 e o estudo 2 resultam, quanto à avaliação da usabilidade das cinco geometrias de ratos de computador consideradas, diferenças no desempenho do dispositivo ch. No estudo 2, na análise RM-ANOVA, este dispositivo surge a par da outra nova geometria (ci), revelando, comparativamente, melhor desempenho do que o modelo ci, sendo essas diferenças suportadas por significância estatística. A segunda fase da experimentação de laboratório ocorreu com elétrodos (S-EMG) colocados no antebraço dos participantes tendo o teste demorado entre 2,5 e 3 h por cada sujeito, cerca do dobro do tempo relativamente ao estudo 1. Neste sentido, foram realizados testes estatísticos para análise da semelhança para amostras independentes. A análise de semelhança para amostras independentes contou com o teste t de Student e com o teste U de Mann-Whitney, este último utilizado para as variáveis que não passaram no teste de normalidade. Este assunto será tratado na secção seguinte (7.2.3 Estudos 1 e 2 combinados).

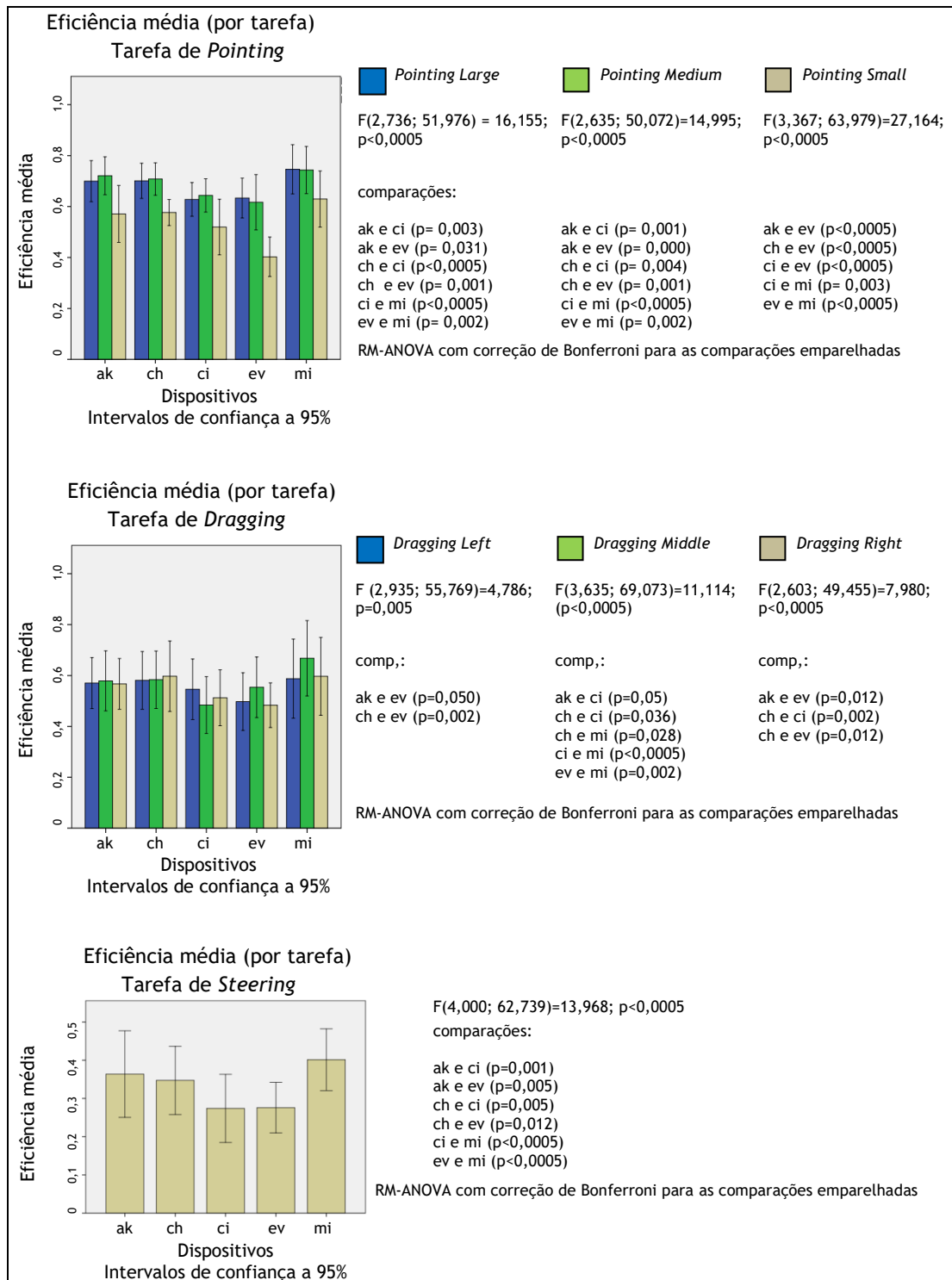


Figura 7.4 - Eficiência média por tarefa avaliada entre os dispositivos com a análise RM-ANOVA e resultados da avaliação para as comparações emparelhadas com a correção de Bonferroni (estudo 2).

### 7.2.3 Estudos 1 e 2 combinados

Nesta secção procede-se à análise dos resultados provenientes das duas fases da experimentação de laboratório, o estudo 1 relativo aos testes realizados por uma amostra de 20 participantes em tarefas padrão e o estudo 2 com a repetição do processo por uma nova amostra de 20 participantes, com monitorização em simultâneo da atividade de quatro músculos do antebraço por via de eletromiografia de superfície. Agrupando as respostas relativas à ordenação das preferências, de acordo com a análise do coeficiente de concordância de Kendall apenas duas dessas ordenações resultam simultaneamente diferentes em relação ao estudo 1 e ao estudo 2, quando analisadas separadamente. Uma das diferenças é observada na escala da preferência quanto ao esforço e a outra na escala da preferência relativa à forma (Tabela 7.10). A Figura 7.5 mostra o gráfico com a ordenação média das preferências dos 40 sujeitos relativamente aos 5 dispositivos, em relação a cada um dos 10 parâmetros considerados (estudo 1 e 2 reunidos). Da análise do coeficiente de concordância de Kendall resulta que os sujeitos preferem comparativamente, e globalmente para as escalas consideradas, os modelos mi e ak preterindo o modelo ev. As novas geometrias desenvolvidas surgem a um nível intermédio, podendo mesmo afirmar-se que as geometrias ch e ci se aproximam mais dos modelos preferidos do que do modelo ev, principalmente a geometria ch (Figura 7.5).

Tabela 7.10 - Ordenação média das preferências relativamente aos dispositivos e determinação dos coeficientes de concordância de Kendall (estudos 1 e 2 reunidos; n=40).

Escala/Dispositivo	ak	ch	ci	mi	ev	W de Kendall	Significância
Desconforto	( <u>2</u> ) <sup>*</sup>	<u>1</u> <sup>o</sup>	( <u>2</u> )	4 <sup>o</sup>	5 <sup>o</sup>	0,143	0,000 p<0,01
Eficácia	<u>2</u> <sup>o</sup>	<u>3</u> <sup>o</sup>	4 <sup>o</sup>	1 <sup>o</sup>	5 <sup>o</sup>	0,185	0,000 p<0,01
Eficiência	<u>3</u> <sup>o</sup>	2 <sup>o</sup>	4 <sup>o</sup>	1 <sup>o</sup>	5 <sup>o</sup>	0,237	0,000 p<0,01
Esforço	3 <sup>o</sup>	<u>2</u> <sup>o*</sup>	<u>4</u> <sup>o</sup>	1 <sup>o*</sup>	5 <sup>o</sup>	0,172	0,000 p<0,01
Estética	1 <sup>o</sup>	( <u>3</u> ) <sup>*</sup>	2 <sup>o</sup>	( <u>3</u> ) <sup>*</sup>	<u>5</u> <sup>o*</sup>	0,228	0,000 p<0,01
Fac. de utilização	3 <sup>o</sup>	<u>2</u> <sup>o</sup>	4 <sup>o</sup>	1 <sup>o</sup>	5 <sup>o</sup>	0,230	0,000 p<0,01
Forma	<u>1</u> <sup>o</sup>	<u>3</u> <sup>o*</sup>	<u>2</u> <sup>o*</sup>	4 <sup>o</sup>	5 <sup>o</sup>	0,205	0,000 p<0,01
Inovação	2 <sup>o*</sup>	<u>4</u> <sup>o</sup>	1 <sup>o*</sup>	5 <sup>o</sup>	<u>3</u> <sup>o</sup>	0,482	0,000 p<0,01
Satisfação	1 <sup>o</sup>	2 <sup>o</sup>	<u>4</u> <sup>o</sup>	<u>3</u> <sup>o</sup>	5 <sup>o</sup>	0,157	0,000 p<0,01
Tamanho	1 <sup>o</sup>	2 <sup>o*</sup>	3 <sup>o</sup>	4 <sup>o</sup>	5 <sup>o</sup>	0,085	0,008 p<0,01

Na ordenação, 1<sup>o</sup> significa o primeiro lugar (melhor) e 5<sup>o</sup> significa o quinto lugar (pior)

( ) Os posicionamentos entre parêntesis ocorreram *ex aequo*

( ) Os posicionamentos sublinhados são diferentes relativamente ao estudo 1 (amostra 1)

(<sup>\*</sup>) Os posicionamentos assinalados com asterisco são diferentes relativamente ao estudo 2 (amostra 2)

Com o objetivo de validar a reunião das duas amostras, respetivamente estudo 1 e estudo 2, com vista a potenciar a inferência estatística com mais propriedade (na procura de generalizações desligadas das idiosincrasias da amostra), procedeu-se a uma análise de

semelhança entre as distribuições das sete variáveis de eficiência através das duas amostras (independentes) de 20 participantes cada. A Figura 7.6 mostra graficamente os valores médios das eficiências por tarefa, relativamente ao estudo 1 e ao estudo 2 pareados.

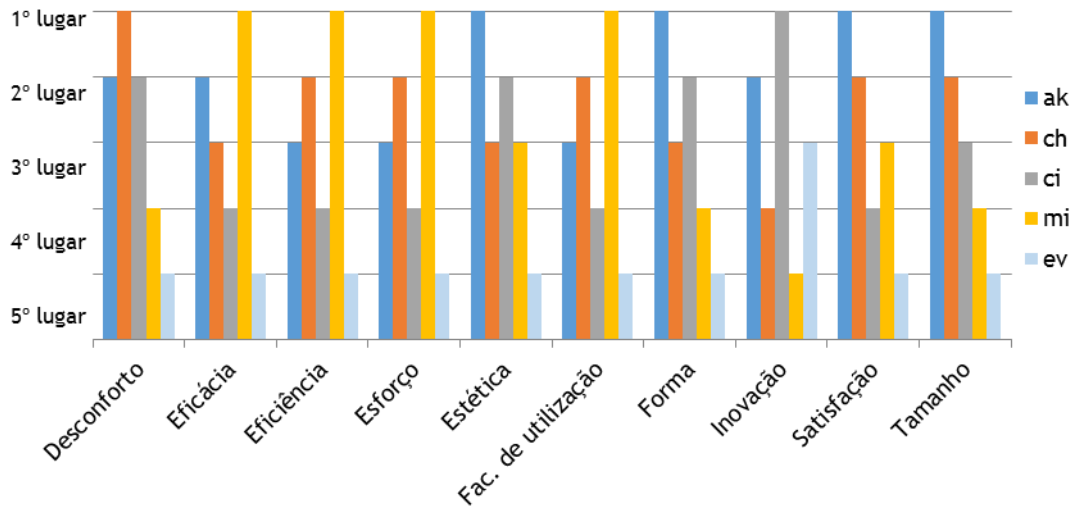


Figura 7.5 - Ordenação média da preferência dos 40 participantes relativa aos 5 dispositivos, em relação a cada uma das 10 variáveis de escala consideradas (estudo 1 e 2 reunidos) (melhor - primeiro lugar; pior - quinto lugar).

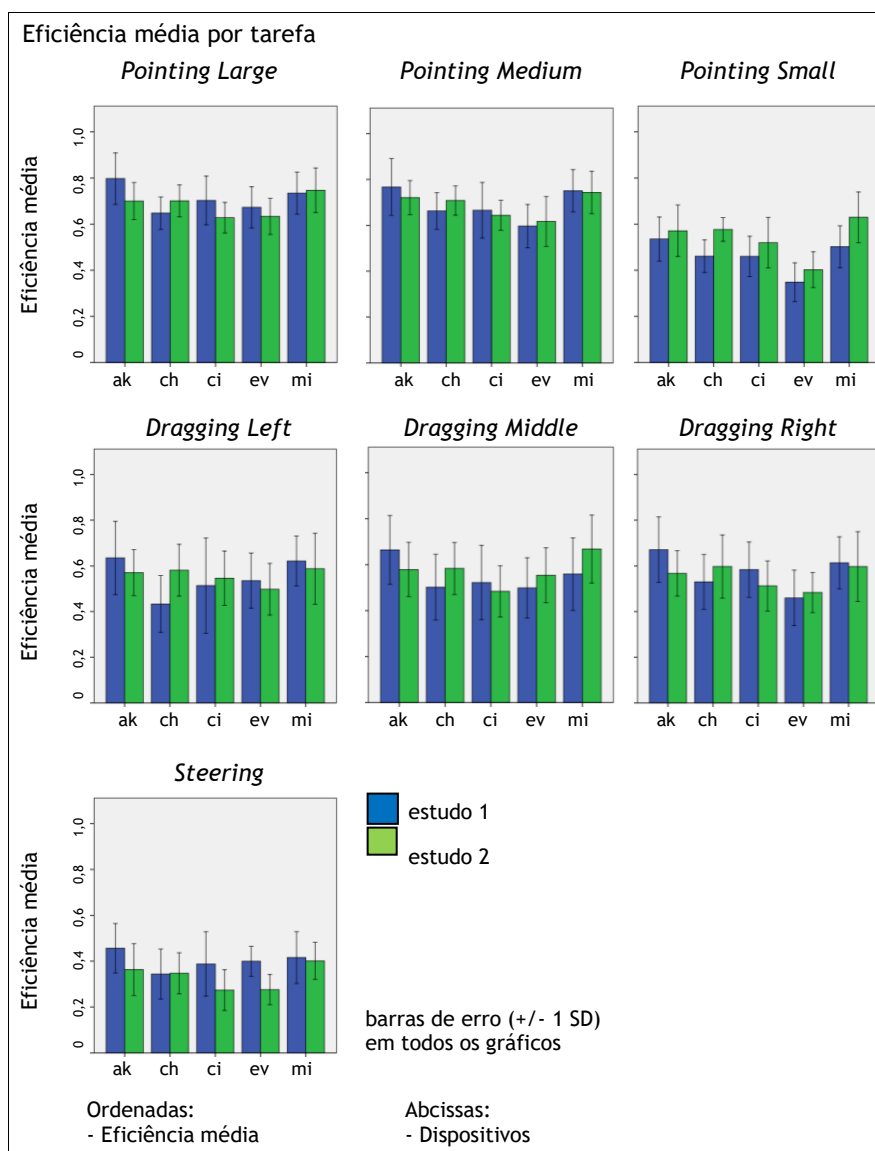


Figura 7.6 - Gráficos da eficiência média por tarefa, dispositivo e estudo (estudos 1 e 2;  $n_1=20$ ;  $n_2=20$ ); SD - desvio padrão.

Na Tabela 7.11 apresenta-se os resultados das múltiplas análises estatísticas realizadas com vista a evidenciar estatisticamente as semelhanças ao nível da eficiência (calculada a partir de medições objetivas) entre os estudos 1 e 2. Os testes aplicáveis levam à rejeição da hipótese nula em apenas 10 dos 35 testes estatísticos realizados. Os casos de rejeição da hipótese nula estão dispersos pela matriz, com três casos na tarefa de *pointing large*, um caso na tarefa *pointing medium*, dois em *pointing small*, um em *dragging left*, um em *dragging right* e dois em *steering*. Deste modo, só na tarefa de *pointing large* se verificou a rejeição da hipótese nula em mais de metade dos dispositivos; contudo, atendendo a que o mesmo não se verificou nas restantes tarefas de *pointing*, não se vislumbra uma tendência expressiva de discrepância entre os dois estudos para todo o grupo das tarefas de *pointing* (nas tarefas de *pointing* mais exigentes – *medium* e *small* – registaram-se menos

discrepâncias). No caso do dispositivo utilizado como referência (mi) não resultaram da análise quaisquer tarefas com rejeição da hipótese nula, podendo isto ser uma consequência do facto dos participantes estarem familiarizados com a sua utilização. Os testes relativos aos dispositivos ev, ci e ak resultaram na rejeição da hipótese nula em uma, duas e três tarefas, respetivamente. No caso do dispositivo ch rejeita-se a hipótese nula em quatro das sete tarefas (todas as tarefas que envolvem *pointing* e a tarefa de *dragging* com o botão esquerdo do rato). Suspeita-se que esse facto se deva a uma intervenção técnica necessária, antes do início do estudo 2, devido à deformação da base do dispositivo. A deformação ocorreu após o estudo 1 por permanência accidental do protótipo ch num ambiente quente. A intervenção envolveu a substituição da base mantendo as especificações do projeto e cumulativamente procedeu-se à abrasão localizada para repor a folga original entre os botões, que também tinha sofrido alteração. Outro dispositivo apresenta como resultado a rejeição da hipótese nula em três das sete tarefas, o dispositivo ak (Tabela 7.11); estas encontram-se dispersas na matriz de tarefas contrariamente ao ocorrido com o dispositivo ch que concentra em todas as tarefas de *pointing* a rejeição da hipótese nula.

Tabela 7.11 - Comparação de valores de eficiência por tarefa e dispositivo entre o estudo 1 e o estudo 2 (comparações entre pares de variáveis para amostras independentes).

Testes paramétricos: teste t de Student ( $H_0$ - as médias das duas amostras 1 e 2 são iguais)					
Testes não paramétricos: teste U de Mann-Whitney ( $H_0$ - as duas amostras 1 e 2 provêm da mesma população)					
tipo de tarefa	tipo de dispositivo				
	ak	ch	ci	ev	mi
<i>pointing large</i>	MW*	t*	t*	t	t
<i>pointing medium</i>	t	MW*	t	t	MW
<i>pointing small</i>	t	t*	t	t*	t
<i>dragging left</i>	t	MW*	t	t	t
<i>dragging middle</i>	t	t	t	MW	t
<i>dragging right</i>	t*	t	t	MW	MW
<i>steering</i>	t*	t	t*	t	t

\*  $p < 0,05$

t - teste t de Student com  $p > 0,05$  por forma a não rejeitar a hipótese nula

MW - teste U de Mann-Whitney para amostras independentes com  $p > 0,05$  por forma a não rejeitar hipótese nula

(o teste não paramétrico foi aqui utilizado sempre que pelo menos uma variável tivesse falhado o teste de aderência à normalidade de Shapiro-Wilk num dos estudos (1 ou 2))

A partir da informação patente na Figura 7.7 construiu-se a Tabela 7.12, com vista a facilitar e sistematizar a análise dos resultados para a eficiência média por tarefa de entre os dispositivos, a partir da análise recorrendo à RM-ANOVA e às comparações emparelhadas com a correção de Bonferroni, considerando os dados dos dois estudos agrupados ( $n=40$ ). Da observação de ambos os acervos conclui-se que, relativamente à eficiência média no conjunto de tarefas preconizadas para os testes realizados com os dispositivos, as geometrias criadas, ch e ci, se posicionam num nível intermédio relativamente aos modelos comerciais testados. Os modelos desenvolvidos e prototipados no âmbito da investigação subjacente a esta tese

colocam-se assim num nível de eficiência inferior relativamente a mi e a ak, mas superior relativamente a ev.

Tabela 7.12 - Diferenças estatisticamente significativas na eficiência média por tarefa com envolvimento das novas geometrias ch e ci obtidas da análise RM-ANOVA e das comparações emparelhadas com a correção de Bonferroni (estudos 1 e 2 reunidos, n=40).

<b>Tarefas</b>	pares que envolvem as novas <b>geometrias</b> desenvolvidas ( $p < 0,05$ )	observações relacionadas com a <b>eficiência média</b> comparando pares de dispositivos após a realização de RM-ANOVA e comparações emparelhadas com a correção de Bonferroni
<i>Pointing large</i>	ch - ak ch - mi ci - ak ci - mi	ambas as geometrias desenvolvidas, ch e ci, apresentam diferenças significativas por comparação com os modelos ak e mi
<i>Pointing medium</i>	ch - ak ch - mi ci - ak ci - mi	ambas as geometrias desenvolvidas, ch e ci, apresentam diferenças significativas quando comparadas com os modelos ak e mi
<i>Pointing small</i>	ch - ev ci - ak ci - ev ci - mi	ambas as geometrias desenvolvidas, ch e ci, apresentam diferenças significativas por comparação com o modelo ev a geometria ci apresenta diferenças significativas por comparação com os modelos ak e mi
<i>Dragging left</i>	ch - ak ch - mi	a geometria ch apresenta diferenças significativas por comparação com os modelos ak e mi
<i>Dragging middle</i>	ch - ak ci - ak ci - mi	a geometria ch apresenta diferenças significativas por comparação com o modelo ak a geometria ci apresenta diferenças significativas por comparação com os modelos ak e mi
<i>Dragging right</i>	ci - ak ch - ev ci - ev	a geometria ci apresenta diferenças significativas por comparação com os modelos ak e ev a geometria ch apresenta diferenças significativas por comparação com o modelo ev
<i>Steering</i>	ch - ak ch - mi ci - ak ci - mi	ambas as geometrias desenvolvidas, ch e ci, apresentam diferenças significativas por comparação com os modelos ak e mi



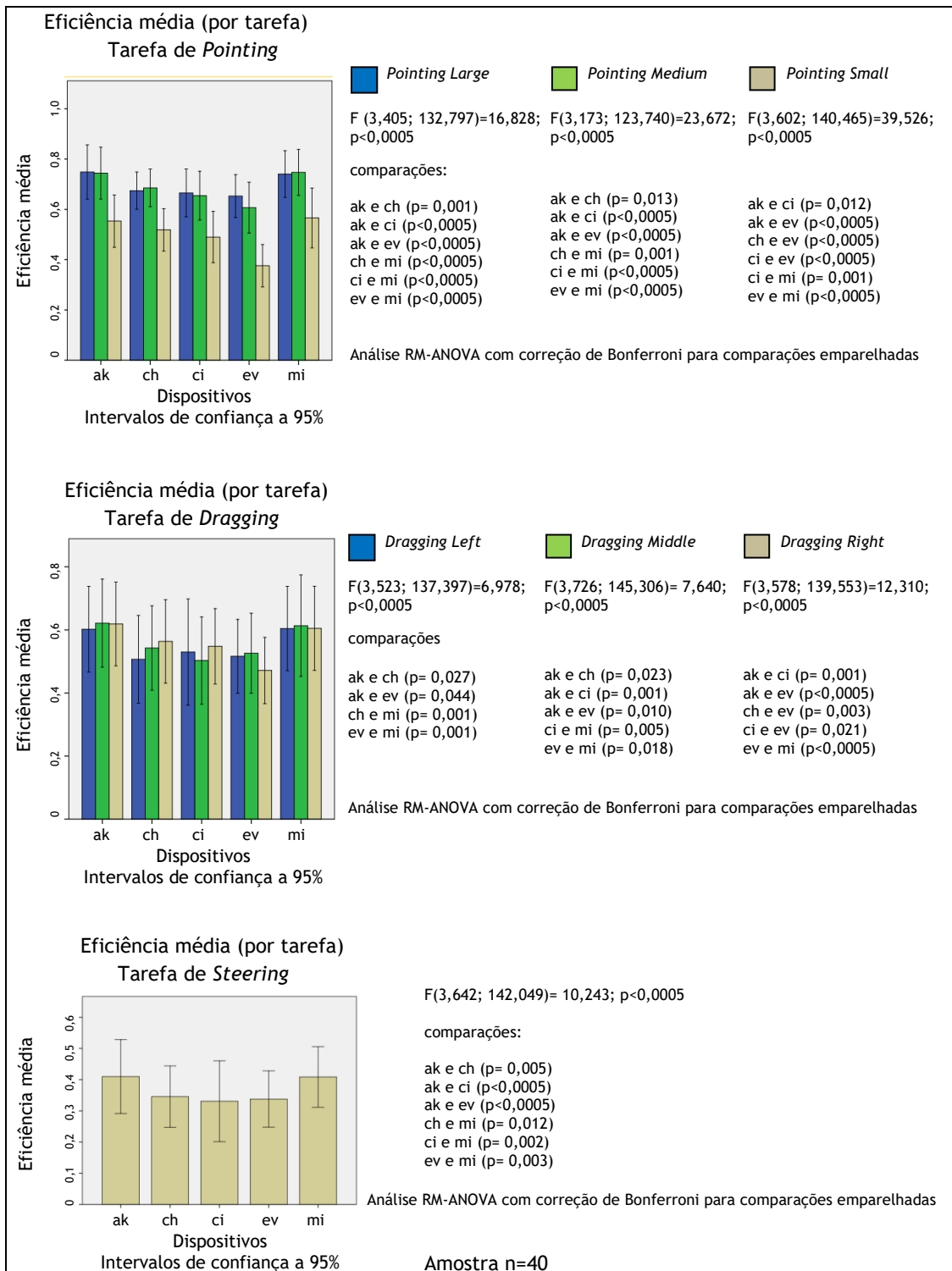


Figura 7.7 - Eficiência média por tarefa entre dispositivos (dados agrupados, estudo 1 e 2; n=40) resultados da análise RM-ANOVA e das comparações emparelhadas com a correção de Bonferroni.

O gráfico patente na Figura 7.8 apresenta a eficiência média com agrupamento visual de todas as tarefas em torno do dispositivo correspondente, para as medições resultantes dos testes realizados no universo dos 40 participantes. Pretende-se assim oferecer uma visão de conjunto que permita destriçar melhor os diferentes modelos quanto a este parâmetro de usabilidade. Da observação do gráfico da Figura 7.8 verifica-se globalmente uma melhor eficiência alcançada pelo dispositivo ak bem como pelo dispositivo mi comparativamente aos restantes modelos, na generalidade das tarefas. É ainda interessante verificar que as tarefas de *pointing large* e de *pointing medium* apresentam melhores eficiências do que as restantes tarefas para todos os ratos sob investigação. Pelo contrário, a tarefa de *steering* é a que apresenta piores valores médios de eficiência face às restantes tarefas.

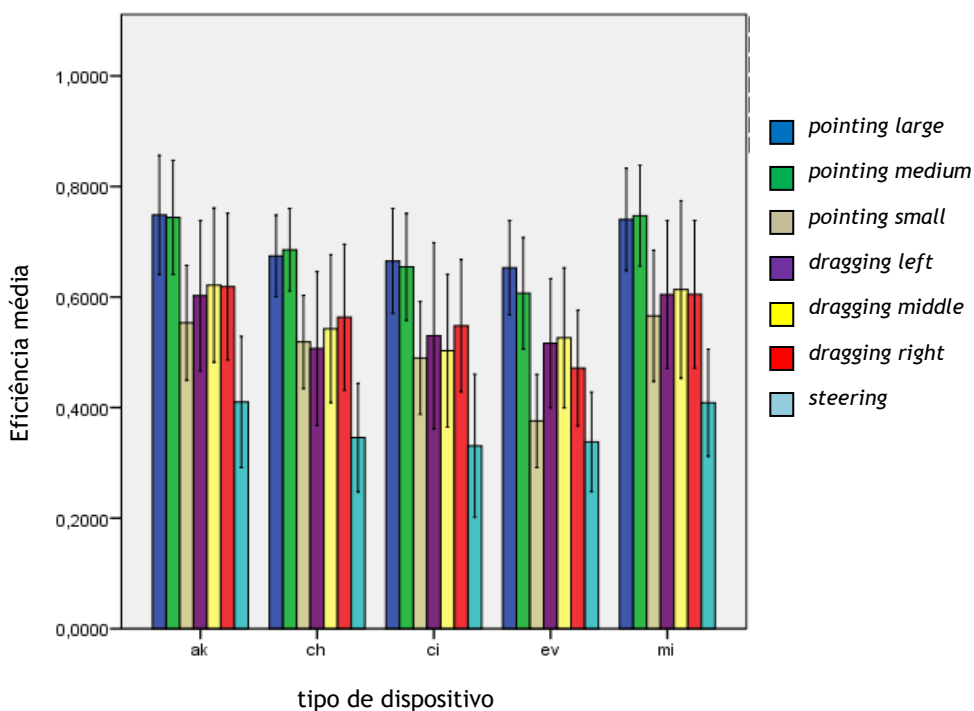


Figura 7.8 - Eficiência média por tarefa relativa aos 5 modelos de dispositivo apontador (dados agrupados, estudo 1 e 2; n=40); as agulhetas representam mais ou menos um desvio padrão.

Para concluir a análise dos dados relativamente à reunião dos estudos 1 e 2, e com o intuito de estudar a associação hipotética entre a eficiência por tarefa com cada tipo de dispositivo (ângulo característico) e a categoria do tamanho da mão (dois grupos), procedeu-se a uma análise de determinação da regressão polinomial cúbica. De acordo com a Figura 7.9 (tarefa de *pointing large*) é notória uma predominância da categoria do tamanho da mão maior registando melhores níveis de eficiência ao longo do ângulo característico do dispositivo (de 0° a 90°), face à categoria do tamanho da mão menor. Esta diferença é ainda mais evidente para o ângulo característico de 60° (modelo ak). Também se pode ver, no mesmo gráfico, que

o efeito da categoria do tamanho da mão praticamente se anula para 90° de inclinação do dispositivo, ou seja, para dispositivos que anulam a pronação do antebraço mantendo-o numa postura neutra em relação à pronação (0°) como acontece com o modelo ev. Também é mostrado no gráfico da Figura 7.9 que os níveis de eficiência alcançados com o modelo inclinado a 30° (ângulo característico) se apresentam menos dispersos que os dos restantes modelos, embora com a mesma tendência em registar melhores níveis de eficiência para a categoria do tamanho de mão maior.

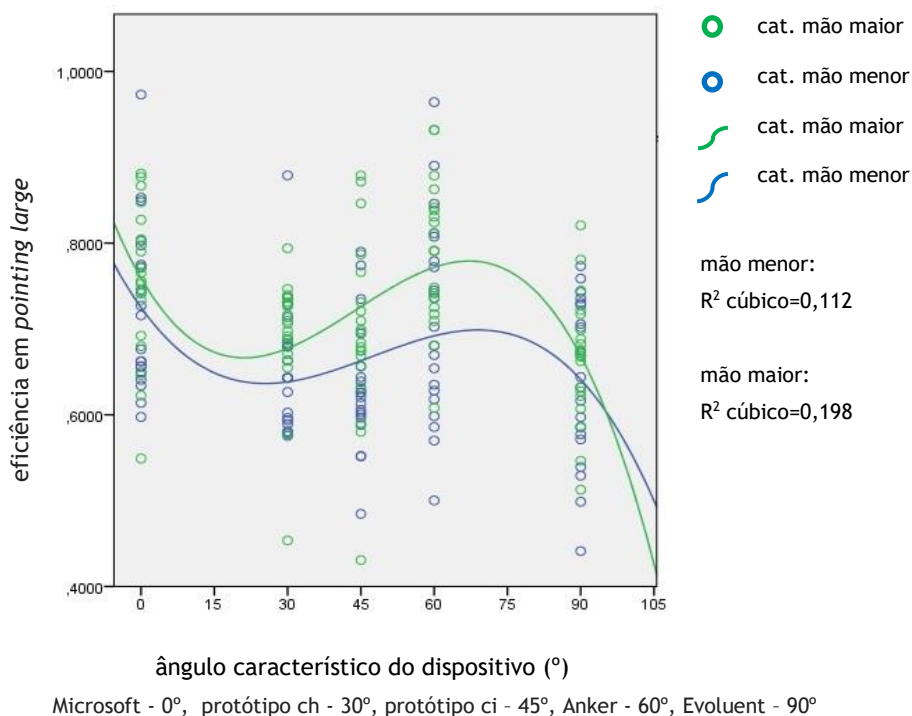


Figura 7.9 - Eficiência em *pointing large* relacionada com o ângulo característico do dispositivo e a categoria do tamanho da mão (dados agrupados, estudo 1 e 2; n=40).

Efeitos semelhantes aos observados no que diz respeito à tarefa de *pointing large* ocorrem na tarefa de *pointing medium* (Fig 7.10). O gráfico da Figura 7.11 contempla os níveis de eficiência respeitantes à tarefa de *pointing small*, evidenciando menores diferenças entre as duas categorias do tamanho da mão relativamente ao ângulo característico do dispositivo, embora com prevalência de melhores níveis de eficiência para a categoria do tamanho da mão maior na qual ocorre uma inversão para ângulos característicos muito pequenos. Isto leva a sugerir que um dispositivo operado na horizontal (0°) ou perto disso, por operadores com mão de menores dimensões permitirá alcançar mais altos níveis de eficiência. No entanto, sabe-se que mais variáveis podem estar associadas a esta questão, tal como o reduzido tamanho do modelo mi (0°) e a habituação de todos os participantes com este modelo. Em todas as três tarefas de apontar e selecionar (*pointing*) se visualiza nos respetivos gráficos das Figuras 7.9, 7.10 e 7.11 maiores níveis de eficiência alcançados para os ângulos característicos 0° e 60°, podendo, porém, o resultado não ser apenas função deste ângulo.

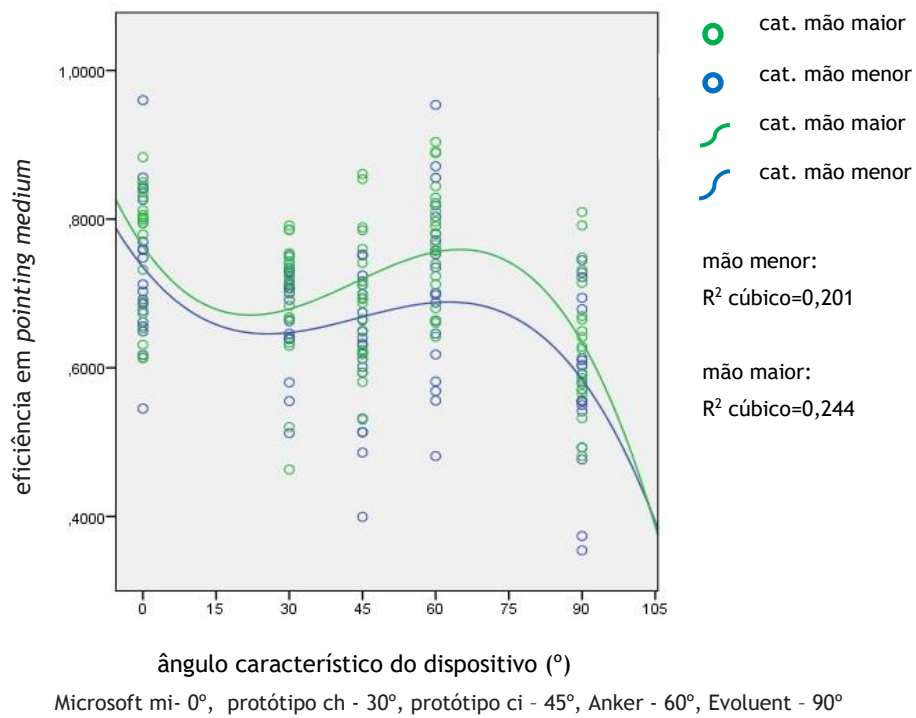


Figura 7.10 - Eficiência em *pointing medium* relacionada com o ângulo característico do dispositivo e a categoria do tamanho da mão (dados agrupados, estudo 1 e 2; n=40).

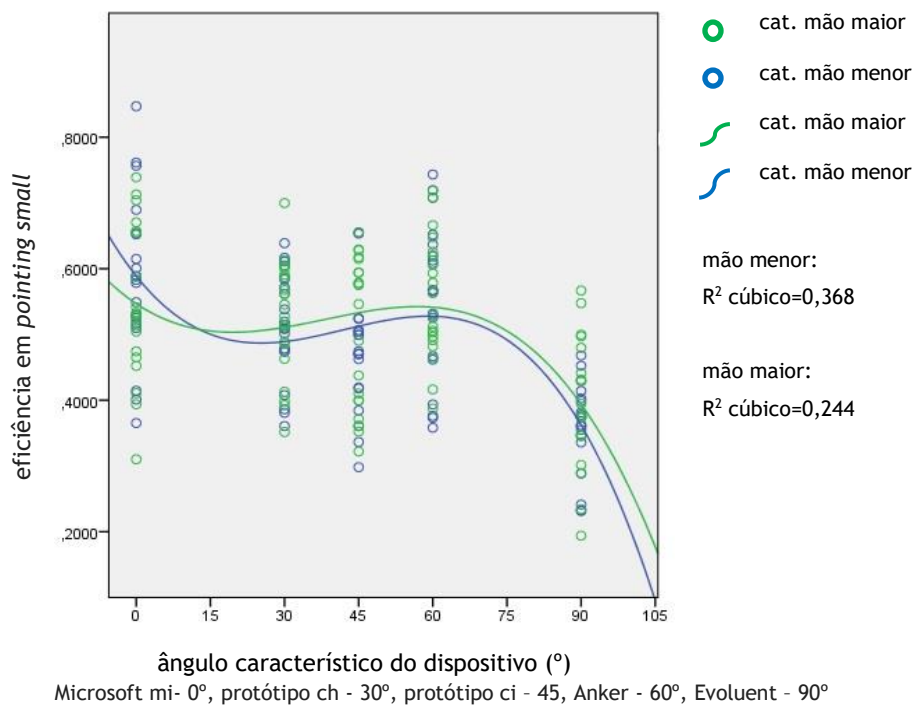


Figura 7.11 - Eficiência em *pointing small* relacionada com o ângulo característico do dispositivo e a categoria do tamanho da mão (dados agrupados, estudo 1 e 2; n=40).

## 7.2.4 Estudo 3 - Indicador de eficiência (IE) aplicado a uma ferramenta de CAD

A descrição relativa a cada uma das tarefas padronizadas, realizadas pelos participantes com cada um dos cinco ratos de computador, consta do capítulo 5 (Usabilidade dos dispositivos manuais apontadores para computador). A sua ilustração apresenta-se na Figura 5.3. Os valores de eficiência para cada uma das tarefas, e para cada um dos dispositivos, foram determinados de acordo com as expressões que constam da Tabela 5.7 do mesmo capítulo. Para o cálculo dos coeficientes de ponderação implícitos no IE torna-se necessário determinar primeiramente o tempo médio de conclusão de cada operação individual dentro de cada tarefa. A Tabela 7.13 apresenta o tempo médio de cada operação, relativamente a cada uma das tarefas acima referidas, determinados a partir dos testes realizados com os cinco dispositivos sob investigação. Estes tempos foram obtidos por divisão do tempo total de conclusão de cada tarefa pelo número de alvos que a integra. Os valores médios foram obtidos a partir dos testes realizados por todos os vinte participantes no estudo 1.

Tabela 7.13 - Tempo médio de cada operação relativamente a cada uma das tarefas de teste realizadas com os cinco dispositivos sob investigação, durante o estudo 1.

Tarefas de teste	Apontar/selecionar ( <i>pointing</i> )			Arrastar ( <i>dragging</i> )		Conduzir ( <i>steering</i> ) ( <i>st</i> )
	Alvos grandes ( <i>poi<sub>l</sub></i> )	Alvos médios ( <i>poi<sub>m</sub></i> )	Alvos pequenos ( <i>poi<sub>s</sub></i> )	com o botão esquerdo ( <i>drag<sub>l</sub></i> )	com o botão do meio ( <i>drag<sub>m</sub></i> )	
Tempo médio por operação [s]	0,564	0,577	0,801	1,635	1,654	3,073
	(tarefas de <i>pointing</i> com 24 alvos, tarefas de <i>dragging</i> e <i>steering</i> com 8 alvos)					

A Tabela 7.14 apresenta os valores dos coeficientes de ponderação para um software de CAD paramétrico específico, determinados com base no número de operações médio, obtido no estudo 3 (*vide* capítulo 5, secção 5.4.3 - Indicador de eficiência das tarefas ponderadas (IE) - novo indicador), e no tempo médio de cada operação (estudo 1), sendo que o número médio de operações representa a frequência relativa de cada uma das operações sob interesse. A mesma tabela apresenta ainda, a título de exemplo, algumas das ações na atividade de CAD com o programa Autodesk Inventor® v2016 e que tipificam operações executadas com o rato.

Os valores médios do indicador de eficiência das tarefas ponderadas (IE), para a atividade de CAD com o programa Autodesk® Inventor® V2016, relativo a cada um dos dispositivos manuais apontadores sob avaliação, constam da Tabela 7.15. De acordo com os resultados, os modelos mi e ak apresentam os valores mais elevados de IE, ambos com 61%, seguidos dos modelos ch e ci, com 54% e 53% respetivamente, obtendo o modelo ev um IE médio de apenas 50%.

Tabela 7.14 - Número médio de operações registado no estudo de observação naturalista (n=10) e coeficientes de ponderação calculados que integram o indicador de eficiência (IE) para o software considerado.

Operações	Apontar/selecionar ( <i>pointing</i> )			Arrastar ( <i>dragging</i> )		Conduzir ( <i>steering</i> ) ( <i>st</i> )
	Alvos grandes ( <i>poi<sub>i</sub></i> )	Alvos médios ( <i>poi<sub>m</sub></i> )	Alvos pequenos ( <i>poi<sub>s</sub></i> )	com o botão esquerdo ( <i>drag<sub>l</sub></i> )	com o botão do meio ( <i>drag<sub>m</sub></i> )	
Exemplos de ações na atividade de CAD (Autodesk® Inventor® V2016)	Selecionar uma ferramenta	Selecionar elementos na árvore de construção	Selecionar pontos em entidades desenhadas	Rotação livre, mover entidades, desenhar linhas	Mover o ambiente gráfico no plano ( <i>panning</i> )	Criar polilinhas, colocar cotagem
N.º médio de operações e desvio padrão	30,9 (10,6)	63,1 (24,0)	37,4 (15,3)	24,4 (8,7)	11,9 (5,1)	8,9 (5,8)
Coeficientes de ponderação (Inventor® V2016)	$c_1 = 0,1021$	$c_2 = 0,2133$	$c_3 = 0,1755$	$c_4 = 0,2337$	$c_5 = 0,1153$	$c_6 = 0,1602$

Tabela 7.15 - Indicador de eficiência das tarefas ponderadas, por dispositivo para o software considerado (valores médios e desvios padrão em percentagem) (valores das eficiências por tarefa obtidos para uma amostra de 40 indivíduos (estudos 1 e 2 reunidos); valores dos tempos por operação elementar obtidos para uma amostra de 10 indivíduos (estudo 3)).

Dispositivos	mi	ch	ci	ak	ev
IE <sub>(dispositivo)</sub> (em percentagem)	61%	54%	53%	61%	50%
Desvio padrão (em percentagem)	(7%)	(7%)	(8%)	(8%)	(6%)

Com os dados de IE, a partir das eficiências por tarefa (obtidas a partir dos dois estudos principais para uma amostra combinada de 40 indivíduos), e dos tempos elementares (obtidos num estudo auxiliar para uma amostra de 10 indivíduos), procedeu-se a um estudo estatístico. O objetivo era avaliar as condições em que os participantes, pertencentes a dois grupos distintos de categoria do tamanho da mão, obtêm uma redução do valor do indicador de eficiência das tarefas ponderadas (IE) através dos cinco níveis de inclinação dos dispositivos, e o modo como essa redução é mais notória num ou noutro grupo. As duas categorias ou grupos de participantes distinguem-se pelo tamanho da mão superior à média da amostra e pelo tamanho da mão inferior à média da amostra e os níveis de inclinação das cinco geometrias são de, respetivamente, 0° (mi), 30° (ch), 45° (ci), 60° (ak) e 90° (ev).

Pretendia-se com este estudo estatístico averiguar as condições de interação entre as categorias de tamanho da mão e o tipo de dispositivo, no que diz respeito ao indicador de eficiência das tarefas ponderadas (IE). Neste sentido, com auxílio do programa IBM SPSS v.22 implementou-se o teste da ANOVA para medidas repetidas misto. Assim, considerou-se a categoria do tamanho da mão como o fator intersujeitos (dois grupos) e o tipo de dispositivo

como o fator intrasujeitos. Neste processo, a variável dependente é o IE obtido para cada um dos dispositivos, por indivíduo. Os dados permitiram o cumprimento de todas as premissas necessárias à execução do teste estatístico pretendido. O teste de esfericidade de Mauchly, que verifica a circularidade das matrizes das covariâncias nas variáveis dependentes, permitiu verificar a condição da não rejeição da esfericidade, pois o nível de significância do teste foi de 0,590. A homogeneidade da variância foi verificada através do teste de Levene, tendo-se obtido um nível de significância superior a 0,05 para cada uma das variáveis (5 dispositivos). Os dados suportam a igualdade das matrizes das covariâncias em todas as células formadas pelos efeitos intersujeitos, conforme o teste *M box* (de caixa) com significância de 0,273. Como resultado, os testes multivariados realizados para detecção do efeito interativo (dispositivo versus categorias de tamanho da mão) revelaram que este efeito é estatisticamente não significativo, conforme o teste Wilks's Lambda com significância de 0,314. Contudo, o mesmo teste revelou que o efeito do tipo de dispositivo é estatisticamente significativo ( $p < 0,001$ ), sugerindo que houve diferenças significativas nos valores de IE através dos ratos de computador testados, levando à realização de testes *post-hoc* com recurso a comparações emparelhadas com a correção de Bonferroni. O valor de Eta quadrado parcial de 0,819 relativo aos dispositivos indicou tratar-se de um forte efeito. Também o efeito do tamanho da mão (grupo), nos testes intrasujeitos, atingiu significância ( $p < 0,05$ ). O valor de Eta quadrado parcial de 0,098 relativo às categorias de tamanho da mão indicou tratar-se de um efeito moderado a forte.

O teste estatístico permitiu concluir que foram encontradas diferenças estatisticamente significativas relativamente à variável dependente IE através dos cinco dispositivos,  $F(4;152)=34,489$ ;  $p < 0,001$ , bem como, diferenças significativas entre as duas categorias de tamanho da mão,  $F(1;38)=4,113$ ;  $p < 0,05$ . A Tabela 7.16 apresenta os resultados das comparações emparelhadas (com correção de Bonferroni, com significância estatística  $p < 0,05$ ). Não se encontrou interação estatisticamente significativa entre os dispositivos e as categorias de tamanho da mão. Para além dos resultados analíticos do teste, o gráfico da Figura 7.12 ilustra essa falta de interação, não se tendo registado qualquer interseção entre as duas linhas relativas às categorias do tamanho da mão. O gráfico da Figura 7.12 permite ainda observar uma tendência global de diminuição do IE com o aumento do ângulo de inclinação da geometria dos dispositivos. Contudo, essa tendência é quebrada pela geometria ak (60°) que apresenta o maior IE relativamente a todas as outras geometrias para a categoria de tamanho da mão superior à média da amostra. O teste revelou que o valor do IE da geometria ak (60°) perde apenas para a geometria mi (0°) na categoria de tamanho da mão inferior à média da amostra, sugerindo que uma geometria ak (60°) de dimensões mais reduzidas pode vir a revelar outro desfecho para esta categoria de tamanho da mão. Note-se que o IE que sofre menos variação relativamente ao tamanho da mão pertence à geometria mi (0°) e no outro extremo situa-se a geometria ak (60°).

Tabela 7.16 - Resultados da análise mista da variância por medidas repetidas (dois grupos), relativa aos indicadores de eficiência (IE) das tarefas ponderadas dos dispositivos e para o software de CAD considerado (n=40).

Variável	ANOVA de medidas repetidas mista (Fator intersujeitos: grupos/categorias de tamanho da mão; fator intrasujeitos: tipo de dispositivo)	Comparações emparelhadas (correção de Bonferroni) ( $p < 0.05$ )
Indicador de Eficiência das tarefas ponderadas (IE)	Dispositivos: $F(4;152)=34,489; p < 0,001$  Categoria tamanho da mão: $F(1;38)=4,113; p < 0,05$	mi-ch; mi-ci; mi-ev ch-ak; ch-ev ci-ak ak-ev

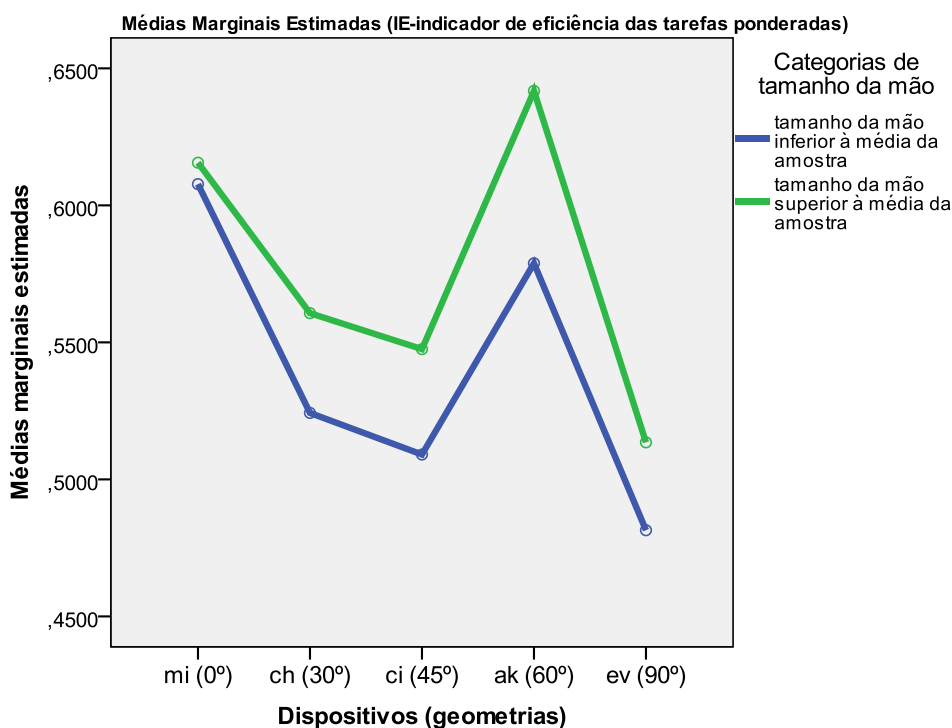


Figura 7.12 - Médias marginais estimadas do IE obtidas em função dos dispositivos apontadores e segundo cada uma das categorias de tamanho da mão.

Na Figura 7.13 pode observar-se a semelhança dos valores do IE entre a geometria mi (0°) e a geometria ak (60°), o mesmo se podendo verificar na Tabela 7.14. Apesar de se terem registado diferenças do IE entre as duas categorias de tamanho da mão (Figura 7.14), entre os pares de dispositivos que apresentam diferenças estatísticas relativamente ao IE (Tabela 7.15), não consta o par mi (0°) – ak (60°). Contudo, e segundo a mesma Tabela 7.15, resultam diferenças estatísticas do IE entre o dispositivo mi (0°) e todos os outros dispositivos, e o mesmo sucede com o dispositivo ak (60°), as diferenças só não são estatisticamente suportadas entre ambos.



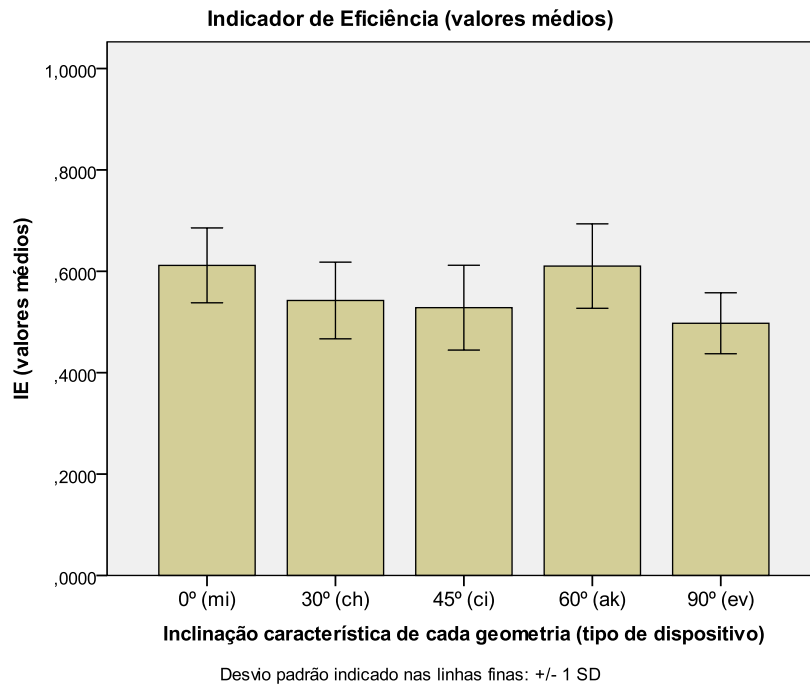


Figura 7.13 - Representação gráfica do valor médio do Indicador de eficiência (IE), dispositivo a dispositivo (geometrias) com indicação do desvio padrão nas agulhetas.

Por outro lado, na Figura 7.14 pode observar-se que as categorias do tamanho da mão, cujas diferenças foram estatisticamente suportadas (Tabela 7.16), contribuem para a variação do IE num mesmo dispositivo. Verifica-se que na categoria de tamanho da mão superior à média da amostra os valores do indicador de eficiência são superiores em todas as geometrias, sendo esse efeito praticamente residual no dispositivo mi (0°). Este mesmo efeito pode também ser visualizado no gráfico da Figura 7.14. Classificando os dispositivos em termos do indicador de eficiência (aplicado a um software de CAD específico), as geometrias desenvolvidas e prototipadas no âmbito desta tese de doutoramento, situam-se entre o dispositivo mi e o dispositivo ak. É também notório, neste estudo, que o dispositivo ev obtém os piores resultados no que diz respeito à eficiência das tarefas ponderadas, comparativamente com os restantes modelos em apreciação.

**Indicador de Eficiência (valores médios), considerando as duas categorias de tamanho da mão**

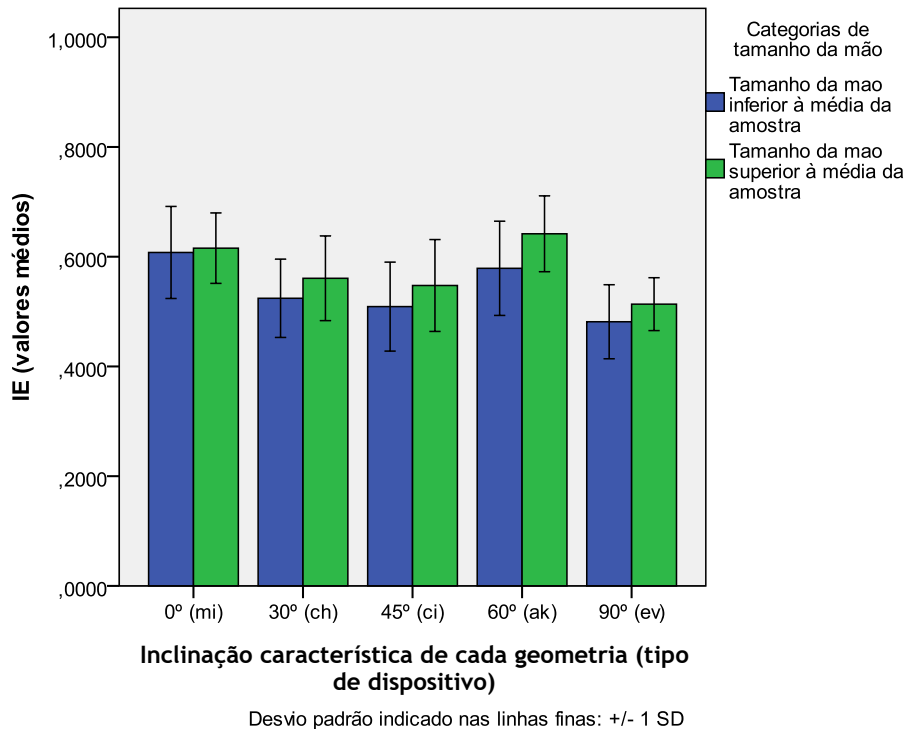


Figura 7.14 - Representação gráfica do Indicador de eficiência (IE), dispositivo a dispositivo (geometrias), e segundo cada uma das categorias de tamanho da mão.

Foram encontradas diferenças nos valores do IE, através dos cinco ratos de computador testados para as tarefas sob interesse. Todavia, os resultados mostram que o desempenho do modelo ak não perde, globalmente, face ao modelo mi. Por outro lado, e apesar dos modelos desenvolvidos e prototipados não disporem de qualidade semelhante relativamente aos modelos comerciais, ao nível dos materiais, mecanismos funcionais, acabamentos, entre outros, apresentaram resultados intermédios dentro do conjunto de geometrias em apreciação.

### 7.3 Avaliação da atividade muscular (S-EMG)

A monitorização e a colheita dos dados relativos à atividade muscular de músculos específicos (selecionados criteriosamente) do antebraço direito dos participantes ocorreu durante a realização dos testes aos cinco dispositivos na fase 2 da experimentação laboratorial (vide cap. 6). Refira-se que a realização dos testes com S-EMG (estudo 2) envolveu 20 participantes (10 do sexo masculino e 10 do sexo feminino) tendo cada sujeito testado os 5 dispositivos manuais apontadores durante 2,5 a 3 h com eléctrodos fixados em localizações precisas na

superfície do seu antebraço. Os músculos monitorizados foram o APL, o ECR, o ECU e o ED. A descrição pormenorizada sobre os métodos e as técnicas utilizados na experiência a partir da qual se fez a colheita dos dados podem ser consultados no cap. 6 - Eletromiografia de superfície para caracterização da atividade muscular do antebraço. Os dados obtidos foram alvo de tratamento preparatório e posteriormente foram realizados diversos testes estatísticos a partir dos dados transformados. A Tabela 7.17 apresenta a informação condensada relativamente a esses mesmos processos de tratamento de dados e aos testes estatísticos cuja análise de resultados se apresenta desenvolvida ao longo da presente secção.

Tabela 7.17 Técnicas estatísticas e outras adotadas na avaliação da atividade muscular de quatro músculos do antebraço.

Procedimento ou Técnica estatística (nível de significância 0,05)	Tipo de análise ou tratamento preparatório para análise estatística posterior ou novo instrumento de avaliação
Pré-tratamento dos dados	Normalização dos dados recolhidos (conversão RMS do sinal instantâneo) de EMG com base nos respetivos valores de MVC (contração voluntária máxima) para cada um dos 4 músculos e para cada indivíduo
Cálculo de valores padrão da Função de Distribuição da Probabilidade da Amplitude (APDF)	Cálculo de valores de APDF 10, 50 e 90 (vide cap. 6, secção 6.7) a partir de 2800 ficheiros resultantes de 7 tarefas, 5 dispositivos, 4 músculos, 20 sujeitos; total de 8400 valores de APDF
Parâmetro de Dinamismo	Cálculo dos valores do novo indicador de dinamismo Din, a partir dos valores de APDF, originando 400 valores por tarefa (vide cap. 6, secção 6.7) $Din_{(dispositivo-tarefa)} = \frac{APDF90_{(disp-tarefa)} - APDF10_{(disp-tarefa)}}{APDF50_{(disp-tarefa)}}$
U de Mann-Whitney (H <sub>0</sub> : são iguais as duas medianas de duas amostras (cat 1 e cat 2) independentes).	Realização de testes não paramétricos de Mann-Whitney para amostras independentes, com foco nas diferenças através das duas categorias do tamanho da mão (abaixo da média e acima da média da amostra) isoladamente através de cada um dos dispositivos (ak, ch, ci, ev e mi)
Tratamento logarítmico	Aplicação da função logaritmo aos dados (transformação para possibilitar a aplicação aos dados de APDF e Din do teste da RM-ANOVA)
RM-ANOVA	Variância da APDF 50 por tarefa através dos dispositivos (fator de interação) (H <sub>0</sub> : as médias são iguais entre dispositivos apontadores)
	Variância de Din por tarefa através dos dispositivos (fator de interação) (H <sub>0</sub> : as médias são iguais entre dispositivos apontadores)
Correlação de Pearson	Associação entre o parâmetro Din relativo a cada músculo e a eficiência alcançada na tarefa com cada dispositivo

Com a finalidade de estudar a influência das dimensões da mão na atividade de quatro músculos específicos utilizados no controlo de determinados movimentos da mão, durante a realização das tarefas de teste aos dispositivos manuais apontadores, procedeu-se a um estudo estatístico específico. As Figuras 7.15 a 7.21 apresentam gráficos de atividade muscular, da mão direita, dos músculos APL, ECR, ECU e ED, expressa em APDF 10, 50 e 90, bem como, da dinâmica da atividade muscular (Din = (APDF90-APDF10)/APDF50) relativamente a cada uma das tarefas do teste. Tendo em conta a deteção de não normalidade das variáveis

APDF e Din, estes gráficos são suportados por testes não paramétricos para amostras independentes de Mann-Whitney, com foco nas diferenças através das duas categorias consideradas para o tamanho da mão (abaixo da média e acima da média da amostra) isoladamente através de cada um dos dispositivos (ak, ch, ci, ev e mi). As barras verticais a traço fino representam intervalos de confiança a 95%. Para os dispositivos assinalados com (\*) foram atingidas diferenças estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ) na variável em foco, através das duas categorias de tamanho da mão. Por forma a facilitar e a sistematizar a análise dos resultados do teste de Mann-Whitney, apresenta-se a Tabela 7.18. Assinala-se nesta cada uma das diferenças estatisticamente significativas detetadas entre as duas categorias de tamanho da mão, por entre as variáveis relativas à atividade muscular registada em cada tarefa (APDF e Din) para cada um dos quatro músculos monitorizados (APL, ECR, ECU e ED) enquanto os participantes testavam cada um dos dispositivos.

A maioria das comparações das quais resulta a rejeição estatisticamente significativa da hipótese nula ( $H_0$  propõe a ausência de diferenças entre as duas categorias do tamanho da mão) ocorre para os músculos APL e ECU, em quase todas as tarefas, com exceção da tarefa de *Scroll* (Tabela 7.18). Nesta tarefa a rejeição estatisticamente significativa da hipótese nula ocorre para o músculo ED (Tabela 7.18 e Figura 7.21), o que não causa surpresa visto ser esta uma tarefa realizada quase exclusivamente com o dedo indicador (ou dedo médio nalguns casos). O músculo ECU e as tarefas de apontar e seleccionar correspondem, respetivamente, ao músculo e ao grupo de tarefas onde se nota mais efeitos estatisticamente significativos na atividade eletromiográfica decorrentes da variação da categoria do tamanho da mão, sem alterar o tipo de dispositivo. Nesta combinação de músculo e subgrupo de tarefas, a categoria de tamanho da mão acima da média apresenta na maioria dos casos (incluindo aqueles em que se reporta nos gráficos resultados estatisticamente significativos conducentes à rejeição da hipótese nula supracitada) valores médios mais baixos de atividade eletromiográfica do que a de tamanho da mão abaixo da média. Por outro lado, nas tarefas de apontar e seleccionar alvos de maiores dimensões (*pointing large*) e arrastar alvos utilizando o botão central do rato (*dragging middle*) e para o músculo ECU, casos em que para a variável Din a rejeição da hipótese nula só não se registou no dispositivo ak, a categoria de tamanho da mão acima da média da amostra apresenta valores médios mais elevados de dinamismo muscular (Din). Este efeito pode ser observado nas Figuras 7.15 e 7.19 por comparação entre as duas categorias do tamanho da mão para cada um e o mesmo rato (ch, ci, ev e mi). Ainda em relação ao indicador do dinamismo muscular (Din), pode-se observar nas Figuras 7.15 a 7.17 que o seu valor médio é superior para a categoria de tamanho da mão superior à média da amostra, praticamente em todos os casos. Este estudo sugere que o tamanho da mão em relação ao tamanho da geometria do dispositivo apontador pode ter impacto na atividade de alguns músculos específicos do antebraço nomeadamente, no APL e no ECU.

Tabela 7.18 - Diferenças estatisticamente significativas nos valores médios de APDF10, 50 e 90 e do novo indicador Din, por músculo (APL, ECR, ECU e ED), por tarefa e por dispositivo, com teste U de Mann-Whitney para duas amostras independentes (duas categorias de tamanho da mão).

Tarefas	Variável	Músculos e dispositivos apontadores																							
		APDF (% de MVC) Din(adimensional)	APL					ECR					ECU					ED							
			ak	ch	ci	ev	mi	ak	ch	ci	ev	mi	ak	ch	ci	ev	mi	ak	ch	ci	ev	mi			
<i>Pointing large</i> (Figura 7.15)	APDF 10			x		x							x	x	x	x	x								
	APDF 50	x		x		x							x	x	x	x	x								
	APDF 90	x		x		x									x	x	x								
	Din												x	x	x	x									
<i>Pointing médium</i> (Figura 7.16)	APDF 10	x		x		x							x	x	x	x	x								
	APDF 50	x	x	x		x							x	x	x	x	x								
	APDF 90	x	x	x		x							x	x	x	x	x								
	Din														x		x								
<i>Pointing small</i> (Figura 7.17)	APDF 10	x	x	x		x							x	x	x	x	x								
	APDF 50	x	x	x	x	x							x	x	x	x	x								
	APDF 90	x	x	x	x	x							x	x	x	x	x								
	Din																						x		
<i>Dragging left</i> (Figura 7.18)	APDF 10			x		x			x				x	x	x	x	x							x	
	APDF 50	x		x		x			x				x	x	x	x	x								
	APDF 90			x		x							x		x	x									
	Din								x														x		
<i>Dragging middle</i> (Figura 7.19)	APDF 10		x	x	x	x							x	x	x	x	x								
	APDF 50	x	x	x	x	x							x	x	x	x	x								
	APDF 90		x	x		x										x	x								
	Din													x	x	x	x						x		
<i>Steering</i> (Figura 7.20)	APDF 10		x	x	x	x							x	x	x	x	x								
	APDF 50	x	x	x	x	x							x	x	x	x	x								
	APDF 90	x	x	x	x	x									x	x	x								
	Din													x			x					x	x		
<i>Scroll</i> (Figura 7.21)	APDF 10					x															x	x	x	x	x
	APDF 50																				x	x	x	x	x
	APDF 90																				x	x	x	x	x
	Din																								

Diferenças ( $p < 0,05$ ) entre as duas categorias de tamanho da mão, assinaladas com X

(A categoria de tamanho da mão acima da média apresenta na maioria dos casos valores médios mais baixos de atividade eletromiográfica do que a de tamanho da mão abaixo da média)

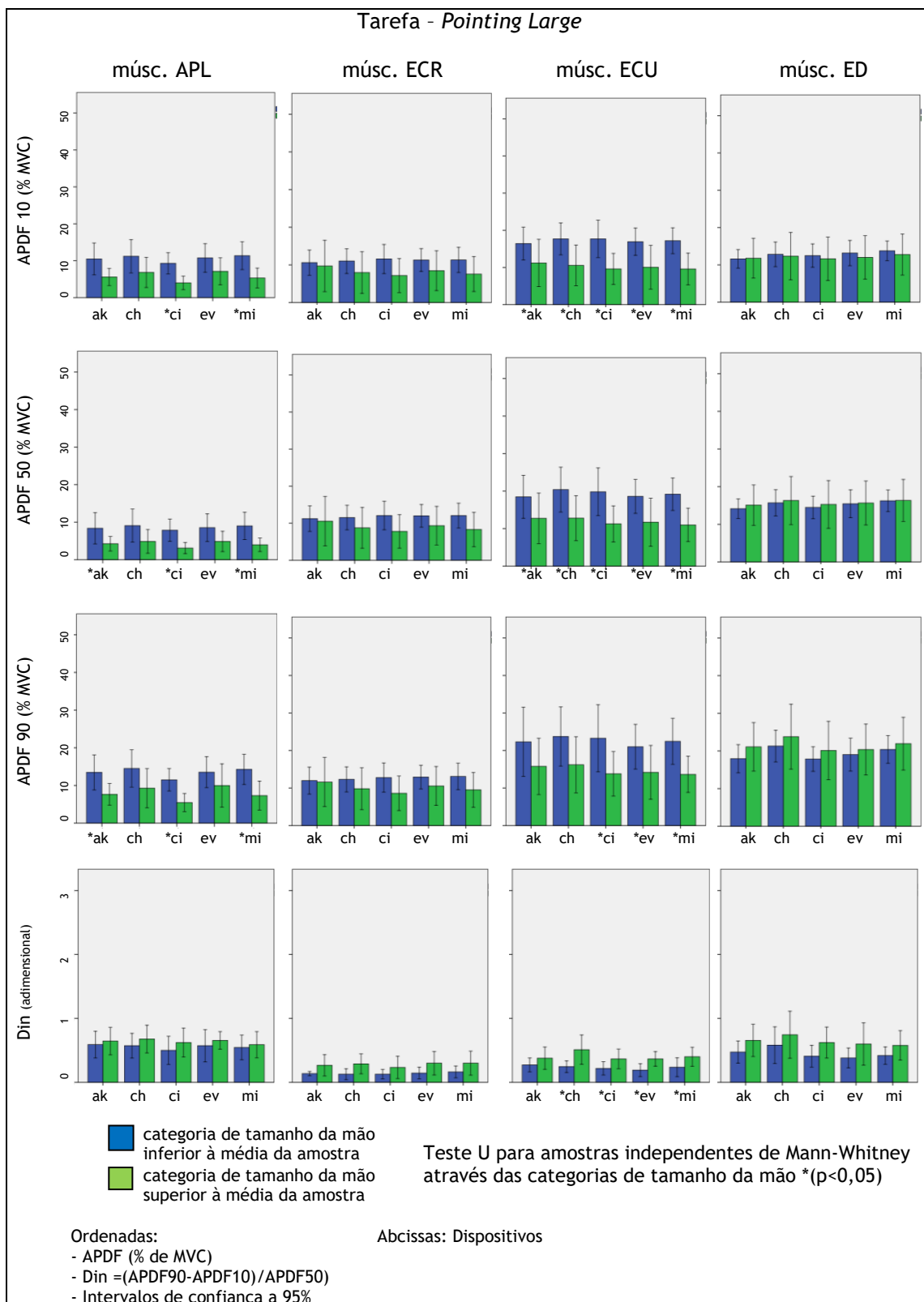


Figura 7.15 - Tarefa de *Pointing Large* (intervalos de confiança a 95% de APDF 10, 50, 90 e dinamismo eletromiográfico Din por categoria de tamanho da mão e para cada um dos 5 dispositivos).

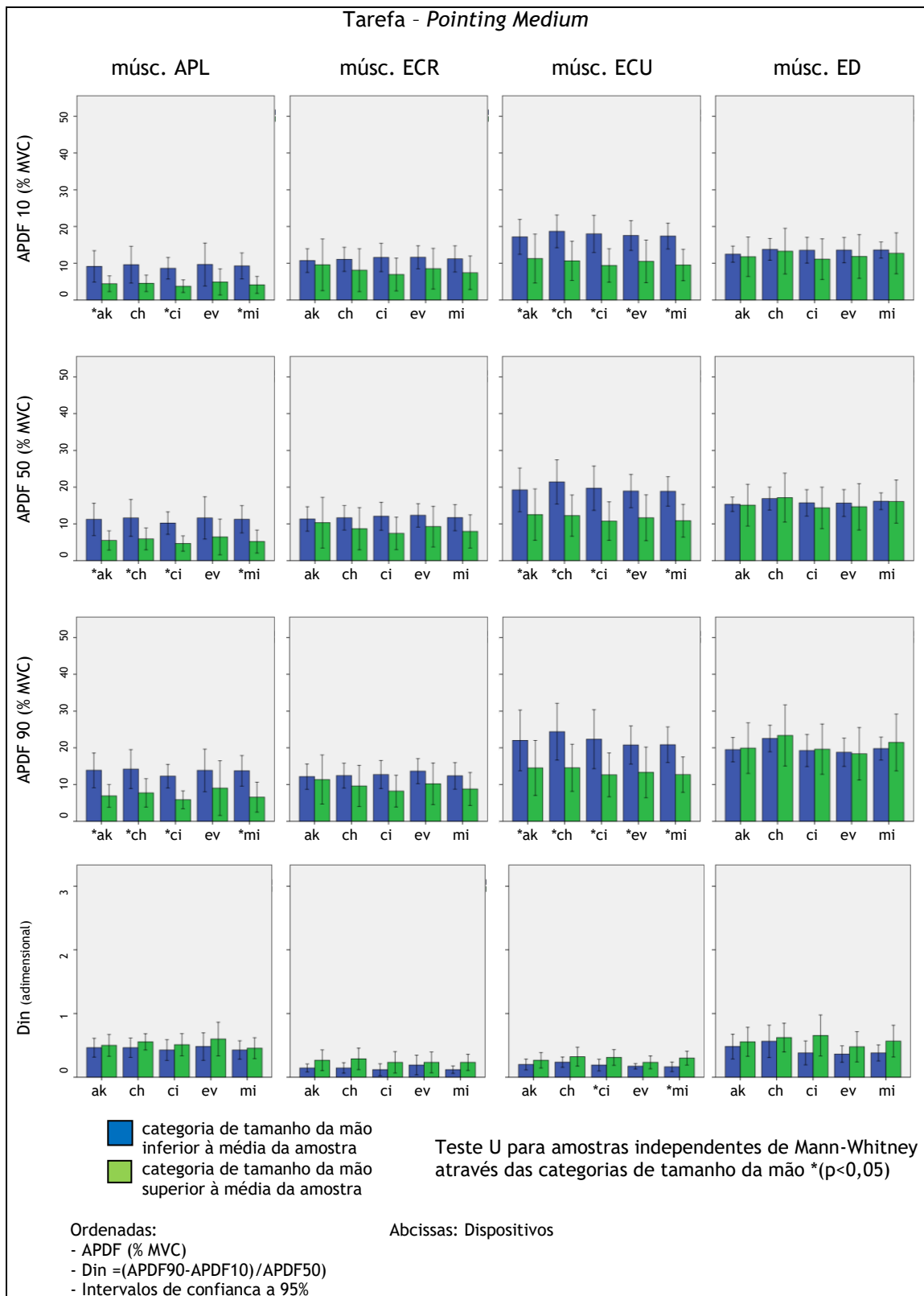


Figura 7.16 - Tarefa de *Pointing Medium* (intervalos de confiança a 95% de APDF 10, 50, 90 e dinamismo eletromiográfico Din por categoria de tamanho da mão e para cada um dos 5 dispositivos).

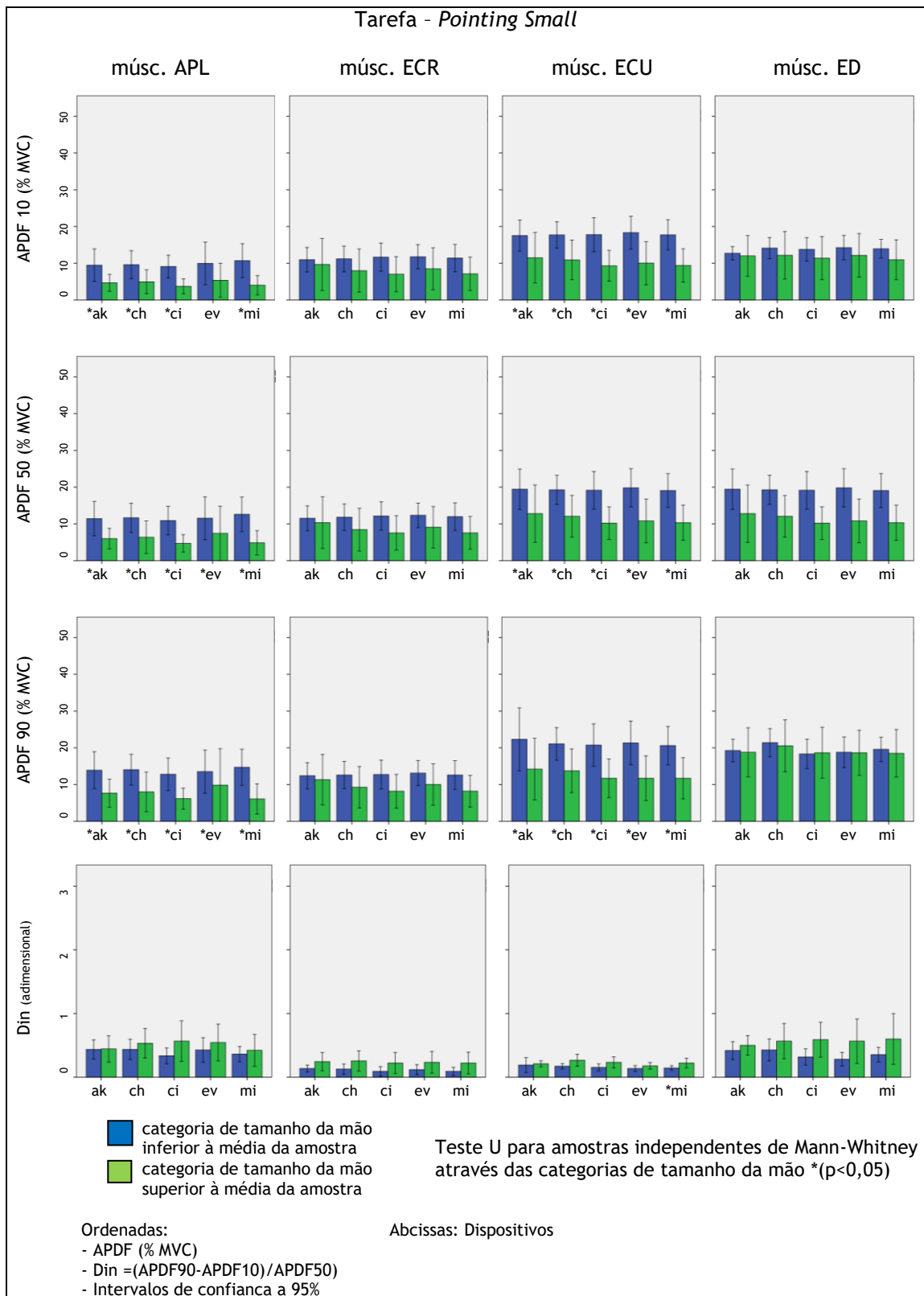


Figura 7.17- Tarefa de *Pointing Small* (intervalos de confiança a 95% de APDF 10, 50, 90 e dinamismo eletromiográfico Din por categoria de tamanho da mão e para cada um dos 5 dispositivos).



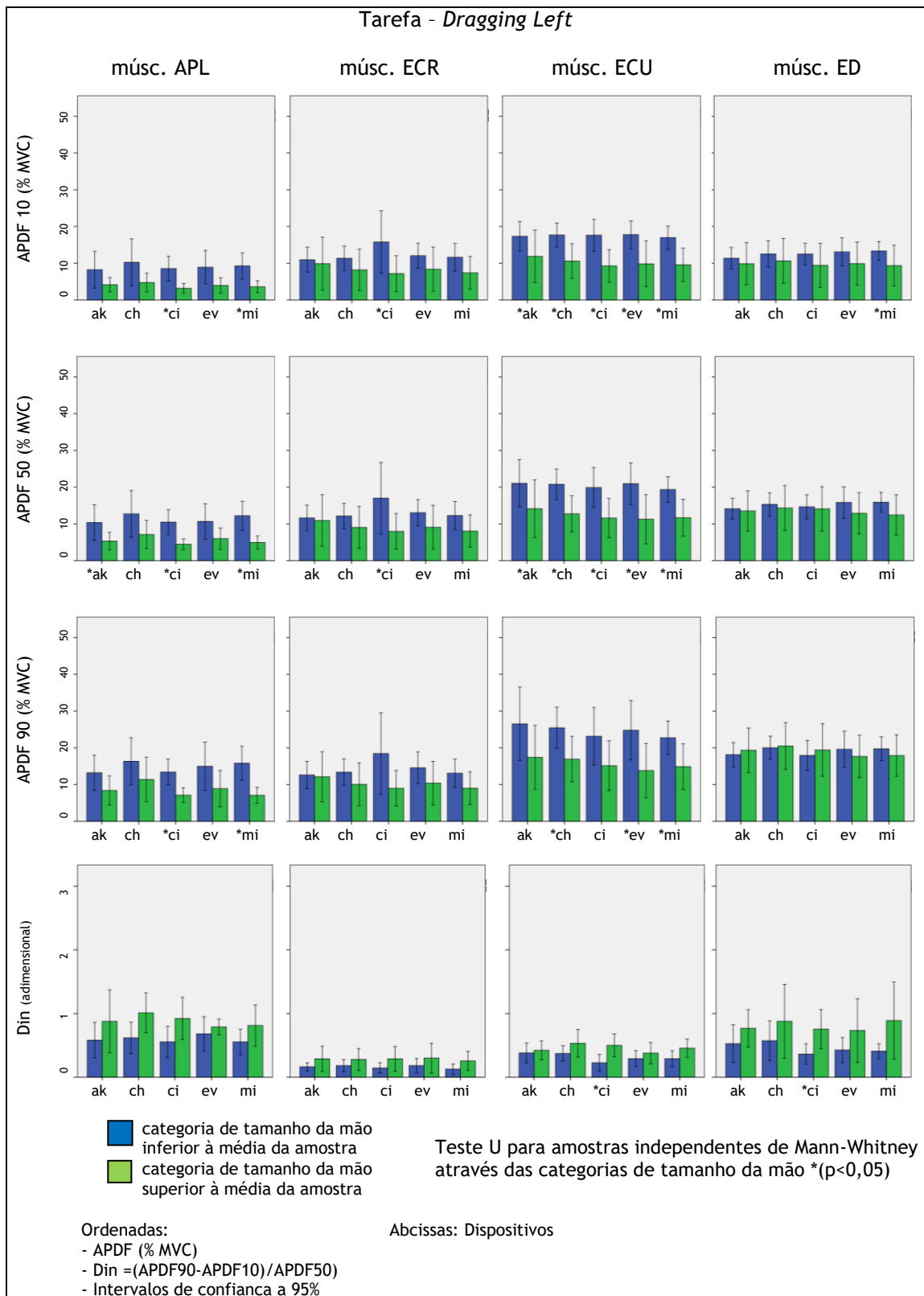


Figura 7.18 - Tarefa de *Dragging Left* (intervalos de confiança a 95% de APDF 10, 50, 90 e dinamismo eletromiográfico Din por categoria de tamanho da mão e para cada um dos 5 dispositivos).

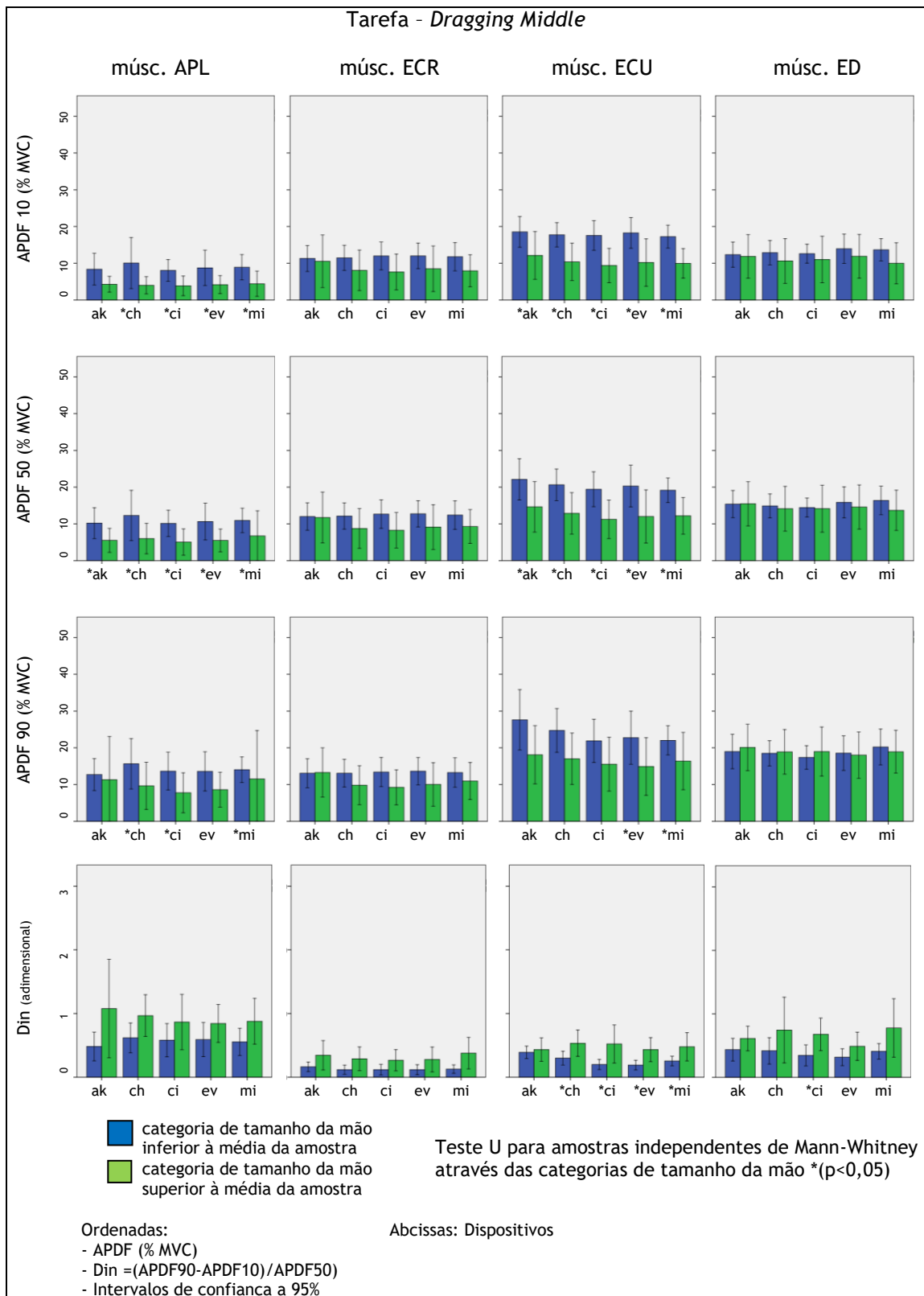


Figura 7.19 - Tarefa de *Dragging Middle* (intervalos de confiança a 95% de APDF 10, 50, 90 e dinamismo eletromiográfico Din por categoria de tamanho da mão e para cada um dos 5 dispositivos).

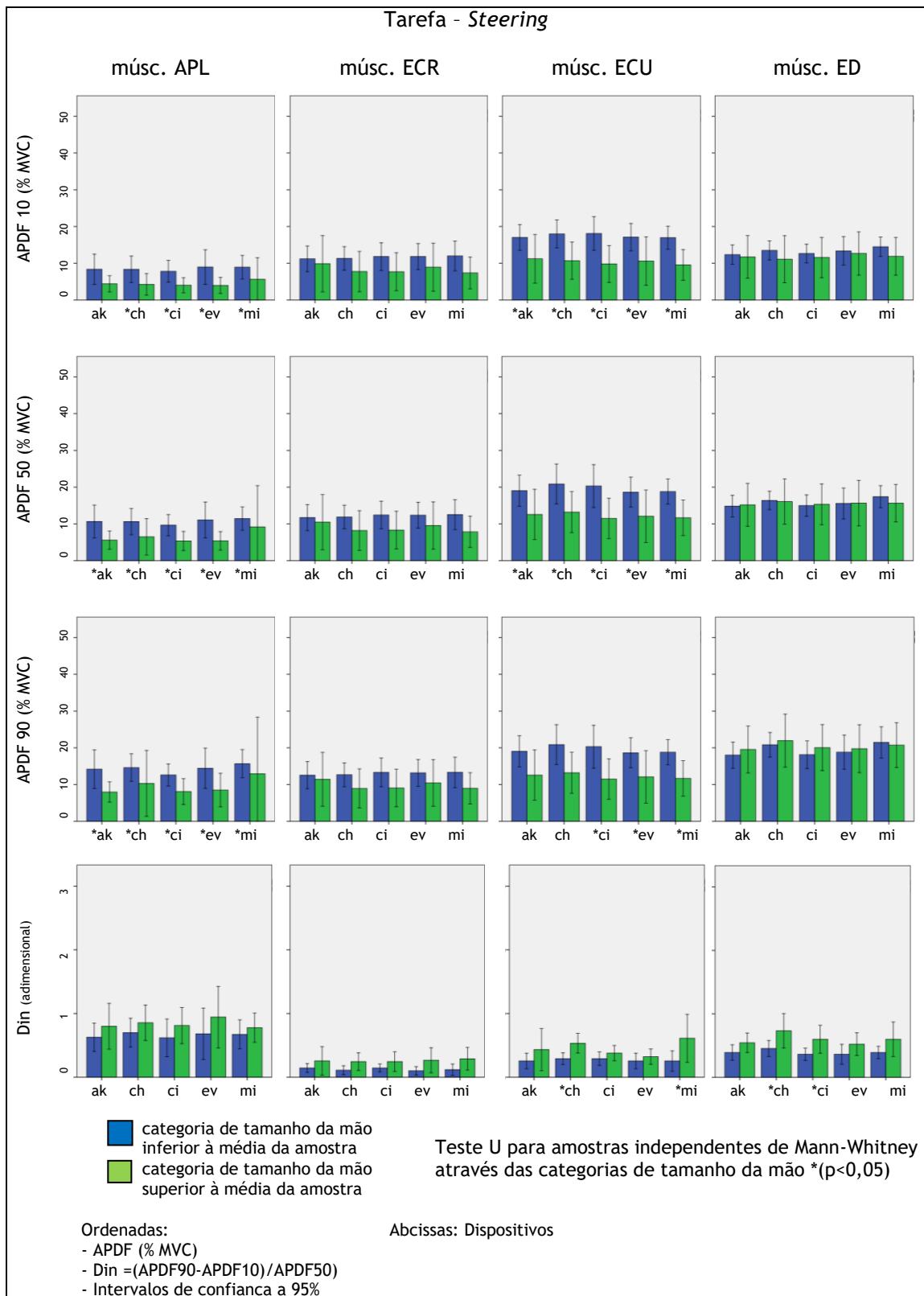


Figura 7.20 - Tarefa de *Steering* (intervalos de confiança a 95% de APDF 10, 50, 90 e dinamismo eletromiográfico Din por categoria de tamanho da mão e para cada um dos 5 dispositivos).

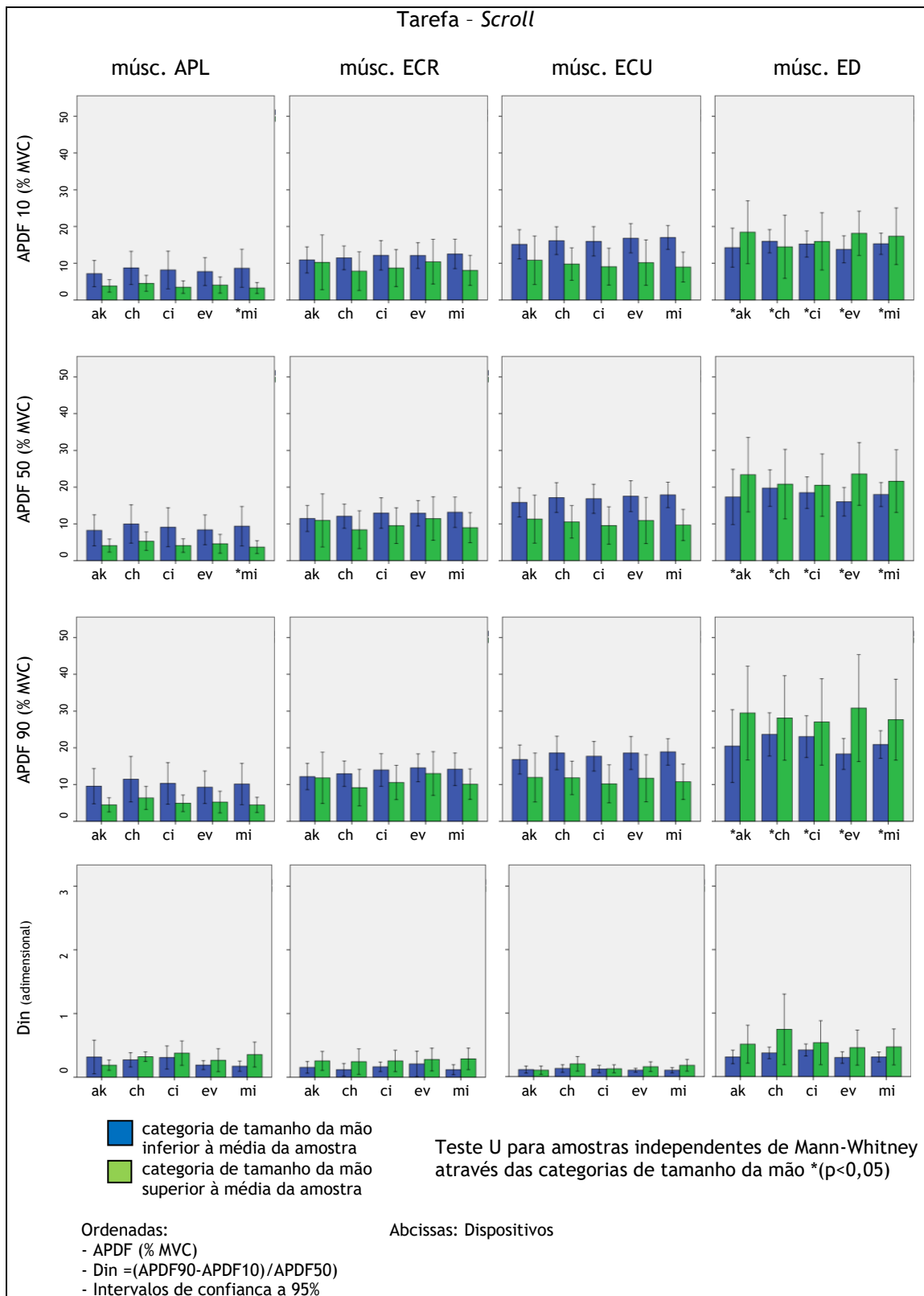


Figura 7.21 - Tarefa de *Scroll* (intervalos de confiança a 95% de APDF 10, 50, 90 e dinamismo eletromiográfico Din por categoria de tamanho da mão e para cada um dos 5 dispositivos).

A partir da informação obtida após a realização do teste U de Mann-Whitney optou-se por realizar dois estudos separados, um para cada categoria do tamanho da mão, contemplando APDF 50 e din. Começando pela categoria do tamanho da mão inferior à média da amostra, e pelo facto da quase totalidade das variáveis terem falhado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, tornou-se necessário proceder à transformação logarítmica (por logaritmo neperiano ou natural) desses dados, tal como efetuado por Heilskov-Hansen (2014) e Pereira (2013). Seguidamente, e após reiteração do teste de normalidade, apenas 24 variáveis em 280 (cerca de 8,6%) falharam o mesmo, encontrando-se atomizadas por tipo de dispositivo (5), músculo (4), tarefa (7) e APDF50/Din (2). Desta feita, considerou-se a natureza global do acervo de variáveis englobado nestes testes de normalidade como normal ou gaussiana e prosseguiu-se com o teste de esfericidade (homogeneidade de covariância), a etapa seguinte do processo de verificação das condições necessárias para a análise de variância de medições repetidas (RM-ANOVA). Reunidas as condições necessárias, avançou-se para a análise RM-ANOVA (adotando o critério de significância estatística de  $p < 0,05$ ). Após a análise, considerando as variáveis APDF50 para todas as tarefas, para todos os 4 músculos, e a categoria tamanho da mão abaixo da média, não se encontrou qualquer interação estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ) do fator tipo de dispositivo nos resultados obtidos. Estes resultados prender-se-ão, em parte, com o reduzido número de sujeitos incluídos na análise ( $n=11$ ). Sendo a amostra complementar (sujeitos com tamanho da mão acima da média) composta por apenas 9 indivíduos, optou-se por não realizar o mesmo tipo de análise estatística a este subgrupo de participantes. Ainda relativamente às variáveis relativas à dinâmica muscular (Din), dado estas derivarem dos valores de EMG expressos em percentagem de MVC, e não tendo sido detetadas diferenças significativas a partir dos valores de APDF50, tal como já referido, optou-se, igualmente, por não realizar a análise da dinâmica muscular RM-ANOVA para este subgrupo ( $n=11$ ) nem para o seu complementar ( $n=9$ ).

De acordo com o exposto, procedeu-se à análise de variância RM-ANOVA apenas para os dados de APDF50 e de Din para toda a amostra ( $n=20$ ) neste âmbito do estudo eletromiográfico, utilizando como fator de interação o tipo de dispositivo, sem considerar o efeito do tamanho da mão. Tal como anteriormente, e por motivo da não normalidade dos dados eletromiográficos, tornou-se necessário proceder à transformação logarítmica dos dados. Seguidamente, e após reiteração do teste de Shapiro-Wilk apenas falharam o teste 22 variáveis das 140 do tipo APDF (cerca de 15,7%), e 18 variáveis do tipo Din (cerca de 12,9%). Considerou-se assim o acervo de distribuições como maioritariamente normal e prosseguiu-se com o teste de esfericidade (homogeneidade de covariância). Reunidas as condições necessárias, avançou-se para a análise RM-ANOVA, tendo sido aplicada, complementarmente, a correção de Bonferroni para a análise das comparações emparelhadas, por forma a identificar pares de dispositivos com não igualdade de distribuição estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ) em termos de atividade eletromiográfica na realização da mesma

tarefa. Como resultados desta análise foram detetados os efeitos estatisticamente significativos seguintes (Tabela 7.19):

- 4 efeitos do fator tipo de dispositivo para o músculo ECU;
- 4 efeitos do fator tipo de dispositivo para o músculo ED, na variável Din (dinâmica eletromiográfica) exclusivamente;
- um efeito em amplitude APDF50 para o músculo APL;
- sem efeitos registados relativamente ao músculo ECR.

Seguidamente os dados foram novamente linearizados para efeitos de ilustração gráfica através da função exponencial. Os gráficos das Figuras 7.22 a 7.28 mostram os efeitos reportados contemplando um tipo de tarefa por Figura. Os resultados dos testes aos efeitos e as igualdades entre distribuições estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ ) estão anotados nos gráficos, quer em termos do *F-ratio* (coeficiente entre as variâncias do efeito e do erro) quer relativamente às comparações emparelhadas entre dispositivos para as variáveis eletromiográficas nas quais se reporta um efeito significativo do fator tipo de dispositivo.

Tabela 7.19 - Efeitos do fator tipo de dispositivo para os músculos APL, ECR, ECU e ED considerando as variáveis eletromiográficas APDF 50 e o novo indicador de dinamismo muscular Din por tarefa, com teste RM-ANOVA.

Tarefas	Variável de atividade muscular	Efeitos do fator tipo de dispositivo ( $p < 0,05$ ) e comparações emparelhadas ( $p < 0,05$ )			
		músculo APL	músculo ECR	músculo ECU	músculo ED
<i>Pointing large</i> (Figura 7.22)	APDF50	*			
	Din				ch-ci ch-ev ch-mi
<i>Pointing médium</i> (Figura 7.23)	APDF50				
	Din				ch-ev
<i>Pointing small</i> (Figura 7.24)	APDF50				
	Din				
<i>Dragging left</i> (Figura 7.25)	APDF50				
	Din				
<i>Dragging middle</i> (Figura 7.26)	APDF50			ak-ci ch-ci	
	Din			ak-ev ch-ev	*
<i>Steering</i> (Figura 7.27)	APDF50			ch-ci	
	Din			ch-ev	
<i>Scroll</i> (Figura 7.28)	APDF50				
	Din				ch-ev

Dispositivos: ak, ch, ci, ev, mi

\* verificado o efeito do fator tipo de dispositivo embora não se tenha encontrado significância para quaisquer pares ( $p < 0,05$ )

Utiliza-se a informação contida na Tabela 7.19 e nas Figuras 7.22 a 7.28 para comentar os casos em que ocorreu significância estatística entre pares de dispositivos. Assim, na Figura 7.22, que ilustra os valores médios da variável eletromiográfica APDF e Din (músculo ED) relativamente à tarefa de apontar e selecionar alvos maiores (*pointing large*), pode observar-se que o nível médio do dinamismo muscular (Din) para a geometria ch é superior ao observado para a geometria ci, bem como superior ao observado para a geometria mi. Embora este resultado possa dever-se ao maior valor médio de APDF 90 registado para o dispositivo ch face ao valor médio registado para o dispositivo ci, o mesmo parece não acontecer em relação à geometria mi. O nível médio semelhante de APDF 90 entre as geometrias ch e mi (Figura 7.22) parece favorecer a primeira (ch) quanto ao dinamismo do músculo ED na tarefa de *pointing large*. Na Figura 7.23, que ilustra os valores médios da variável eletromiográfica APDF e Din relativamente à tarefa *pointing medium*, pode observar-se, para o músculo ED, que o nível médio relativo ao dinamismo muscular (Din) da geometria ch é superior ao da geometria ev. Embora este resultado possa dever-se ao maior valor médio de APDF 90 do dispositivo ch face ao dispositivo ev. Quanto à tarefa de arrastar alvos com o botão central do dispositivo (*dragging middle*), observando a Figura 7.26 contacta-se, para o músculo ECU, que o nível médio do indicador Din relativo à geometria ch é superior ao nível médio do Din relativo à geometria ev e semelhante ao nível médio do indicador Din relativo à geometria ak. Na mesma Figura 7.26 e para o mesmo músculo ECU, observa-se que o nível médio do APDF 50 relativo à geometria ch é superior ao nível médio do APDF 50 relativo à geometria ci. O mesmo acontece com todos os outros indicadores para o mesmo par de dispositivos, músculo e tarefa. Observando agora a Figura 7.27, para a tarefa de conduzir alvos (*steering*) parece ocorrer em relação ao mesmo músculo ECU, o mesmo tipo de efeitos que ocorreram na tarefa de *dragging middle*, entre a geometria ch e a geometria ev quanto ao parâmetro Din, e entre a geometria ch e ci quanto ao parâmetro APDF 50. Finalmente, pode observar-se na Figura 7.28, para o músculo ED, e a tarefa de *scroll*, que o nível médio do indicador Din relativo à geometria ch é superior ao nível médio do indicador Din relativo à geometria ev, sugerindo que as pequenas diferenças registadas nos valores médios dos parâmetros APDF (10, 50 e 90) entre estas duas geometrias podem favorecer, comparativamente, a geometria ch face à geometria ev na tarefa de *scroll* no que respeita à atividade do músculo ED.

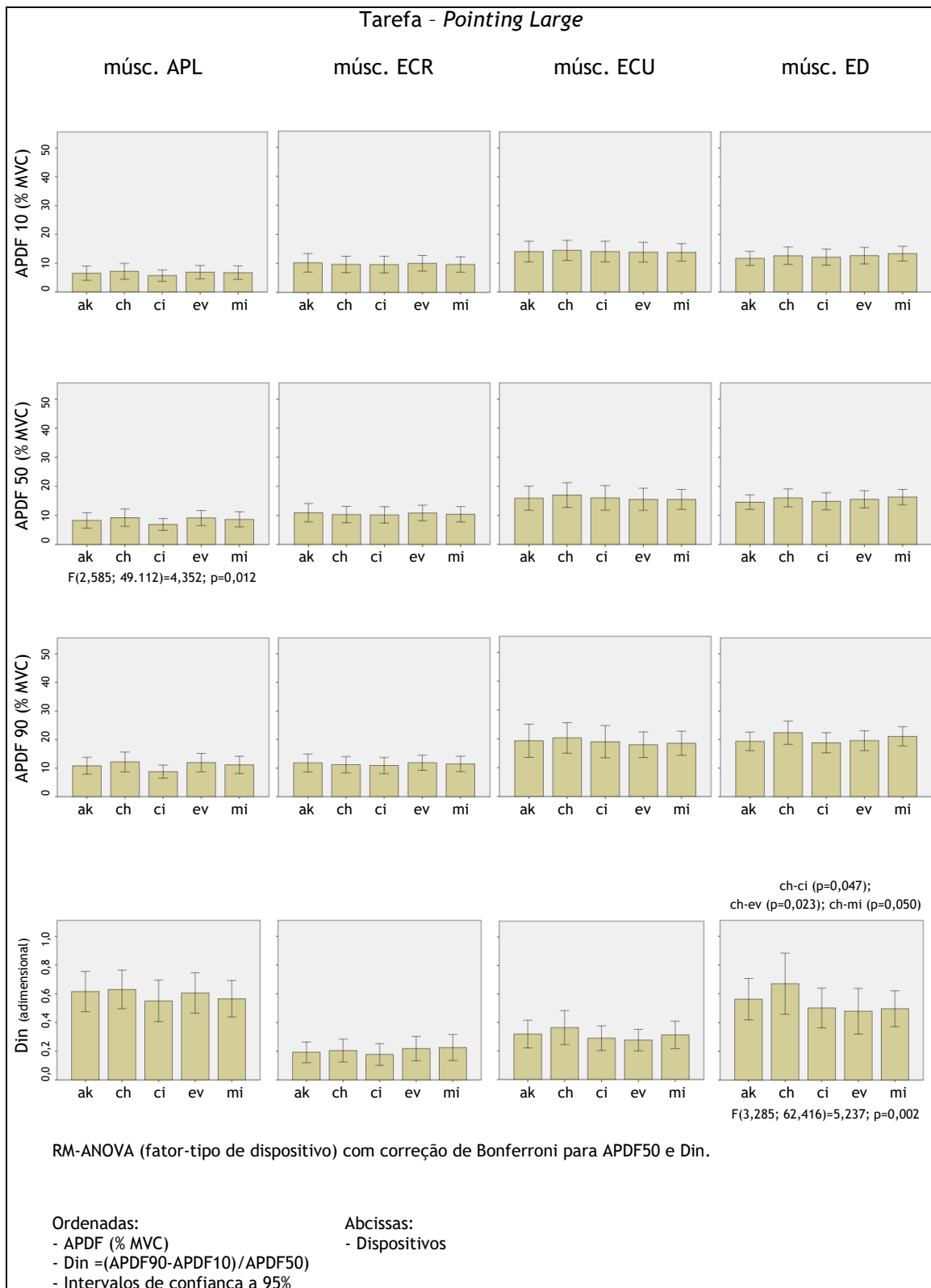


Figura 7.22 - Tarefa de *Pointing Large* (valores médios e intervalos de confiança a 95% de APDF 10, 50, 90 e dinamismo eletromiográfico Din por dispositivo).



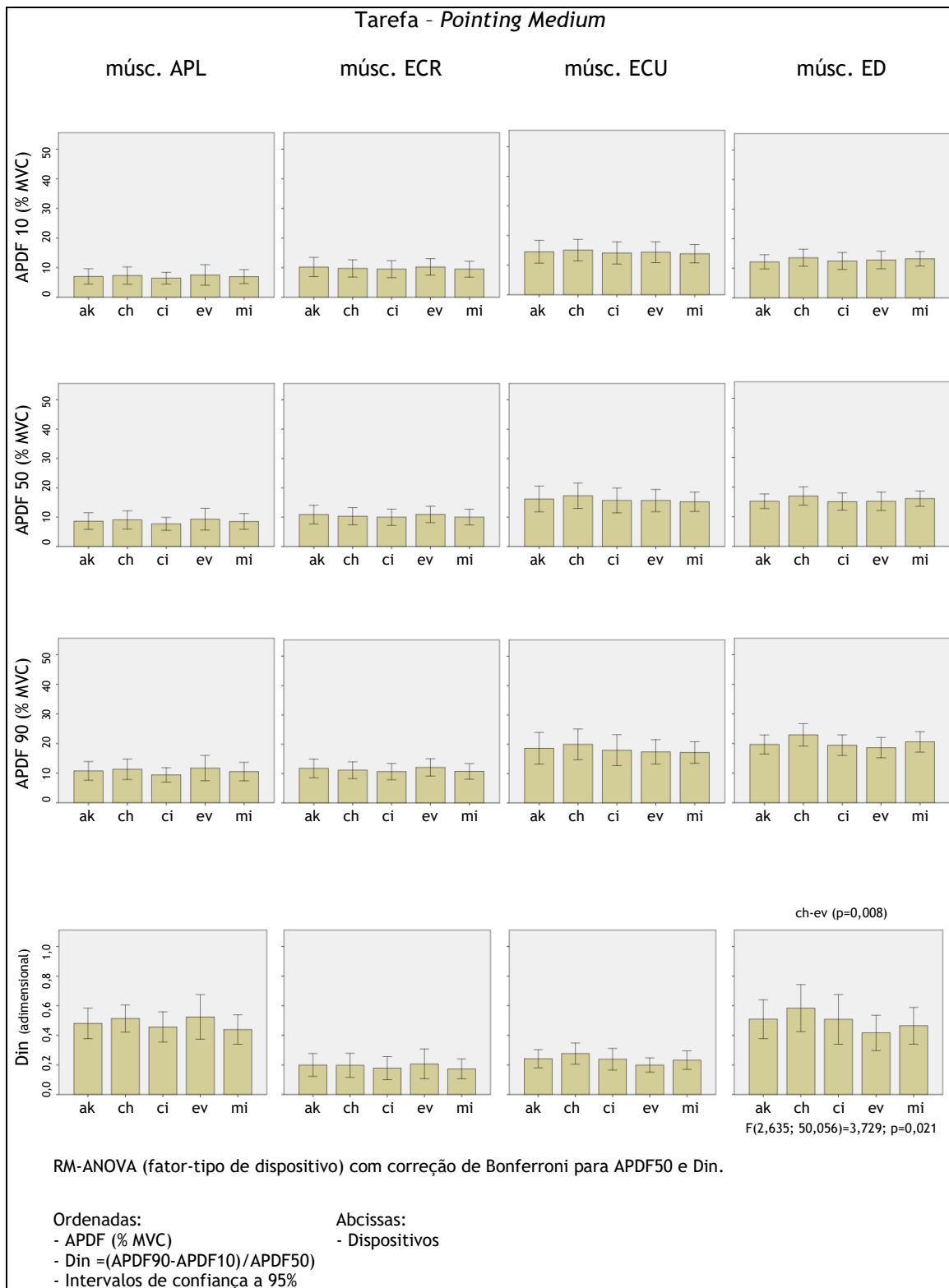


Figura 7.23 - Tarefa de *Pointing Medium* (Valores médios e intervalos de confiança a 95% de APDF 10, 50, 90 e dinamismo eletromiográfico Din por dispositivo).



Figura 7.24 - Tarefa de *Pointing Small* (valores médios e intervalos de confiança a 95% de APDF 10, 50, 90 e dinamismo eletromiográfico Din por dispositivo).

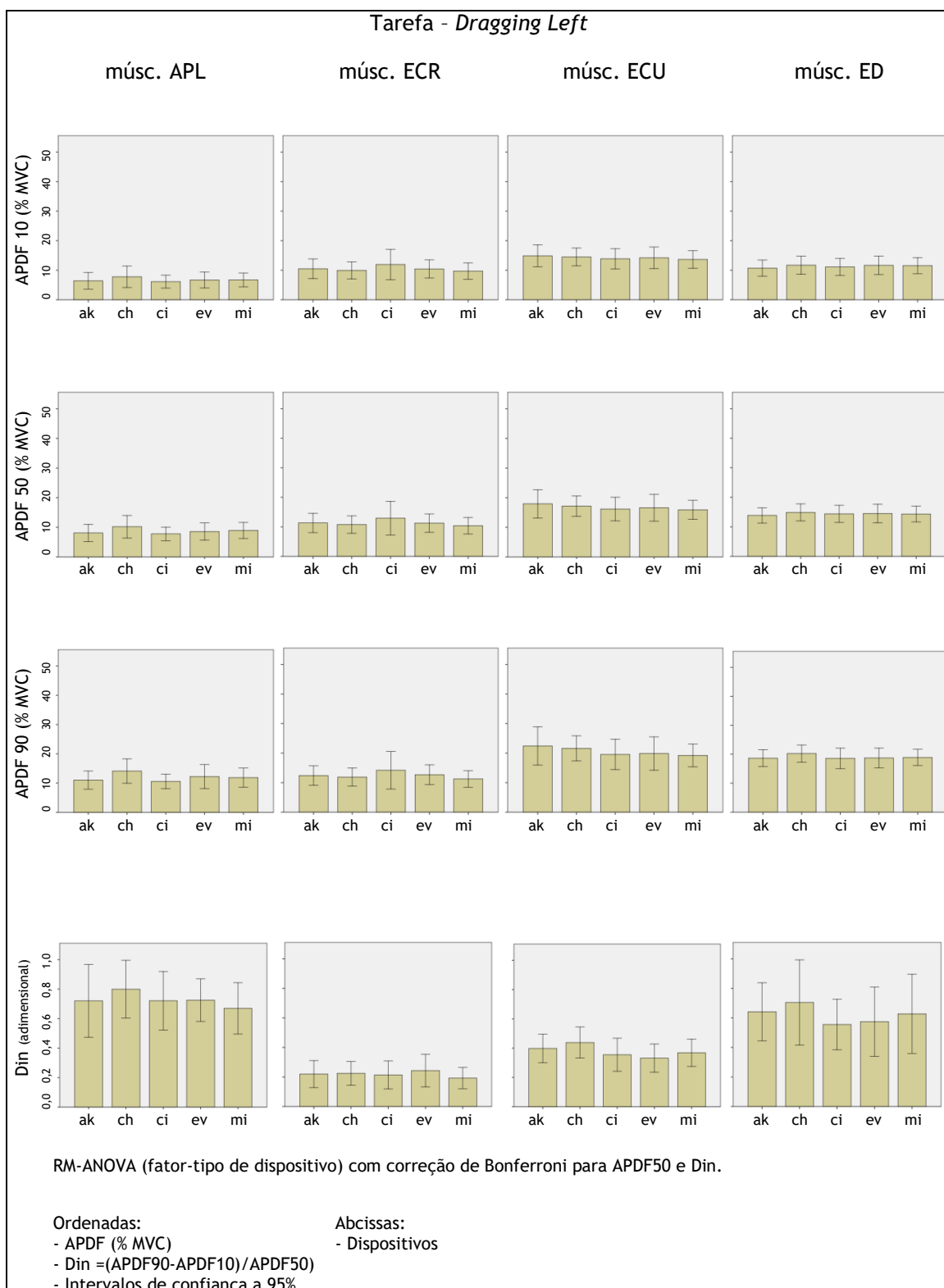


Figura 7.25 - Tarefa de *Dragging Left* (valores médios e intervalos de confiança a 95% de APDF 10, 50, 90 e dinamismo eletromiográfico Din por dispositivo).

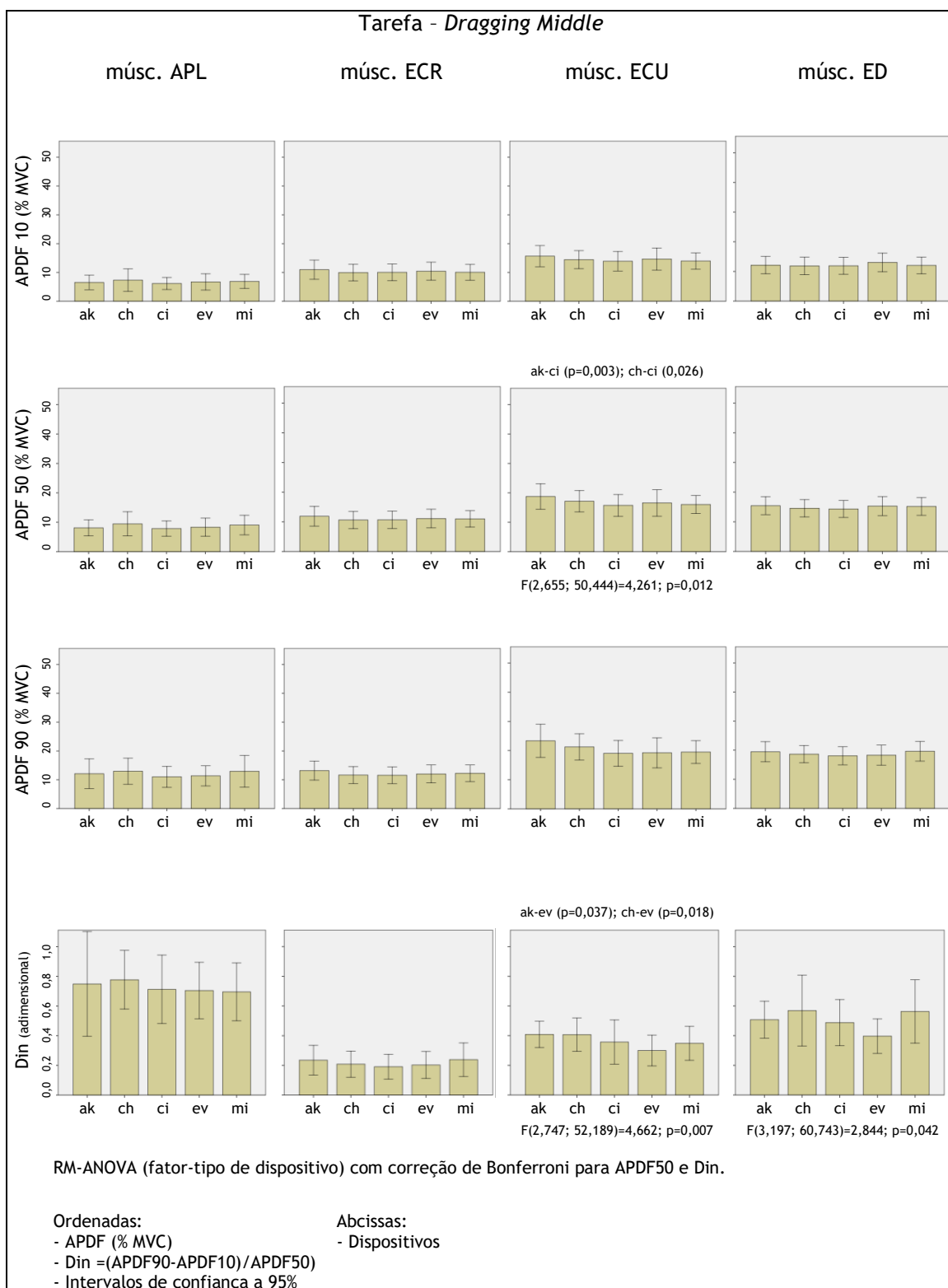


Figura 7.26 - Tarefa de *Dragging Middle* (valores médios e intervalos de confiança a 95% de APDF 10, 50, 90 e dinamismo eletromiográfico Din por dispositivo).

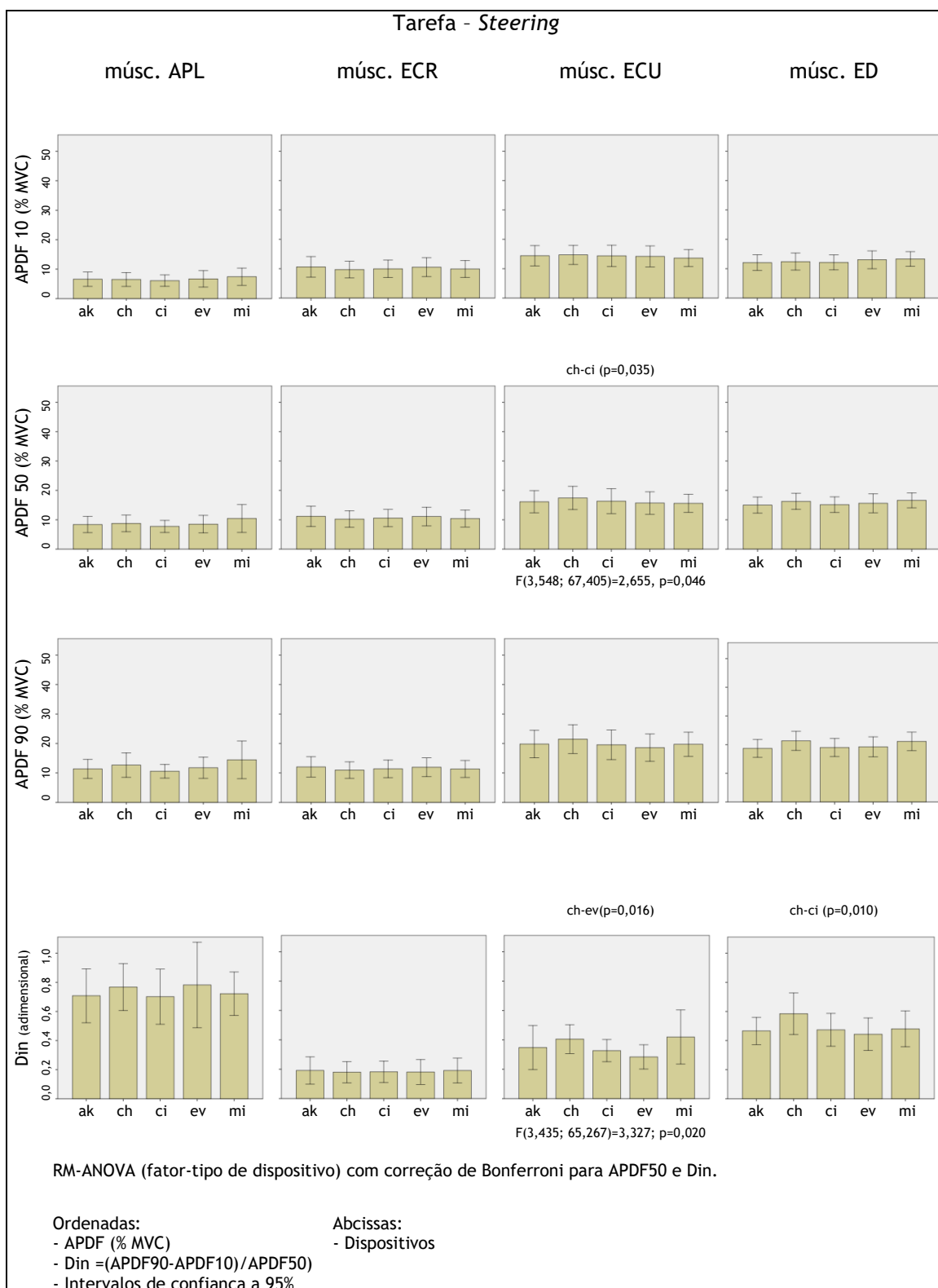


Figura 7.27 - Tarefa de *Steering* (valores médios e intervalos de confiança a 95% de APDF 10, 50, 90 e dinamismo eletromiográfico Din por dispositivo).

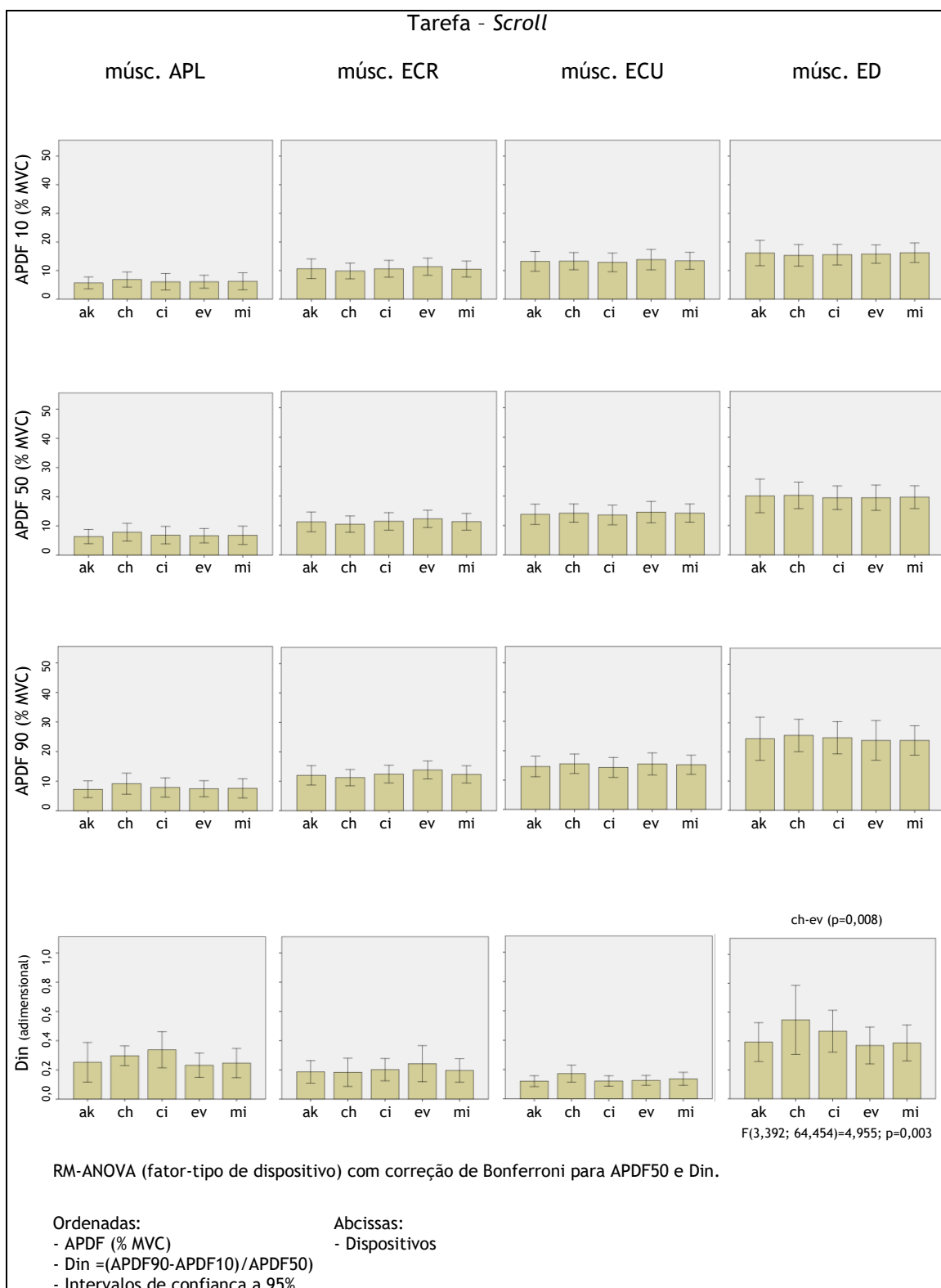
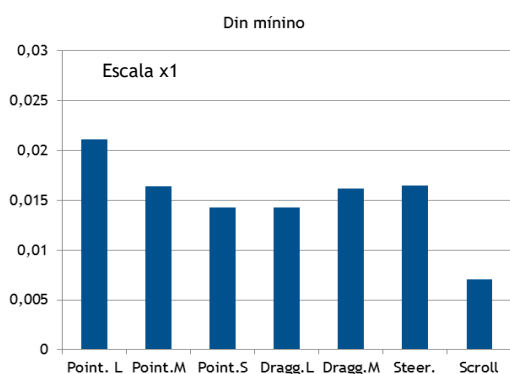


Figura 7.28 - Tarefa de *Scroll* (valores médios e intervalos de confiança a 95% de APDF 10, 50, 90 e dinamismo eletromiográfico Din por dispositivo).

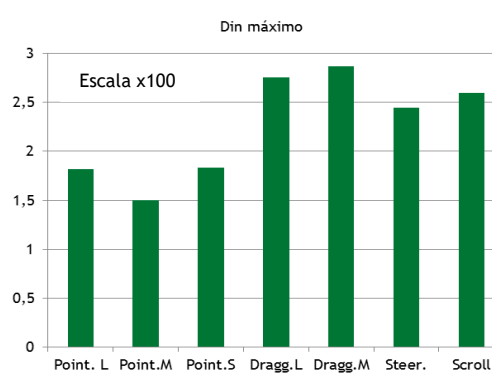
O parâmetro Din, desenvolvido durante o processo de investigação conduzido no âmbito da presente tese ( $Din = (APDF90 - APDF10) / APDF50$ ), constitui um indicador de atividade muscular dinâmica, a sua caracterização encontra-se exposta no capítulo 6, na secção 6.7. Com o intuito de caracterizar as tarefas de teste quanto ao dinamismo da atividade muscular agrupando os dados relativos aos músculos APL, ECR, ECU e ED, foram calculados os valores mínimos, médios e máximos do dinamismo muscular para todos os dispositivos, todos os músculos e sujeitos da amostra, sem diferenciação, perfazendo 400 valores por tarefa (Tabela 7.20). Quanto menor for o valor de Din mais estática será a atividade muscular, permanecendo aquela com pouca variação a maior parte do tempo, e quanto maior for esse valor mais dinâmica (e menos nefasta para a saúde) será a atividade muscular. Do estudo realizado, a tarefa de apontar e selecionar alvos mais pequenos (*pointing small*) apresentou o menor valor mínimo de Din (excluindo *scroll*), embora com um valor muito próximo da tarefa de arrastar usando o botão esquerdo do dispositivo (*dragging left*), enquanto a tarefa de arrastar os alvos com o botão do meio (*dragging middle*) apresentou o maior valor máximo. A tarefa de *scroll* apresentou o valor mínimo (Din mín. = 0,007064) de cerca de metade do valor mínimo registado para a tarefa de apontar e selecionar alvos mais pequenos, contudo envolve maioritariamente o músculo ED de entre os 4 músculos monitorizados.

Tabela 7.20 - Gama de valores registados para o parâmetro Din relativo à dinâmica de atividade muscular por tarefa (músculos APL, ECR, ECU e ED agrupados).

Din = (APDF90-APDF10)/APDF50	Tarefas do teste						
	<i>Pointing Large</i>	<i>Pointing Medium</i>	<i>Pointing Small</i>	<i>Dragging Left</i>	<i>Dragging Middle</i>	<i>Steering</i>	<i>Scroll</i>
valor mínimo	0,021119	0,016393	0,014241	0,014300	0,016149	0,016495	0,007064
média	0,412923	0,351852	0,314686	0,486135	0,452774	0,441852	0,260864
valor máximo	1,817073	1,501818	1,832370	2,755245	2,865922	2,446927	2,595349
desvio padrão	0,304064	0,259429	0,264869	0,404093	0,398804	0,355157	0,254952



Valores mínimos do parâmetro Din por tarefa



Valores máximos do parâmetro Din por tarefa

Figura 7.29 - Representação gráfica dos valores extremos do indicador Din (mínimo e máximo) por tarefa.

Para melhorar a compreensão das diferenças entre a atividade muscular com cada um dos dispositivos procedeu-se a uma avaliação qualitativa, com recurso à categorização de resultados de comparações emparelhadas descrita caso a caso na Tabela 6.3, considerando cada um dos músculos APL, ECR, ECU e ED e utilizando a tarefa de *pointing medium*, a título de exemplo. Os dados apresentam valores de APDF 90 da ordem de 10 a 20 % de MVC e são apresentados no Anexo F, nas Tabelas A1, A2, A3 e A4, relativamente aos músculos APL, ECR, ECU e ED, respetivamente, e para a tarefa de *pointing medium*. Assim, no que diz respeito à análise para o músculo APL, destaca-se o dispositivo ev que é preferível em 3 das cinco comparações emparelhadas não empatadas. Para o músculo ECR destaca-se o dispositivo mi que é preferível em 3 das cinco comparações emparelhadas não empatadas, seguido do dispositivo ci (preferível em duas comparações). Note-se que para ECR, a comparação entre mi e ci, resulta na preferência de Mi relativamente a Ci. Relativamente ao músculo ECU, o destaque vai para o dispositivo ci que é preferível em 3 das cinco comparações emparelhadas não empatadas. Finalmente, no que toca ao músculo ED, apenas três comparações emparelhadas não resultaram em ‘empate’, não havendo dispositivos a destacar. Realça-se ainda o destaque para a equivalência detetada entre ak e ci no que toca à atividade do músculo ED.

## 7.4 Usabilidade e atividade muscular

No que toca à relação entre os dois domínios principais de análise desta tese, usabilidade e atividade muscular, procedeu-se a uma análise de correlação de Pearson entre variáveis do estudo 2, considerando a variável eficiência e a variável Din, abrangendo músculos e tarefas realizadas com todos os dispositivos. Contudo, não foi incluída a tarefa de *dragging right* na análise por indisponibilidade dos respetivos dados de atividade muscular processados sob a forma de APDF e Din, nem a tarefa de *scroll* por não se dispor dos respetivos valores de eficiência. A análise das correlações de Pearson realizada entre variáveis de eficiência e de atividade muscular revela a existência de apenas uma correlação de pequena intensidade ( $r=0,274$ ;  $p<0,05$ ) entre a eficiência da tarefa de *pointing medium* e o dinamismo da atividade muscular (Din) para o músculo ECU (*Extensor Carpi Radialis*). Não obstante, o estabelecimento das correlações supracitadas fez-se considerando simultaneamente todos os dispositivos incluídos no estudo englobados. Poder-se-á obter quadros de correlações entre estas variáveis mais populados, considerando separadamente cada um dos dispositivos, uma vez que a relação entre a eficiência das tarefas particulares e os parâmetros de atividade muscular poderá variar fortemente em função do tipo de dispositivo, hipótese a explorar em trabalhos futuros.



## 7.5 Nota conclusiva

Procedeu-se neste capítulo à apresentação e à análise dos resultados obtidos a partir das vertentes experimentais da investigação subjacente a esta tese. A apresentação dos resultados fez-se de forma gráfica para uma parte considerável das matérias abordadas devido à quantidade substancial de dados envolvidos. A análise dos dados experimentais contemplou duas vertentes essenciais previstas para esta tese, a avaliação da usabilidade de cinco dispositivos manuais apontadores para computador e a avaliação da atividade muscular de quatro músculos do antebraço dos participantes durante o ensaio controlado dos dispositivos por parte dos mesmos. Estes ensaios experimentais envolveram 40 participantes que realizaram tarefas com os dispositivos em duas fases, tendo a vertente relativa à usabilidade decorrido durante ambas enquanto a monitorização da atividade muscular ocorreu apenas na segunda fase (estudo 2). Cada uma destas fases contou com amostras distintas de 20 participantes por cada amostra. Ainda no âmbito da avaliação da usabilidade procedeu-se à análise dos resultados obtidos no âmbito de uma experimentação de campo, no que diz respeito ao novo indicador de eficiência (IE) desenvolvido e apresentado no capítulo 5, mais concretamente na secção 5.4.3. Esta experimentação de campo contou com uma nova amostra de 10 participantes (estudo 3). No âmbito da caracterização e avaliação da atividade muscular foi também considerado o novo indicador de dinamismo muscular (Din) desenvolvido e apresentado no capítulo 6, em particular na secção 6.7. A apresentação dos resultados foi levada a cabo muitas vezes em modo gráfico devido à quantidade de dados envolvida; refira-se, a título de exemplo, os 2800 ficheiros resultantes da eletromiografia que originaram 8400 valores de APDF, e os 400 casos de Din por tarefa (7 tarefas, 5 dispositivos, 4 músculos e 20 sujeitos), perfazendo 2800 valores do indicador Din, bem como 200 valores do indicador IE (5 dispositivos e 40 sujeitos).

Foram aplicadas técnicas estatísticas diversas aos dados considerados para avaliação da usabilidade dos dispositivos manuais apontadores para computador (de distintas geometrias) e aos dados considerados para caracterizar e avaliar a atividade muscular de quatro músculos do antebraço dos participantes enquanto realizavam tarefas padronizadas com os dispositivos. As técnicas estatísticas suprarreferidas foram aplicadas tanto a variáveis subjetivas como a variáveis objetivas separadamente, como a ambos os tipos de variáveis conjuntamente. A Tabela 7.1 e a Tabela 7.17 apresentam um resumo quanto aos tipos de análise efetuada, no campo da usabilidade e no campo da atividade muscular, respetivamente.

Destaca-se que as diferenças alcançadas nos valores do indicador de eficiência das tarefas ponderadas (IE), através dos cinco ratos de computador testados para as tarefas sob interesse e com um programa de CAD específico, são suportadas estatisticamente apesar do tamanho da amostra e do reduzido tempo das sessões, o que pode ter beneficiado a geometria convencional (modelo mi). Contudo, os resultados do IE mostram que o desempenho do

modelo ak, globalmente, não perde face ao modelo mi. Consta-se também que os modelos desenvolvidos e prototipados (ch e ci) apresentaram um desempenho avaliado através do IE que os posiciona em níveis intermédios dentro do conjunto de geometrias em apreciação.

Foram estudadas diversas variáveis no âmbito das avaliações subjetivas e objetivas relacionadas com a utilização dos ratos de computador focados nesta tese. Neste contexto, destaca-se a relação entre o tipo de dispositivo e as dimensões da mão do utilizador e o ângulo de inclinação do dispositivo com o plano horizontal de trabalho. Os estudos realizados sugerem que o tamanho da mão pode influenciar tanto a usabilidade do dispositivo manual apontador como a atividade muscular do seu utilizador enquanto executa as tarefas. Refira-se que o tamanho da mão foi considerado neste estudo através da divisão em dois grupos ou categorias, por composição de duas dimensões antropométricas, o comprimento e a largura da mão (cap. 5, secção 5.6.1 e Fig. 5.5). Considerando que o tamanho da mão se relaciona com o tamanho da geometria do artefacto manuseado, esta investigação sugere que a utilização de geometrias de dimensões que possam ser consideradas grandes relativamente ao comprimento e largura da mão do seu utilizador, na realização das tarefas preconizadas para os testes, podem prejudicar, globalmente, o desempenho e a atividade muscular no que diz respeito aos músculos considerados neste estudo.

Devido à complexidade da investigação conduzida, que aborda temáticas distintas envolvendo um acervo substancialmente extenso de dados subjetivos e objetivos, resultando do seu estudo estatístico, por vezes deparámo-nos com resultados não conclusivos ou dificilmente quantificáveis quanto às diferenças procuradas para estabelecer classificações (*rankings*) de modo a distinguir com clareza as cinco geometrias sob investigação; por esse motivo, a análise dos resultados foi, por vezes, qualitativa. Os dados obtidos através da técnica de eletromiografia de superfície envolveram, também, uma complexidade assinalável, no que toca em particular a operacionalizar todo o processo de instrumentação e até mesmo a realização dos testes e o posterior tratamento dos dados. Deste processo não resultaram as diferenças substanciais e expressivas esperadas *à priori* quanto à caracterização da atividade muscular dos quatro músculos monitorizados no estudo comparativo entre as cinco geometrias sob investigação. Não obstante, foi possível distinguir, neste domínio, uma tarefa de grande importância para a problemática da utilização destas ferramentas manuais no CAD, nomeadamente, a tarefa de arrastar alvos com o terceiro botão do rato (botão do meio). Para o efeito reportado, foi decisivo o indicador Din. O nível de pico da atividade dos músculos monitorizados por S-EMG situou-se geralmente abaixo de 20% de MVC e por vezes mesmo abaixo de 10% de MVC registando-se apenas variações mínimas quando o fator diferenciador é a geometria do artefacto testado pelos sujeitos. As implicações dos resultados para a temática da conceção e avaliação ergonómica dos dispositivos manuais apontadores para computador, incluindo a expansão do quadro concetual mais relevante para esta tese é tratada no capítulo 8 - Discussão.

## Cap.8

### Discussão

- 8.1 Discussão centrada nos objetivos
- 8.2 Influência do tamanho da mão
- 8.3 Associação entre medidas da eficiência (usabilidade) e da atividade muscular

## 8.1 Discussão centrada nos objetivos

Neste capítulo procede-se à discussão dos resultados obtidos e apresentados nos capítulos anteriores procurando elucidar o nível de satisfação dos objetivos enunciados. Os resultados da análise dos dados são contrapostos ao enquadramento geral levantado no âmbito da revisão bibliográfica, procurando, também, realçar convergências e divergências. Como resultado desta contraposição, ter-se-á uma visão de conjunto dos contributos atingidos que expandem o conhecimento científico relacionado com os dispositivos apontadores para computador e com a sua utilização. A Tabela 8.1 apresenta de forma sucinta uma seleção dos objetivos de nível 2 enunciados para a tese (derivados do objetivo geral), resumindo ainda as lacunas detetadas no conhecimento disponível e as contribuições alcançadas, propondo ainda uma autoavaliação do grau de satisfação de cada objetivo enunciado.

Tabela 8.1 - Objetivos (de nível 2) selecionados e respetivo grau de satisfação, tendo em conta as lacunas detetadas no conhecimento disponível e as contribuições alcançadas.

Objetivo	Lacunas detetadas no conhecimento disponível	Contribuições atingidas	Grau de satisfação
Desenvolver geometrias inovadoras apoiadas em revisão bibliográfica e em metodologia de projeto adequada - (cap. 4)	Não foram encontradas fontes bibliográficas que compilassem de modo abrangente requisitos ergonómicos e metodologia de conceção para dispositivos apontadores	Um dispositivo (ci) com inclinação de 45° (45° de pronação do antebraço) e outro (ch) com inclinação de 30° (60° de pronação do antebraço)	Objetivo plenamente atingido
Estabelecer com recurso à revisão bibliográfica focada, o estado da arte da avaliação da usabilidade (cap. 2 e 5)	Divergência parcial entre métodos de avaliação existentes, mas esta diversidade assinalável contribui para enriquecer os desenvolvimentos encetados baseados no estado da arte	Padronização das tarefas de avaliação da usabilidade de dispositivos apontadores vocacionados para a atividade de CAD a partir da conciliação de trabalhos anteriormente publicados	Objetivo atingido
Desenvolver e caracterizar a conceção experimental para a avaliação da usabilidade dos dispositivos em apreciação (cap. 5)	Os normativos aplicáveis e os trabalhos científicos publicados carecem de especificidade e não são particularmente convergentes no que toca às tarefas e às escalas e procedimentos de avaliação	Novo software para implementar as tarefas gráficas e registo de dados de avaliação objetiva Novos instrumentos para colheita de dados de avaliação subjetiva (escalas)	Objetivo plenamente atingido
Propor ferramentas	Não foram encontrados indicadores	Indicador de eficiência	Objetivo

para avançar o estado da arte da avaliação da usabilidade dos ratos de computador e contribuir para a escolha informada dos consumidores (cap. 5)	desenvolvidos especificamente para ratos de computador que evidenciassem no ponto de venda as qualidades de usabilidade em comparação entre dispositivos concorrentes	(desempenho) com exemplificação dos coeficientes de ponderação para a caracterização do indicador de eficiência dos dispositivos para um software de CAD específico	atingido
Estabelecer com recurso à revisão bibliográfica focada, o estado da arte da avaliação da atividade muscular por S-EMG (cap. 2 e 6)	Formas universalmente aceites de avaliação da atividade muscular para caracterizar a atividade de CAD não estão disponíveis, mas diversidade existente contribuiu para enriquecer os desenvolvimentos encetados	Procedimentos padronizados e replicáveis para monitorização por S-EMG da atividade de 4 músculos do antebraço, envolvidos nos movimentos de abdução do polegar, extensão dos dedos e da mão, desvio radial da mão e desvio cubital da mão	Objetivo atingido
Desenvolver e caracterizar a conceção experimental para avaliação da atividade muscular por S-EMG dos dispositivos em apreciação (cap. 6)	Os trabalhos científicos publicados não são particularmente convergentes no que toca às tarefas e aos procedimentos de avaliação	Compatibilização do novo software para implementação das tarefas gráficas para avaliação da usabilidade com a especificidade de gravação em paralelo dos sinais eletromiográficos Procedimento de tratamento de sinal eletromiográfico e obtenção de Din a partir de APDF 10, 50 e 90	Objetivo plenamente atingido
Propor processos ou métodos de análise para avançar o estado da arte da avaliação da atividade muscular no âmbito da utilização dos ratos de computador	Detetada lacuna no que toca à avaliação do grau de estaticidade do esforço muscular, por oposição ao seu dinamismo, havendo um foco concentrado nos níveis de exercício em percentagem de MVC, sem forma de caracterizar o dinamismo	Caracterização do nível de estaticidade da atividade muscular, através de um novo indicador do dinamismo da atividade muscular (Din)	Objetivo plenamente atingido
Apresentação dos dados sob a forma gráfica e sua análise estatística (cap. 7)	(não aplicável)	Destaque para a importância do tamanho da mão, relativamente aos resultados da avaliação da usabilidade e da atividade muscular	Objetivo atingido

Após a realização da primeira fase experimental, em que cada participante realizou tarefas de apontar e selecionar, arrastar e conduzir entidades gráficas com cada um dos 5 dispositivos (testados por ordem aleatória), foram realizados diversos testes de hipóteses de estatística paramétrica e não paramétrica sobre os dados obtidos. Esta análise estatística permitiu distinguir, com níveis de confiança de pelo menos 95%, os diversos modelos (geometrias) quanto à avaliação subjetiva dos participantes em termos de preferência relativa quanto a diversos parâmetros incluindo a satisfação (ordenação do 1º ao 5º) e classificação absoluta quanto a diversos parâmetros de desconforto, facilidade de utilização e esforço (escala de Likert de 6 níveis). Foi ainda realizada a análise de variância através do método de medições repetidas RM-ANOVA relativamente à eficiência de cada um dos dispositivos, em cada uma das tarefas. Estes resultados colocaram, globalmente, as duas geometrias desenvolvidas na primeira etapa dos trabalhos em posições intermédias face aos dispositivos comerciais testados. Por outro lado, não se encontra uma relação muito expressiva entre o ângulo de inclinação característico e a melhoria da eficiência das tarefas, ainda que esta atinja a 60º valores equivalentes aos atingidos a 0º. Relativamente aos parâmetros de usabilidade, nota-se que a satisfação é o parâmetro de avaliação subjetiva que apresenta mais correlações significativas com os parâmetros de escala avaliados (3 parâmetros de desconforto, 5 parâmetros de esforço e 7 parâmetros de facilidade).

Na realização da segunda fase experimental, com monitorização da atividade dos músculos APL, ERC, ECU e ED dos participantes por eletromiografia de superfície, foi parcialmente repetida a análise estatística anteriormente realizada, o que permitiu comparar os mesmos dispositivos testados por um novo grupo de participantes. Adicionalmente foram ainda estabelecidas comparações entre as duas fases experimentais (com e sem elétrodos aplicados). Os registos de atividade dos músculos considerados, relativamente a 60 segundos de atividade em cada tarefa, foram normalizados com o valor da contração voluntária máxima (MVC) e depois efetuada uma análise da amplitude de função de probabilidade de distribuição (APDF).

Posteriormente, os valores de APDF 50 foram alvo de análise de variância RM-ANOVA. Globalmente, os resultados indicaram, face aos testes realizados, que as duas geometrias desenvolvidas no âmbito deste trabalho se posicionam num nível intermédio relativamente aos dispositivos comerciais testados, embora o modelo 'ch', com volumetria acima da média tenha revelado promover atividade muscular mais intensa para utilizadores no grupo do tamanho da mão abaixo da média, face aos restantes modelos. A dimensão da informação obtida a partir dos dados recolhidos é de tal modo extensa, que não fica esgotada a sua exploração nesta tese. Contudo, atendendo aos objetivos fixados e às questões decorrentes da sua exploração por via da revisão bibliográfica, consulta a peritos e realização de desenvolvimento tecnológico e experimental, procurou-se satisfazer os requisitos necessários para oferecer um contributo original para aumentar o conhecimento no domínio do desenvolvimento, da avaliação e da seleção de dispositivos apontadores para computador.

As operações de apontar e selecionar alvos (entidades gráficas) de pequenas dimensões, arrastar entidades gráficas mantendo premido o botão esquerdo do rato, ou o botão do central do rato, e ainda, conduzir entidades gráficas, desempenham um papel importante em diverso software de CAD. Consequentemente, o IE como parâmetro classificador de um rato de computador, pode ajudar os utilizadores de CAD na escolha informada do melhor dispositivo manual apontador para esta área de trabalho.

## 8.2 Influência do tamanho da mão

Foram estudadas diversas variáveis no âmbito de avaliações subjetivas e objetivas relacionadas com a utilização dos ratos de computador. Neste contexto destaca-se a relação entre o dispositivo e as dimensões da mão do utilizador e o ângulo de inclinação do dispositivo com o plano horizontal de trabalho. Os estudos realizados sugerem que o tamanho da mão pode influenciar tanto a usabilidade do dispositivo manual apontador como a atividade muscular do seu utilizador enquanto executa as tarefas. Refira-se que o tamanho da mão foi considerado neste estudo através da divisão em dois grupos ou categorias, por composição de duas dimensões antropométricas, o comprimento e a largura da mão (cap. 5, secção 5.6.1 e Fig. 5.5). Considerando que o tamanho da mão se relaciona com o tamanho da geometria do artefacto manuseado, esta investigação sugere que a utilização de geometrias de dimensões que possam ser consideradas grandes relativamente ao comprimento e largura da mão do seu utilizador, na realização do mesmo tipo de tarefas utilizadas neste estudo, podem prejudicar, globalmente, o desempenho e a atividade muscular no que diz respeito aos músculos considerados neste estudo.

Os resultados vêm de modo geral confirmar aquilo que já tinha sido apontado nalguns estudos. Os testes realizados por Agarabi *et al.* (2004) revelaram que o tamanho da mão afeta o padrão de S-EMG por entre os modelos testados, sendo que os sujeitos do grupo médio do tamanho de mão naquele estudo apresentaram o maior número de músculos onde se registaram diferenças significativas ( $p < 0.05$ ). No presente trabalho, os participantes foram divididos em apenas dois grupos de tamanho da mão, o grupo de tamanho acima da média da amostra e o abaixo da média. Relativamente à comparação dos níveis de atividade muscular em percentagem de MVC entre os dois grupos, constata-se que no grupo de tamanho da mão abaixo da média da amostra se atinge valores superiores, verificando-se o contrário relativamente ao dinamismo da atividade muscular (Fig. 7.15 a 7.21).

Em termos de categoria de tamanho da mão, e em particular no que toca à eficiência, o dispositivo 'ci' é aquele que se revelou mais sensível ao tamanho da mão para efeitos de eficiência relativamente às tarefas de *pointing large*, *pointing medium*, *dragging middle* e *steering*.

Hedge, Muss e Barrero (1999) também encontram diferenças para os dois sexos com base nas dimensões das suas mãos, tendo sido encontrada correlação entre largura e comprimento da

mão, assim como entre a largura da mão e a extensão do punho, não tendo encontrado correlações significativas entre largura ou comprimento da mão e o desvio cubital para nenhum dos modelos. No presente estudo não foi encetado o estudo de correlações modelo a modelo, o que é relegado para trabalhos futuros.

### **8.3 Associação entre medidas da eficiência (usabilidade) e da atividade muscular**

No que toca à relação entre os dois domínios principais de análise desta tese, usabilidade e EMG, foram realizados testes de correlação de Pearson entre variáveis de eficiência e de atividade muscular. Através da análise de correlações é possível aferir a capacidade da avaliação de atividade muscular dos músculos selecionados e prever qualidades de usabilidade, nomeadamente as que dizem respeito à eficácia e à eficiência. A análise das correlações entre variáveis de eficiência e de atividade muscular revela a existência de apenas uma correlação moderada entre a eficiência da tarefa de *pointing medium* e o dinamismo da atividade muscular em ECU (Extensor Carpi Ulnaris). Note-se que o desvio cubital é monitorizado através da atividade do ECU, e este tende a reduzir-se para os dispositivos com maior inclinação, ao passo que a atividade do músculo ED permite monitorizar indiretamente a extensão do punho nos dispositivos inclinados e verticais. Não obstante, o estabelecimento das correlações supracitadas fez-se considerando simultaneamente todos os dispositivos incluídos no estudo englobados. Poder-se-á obter quadros de correlações entre estas variáveis mais populados, considerando separadamente cada um dos dispositivos, uma vez que a relação entre a eficiência das tarefas particulares e os parâmetros de atividade muscular poderá variar fortemente em função do tipo de dispositivo, a explorar em trabalhos futuros.



**Cap.9**

**Conclusão**

A componente empírica da investigação reportada nesta tese assenta na teoria, segundo a qual a forma mais adequada de classificar os dispositivos manuais apontadores para computador deve valorizar a sua usabilidade, e simultaneamente concebê-los de modo a diminuir a atividade muscular, bem como promover a adoção de posturas ‘mais’ neutras por parte do utilizador. Neste contexto a pergunta de investigação subjacente a esta componente da investigação é se ‘as observações confirmam ou falsificam a teoria?’. As observações mostram alguma necessidade de aprimoramento da teoria particularmente no que foi detetado em termos de conflito entre pontuações elevadas em parâmetros de usabilidade que sucedem concomitantemente com atividade muscular localizada comparativamente elevada e estática. As geometrias redutoras de pronação do antebraço atingem resultados mistos no que toca a parâmetros de usabilidade, com uma geometria com ângulo característico de 60° (ak) a atingir padrões de usabilidade comparáveis aos do modelo tradicional, e o modelo extremo que anula a pronação (ev) atinge os piores valores comparativos nos parâmetros da usabilidade.

Quanto ao processo de criação de novos parâmetros e indicadores encetado e levado a cabo na investigação que suporta esta tese, produzindo nomeadamente o indicador de eficiência, caracterizado a partir de experimentação de campo, e o indicador de dinamismo da atividade muscular aqui a pergunta de investigação subjacente assume outra formulação: “Que tipo de constructo ou modelo explicaria as observações efetuadas?”. Nota-se em particular uma aproximação das preferências enunciadas pelos participantes para os parâmetros de eficácia e de eficiência da avaliação subjetiva que se aproxima dos resultados do indicador de eficiência (vide Tabela 7.10 e Figura 7.12).

Por outro lado, o processo que envolveu o desenvolvimento de duas novas geometrias de dispositivos manuais apontadores para computador tinha associada a seguinte pergunta de investigação: “É possível construir um determinado artefacto de acordo com os requisitos derivados da teoria?”. Finalmente, quanto ao processo de avaliação a que os dispositivos foram submetidos, mais especificamente no que respeita à avaliação da usabilidade, a pergunta de investigação que lhe está associada é: “Quão eficazes são os artefactos concebidos e prototipados?”. No cômputo geral, os resultados tanto da avaliação da usabilidade no desempenho de tarefas padronizadas e representativas da atividade de CAD, como da atividade muscular por S-EMG de quatro músculos do antebraço direito dos participantes, elucidam respostas positivas a estas duas últimas perguntas de investigação. Tanto a geometria ch, como a geometria ci, que assume um paradigma radical e portanto merece maior ênfase, ainda que resultante de um processo projetual que tem como ponto de partida os requisitos emanados da teoria, atingem padrões de usabilidade e níveis de ativação muscular associados à sua utilização comparáveis aos de dispositivos que foram desenvolvidos gradualmente através dos anos e têm estado expostos ao mercado desde há décadas.

O estudo realizado reforça a consideração de que não existe um dispositivo ideal de entre os estudados para o desempenho de todas as tarefas incluídas nos ensaios realizados, e que as

diferenças individuais de tamanho da mão são mais determinantes para a atividade muscular na maior parte das tarefas e músculos analisados do que o tipo de dispositivo.

Tomando em conta a premissa da fisiologia muscular que advoga que o trabalho muscular estático é mais nefasto (em termos de fadiga e contribuição para o aparecimento de LME) que o trabalho muscular dinâmico, mesmo para valores reduzidos de atividade muscular no trabalho estático em comparação com valores elevados no trabalho muscular dinâmico (Pheasant, 2003), apresentou-se um indicador de dinamismo da atividade muscular. Este indicador veio a mostrar-se central nas diferenças de atividade muscular entre dispositivos no que diz respeito sobretudo às tarefas de *pointing large* e *medium* e também *scrolling*, notando-se o dinamismo maior para o músculo ED (e quanto a dispositivos o dinamismo maior regista-se para o novo dispositivo ch).

O registo da atividade muscular de 4 músculos do antebraço não permite distinguir perentória e inequivocamente os dispositivos testados entre si; contudo, permite concluir que o tamanho da mão constitui um parâmetro muito importante na seleção do dispositivo apontador. O grupo com menores dimensões da mão registou maior atividade muscular, globalmente nos 5 dispositivos, principalmente nos músculos APL e ECU onde se registam as maiores diferenças entre as duas categorias de tamanho de mão e para a maioria das tarefas. O estudo revelou também que os utilizadores com mãos de tamanho acima da média da amostra registaram globalmente menor nível de atividade muscular, para os músculos monitorizados, mesmo com modelos de dimensões reduzidas, podendo isto indiciar que a grandeza da fração da superfície da mão apoiada sobre o dispositivo tem pouco influência sobre a atividade muscular durante a utilização.

No que concerne aos dispositivos desenvolvidos no âmbito da presente tese, o dispositivo “ch”, embora promova o apoio palmar, regista globalmente maiores valores de atividade muscular (em percentagem de MVC - contração máxima voluntária) quando usado por pessoas com tamanho da mão abaixo da média da amostra, levando a considerar a possibilidade de que talvez seja maior do que o necessário. O modelo ci promove valores de atividade muscular ligeiramente inferiores nas tarefas de selecionar, arrastar e conduzir, relativamente aos músculos APL, ECR e ECU, para a categoria de tamanho da mão de maiores dimensões.

No que diz respeito aos dispositivos comerciais testados, o dispositivo convencional Microsoft obteve, comparativamente, um bom desempenho global nos ensaios laboratoriais. Uma das premissas iniciais postulava que os testes realizados a este modelo conduziram a uma maior atividade muscular dos músculos APL, ECR e ECU, face aos restantes modelos, devido às reduzidas dimensões oferecendo apoio limitado à mão, o que não se veio a verificar. Verificou-se ainda que o dispositivo inclinado comercializado com a denominação Anker® obteve globalmente bons resultados de usabilidade sem, no entanto, registar os melhores

valores de atividade muscular face aos restantes modelos. Relativamente à eficiência, os melhores resultados nos testes foram obtidos com o dispositivo convencional e com o modelo inclinado Anker®. Não se encontra uma relação direta muito expressiva entre o ângulo de inclinação característico e a melhoria da eficiência das tarefas, ainda que esta atinja para o exemplo de 60° valores equivalentes aos atingidos para o modelo a 0°, e decresça aos níveis mais reduzidos dos ensaios para o dispositivo Evoluent®.

Para além do desenvolvimento de dois dispositivos apontadores alternativos, este trabalho envolveu o desenvolvimento de procedimentos e métodos replicáveis no futuro. Destes destacam-se as escalas para a recolha de dados comparativos sobre a preferência em 10 dimensões para todos os dispositivos ensaiados, incluindo a satisfação, e as escalas relativas à avaliação de cada dispositivo separadamente quanto a desconforto (mão, ombro, braço), esforço (global, ao clicar, ao apontar, ao controlar, ao agarrar o dispositivo) e facilidade de utilização (global, entre outras). Foram ainda desenvolvidas e utilizadas escalas multi-item para o desconforto, a facilidade de utilização e o esforço em várias operações envolvidas na atividade de utilização do rato em contexto de CAD.

A tese oferece ainda um contributo na identificação da importância do dinamismo de atividade muscular para a diferenciação entre dispositivos, colocando neste aspeto o dispositivo ch em evidência por apresentar valores de dinamismo de atividade muscular superiores aos restantes nas tarefas de selecionar e apontar com alvos de dimensão grande e média e na tarefa de condução. Nota-se também que os músculos nos quais a atividade muscular (em percentagem de MVC) varia mais em termos de dinamismo em função do tipo de dispositivo, são ECU e ED. Neste âmbito, reforça-se a importância da monitorização da atividade destes músculos no desenvolvimento e análise ergonómica de dispositivos apontadores para computador, dada a sua relação com posturas que promovem condições propícias à ocorrência de Lesões Músculo-Esqueléticas, nomeadamente a Síndrome do Canal Cárpico. O trabalho apresenta ainda a proposta de um índice de eficiência combinando várias tarefas representativas da atividade de operadores de CAD, através do qual se pode estabelecer uma ordenação dos dispositivos analisados. A eficiência média para as tarefas ponderadas atinge o valor maior para os dispositivos comerciais 'mi' e 'ak' e o valor menor para o dispositivo vertical 'ev', ficando os dispositivos 'ci' e 'ch' a um nível semelhante superior ao do dispositivo 'ev'.

Os trabalhos desenvolvidos nesta tese promoveram a recolha de uma quantidade avassaladora de informação em vários domínios, merecedora de uma profícua multiplicidade de análises, que está para além do que seria possível considerar nesta tese, de modo a torná-la compatível com as limitações temporais e de recursos inerentes ao quadro da realização da presente investigação. Contudo, procurou-se avançar na satisfação dos objetivos utilizando a grande maioria dos dados recolhidos e optando por um conjunto selecionado de modos de

análise, que não sendo exaustivos, permitiram discernir e elucidar respostas e caminhos para avançar na prossecução dos trabalhos rumo ao alcance das metas propostas. A título de exemplo, de percursos de análise de dados que não foram trilhados neste trabalho, mas que o poderão ser no futuro, refere-se a análise de valores de pico da atividade muscular monitorizada a partir de APDF90, recorrendo à análise de variância para medições repetidas (RM-ANOVA).

Indo para além das possíveis descobertas por concretizar no vasto acervo de informação empírica recolhida ao longo dos trabalhos conducentes à realização da presente tese, poderá considerar-se de futuro estudos de usabilidade e de atividade muscular de dispositivos apontadores, que envolvam o contacto prévio prolongados dos participantes com as geometrias não convencionais. Deste modo poderá mitigar-se uma das limitações do presente estudo, que é o facto dos participantes estarem familiarizados com um dos dispositivos em comparação e desconhecerem completamente os restantes aquando do início da avaliação laboratorial de usabilidade e de monitorização da atividade muscular. Concomitantemente, sendo o presente estudo uma incursão momentânea sobre o estudo da atividade de cada participante no desempenho de tarefas de CAD, poder-se-á considerar futuramente conceções experimentais de abordagem longitudinal de modo a incidir de forma mais assertiva nas relações de causalidade entre os fatores de conceção dos dispositivos e o despoletar de lesões músculo-esqueléticas.

## Referências Bibliográficas

Aaras, A., Dainoff, M., Ro, O., Thoresen, M. (2001): Can a more neutral position of the forearm when operating a computer mouse reduce the pain level for visual display unit operators? A prospective epidemiological intervention study: part II. *Int. J. Human-Computer Interaction* 13, 13-40.

Agarabi, M. Bonato P., De Luca C J. (2004). A sEMG-based method for assessing the design of computer mice. Conference proceedings: Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Conference 4: 2450-3.

Aptel, M., Claudon, L., & Marsot, J. (2001). Principles of Handtool Design. *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors*, 947-950.

Bauer, W., and T. Wittig. 1998. Influence of Screen and Copy Holder Positions on Head Posture, Muscle Activity, and User Judgement. *Applied Ergonomics* 29 (3), 185-192.

Bhattacharjee, Anol (2012). *Social Science Research: Principles, Methods, and Practices*. Textbooks Collection. Book 3.

Buchanan, T. S., Moniz, M. J., Dewald, J. P., & Zev Rymer, W. (1993). Estimation of muscle forces about the wrist joint during isometric tasks using an EMG coefficient method. *Journal of Biomechanics*, 26, 547-560.

Cail, F.; Aptel, M. (2003). Biomechanical stresses in computer-aided design and in data entry. *int. J. Occup. Saf. Ergon.* 9, pp. 235-265.

Camilleri, M. J., Malige, A., Fujimoto, J., & Rempel, D. M. (2013). Touch displays: the effects of palm rejection technology on productivity, comfort, biomechanics and positioning. *Ergonomics*, 56(12), 1850-1862.

Chen, H. M., Lee, C. S., & Cheng, C. H. (2012). The weight of computer mouse affects the wrist motion and forearm muscle activity during fast operation speed task. *European journal of applied physiology*, 112(6), 2205-2212.

Chua C. K., Leong K.F., Lim C. S. (2010). *Rapid Prototyping - Principles and Applications* (3rd Ed.). World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore.

Coelho, D. A. (2010). "A Method for User Centering Systematic Product Development Aimed at Industrial Design Students", *Design and Technology Education: an International Journal* 15, 2: 44 - 54.

Coelho, D. A., & Nunes, I. L. (2013). Ergonomic Design and Evaluation of Surveillance Systems. *Effective Surveillance for Homeland Security: Balancing Technology and Social Issues*, 257-277.

- Conlon, C. F., Krause, N., & Rempel, D. M. (2009). A randomised controlled trial evaluating an alternative mouse and forearm support on upper body discomfort and musculoskeletal disorders among engineers. *Occupational and environmental medicine*, 65(5), 311-318.
- Cram J.R., Kasman, G.S. (1998). *Introduction to Surface Electromyography*. Gaithersburg, MD: Aspen Publishers.
- Cram's C. E. (2011). *Introduction to Surface Electromyography*. 2nd. Massachusetts: Jones and Bartlet Publishers.
- Cunningham, J.B. (1997). Case study principles for different types of cases. *Quality and quantity* vol. 31, pp. 401-423.
- De Luca, C.J. (1997). The use of surface electromyography in biomechanics, *Journal of Applied Biomechanics*, 13, 135-163.
- De Luca, C.J., Kuznetsov M., Gilmore L.D., Roy, S.H. (2012). Inter-electrode spacing of surface EMG sensors: Reduction of crosstalk contamination during voluntary contractions. *Journal of Biomechanics*, vol. 45 (3), pp 555-561.
- Dennerlein, J. T., & Yang, M. C. (2001). Haptic force-feedback devices for the office computer: Performance and musculoskeletal loading issues. *Human Factors*, 43, 278-286.
- Dennerlein, J. T., Martin, D. B., & Hasser, C. (2000). Force-feedback improves performance for steering and combined steering-targeting tasks. In *Conference on Human Factors in Computing Systems*.
- Ferreira, G., Mourão, B., Nunes, I. (2014). User-centered design of the interface prototype of a BI intelligence mobile application. *Occupational Safety and Hygiene II SHO 2014*. pp 787-792.
- Fiorentino, M., Uva, A. E., Dellisanti F., M., & Monno, G. (2010). Improving bimanual 3D input in CAD modelling by part rotation optimisation. *Computer Aided Design*, 42(5), 462-470.
- Garza, B., Eijkelhof, B.H., Huysmans, M.A., Johnson, P.W., Van Dieen, J.H., Catalano, P.J. Katz, J.N., van der Beek, A.J. & Dennerlein, J.T. (2014). Prediction of trapezius muscle activity and shoulder, head, neck, and torso postures during computer use: results of a field study. *BMC Musculoskelet Disord*, 15, 292.
- Gerr, F., Marcus, M., Ensor, C., Kleinbaum, D., Cohen, S., Edwards, A., Gentry, E., Ortiz, D.J., Monteilh, C. (2002). A prospective study of computer users: I. Study design and incidence of musculoskeletal symptoms and disorders. *American Journal of Industrial Medicine*, 41: 221-235.



Gooderson, C.Y., Knowles, D.J. and Gooderson, P.M.E. (1982) The hand anthropometry of male and female military personnel, APRE Memorandum 82M510, Army Personnel Research Establishment, Farnborough, Hants.

Gordon, C. C., Blackwell, C. L., Bradtmiller, B., Parham, J. L., Barrientos, P., Paquette, S. P., Corner, B. D., Carson, J. M., Venezia, J. C., Rockwell, B. M., Mucher, M., and Krietensen, S. (2014). "2012 Anthropometric Survey of U.S. Army Personnel: Methods and Summary Statistics", Technical Report Natick/TR-15/007, United States Army Natick Soldier Research, Development and Engineering Center, Natick, Massachusetts 01760-2642, December, 2014.

Govindu, N.K., Babski-Reeves, K.L. (2012). Thermographic assessment of the thenar thumb muscles during pipetting. *Int. J. Human Factors and Ergonomics*, Vol. 1, No. 3, p. 268-281.

Hagberg, M. (1979) The amplitude distribution of surface EMG in static and intermittent static muscular performance. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 1979; 40(4), 265-272.

Hales, C., (1991), *Analysis of the Engineering Design Process in an Industrial Context*, Eastleigh, UK: Gants Hill Publications.

Hedge, A.; Muss, T.; Barrero, M. (1999). Comparative study of two computer mouse designs. Ed.: Cornell University, Ithaca.

Heilskov-Hansen, T. (2014) Physical work exposure and sex differences in work-related musculoskeletal disorders (Doctoral dissertation). Faculty of health and medical sciences. University of Copenhagen. Denmark.

Higgins, J. S., Willems, B., Johnson, D. R., & Zingale, C. M. (2012). A human factors and electromyographic evaluation of proposed pointing devices for air traffic controllers. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 56, No. 1, 36-40). Sage Publications.

Houwink, A., Hengel, K. M. O., Odell, D., & Dennerlein, J. T. (2009). Providing training enhances the biomechanical improvements of an alternative computer mouse design. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 51(1), 46-55.

ISO 9241-11:1998. (1998). Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) - Part 11: Guidance on usability.

ISO 9241-400:2007. (2007). Ergonomics of human-system interaction - part 400: Principles and requirements for physical input devices.

ISO 9241-410:2008+A1:2012. (2012). Ergonomics of human-system interaction - part 410: Design criteria for physical input devices.

ISO 9241-5:1998. (1998). Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) - Part 5: Workstation layout and postural requirements.

ISO 9241-9:2000. (2000). Ergonomic requirements for office work with visual display terminals - part 9: Requirements for non-keyboard input devices.

Järvinen, P. (2004). On A Variety of Research Output Types. Department of Computer and Information Sciences working paper, University of Tampere D-204-6.

Järvinen, P. (2004). Research Questions Guiding Selection of an Appropriate Research Method. Department of Computer Sciences, University of Tampere D-204-5.

Jensen, C., Borg, V., Finsen, L., Hansen, K., Juul-Kristensen, B., & Christensen, H. (1998). Job demands, muscle activity and musculoskeletal symptoms in relation to work with the computer mouse. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 24, 418-424.

Johnson, P., Hagberg, M., Hjelm, E., Rempel, D. (2000). Measuring and characterizing force exposures during computer mouse use. *Scand. J. Work Environment and Health* 26, 398-405.

Jonsson, B. (1988). The static load component in muscle work. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 57, 305-310.

Jordan, P., (1998). *An Introduction to Usability*, London: Taylor & Francis.

Karlqvist, L., Hagberg, M., & Selin, K. (1994). Variation in upper limb posture and movement during word processing with and without mouse use. *Ergonomics*, 37, 1261-1267.

Keir P., Bach, J., Rempel, D. (1999): Effects of computer mouse design and task on carpal tunnel pressure. *Ergonomics* 42, 1350-1360.

Kluth, K., & Keller, E. (2014). Rollermouse vs. Standard Computer Mouse-Electromyographic and Subjective Assessment of the Usability in Applications with Graphical User Interfaces. *Advances in Physical Ergonomics and Human Factors: Part I*, 14, 235.

Kreitzberg, C. B., Little, A. (2009). Usability in Practice. Usability Testing. Available at <http://msdn.microsoft.com/en-us/magazine/dd920305.aspx>. *MSDN Magazine*, July.

Keller Chandra, S., Hoehne-Hückstädt, U., Ellegast, R.P., Schäfer, P. (2008). Ergonomische Anforderungen an Eingabemittel für Geräte der Informationstechnik (BGIA-Report 3/2008). Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV). BGIA - Institut für Arbeitsschutz, Sankt Augustin 2008.

Kumar, R., & Kumar, S. (2008). A comparison of muscular activity involved in the use of two different types of computer mouse. *Int J Occup Saf Ergon*, 14(3), 305-311.

- Lai, H. H., & Yang, S. L. (2012). An Ergonomics Oriented Product Development and Evaluation Process: A Case Study of Children's Pointing Device. *JCIT: Journal of Convergence Information Technology*, 7(6), 323-331.
- Lee, D. L., McLoone, H., & Dennerlein, J. T. (2007). Observed finger behaviour during computer mouse use. *Applied Ergonomics*.
- Lee, D., Fleisher, J., McLoone, H., Kotani K., Dennerlein, J. (2007). Alternative computer mouse design to reduce static finger extensor muscle activity. *Hum. Factors* 49 (2007) No. 4, 573-584.
- Lewis, W. P., Bonollo, E. (2002). An analysis of professional skills in design: implications for education and Research. *Design Studies* No.23, 385-406.
- Lin, M. Y. C, Young, J. G., Dennerlein, J.T. (2015). Evaluating the Effect of Four Different Pointing Device Designs on Upper Extremity Posture and Muscle Activity during Mousing Tasks. *Applied Ergonomics*, 2015, 47, 259-264.
- McCauley, P. B., Gaines, S., Watlington, A., Jeelani, M., Curling, L. & Armbrister, P. (2012). The Development of a Device Selection Model for Wireless Computing Devices in High Consequence Emergency Management. *Advances in Usability Evaluation Part I*, Edited by Francisco Rebelo, CRC Press 2012, Chapter 52, pp. 486-499.
- Mueller, J.L. (1996). Universal Design for Products. In Null, R. & Cherry, K., *Universal Design* (pp. 104-113). Belmont, CA: Professional Publications.
- Nielsen, J. (1993). *Usability Engineering*. Morgan Kaufmann, Inc. San Francisco.
- Null, R. L. (1994). Universal Design Directives for the Workplace. In proceedings of the triennial congress- International Ergonomics Association; 3; 211-212; vol 3; rehabilitation ergonomics, by Human Factors Association of Canada.
- Nunamaker, J. F., Chen, M., Purdin T.D.M. (1991). Systems development in information systems research, *Journal of Management Information Systems* vol. 7, No 3, pp. 89-106.
- Nunes, I., Patriarca, D., Matos, A. (2014). Usability-based mobile phone selection for communications in emergency situations. *Proceedings of the 5th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics AHFE 2014, 19-23 July 2014, Kraków, Poland*. Edited by T. Ahram, W. Karwowski and T. Marek, pp. 498-509.
- Nwaigwe, A. F. (2015). *Ergonomics Considerations in IT-Enabled Computer-Aided Design for Discrete Manufactured Products*. PhD Thesis. University of Pittsburgh. EUA.
- Odell, D. L., & Johnson, P. W. (2007). Evaluation of a Mouse Designed to Improve Posture and Comfort. *WWCS 2007 Proceedings of the Work with Computing Systems Conference 2007 International Ergonomics Association*, 115.

- Onyebeke, L. C., Young, J. G., Trudeau, M. B., Dennerlein, J. T. (2013). Effects of forearm and palm supports on the upper extremity during computer mouse use. *Applied Ergonomics* 45, 564-570.
- Pahl, G., Beitz, W., (1996). *Engineering Design - a systematic approach*, 2nd edition, London: Springer.
- Paz, F., & Pow-Sang, J. A. (2016). A Systematic Mapping Review of Usability Evaluation Methods for Software Development Process. *International Journal of Software Engineering and Its Applications*, 10(1), 165-178.
- Pekelney, R., Chu, R. (1995). Design criteria of an ergonomic mouse computer input device. In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society. 39th Annual Meeting*, 9 to 13 October 1995, San Diego, USA. 369-373.
- Pereira A. L. (2013). *Computer Input Devices: Design for Well-Being and Productivity*. Doctoral dissertation in Environmental Health Sciences. University of California, Berkeley.
- Perotto, A. (1994). *Anatomical guide for the electromyographer: The limbs and trunk*. Springfield, IL: Charles C. Thomas.
- Rempel, D. M. (2013-2015). Personal communication regarding appropriate surface EMG equipment and selection of muscles for monitoring. Professor of Occupational Medicine, University of California, San Francisco CA.
- Rempel, D.M., Camilleri M.J., Lee, D.L. (2014). The design of hand gestures for human-computer interaction: Lessons from sign language interpreters. *International Journal of Human-Computer Studies* 72:10-11, 728-735.
- Pheasant, S. (2003). *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and Design*, E-book edition, Taylor and Francis.
- Saunders, M., Lewis, P. and Thornhill, A. (2012). *Research Methods for Business Students*. Edited by Pearson Education Limited. 6th ed.
- Schultz, K. L., D. M. Batten, and T. J. Sluchak. (1998). "Optimal Viewing Angle for Touch-screen Displays: Is There Such a Thing?" *International Journal of Industrial Ergonomics* 22 (4-5): 343 -350.
- Seghers, J., A. Jochem, and A. Spaepen. (2003). Posture, Muscle Activity, and Muscle Fatigue in Prolonged VDT Work at Different Screen Height Settings. *Ergonomics* 46 (7), 714-730.
- Shimizu Y., Kojima T., Tano M., Matsuda S. (1991). *Models and Prototypes*. Graphic Sha Pub. Co, Tokyo.

- Siegel, S. & Castellan, N. J. (1988). *Nonparametric Statistics for the Behavioural Sciences*. New York: McGraw-Hill.
- Simões-Marques, M., Nunes, I. L. (2012). Usability of Interfaces, in *Ergonomics-A Systems Approach*, Isabel L. Nunes (Ed.), InTech, pp. 155-170, ISBN: 9789535106012.
- Slater, K. (1985). *Human Comfort*. Springfield (Illinois): Charles C. Thomas.
- Smith, W., Edmiston, B., Cronin, D. (1997): Ergonomic test of two hand-contoured mice. Ed.: *Global Ergonomic Technologies*, Palo Alto, California.
- Søgaard, K., Sjøgaard, G., Finsen, L., Olsen, H. B., & Christensen, H. (2001). Motor unit activity during stereotyped finger tasks and computer mouse work. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 11, 197-206.
- Sjøgaard, G. and Jensen, B.R. (2006). Low-level static exertions. In: *Fundamentals and Assessment Tools for Occupational Ergonomics*. Edited by William S. Marras and Waldemar Karwowski. CRC Press 2006, pp 14-1–14-13.
- Story, M. F. (2011). *The Principles of Universal Design*. Wolfgang F. E. Preiser and Korydon H. Smith (Ed.), *Universal Design Handbook (2th Ed.) (4.3-4.12)*. McGraw-Hill Companies, Inc.
- Sweeney, M., Maguire M. and Schackel B. (1993). Evaluating user computer-interaction: a framework, *Int. J. Man-Machine Studies* vol. 38, 689-711.
- Ullman, J., Kangas, N., Ullman, P., Wartenberg, F., Ericson, M. (2003): A new approach to the mouse arm syndrome. *int. J. Occup. Saf. Ergon.* 9, 2003, 463-477.
- Villanueva, M. B., H. Jonai, M. Sotoyama, N. Hisanaga, Y. Takeuchi, and S. Saito. (1997). Sitting Posture and Neck and Shoulder Muscle Activities at Different Screen Height Settings of the Visual Display Terminal. *Industrial Health* 35 (3), 330-336.
- Vinagre, P., Nunes, I. (2013). Usagame - A New Methodology to Support User Centered Design of Touchscreen Applications. *Proceedings of the Second International Conference on Design, User Experience, and Usability DUXU 2013*, July 21-26, Las Vegas, NV, USA. Edited by Aaron Marcus, Part I. pp 620-629.
- Weinfurt, K. P. (2002). Repeated measures analysis: ANOVA, MANOVA, and HLM. In L. G. Grimm & P. R. Yarnold (Eds.). *Washington, DC: American Psychological Association*.
- Young, J.G., Trudeau, M.B., Odell, D., Marinelli, K., & Dennerlein, J.T. (2013). Wrist and shoulder posture and muscle activity during touch-screen tablet use: Effects of usage configuration, tablet type, and interacting hand. *Work* 45 (1), 59-71.



# Anexos

Anexo A - Extrato do código relativo à aplicação informática de implementação das tarefas.

Anexo B - Instrumento utilizado na avaliação subjetiva da usabilidade - Escalas de preferência.

Anexo C- Instrumentos utilizados na avaliação subjetiva da usabilidade - escalas de desconforto, de facilidade de utilização e de esforço.

Anexo D - Sequência de procedimentos experimentais para monitorização da atividade muscular com eletromiografia de superfície (S-EMG).

Anexo E - Exemplos de testes experimentais com os cinco dispositivos manuais apontadores para computador.

Anexo F - Análise da atividade muscular através de comparações tipo, com base no esforço muscular (APDF90) e no dinamismo da atividade muscular (Din), relativos a pares de indicadores resultantes da utilização de um determinado tipo de dispositivo.

Anexo G - Folha de registo manual de dados de EMG por sujeito.

## Anexo A

Extrato do código relativo à aplicação informática de implementação das tarefas.



```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Diagnostics;
using System.Drawing;
using System.IO;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace MouseTest {
    public partial class FormPointing : Form {
        private const int TAMANHO_ECRA = 1000;
        private const int NUMERO_CIRCULOS = 18;
        public const int NUMERO_TESTES = (FormMouseTest.EMG ? 72 : 12);

        private Teste[] testes = new Teste[NUMERO_TESTES];

        private const double INTERVALO_RADIANOS = 2.0 * Math.PI / NUMERO_CIRCULOS;
        private const double INCHES_TO_CM = 2.54;

        private const double CENTRO = TAMANHO_ECRA / 2.0;

        private Stopwatch relógio = new Stopwatch();

        private int testeActual = -1;

        private Circulo[] circulos = null;
        private Circulo circuloCentral = null;

        private Circulo circuloActivo = null;
        private int posCirculoActivo = -1;

        private Random random = new Random();
        List<int> sequencia = new List<int>();

        public double TamanhoCirculos = 1.2; // cm
        public double RaioTeste = 7.1; // cm
        public string FicheiroResultados = "pointing.txt";

        public FormPointing() {
            InitializeComponent();
        }

        private void FormPointing_Load(object sender, EventArgs e) {
            Size = new Size(TAMANHO_ECRA, TAMANHO_ECRA);
            FormBorderStyle = FormBorderStyle.FixedSingle;
            CenterToScreen();
        }

        private void CriaCirculos(Graphics g) {
            double factorCmToPixels = ((g.DpiY + g.DpiX) / 2.0) / INCHES_TO_CM;

            double raioTeste = RaioTeste * factorCmToPixels;
            int tamanhoCirculos = (int)(TamanhoCirculos * factorCmToPixels);

            double radianos = 0.0;

            double raio = tamanhoCirculos / 2.0;

            circuloActivo = circuloCentral = new Circulo(CENTRO, CENTRO, raio);

            circulos = new Circulo[NUMERO_CIRCULOS];
            for (int i = 0; i < NUMERO_CIRCULOS; i++) {
                circulos[i] = new Circulo(CENTRO + raioTeste * Math.Cos(radianos), CENTRO + raioTeste * Math
                .Sin(radianos), raio);
                radianos += INTERVALO_RADIANOS;
            }
        }

        private void FormPointing_Paint(object sender, PaintEventArgs e) {
            if (circulos == null) CriaCirculos(e.Graphics);
        }
    }
}

```

```
        foreach (Circulo c in circulos) {
            c.Desenha(e.Graphics);
        }

        circuloActivo.Fill(e.Graphics);
    }

    private void ActivaNovoCirculo() {
        if (testeActual >= 0) {
            relógio.Stop();
            testes[testeActual].tempo = relógio.ElapsedMilliseconds;
        }

        testeActual++;

        if (testeActual == NUMERO_TESTES) {
            using (StreamWriter ficheiro = new StreamWriter(FicheiroResultados)) {
                foreach (Teste t in testes) {
                    ficheiro.Write(t.cliques);
                    ficheiro.Write(",");
                    ficheiro.WriteLine(t.temp);
                }
            }

            using (StreamWriter ficheiro = new StreamWriter("seq_" + FicheiroResultados)) {
                foreach (int s in sequencia) {
                    ficheiro.WriteLine(s);
                }
            }

            Close();
            return;
        } else {
            testes[testeActual] = new Teste();
        }

        if (testeActual % 2 == 0) {
            posCirculoActivo = random.Next(NUMERO_CIRCULOS);
        } else {
            posCirculoActivo += 9;
            if (posCirculoActivo >= NUMERO_CIRCULOS) posCirculoActivo -= NUMERO_CIRCULOS;
        }

        sequencia.Add(posCirculoActivo);

        circuloActivo = circulos[posCirculoActivo];
        Invalidate();
        relógio.Start();
    }

    private void FormPointing_MouseClick(object sender, MouseEventArgs e) {
        if (testeActual >= 0) testes[testeActual].cliques++;
        if (circuloActivo.Contem(e.X, e.Y)) ActivaNovoCirculo();
    }
}
}
```

## **Anexo B**

**Instrumento utilizado na avaliação subjetiva da usabilidade -  
escalas de preferência**

**Escalas de preferência (ordenação do 1º ao 5º) - 10 escalas**

Testes de usabilidade – Dispositivos apontadores para computador

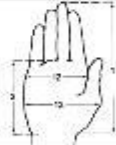
Participantes: (Estudantes jovens sem lesões músculo-esqueléticas do sistema braço-mão)

Nome: \_\_\_\_\_ Idade: \_\_\_\_\_ anos



Hora de início da sessão de teste \_\_\_\_\_ Hora de fim da sessão de teste \_\_\_\_\_

Experiência com CAD (2D/3D)	Sim	
	Não	

Dimensões da mão:

Ponto médio do punho (PMP) ao dedo médio (mm)	Largura da mão (mm)	
Dimensão (1)	Dimensão (12)	
--- mm	--- mm	

No final dos testes **ordene** os dispositivos por **ordem de preferência** relativamente a satisfação, uso, desconforto, estética, inovação, esforço, tamanho, eficácia e eficiência:

<b>Ordernar por preferência (1ª, 2ª, 3ª, 4ª e 5ª)</b>					
Desconforto	__º lugar	__º lugar	__º lugar	__º lugar	__º lugar
Eficácia	__º lugar	__º lugar	__º lugar	__º lugar	__º lugar
Eficiência	__º lugar	__º lugar	__º lugar	__º lugar	__º lugar
Esforço	__º lugar	__º lugar	__º lugar	__º lugar	__º lugar
Estética	__º lugar	__º lugar	__º lugar	__º lugar	__º lugar
Facilidade de utilização	__º lugar	__º lugar	__º lugar	__º lugar	__º lugar
Forma	__º lugar	__º lugar	__º lugar	__º lugar	__º lugar
Inovação	__º lugar	__º lugar	__º lugar	__º lugar	__º lugar
Satisfação	__º lugar	__º lugar	__º lugar	__º lugar	__º lugar
Tamanho	__º lugar	__º lugar	__º lugar	__º lugar	__º lugar

Eficácia – Precisão e plenitude (tarefa completa) com as quais os utilizadores atingem metas específicas.

Eficiência – Recursos gastos em relação à exatidão e plenitude com os quais os utilizadores alcançam metas.

De acordo com (ISO 9241-part 11)

## **Anexo C**

**Instrumentos utilizados na avaliação subjetiva da usabilidade - escalas de desconforto, de facilidade de utilização e de esforço.**

**Escalas de desconforto - 3 escalas**

**Escalas de facilidade de utilização - 7 escalas**

**Escalas de esforço - 5 escalas**

Identificação do participante: \_\_\_\_\_

Hora de início da utilização do dispositivo \_\_\_\_:

**Dispositivo** (colocar um X na quadrícula abaixo do dispositivo que está a avaliar)



Classifique de 1 a 6 (para o dispositivo que selecionou no quadro acima)

**Desconforto do sistema mão/braço/ombro:**

Mão	Desconforto Extremo	1	2	3	4	5	6	Nada Desconfor- tabel
Antebraço		1	2	3	4	5	6	
Ombro		1	2	3	4	5	6	

+ **Dificuldade** (facilidade) de utilização:

Dificuldade/Facilidade global em manipular o dispositivo durante as tarefas			1	2	3	4	5	6	Fácil
Pointing (apontar e clicar)			1	2	3	4	5	6	
Arrastar	Dragging - dedo indicador (botão esquerdo)	Difícil	1	2	3	4	5	6	
	Dragging - botão do meio (premir o scroll)		1	2	3	4	5	6	
	Dragging - dedo médio (botão direito)		1	2	3	4	5	6	
Steering (clicar e largar, mover e clicar no destino)			1	2	3	4	5	6	
Utilizar o Scroll (rodar o scroll nos dois sentidos)			1	2	3	4	5	6	

**Esforço:**

Esforço global exercido para operar o dispositivo	Esforço Extremo	1	2	3	4	5	6	Nenhum Esforço
Esforço para agarrar o dispositivo		1	2	3	4	5	6	
Esforço para controlar os movimentos do dispositivo		1	2	3	4	5	6	
Esforço para fazer clique		1	2	3	4	5	6	
Esforço para apontar com precisão		1	2	3	4	5	6	

Indique para este dispositivo o principal ponto:

- negativo: \_\_\_\_\_

- positivo: \_\_\_\_\_

## **Anexo D**

**Sequência de procedimentos experimentais para monitorização da atividade muscular com eletromiografia de superfície (S-EMG)**



Anexo D: Sequência de procedimentos experimentais para monitorização da atividade muscular com eletromiografia de superfície (S-EMG)


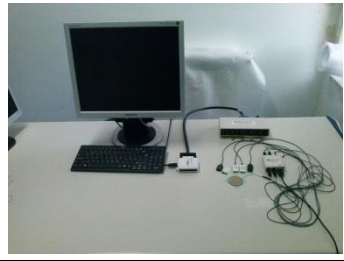
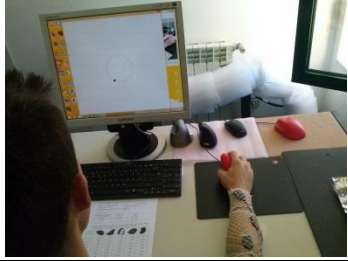


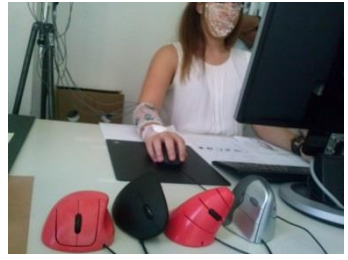



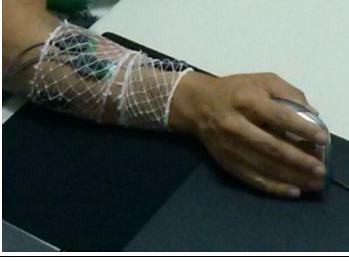

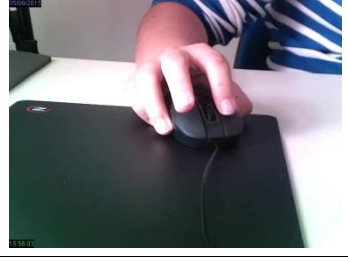



		
<p>pontos sensíveis para sEMG (músculos sob interesse)</p>	<p>identificação dos pontos/músculos de acordo com a bibliografia</p>	<p>desinfecção localizada da pele</p>
		
<p>limpeza/desinfecção dos eléctodos de sEMG</p>	<p>apalpação da região muscular ativa para colocação dos eléctodos (1)</p>	<p>aplicação dos eléctodos de sEMG</p>
		
<p>apalpação da região muscular ativa para colocação dos eléctodos (2)</p>	<p>todos os eletrodos ligados para ensaio músculo a músculo</p>	<p>procura de interferências (ex: "crosstalk")</p>
		
<p>resistência externa ao movimento por contração máxima voluntária</p>	<p>registo do sinal para determinação do valor de MVC</p>	<p>realização dos testes com registo eletromiográfico</p>



## **Anexo E**

**Exemplos de testes experimentais com os cinco dispositivos manuais apontadores para computador**

Exemplos de testes experimentais com os 5 dispositivos manuais apontadores para computador

		
estação de trabalho - para a realização dos testes (vista 1)	estação de trabalho - para a realização dos testes (vista 2)	teste dos ratos de computador com as tarefas padronizadas
		
fase de testes com S-EMG (pormenor da localização dos eletrodos)	fase de testes com S-EMG (um dos protótipos em teste)	fase de testes com S-EMG (4 dispositivos alternativos)
		
teste do dispositivo alternativo ak (1)	teste do dispositivo alternativo ak (2)	teste do dispositivo convencional mi (1)
		
teste do dispositivo alternativo ev (1)	teste do dispositivo alternativo ev (2)	teste do dispositivo convencional mi (2)
		
teste do dispositivo alternativo ch (1)	teste do dispositivo alternativo ch (2)	teste do dispositivo alternativo ci

## Anexo F

Análise da atividade muscular através de comparações tipo, com base no esforço muscular (APDF90) e no dinamismo da atividade muscular (Din), relativos a pares de indicadores resultantes da utilização de um determinado tipo de dispositivo.

Tabela 6.3 - Análise da atividade muscular através de comparações tipo, com base no esforço muscular (APDF90) e no dinamismo da atividade muscular (Din), relativos a pares de indicadores resultantes da utilização de um determinado tipo de dispositivo.

	Nível de esforço (APDF 90) em % MVC	Dinamismo da atividade muscular (Din)	Apreciação qualitativa de cada um dos casos em comparação emparelhada
Comparação relativa do tipo 1	APDF semelhante em ambos os casos	superior	preferível
		inferior	não preferível
Comparação relativa do tipo 1	APDF semelhante em ambos os casos	inferior	não preferível
		superior	preferível
Comparação relativa do tipo 2	superior	Din semelhante em ambos os casos	não preferível
	inferior		preferível
Comparação relativa do tipo 2	inferior	Din semelhante em ambos os casos	preferível
	superior		não preferível
Comparação relativa do tipo 3	superior	inferior	não preferível
	inferior	superior	preferível
Comparação relativa do tipo 3	inferior	superior	preferível
	superior	inferior	não preferível
Comparação relativa do tipo 4	inferior	inferior	sem preferência
	superior	superior	
Comparação relativa do tipo 4	superior	superior	sem preferência
	inferior	inferior	
Equivalência	APDF semelhante em ambos os casos	Din semelhante em ambos os casos	sem preferência

**TABELA A1**

Tabela A1 - Análise da atividade do músculo APL através de comparações tipo, com base no esforço muscular (APDF90) e no dinamismo da atividade muscular (Din), relativos a pares de indicadores resultantes da utilização de um determinado tipo de dispositivo.

dispositivo	APDF90	din	categoria	resultado
ak	9%	0.4	comparação relativa do tipo 4	sem preferência
ch	10%	0.7		sem preferência
ak	9%	0.4	comparação relativa do tipo 2	não preferível
ci	8%	0.4		preferível
ak	9%	0.4	comparação relativa do tipo 3	não preferível
ev	8%	0.6		preferível
ak	9%	0.4	comparação relativa do tipo 4	sem preferência
mi	10%	0.5		sem preferência
ch	10%	0.7	comparação relativa do tipo 4	sem preferência
ci	8%	0.4		sem preferência
ch	10%	0.7	comparação relativa do tipo 4	sem preferência
ev	8%	0.6		sem preferência
ch	10%	0.7	comparação relativa do tipo 1	preferível
mi	10%	0.5		não preferível
ci	8%	0.4	comparação relativa do tipo 1	não preferível
ev	8%	0.6		preferível
ci	8%	0.4	comparação relativa do tipo 4	sem preferência
mi	10%	0.5		sem preferência
ev	8%	0.6	comparação relativa do tipo 3	preferível
mi	10%	0.5		não preferível

## TABELA A2

Tabela A2 - Análise da atividade do músculo ECR através de comparações tipo, com base no esforço muscular (APDF90) e no dinamismo da atividade muscular (Din), relativos a pares de indicadores resultantes da utilização de um determinado tipo de dispositivo.

dispositivo	APDF90	din	categoria	resultado
ak	11%	0.3	comparação relativa do tipo 4	sem preferência
ch	10%	0.2		sem preferência
ak	11%	0.3	comparação relativa do tipo 2	não preferível
ci	10%	0.3		preferível
ak	11%	0.3	comparação relativa do tipo 4	sem preferência
ev	14%	0.5		sem preferência
ak	11%	0.3	comparação relativa do tipo 3	não preferível
mi	10%	0.4		preferível
ch	10%	0.2	comparação relativa do tipo 1	não preferível
ci	10%	0.3		preferível
ch	10%	0.2	comparação relativa do tipo 4	sem preferência
ev	14%	0.5		sem preferência
ch	10%	0.2	comparação relativa do tipo 1	não preferível
mi	10%	0.4		preferível
ci	10%	0.3	comparação relativa do tipo 4	sem preferência
ev	14%	0.5		sem preferência
ci	10%	0.3	comparação relativa do tipo 1	não preferível
mi	10%	0.4		preferível
ev	14%	0.5	comparação relativa do tipo 4	sem preferência
mi	10%	0.4		sem preferência

**TABELA A3**

Tabela A3 - Análise da atividade do músculo ECU através de comparações tipo, com base no esforço muscular (APDF90) e no dinamismo da atividade muscular (Din), relativos a pares de indicadores resultantes da utilização de um determinado tipo de dispositivo.

dispositivo	APDF90	din	categoria	resultado
ak	18%	0.4	comparação relativa do tipo 1	preferível
ch	18%	0.3		não preferível
ak	18%	0.4	comparação relativa do tipo 4	sem preferência
ci	16%	0.3		sem preferência
ak	18%	0.4	comparação relativa do tipo 4	sem preferência
ev	16%	0.1		sem preferência
ak	18%	0.4	comparação relativa do tipo 4	sem preferência
mi	16%	0.2		sem preferência
ch	18%	0.3	comparação relativa do tipo 2	não preferível
ci	16%	0.3		preferível
ch	18%	0.3	comparação relativa do tipo 4	sem preferência
ev	16%	0.1		sem preferência
ch	18%	0.3	comparação relativa do tipo 4	sem preferência
mi	16%	0.2		sem preferência
ci	16%	0.3	comparação relativa do tipo 1	preferível
ev	16%	0.1		não preferível
ci	16%	0.3	comparação relativa do tipo 1	preferível
mi	16%	0.2		não preferível
ev	16%	0.1	comparação relativa do tipo 1	não preferível
mi	16%	0.2		preferível

**TABELA A4**

Tabela A4 - Análise da atividade do músculo ED através de comparações tipo, com base no esforço muscular (APDF90) e no dinamismo da atividade muscular (Din), relativos a pares de indicadores resultantes da utilização de um determinado tipo de dispositivo.

dispositivo	APDF90	din	categoria	resultado
ak	19%	0.5	comparação relativa do tipo 4	sem preferência
ch	22%	0.7		sem preferência
ak	19%	0.5	equivalência	sem preferência
ci	19%	0.5		sem preferência
ak	19%	0.5	comparação relativa do tipo 4	sem preferência
ev	17%	0.4		sem preferência
ak	19%	0.5	comparação relativa do tipo 3	preferível
mi	20%	0.4		não preferível
ch	22%	0.7	comparação relativa do tipo 4	sem preferência
ci	19%	0.5		sem preferência
ch	22%	0.7	comparação relativa do tipo 4	sem preferência
ev	17%	0.4		sem preferência
ch	22%	0.7	comparação relativa do tipo 4	sem preferência
mi	20%	0.4		sem preferência
ci	19%	0.5	comparação relativa do tipo 4	sem preferência
ev	17%	0.4		sem preferência
ci	19%	0.5	comparação relativa do tipo 3	preferível
mi	20%	0.4		não preferível
ev	17%	0.4	comparação relativa do tipo 2	preferível
mi	20%	0.4		não preferível



## Anexo G

Folha de registo manual de dados de EMG por sujeito

Registro de dados de EMG por sujeito

Nome: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_ hora \_\_\_\_\_ Nº

Filtros:

--	--	--	--

	MVC [mV]	MVC offset [V]	In selected range	AC-RMS	P-P
MVC- APL					
MVC- ECU					
MVC- ECR					
MVC- ED					

1º Mouse	RMS [µV]								
	Pointing L	Pointing M	Pointing S	Dragging Left	Dragging Middle	Dragging Right	Steering	Scroll down	Scroll up
APL									
ECU									
ECR									
ED									

2º Mouse	RMS [µV]								
	Pointing L	Pointing M	Pointing S	Dragging Left	Dragging Middle	Dragging Right	Steering	Scroll down	Scroll up
APL									
ECU									
ECR									
ED									

3º Mouse	RMS [µV]								
	Pointing L	Pointing M	Pointing S	Dragging Left	Dragging Middle	Dragging Right	Steering	Scroll down	Scroll up
APL									
ECU									
ECR									
ED									

4º Mouse	RMS [µV]								
	Pointing L	Pointing M	Pointing S	Dragging Left	Dragging Middle	Dragging Right	Steering	Scroll down	Scroll up
APL									
ECU									
ECR									
ED									

5º Mouse	RMS [µV]								
	Pointing L	Pointing M	Pointing S	Dragging Left	Dragging Middle	Dragging Right	Steering	Scroll down	Scroll up
APL									
ECU									
ECR									
ED									

